



Thèse (Dissertation)

"Penser et gérer l'innovation en agriculture à l'heure du génie génétique : contributions d'une approche systémique d'innovations scientifiques dans deux filières agroalimentaires wallonnes pour l'évaluation, la gestion et les politiques d'innovation"

Vanloqueren, Gaëtan

Abstract

Les organismes génétiquement modifiés (OGM) suscitent en Europe une intense controverse depuis le milieu des années nonante, qui s'est cristallisée sur les risques pour la santé et l'environnement. Cette thèse postule que les OGM nous posent des questions plus larges sur l'innovation. Est-il par exemple possible d'évaluer la pertinence d'innovations, comme celle des OGM, pour tendre vers une meilleure politique et gestion de l'innovation ? Une approche systémique a été développée pour progresser sur cette question. Elle poursuit trois axes: la compréhension de problèmes agronomiques, des stratégies actuelles pour les gérer et des possibilités d'innovations pour les résoudre à l'horizon 2015-2020. La partie empirique est basée sur des études de cas de couples problème/innovations dans deux filières agroalimentaires. Il s'agit de maladies problématiques en arboriculture fruitière (pommier) et en grandes cultures (froment d'hiver). Les données de quatre composantes sont intégrées : entretiens semi-dirigés, observation participante, revue de la littérature scientifique et analyse de la [...]

Référence bibliographique

Vanloqueren, Gaëtan. *Penser et gérer l'innovation en agriculture à l'heure du génie génétique : contributions d'une approche systémique d'innovations scientifiques dans deux filières agroalimentaires wallonnes pour l'évaluation, la gestion et les politiques d'innovation*. Prom. : Baret, Philippe (2007)

Penser et gérer l'innovation en agriculture à l'heure du génie génétique

Contributions d'une approche systémique d'innovations
scientifiques dans deux filières agroalimentaires wallonnes
pour l'évaluation, la gestion et les politiques d'innovation

Gaëtan Vanloqueren

Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de
Docteur en sciences agronomiques et ingénierie biologique

Jury :

Président : Bruno Delvaux (UCL)

Promoteur : Philippe Baret (UCL)

Membres : Claude Bragard (UCL)

Felice Dassetto (UCL)

Marc Mormont (ULg)

Jutta Roosen (Université de Kiel)

Frédéric Varone (Université de Genève)

Louvain-la-Neuve, Juin 2007

« Le génie génétique est la solution. Mais quel était le problème ? »

Thomas Brunner et al. (2000)

Remerciements

Le travail individuel qui a abouti à cette thèse a été nourri par des échanges, des soutiens, des conseils et des encouragements de la part d'un grand nombre de personnes que je tiens à remercier.

Sans l'ouverture de Philippe Baret, promoteur, cette thèse n'aurait simplement pas eu lieu. Dans un monde académique essentiellement centré sur des approches expérimentales classiques, s'aventurer dans une démarche systémique et interdisciplinaire était un risque partagé qui mérite d'être souligné. Merci pour cette confiance, pour la disponibilité, les avis critiques ainsi que les soutiens concrets parfois même en période d'agenda saturé.

Je tiens également à remercier les membres du comité d'encadrement et du jury, qui ont fait preuve d'un très grand intérêt pour le travail et d'une aussi grande disponibilité chaque fois que j'ai fait appel à eux, ce qui a entre autres permis d'obtenir de précieux avis sur plusieurs chapitres relativement tôt dans le processus de la thèse. Merci à Frédéric Varone, Marc Mormont, Jutta Rossen, Felice Dassetto et Claude Bragard. J'ai apprécié votre exigence et vos encouragements.

Cette thèse a bénéficié d'un soutien financier des Fonds Spéciaux de Recherche (FSR) de l'UCL avant d'être financée par le Fonds pour la Recherche dans l'Industrie et l'Agriculture (FRIA). Ma gratitude va aux initiateurs du FSR, qui est utile pour financer des projets qui ne rentrent pas dans les canaux classiques de financement de la recherche. Merci aussi aux membres du jury FRIA qui auront, non sans mal, été convaincus de soutenir le financement de cette thèse non-expérimentale, sans doute une première dans l'histoire du Fonds. Puisse le résultat de celle-ci convaincre que la recherche agronomique gagne à s'ouvrir. Merci à Bruno Delvaux et Tomas Avella, actuel et ancien doyens de la Faculté, pour leurs encouragements à aller dans cette voie. Merci à Lucette Flandroy, fonctionnaire au SPF Santé Publique, Sécurité de la Chaîne Alimentaire et Environnement, dont l'intérêt pour l'amélioration de l'évaluation des OGM dans les politiques belges et européennes m'a encouragé à formuler des propositions en ce sens.

Le travail empirique d'enquête au sein des deux filières agroalimentaires étudiées a été grandement facilité par l'excellent accueil reçu de la part d'un grand nombre de professionnels, qu'il est impossible de nommer, qui m'ont accordé leur temps durant l'enquête et après.

Le sinueux chemin d'analyse, de réflexion et de rédaction a lui été enrichi par de multiples rencontres, discussions, avis et échanges, ponctuels ou poursuivis. Merci à Pierre Stassart, Olivier Delaive, François Mélard, Christophe Bonneuil, Bernard Rolland, Nathalie Schiffino, Marian Deblonde, Céline Grandjou, Stéphane Bellon, Gauthier Chapelle, Paul Mathieu, Nathalie Trussart, Sébastien Denys, Edwin Zaccai, Andy Stirling, Jules Pretty et Jacob Weiner. Ce sont ces échanges, ces relectures, ces discussions qui fondent réellement l'interdisciplinarité qui traverse cette recherche. J'adresse un remerciement particulier à Marco Bertaglia dont le soutien et le travail de relecture des projets d'articles ont été précieux.

Merci encore à Françoise de Viron et Benoit Gailly pour leur invitation à participer à la formation en gestion de l'innovation de l'IUFC, à Serge Gutwirth, Jean-Claude Grégoire et Isabelle Stengers pour leur invitation à participer activement aux activités

du PAI « *Loyautés du Savoir* » et aux responsables du Centre de recherche interdisciplinaire CITES « *Techniques, Sciences et Sociétés* » pour leur confiance dans l'organisation, avec Nathalie Schiffino, d'une journée « acteurs-chercheurs » sur la gestion des OGM.

Merci aussi aux collègues de l'unité et de la faculté pour leur soutiens et coups de main, ainsi qu'à Monique Descamps pour l'importante aide pratique en fin de rédaction.

Merci enfin aux amis et parents qui ont soutenu le parcours de cette thèse du début jusqu'à la fin, des plus lointains aux plus proches.

Table des Matières

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX v

LISTE DES PUBLICATIONS viii

ACRONYMES ix

INTRODUCTION	11
GERER LES CHOIX TECHNOLOGIQUES A L'HEURE DU GENIE GENETIQUE	11
PARCOURS DE LECTURE & PLAN DE LA THESE.....	15
PARTIE I : L'EVALUATION DES INNOVATIONS ET L'APPROCHE SYSTEMIQUE.....	20
CHAPITRE 1: L'EVALUATION DES INNOVATIONS SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES, UNE CONTROVERSE PUBLIQUE ET SCIENTIFIQUE	21
1. UN QUART DE SIECLE DE CO-EVOLUTION ENTRE INNOVATIONS ET REGLEMENTATIONS	22
2. LES METHODES D'EVALUATION DES INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES	31
3. L'EVALUATION REGLEMENTAIRE DES PLANTES TRANSGENIQUES EN EUROPE	41
4. CRITIQUES DE L'EVALUATION REGLEMENTAIRE.....	44
5. L'EVALUATION DE L'INNOVATION REMISE EN QUESTION : UN ENJEU POUR LA RECHERCHE	52
CHAPITRE 2 : CADRE EPISTEMOLOGIQUE.....	61
1. OBJECTIFS, THESE ET HYPOTHESES	62
2. FONDEMENTS THEORIQUES	65
3. TERRAIN EMPIRIQUE : CHOIX DES ETUDES DE CAS.....	74
4. METHODOLOGIE DEVELOPEE ET UTILISEE.....	80
PARTIE II : L'INNOVATION AU CŒUR DES PROBLEMES DES FILIERES AGROALIMENTAIRES (ETUDES DE CAS).....	94
CHAPITRE 3: LES POMMIERS TRANSGENIQUES RESISTANTS A LA TAVELURE : APPROCHE SYSTEMIQUE D'UNE PLANTE TRANSGENIQUE DE SECONDE GENERATION	97
1. LES POMMIERS TRANSGENIQUES RESISTANTS A LA TAVELURE. ANALYSE SYSTEMIQUE D'UNE PLANTE TRANSGENIQUE DE "SECONDE GENERATION"	98
2. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	115
CHAPITRE 4: LA FILIERE CEREALIERE WALLONNE FACE AU PROBLEME DES MALADIES CRYPTOGRAMIQUES ET AUX INNOVATIONS POUR LES RESOUDRE ...	119
1. LA FUSARIOSE, UN PROBLEME D'ACTUALITE EN FROMENT D'HIVER	121
2. LA GESTION DES MALADIES CRYPTOGRAMIQUES DU FROMENT VUE SOUS L'ANGLE D'UNE ANALYSE SYSTEMATIQUE DU ' <i>LIVRE BLANC</i> ', REFERENCE INCONTOURNABLE DE LA FILIERE CEREALIERE....	133
3. LA FILIERE FACE A LA FUSARIOSE AUJOURD'HUI : LES STRATEGIES ACTUELLES (2005)	140
4. LA FILIERE FACE AUX MALADIES CRYPTOGRAMI. DEMAIN : LES VOIES D'INNOVATIONS (2020) ..	178
5. LA SOUS-FILIERE DE L'AGRICULTURE BIOLOGIQUE	224
6. LA GESTION DE L'INNOVATION DANS LA FILIERE	228
7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	242
CHAPITRE 5 : COMPARAISON DES ETUDES DE CAS.....	249
1. LES FILIERES ET LES PROBLEMES ETUDIES	251
2. LES STRATEGIES DE LUTTE ET DE PREVENTION EXISTANTES (2003-2005)	254
3. LES VOIES D'INNOVATIONS (2005-2020).....	262
4. LA GESTION DE L'INNOVATION DANS LES FILIERES	286

CHAPITRE 6 : DISCUSSION DE LA METHODOLOGIE SYSTEMIQUE ET DU CHOIX DES ETUDES DE CAS	295
1. DISCUSSION DU CHOIX DES ETUDES DE CAS.....	296
2. APPORTS DES TROIS ETUDES DE CAS DES MEMOIRES	297
3. FORCES ET FAIBLESSES DE LA METHODOLOGIE DEVELOPEE ET UTILISEE	299
4. DIFFERENCES METHODOLOGIQUES ENTRE LES DEUX ETUDES DE CAS	312
PARTIE III : L'APPROCHE SYSTEMIQUE POUR AMELIORER LA REFLEXION, LA POLITIQUE ET LA GESTION DE L'INNOVATION.....	317
CHAPITRE 7: PENSER EN TERMES DE VOIES D'INNOVATIONS PLUTOT QUE D'INNOVATIONS.....	319
1. ANALYSE DES FORUMS PUBLICS ET SCIENTIFIQUES SUR L'INNOVATION EN AGRICULTURE	320
2. GENETIC ENGINEERING VERSUS AGROECOLOGICAL ENGINEERING: AGRICULTURAL RESEARCH SYSTEMS AS A SELECTION ENVIRONMENT FOR TECHNOLOGICAL PARADIGMS	326
CHAPITRE 8: INNOVATIONS METHODOLOGIQUES POUR AMELIORER L'EVALUATION ET LA GESTION DES INNOVATIONS EN AGRICULTURE.....	357
1. PRINCIPES POUR CE CHAPITRE ET ACQUIS DE L'APPROCHE SYSTEMIQUE	359
2. LES METHODES D'EVALUATION DES TECHNOLOGIES ANALYSEES A LA LUMIERE SYSTEMIQUE	363
3. PROSPECTIVE, VOIES D'INNOVATIONS ET SCENARIOS DE DEVELOPPEMENT	367
4. INTEGRER L'APPROCHE SYSTEMIQUE DANS DES METHODES 'OUVERTES'	379
5. DES METHODES POUR APPROFONDIR L'EVALUATION ET LA GESTION DES INNOVATIONS	383
CHAPITRE 9 : PROPOSITIONS DE POLITIQUES D'INNOVATION : DU PROGRES DES LUMIERES VERS LA DURABILITE ET LA MAITRISE DES CHOIX TECHNOLOGIQUES.....	389
1. L'INNOVATION DANS LE PROJET DU DEVELOPPEMENT DURABLE.....	390
2. PROPOSITIONS DE POLITIQUES D'INNOVATION	405
3. UNE AGENCE DE L'INNOVATION	430
4. DEMOCRATIE, INNOVATION ET DURABILITE. DELIBERER SUR L'INNOVATION.....	434
5. CHOIX ETHIQUES ET POLITIQUES A L'INTERIEUR DES LABORATOIRES.....	440
CHAPITRE 10 : TRANSGENESE ET SYSTEMIQUE (DISCUSSION EPISTEM.).....	445
1. DISCUSSION DES QUATRE HYPOTHESES FORÇANT LA TRANSDISCIPLINARITE.....	446
2. L'INTERDISCIPLINARITE, RICHE MAIS FRAGILE POSTURE DE RECHERCHE	453
3. VOIES EXPLOREES MAIS NON ABOUTIES (PARCOURS DE RECHERCHE)	457
4. PERSPECTIVES DE RECHERCHE POUR UNE MEILLEURE COMPREHENSION DES PROCESSUS D'INNOVATION	463
5. DES 'MEMOIRES META' : DEVELOPPER DES OUTILS POUR LA FORMATION DE SCIENTIFIQUES CRITIQUES	465
RE-ENCASTRER L'INNOVATION	469
L'APPROCHE SYSTEMIQUE COMME CHOIX EPISTEMOLOGIQUE	471
UNE VISION SYSTEMIQUE ET DYNAMIQUE DE L'INNOVATION.....	473
AGRONOMIE POLITIQUE.....	478
POLITIQUES D'INNOVATIONS, DEMOCRATIE ET MONDIALISATION	480
BIBLIOGRAPHIE	484
GLOSSAIRE	515
INDEX	521
TABLE DES MATIERES DETAILLEES	525
TABLE DES ANNEXES	535

Liste des figures et tableaux

Liste des figures

FIGURE 1 : APERÇU DE LA THESE ET PARCOURS DE LECTURE	17
FIGURES 2 A ET B : DEVELOPPEMENT DES ESSAIS DE PLANTES TRANSGENIQUES (E.U. ET U.E.)	25
FIGURE 3 : LIGNE DU TEMPS DES PLUS IMPORTANTS DEVELOPPEMENTS SCIENTIFIQUES, TECHNOLOGIQUES, COMMERCIAUX, SOCIO-POLITIQUES ET INSTITUTIONNELS.....	30
FIGURE 4 : SYSTEME ANALYSE (EXEMPLE DE L'ETUDE DE CAS FROMENT)	81
FIGURE 5 : SCHEMA SYNTHETIQUE DE L'APPROCHE SYSTEMIQUE MENEES POUR CHAQUE ETUDE DE CAS	85
FIGURE 6 : SCHEMATISATION DES DIFFERENTES COMPOSANTES DE RECOLTE D'INFORMATIONS DE LA RECHERCHE	85
FIGURE 7 : GAMME DES STRATEGIES DE LUTTE CONTRE LA TAVELURE	111
FIGURE 8 : LA FILIERE CEREALIERE : LE SYSTEME ETUDIE	123
FIGURE 9 : CYCLE DE FUSARIUM GRAMINEARUM, UN DES CHAMPIGNONS RESPONSABLES DE LA FUSARIOSE DE L'EPI	124
FIGURE 10 : FLUX D'INFORMATIONS SUR LES ESSAIS DES VARIETES (NON-EXHAUSTIF)	175
FIGURES 11 A ET B : DEVELOPPEMENT DES ESSAIS DE POMMIERS TRANSGENIQUES ET DE BLES TRANSGENIQUES (ETATS-UNIS ET EUROPE)	273
FIGURE 12 (FIGURE 1 IN PAPER) : A SIMPLIFIED REPRESENTATION OF AGRICULTURAL RESEARCH SYSTEMS (ARS) AS A PART OF SYSTEMS OF INNOVATION (SI)	333
FIGURE 13 : PROGRESSION DU TRAVAIL DE DEVELOPPEMENT METHODOLOGIQUE	358
FIGURE 14 : CHEMINEMENT AYANT ABOUTI A LA PROPOSITION D'INSTITUTIONNALISER UNE COMPARAISON DES CHOIX TECHNOLOGIQUES.....	406
FIGURE 15 : CHEMINEMENT AYANT ABOUTI A LA PROPOSITION DE POLITIQUE 'DE SORTIE DE LOCK-IN'	407
FIGURE 16 : L'AMELIORATION DE LA PRODUCTIVITE AGRICOLE PAR LA RECHERCHE AGRONOMIQUE COMME UN 'PAYSAGE ADAPTATIF' FAIT DE PICS ET DE VALLEES.	417

Liste des tableaux

TABLEAU 1 : METHODES ANALYTIQUES ET PARTICIPATIVES D'EVALUATION DES TECHNOLOGIES ET INNOVATIONS.....	32
TABLEAU 2 : COMPARAISON DES APPROCHES SYSTEMIQUES ET ANALYTIQUES.....	69
TABLEAU 3 : CANEVAS D'ANALYSE DES ETUDES DE CAS : AXES D'ANALYSE TRANSVERSAUX	83
TABLEAU 4 : FACTEURS DE NON-DEVELOPPEMENT DES VARIETES RESISTANTES A LA TAVELURE.....	102
TABLEAU 5 : POTENTIELS FACTEURS DE DEVELOPPEMENT DES VARIETES RESISTANTES A LA TAVELURE .	108
TABLEAU 6 : OBJECTIFS ET PROBLEMES EN RELATION AVEC LA FUSARIOSE, LES MYCOTOXINES, ET LES MALADIES POUR LES DIFFERENTES CATEGORIES D'ACTEURS.....	131
TABLEAU 7 : ANALYSE DES RESULTATS EXPERIMENTAUX PRESENTES DANS LE LIVRE BLANC (2000-2005) : THEMES DES ARTICLES PUBLIES	137
TABLEAU 8 : ANALYSE DES RECHERCHES EXPERIMENTALES PRESENTEES DANS LE LIVRE BLANC (2000-2005) : TYPES DE RESULTATS PRESENTES ET D'ESSAIS EN CHAMPS MIS EN ŒUVRE.....	137
TABLEAU 9 : STRATEGIES DE LUTTE ET DE PREVENTION CONTRE LA FUSARIOSE.	141
TABLEAU 10 : PRINCIPES AGRONOMIQUES DES STRATEGIES SECONDAIRES CONTRE LA FUSARIOSE ET LA SEPTORIOSE.....	153
TABLEAU 11 : CONTRAINTES LIEES A L'UTILISATION DES QUATRE STRATEGIES PRINCIPALES PAR LES PRODUCTEURS (SYNTHESE).	156
TABLEAU 12 : FACTEURS SYSTEMIQUES EXPLIQUANT L'ECART ENTRE STRATEGIES CONSEILLEES ET PRATIQUES AGRICOLES	157

TABLEAU 13 : SYNTHÈSE DU RÔLE DES DIFFÉRENTS ACTEURS DANS L'UTILISATION DES STRATÉGIES PAR RAPPORT À LA FUSARIOSE ET AUX MALADIES CRYPTOGAMIQUES EN GÉNÉRAL	177
TABLEAU 14 : GAMME DES VOIES D'INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES PAR RAPPORT À LA FUSARIOSE ET AUX AUTRES MALADIES CRYPTOGAMIQUES	179
TABLEAU 15 : FACTEURS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES AGISSANT SUR LE DÉVELOPPEMENT SCIENTIFIQUE DES INNOVATIONS (VOIES PRINCIPALES).....	194
TABLEAU 16 : FACTEURS SOCIO-ECONOMIQUES AGISSANT SUR LE DÉVELOPPEMENT DES INNOVATIONS (VOIES PRINCIPALES).....	195
TABLEAU 17 : FACTEURS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES AGISSANT SUR LE DÉVELOPPEMENT DES INNOVATIONS (VOIES SECONDAIRES)	209
TABLEAU 18 : FACTEURS SOCIO-ECONOMIQUES AGISSANT SUR LE DÉVELOPPEMENT DES INNOVATIONS (VOIES SECONDAIRES).....	210
TABLEAU 19 : INNOVATIONS INSTITUTIONNELLES OU POLITIQUES POUR LA GESTION DES MALADIES....	212
TABLEAU 20 : CONSÉQUENCES DES INNOVATIONS INSTITUTIONNELLES ET POLITIQUES SUR LE PROBLÈME INITIAL DE LA GESTION DES MALADIES ET SUR LES INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES	222
TABLEAU 21 : FACTEURS SOCIO-ECONOMIQUES AGISSANT SUR LE DÉVELOPPEMENT DES INNOVATIONS INSTITUTIONNELLES	223
TABLEAU 22 : NIVEAUX DE DÉVELOPPEMENT DES DIFFÉRENTES VOIES D'INNOVATION	229
TABLEAU 23 : INVESTISSEMENT DES ACTEURS DANS LES DIFFÉRENTES VOIES D'INNOVATION	230
TABLEAU 24 : GRILLE DE COMPARAISON DES ÉTUDES DE CAS	250
TABLEAU 25 : COMPARAISON DES STRATÉGIES DE LUTTE ET DE PRÉVENTION	255
TABLEAU 26 : COMPARAISON DES FACTEURS DE NON-UTILISATION DES VARIÉTÉS RÉSISTANTES AUX MALADIES	256
TABLEAU 27 : COMPARAISON DES VOIES D'INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES	262
TABLEAU 28 : COMPARAISON DE L'INVESTISSEMENT DES ACTEURS DANS LES VOIES D'INNOVATION...	264
TABLEAU 29 : COMPARAISON DES NIVEAUX DE DÉVELOPPEMENT DES DIFF. VOIES D'INNOVATIONS ...	265
TABLEAU 30 : COMPARAISON DES DÉTERMINANTS D'INNOVATION DES VOIES D'INNOVATIONS.....	267
TABLEAU 31 : COMPARAISON DES DÉTERMINANTS D'INNOVATION DES MÉLANGES VARIÉTAUX	268
TABLEAU 32 : COMPARAISON DE LA GAMME DES INNOVATIONS INSTITUTIONNELLES, SOCIALES OU POLITIQUES DANS LES DEUX FILIÈRES (EXISTANTES OU À DÉVELOPPER).....	282
TABLEAU 33 : DIFFÉRENCES MÉTHODOLOGIQUES ENTRE ÉTUDES DE CAS.....	312
TABLEAU 34 (<i>TABLE 1 IN PAPER</i>) : GENETIC ENGINEERING AND AGROECOLOGICAL ENGINEERING ARE TWO DIFFERENT TECHNOLOGICAL PARADIGMS	329
TABLEAU 35 (<i>TABLE 2 IN PAPER</i>): DETERMINANTS OF INNOVATION THAT INDUCE AN IMBALANCE BETWEEN GENETIC AND AGROECOLOGICAL ENGINEERING	335
TABLEAU 36 : SYNTHÈSE DES ACQUIS DE L'APPROCHE SYSTÉMIQUE (HORS PROP POLITIQUES)	362
TABLEAU 37 : ANALYSE DES MÉTHODES D'ÉVALUATION À LA LUMIÈRE DES ACQUIS DE L'APPROCHE SYSTÉMIQUE	364
TABLEAU 38 : CONSTRUCTION D'UNE PROSPECTIVE PAR SCÉNARIOS (1) IDENTIFICATION DES CHOIX TECHNOLOGIQUES PAR RAPPORT À DES OBJECTIFS DE DURABILITÉ (EXEMPLES)	374
TABLEAU 39 : CONSTRUCTION D'UNE PROSPECTIVE PAR SCÉNARIOS (2) CARACTÉRISTIQUES ET TENDANCES DE CHANGEMENT ET D'INNOVATIONS DANS LES MODÈLES DOMINANTS ET ALTERN. 375	
TABLEAU 40 : SCÉNARIOS DE SYSTÈMES AGRICOLES ET DE VOIES D'INNOVATIONS QUI POURRAIENT ÊTRE ÉVALUÉS AU SEIN D'UNE MÉTHODE MCMA 'DYNAMIQUE ET SYSTÉMIQUE'	380
TABLEAU 41 : DÉVELOPPEMENT DURABLE : APPROCHES NORMATIVE ET HEURISTIQUE	396
TABLEAU 42 : CLASSIFICATION D'INNOVATIONS EN FONCTION DE LEUR NIVEAU DE DURABILITÉ	403
TABLEAU 43 : POLITIQUES D'INNOVATION PROPOSÉES	408

Liste des publications et communications

▪ Publications scientifiques

Vanloqueren, G., Baret, P.V. (accepted under revision 04/2007) Why are 'ecological' disease-resistant wheat cultivars slow to develop commercially? A Belgian agricultural 'lock-in' case study. *Ecological Economics*.

Vanloqueren, G., Baret, P.V. (submitted 12/2006) Genetic engineering vs. agroecological engineering: agricultural research systems as a selection environment for technological paradigms.

Vanloqueren, G., Baret, P.V. (2004) Les pommiers transgéniques résistants à la tavelure - Analyse systémique d'une plante transgénique de "seconde génération". *Le Courrier de l'Environnement de l'INRA* (52), Septembre 2004, 5-20.

▪ Conference proceedings and abstracts

Vanloqueren, G., Baret, P.V. (2006) Innovation to reduce fungal diseases in wheat: Are all innovation pathways playing in the same field? *Abstracts of the 58th International Symposium on Crop Protection*, Ghent, May 23.

Vanloqueren, G., Baret, P.V. (2004) Systemic "relevance assessment" of transgenic crops: Bridging biotechnology regulations and sustainable development policies? Science, Ethics and Society, *Proceedings of the 5th Congress of the European Society for Agricultural and Food Ethics*, Leuven, Belgium, September 2-4, 2004, pp 160-164.

Vanloqueren, G., Mélard, F., Baret, P.V. (2004) Systemic-based assessment of transgenic crops: an application to scab resistance in apple tree. *European agriculture in a global context. Abstracts of the VIII European Society of Agronomy Congress*, Copenhagen, 11-15 July 2004, pp 695-696.

▪ Communications orales (congrès scientifiques)

Vanloqueren, G., Mélard, F., Baret, P.V. (2004) The paradox of scab-resistant apple tree varieties: is sustainability compatible with the market? *Symposium Biodiversity: state, stakes and futures*, Session IV: Economic and managerial aspects of biodiversity, Biodiversity Research Center, April 7-9, 2004, Louvain-la-Neuve, Belgium.

Vanloqueren, G., Stassart P., Baret, P.V. (2003) Multifunctionality: realities and local stakes construction. Communication to the *XXth Biennial Conference of the European Society for Rural Sociology*, Sligo (Ireland), August 2003.

▪ Communications orales (séminaires)

Vanloqueren, G. (2006) Biodiversity and agricultural innovations: why diversity is not the main paradigm for future cropping systems. *Phd Students Day*, Biodiversity Doctorate School, Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, March 29, 2006.

Vanloqueren, G. (2005) Plantes transgéniques : de l'évaluation des risques à celle de la pertinence des innovations. *Journée de rencontre acteurs-chercheurs « Quelle*

gestion démocratique des OGM dans le cadre d'une politique de développement durable ?» organisée dans le cadre de la Chaire Tractebel-Environnement 2004 « Développement durable, sciences et société ». Louvain-la-Neuve, 4 Février 2005.

Vanloqueren, G. (2004) L'élargissement de l'évaluation des risques. *Journée OGM du 30 novembre 2004 : Evolution du droit international, européen et belge*, atelier de discussion n°3 « Elargissement de l'évaluation des risques: Mobilisation et contestation de l'expertise, information et participation du public », Service Public Fédéral Santé publique et sécurité de la chaîne alimentaire, Bruxelles, 30 novembre 2004.

Vanloqueren, G. (2002) Négociation et construction de la durabilité : Expériences d'exploitations collectives en agriculture biologique. Principes de réussite de partenariats entre agriculteurs et acteurs locaux dans le cadre d'une agriculture multifonctionnelle, Communication, *Rencontre acteurs-chercheurs « Agriculture durable et Multifonctionnalité du territoire : Développer des partenariats porteurs de durabilité entre agriculteurs et acteurs locaux »*. La Bergerie, France, 3-4 décembre 2002.

▪ **Rapports scientifiques**

Vanloqueren, G. (2005) Towards a comprehensive assessment of transgenic crops within the Cartagena Protocol and the EU directive 2001/18?, *In Vromman, D. ; Vanloqueren, G. and Baret, P.V. (2005) Mise au point d' une méthodologie d'évaluation des possibles impacts agronomiques et socio-économiques des cultures transgéniques sur les systèmes agraires et les filières agro-alimentaires. Projet soutenu par le Service Public Fédéral Santé Publique, Sécurité de la Chaîne alimentaire et Environnement, DG Environnement*, pp 89-99.

Vanloqueren, G. (2003) Le secteur de l'arboriculture fruitière face à l'innovation transgénique et à ses alternatives : le cas des pommiers résistants à la tavelure. *Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies en Sciences de l'Environnement. Fondation Universitaire Luxembourgeoise (FUL)*.

▪ **Articles dans la presse spécialisée**

Vanloqueren, G. (2006) L'innovation scientifique et technologique et scientifique, voie royale vers la prospérité ? *Science Connection*, 13 (Octobre), 44-45.

Vanloqueren, G., Baret, P.V. (2005) Pourquoi les variétés résistantes à la tavelure tardent-elles à se développer commercialement ? *Le Fruit Belge*, Vol 73 (516), 111-116.

Vanloqueren, G., Baret, P.V. (2005) Des pommiers transgéniques pour lutter contre la tavelure ? Analyse systémique. *Le Fruit Belge*, Vol 73 (516), 117-123.

▪ **Articles d'opinion dans la presse générale**

Vanloqueren, G. (2006) Vive le Roi, vive l'innovation ? *Le Soir*, 27 juillet 2006

Baret, P.V., Vanloqueren, G. (2006) L'aigre-doux des plantes transgéniques. *Le Vif-L'Express*, Numéro Spécial Rétrospective 2005, 1er janvier 2006.

Acronymes

Bt : *Bacillus thuringiensis*

CADCO : Centre Agricole pour le Développement des Cultures Céréalières et Oléo-protéagineuses

CEMAGREF

COV : Certificat d'Obtention Végétale

CRA-W : Centre de Recherches Agronomiques de Wallonie

DG : Direction Générale

DGA : Direction Générale de l'Agriculture (Région Wallonne)

ETI : Evaluation Technologique Interactive

FUSAGx : Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux

FWA : Fédération Wallonne de l'Agriculture

HACCP : Hazard Analysis and Critical Control Points

IEW : Inter Environnement Wallonie.

INRA : Institut National de Recherche Agronomique (France)

ISAA : International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications

MAE : Mesures Agri-Environnementales

MCMA : Multi-Criteria Mapping Analysis

RR : Round-up Ready

R&D : Recherche et Développement

OGM : Organisme génétiquement modifié

PAC : Politique Agricole Commune

PBI : Plant Breeding International

SBB : Service de Biosécurité et Biotechnologie (Belgique)

SI : Systèmes d'Innovation

SCAM : Société Coopérative des Agriculteurs de la Meuse

UCL-AGRO : Faculté d'ingénierie biologique, agronomique et environnementale de l'UCL

Vf : Acronyme du gène de résistance principal à la tavelure

Introduction

Gérer les choix technologiques à l'heure du génie génétique

Le progrès scientifique et les innovations technologiques liées à celui-ci ont acquis une place prédominante dans nos sociétés occidentales depuis le siècle des Lumières. L'**innovation** a aujourd'hui une place centrale dans le fonctionnement de l'économie de marché. Elle est aussi au cœur de plusieurs visions politiques : celle qui ambitionne une libération totale du marché, celle qui ambitionne de faire du progrès technique un moteur de progrès social, et celle qui vise à un projet de développement durable. L'innovation est donc au cœur de nos sociétés, mais elle ne fait plus consensus.

D'une part, les Etats font plus que jamais des sciences et des innovations technologiques des outils au service de la course à la compétitivité mondialisée. En Europe, les signes se multiplient et ne trompent pas : Stratégie de Lisbonne, doublement du budget communautaire de recherche afin de construire un Espace Européen de la Recherche, nouveaux projets dessinant progressivement une politique d'innovation européenne, etc. Le projet est explicite : il s'agit de faire de la société européenne une société '*innovation-friendly*'. Si les besoins d'innovation sont clairs par rapport à l'enjeu majeur qu'est la question énergétique, la finalité de cette course à l'innovation n'est parfois que celle de la compétitivité. L'accélération des développements technologiques se fait en effet parallèlement à celle de la globalisation économique, sans qu'on sache exactement laquelle entraîne l'autre et où elles nous emmènent.

D'autre part, en même temps que l'accélération des changements, l'innovation technologique est devenue ambiguë. Elle est à la fois source de progrès et d'opportunités, mais aussi de risques et de nouveaux dangers (pesticides, amiante, nucléaire). Cette **ambiguïté** marque le passage d'une société moderne où le progrès scientifique doit permettre de fonder une société basée sur un mode rationnel et non sur les traditions, à une société post-moderne où la science laisse la place au débat politique. Cette ambiguïté est aussi au cœur du référentiel de la 'société du risque' d'Ulrich Beck, référentiel majeur sur la question des risques des innovations depuis deux décennies. La science n'est donc plus neutre, elle est sur la place publique et l'innovation technologique est au cœur de controverses.

Cette ambiguïté de l'innovation technologique n'est nulle part aussi visible qu'en **agriculture**.

Alors que l'agriculture ne représente plus qu'un faible pourcentage de la population active des pays 'développés' ayant adopté pour projet une économie basée sur les services et la connaissance, c'est dans ce secteur que se développe au milieu des années nonante une des plus importantes controverses socio-techniques, celle qui concerne les organismes génétiquement modifiés (OGM). Pourtant, l'innovation a toujours été au cœur de la question agricole. L'augmentation historique de la population entraîne en effet une nécessité d'augmenter la production alimentaire, et donc d'innover pour accroître la productivité. Fondamentalement, la recherche et l'innovation en agriculture ont contribué à la modernisation agricole, permettant de nourrir une population croissante mais aussi de diminuer le poids de l'alimentation dans les dépenses des

ménages, d'améliorer les conditions de travail des agriculteurs et de libérer de la main d'œuvre agricole pour le développement des industries puis des services. L'innovation en agriculture est donc pleinement au centre du développement de nos sociétés.

Les OGM ont alimenté une intense **controverse** en Europe depuis leur arrivée en 1996 en provenance des Etats-Unis. Ils préoccupent le grand public et attirent l'attention des médias, forçant les autorités publiques à revoir et renforcer les réglementations. La controverse sur les plantes transgéniques s'ouvre rapidement sur les enjeux dans lesquels le génie génétique s'insère. Les débats, publics et scientifiques, portent sur les avantages et inconvénients observés dans les pays où ces plantes sont utilisées autant que sur les risques -avérés ou potentiels- pour la santé humaine, l'environnement, les systèmes agricoles et socio-économiques, ainsi que sur l'étendue de nos incertitudes et de notre ignorance concernant les effets indirects potentiels et sur l'irréversibilité potentielle de certains risques. Après des crises alimentaires à répétitions (prions chez les bovins, tremblante du mouton, poulets intoxiqués à la dioxine), les citoyens sont davantage enclins à reconnaître les risques des plantes transgéniques que leurs éventuels avantages, d'ailleurs initialement réservés aux semenciers et agriculteurs outre-Atlantique.

La controverse fait rapidement apparaître que les questions scientifiques sont enchevêtrées dans des enjeux sociaux, économiques, culturels et politiques bien plus larges. Ceux-ci sont multiples et complexes : brevetage du vivant, excès et dérives de l'agriculture productiviste, caractère non naturel de la transgénèse introduisant une rupture dans l'amélioration des plantes, concentration croissante du pouvoir des multinationales, etc.

Les pouvoirs publics font partie de la controverse. Ils sont perçus par de nombreux citoyens comme étant à la fois juges et parties : juges en organisant une réglementation des OGM, parties car adoptant une attitude pro-technologie ressemblant à une alliance avec l'industrie. Ils sont également perçus à la fois comme acteurs régulateurs de la globalisation et acteurs accélérateurs de la tendance néolibérale de celle-ci.

Face à cette controverse, les pouvoirs publics ont innové. Les OGM en tant qu'innovations technologiques ont entraîné le développement progressif d'innovations institutionnelles, depuis le Protocole de Carthagène sur la prévention des risques biotechnologiques, au niveau international, jusqu'au projet de décret wallon sur la coexistence des cultures transgéniques, conventionnelles et biologiques, en passant par la Directive européenne 2001/18 sur les essais et la commercialisation des plantes transgéniques dans l'Union. Au niveau européen, le cadre réglementaire adapté spécifiquement aux OGM a été construit en une quinzaine d'années, subissant d'ailleurs un profond remodelage au tournant du siècle suite aux velléités citoyennes paralysant le développement des plantes transgéniques souhaité par les multinationales. La définition des risques a été élargie. Les procédures d'évaluation ont été améliorées. L'information au public est organisée. A côté des nouvelles réglementations, sont définis de nouveaux comités d'expertise, de nouvelles procédures et de nouveaux rôles alloués à certaines autorités.

On pourrait voir ce processus comme abouti. Il est en effet souvent avancé que l'Union Européenne s'est dotée, au niveau mondial, de la réglementation la plus aboutie en matière de régulation des plantes transgéniques. Les pouvoirs publics auraient, dans le cas des OGM, comblé le décalage, en général structurel, entre avancées technologiques et avancées institutionnelles et politiques. Dans cette hypothèse, la controverse sur les

OGM -toujours pas éteinte plus de dix ans après l'arrivée médiatisée du premier cargo céréalier au port du Havre- devrait disparaître bientôt avec une confiance retrouvée dans les institutions et l'arrivée future d'OGM de 'seconde génération', cette fois bénéfiques au consommateur.

L'histoire n'est pas écrite. Ce scénario est possible. Est-il le seul possible ?

Cette recherche part de **deux postulats**.

Le premier postulat est que, malgré les avancées significatives dans la régulation des plantes transgéniques, le décalage entre avancées technologiques et avancées institutionnelles n'est pas encore suffisamment comblé. Les développements technologiques ont été trop importants, trop rapides, et leurs conséquences trop longtemps sous-estimées. Les développements institutionnels, bien que significatifs, sont trop récents et trop restreints pour concrétiser une réelle *maîtrise* des évolutions scientifiques et techniques et pour matérialiser une réelle possibilité de *choix technologiques*. En particulier, l'ensemble des avancées institutionnelles concerne principalement la gestion des risques des plantes transgéniques, faisant de l'évaluation des risques de biosécurité par des comités d'experts le pilier de la régulation. Or, la régulation des OGM ne peut se restreindre ni aux risques de toxicité et d'allergénicité ni aux flux de gènes entre deux champs et entre le champ et l'environnement naturel. Cette régulation est nécessaire, mais pas suffisante.

Notre 'société du risque' a oublié de se poser les questions de savoir pourquoi elle prenait des risques, pourquoi elle innovait, et comment elle innovait. La question des finalités, des objectifs à long terme et du choix des moyens pour y arriver a été longtemps mise de côté dans la régulation et peut-être aussi dans notre rapport collectif à l'innovation de manière plus large. Les interactions et interdépendances entre aspects techniques et dimensions socio-économiques échappent à notre gestion de l'innovation. Or, la finalité de l'innovation devient essentielle dans le nouveau contexte du développement durable. Les politiques d'innovation doivent aussi être adaptées aux nouveaux défis que sont la lutte contre les changements climatiques et l'adaptation de nos sociétés à leurs conséquences.

La maîtrise de nos capacités technologiques et les choix technologiques sont des enjeux clés pour les sciences agronomiques. Les plantes transgéniques sont en effet des 'cas critiques' pour l'étude de l'innovation en agronomie. D'une part, leur développement rapide entraîne une modification de nombreux systèmes agricoles et filières agroalimentaires : les plantes transgéniques sont en effet plantées sur 100 millions d'hectares seulement dix ans après leur commercialisation (James, 2007). D'autre part, la controverse sociale et scientifique qui entoure la transgénèse végétale et ses applications que sont les plantes transgéniques ne faiblit pas depuis le milieu des années 90. Comment dès lors passer à côté d'une réflexion profonde sur ces plantes transgéniques si on pense l'agronomie comme une *science systémique*, c'est-à-dire une science qui influence son propre domaine de recherche (Alroe and Kristensen, 2002).

Une conséquence de ce premier postulat est que cette recherche doit être orientée vers les possibilités d'améliorer les politiques publiques dans le sens d'une plus grande réflexivité sur les liens entre sciences, technologies et sociétés. De nouveaux développements institutionnels doivent permettre une meilleure maîtrise de nos capacités technologiques et des choix technologiques cohérents. Ces nouveaux

développements sont vitaux pour faire entrer pleinement les choix technologiques dans la sphère de la démocratie.

Le second postulat, qui découle du premier, est celui de la nécessité de nouvelles approches de recherche face à la complexité des enjeux posés par ce type de choix et d'innovation. Si autant de dimensions (scientifiques, économiques et socio-politiques) sont imbriquées dans les OGM, comment analyser et restituer cette complexité ? Cette thèse postule qu'il existe une place, à côté des travaux existants, pour une recherche basée sur l'agronomie, mais appréhendant un certain nombre de dimensions sociales et économiques qui dépassent de loin *le champ*, qui sont généralement traitées par d'autres disciplines.

Jusqu'ici, plusieurs méthodes ont été mobilisées pour évaluer des innovations agricoles, y compris les plantes transgéniques. Les essais agronomiques en serres ou en champs, les évaluations de risques, de même que l'analyse coûts-bénéfices sont des méthodes puissantes dans leur capacité à résoudre des enjeux précis. Tout en étant nécessaires dans le cadre de ces enjeux, elles restent par contre insuffisantes pour répondre aux questions que se posent le citoyen, le décideur public et le chercheur appelé à la rescousse pour éclairer la décision.

Le pari de la complexité implique une approche interdisciplinaire et systémique, permettant d'appréhender cette complexité. Selon un dicton, un scientifique pourrait aujourd'hui « *soit dire de plus en plus sur de moins en moins soit dire de moins en moins sur de plus en plus* ». A côté de ces deux possibilités, un troisième est de mettre en dialogue les deux types de recherches (réductionnistes et holistiques).

Cette recherche n'a ni pour ambition de définir scientifiquement l'ampleur des risques des plantes transgéniques ni de proposer un manuel de décision pour le décideur public confronté aux questions les plus pressantes de l'agenda politique, comme la régulation de la coexistence des cultures et les autorisations de commercialisation de plantes transgéniques. La finalité est de contribuer à trouver des moyens de combler le fossé entre le niveau des connaissances scientifiques et celui des décisions politiques pour contribuer à réduire le décalage entre avancées technologiques et avancées institutionnelles.

L'approche développée apportera d'une part un éclairage nouveau sur les outils et méthodologies de *gestion* de l'innovation afin d'améliorer et compléter le cadre existant de l'évaluation des plantes transgéniques et d'autre part contribuera au renouvellement de la *réflexion* sur l'innovation en agronomie et sur les *politiques* d'innovation. Compréhension, réflexion, évaluation, gestion et politiques d'innovation sont donc les horizons de cette thèse.

Parcours de lecture & plan de la thèse

La thèse est divisée en trois parties et dix chapitres (Voir Figure 1 p 17).

La première partie établit les bases sur laquelle repose la thèse, à savoir d'une part le contexte scientifique et politique de l'évaluation des plantes transgéniques et d'autre part les choix épistémologiques et méthodologiques de cette recherche. L'évaluation des plantes transgéniques, symbolisée par la directive européenne 2001/18, est replacée dans son contexte historique et fait l'objet d'une synthèse de ses limites. Les avantages et inconvénients des différentes méthodes d'évaluation sont également discutés. La tentative avortée de créer une 'évaluation des aspects éthiques et socio-économiques' des OGM au sein du Service de Biosécurité Belge, qui a influencé la construction de cette thèse, est resituée dans le contexte des complexités scientifiques et politiques d'un élargissement de l'évaluation des plantes transgéniques. Cet état des lieux se termine par une prise de position critique par rapport au modèle dominant de l'évaluation des innovations technologiques, basée sur les risques (**Chapitre 1**). Le second chapitre présente les objectifs de cette recherche, énonce la thèse et les quatre hypothèses et synthétise les fondements théoriques sur laquelle cette thèse est basée (l'approche systémique et les principes issus de l'analyse socio-technique). La méthodologie développée et utilisée est présentée étape par étape (**Chapitre 2**).

La seconde partie débute avec une approche systémique de deux cas concrets de plantes transgéniques choisis parmi les demandes officielles d'autorisation de champs d'essais reçues par les autorités publiques belges et européennes. Il s'agit des pommiers transgéniques résistants à la tavelure et des froments résistants aux maladies cryptogamiques (**Chapitres 3 et 4**). Chaque étude de cas procède par déconstruction et reconstruction de la complexité technique et socio-économique qui existe autour du couple problème agronomique – innovations qui visent à résoudre celui-ci. Les études de cas sont ensuite comparées pour aboutir à de premières conclusions sur la gestion de l'innovation dans les filières agroalimentaires (**Chapitre 5**). Le choix des études de cas ainsi que la méthodologie utilisée dans celles-ci et dans trois mémoires supervisés dans le cadre de cette thèse sont enfin discutés (**Chapitre 6**).

La troisième partie passe des *études de cas* à une remise en question du '*cas par cas*'. Cette partie sort du cadre des filières agroalimentaires, qui était celui de la seconde partie. Elle passe de l'évaluation des innovations, point de départ de la thèse, à la gestion de l'innovation et aux politiques d'innovation, horizons de la thèse. Les trois premiers chapitres suivent trois axes de généralisation des résultats des études de cas. Le premier consiste à démontrer l'importance du concept de *voie d'innovations (trajectoire technologique)* en agronomie et celle de l'analyse des facteurs qui influencent l'innovation (*déterminants d'innovation*), afin de comprendre comment une voie d'innovations peut être avantagée par rapport à une autre dans les systèmes de recherche agronomique (**Chapitre 7**). Le deuxième chapitre tire les conséquences méthodologiques de l'expérience du développement progressif de la méthodologie utilisée dans les études de cas pour proposer des avancées en matière de méthodes de gestion de l'innovation, en particulier d'évaluation des innovations et de prospective par scénarios sur l'innovation (**Chapitre 8**). Le troisième concerne les politiques d'innovation. Des propositions de politiques d'innovation sont faites en réaction aux constats faits dans la Partie II de la thèse et aux Chapitres 7 et 8. Ces propositions sont cohérentes avec le projet de développement durable, discuté à ce stade (**Chapitre 9**).

Cette troisième partie se termine par la discussion des quatre hypothèses posées dans la première partie, notamment celle du choix de l'approche systémique ainsi que par une discussion critique sur la posture de recherche adoptée dans cette thèse, celle de l'interdisciplinarité. Ce dernier chapitre contient également une discussion des voies de recherche qui ont été explorées au cours de la thèse mais qui n'ont pas abouti. Il se termine en ouvrant quelques perspectives de recherche (**Chapitre 10**).

Cette thèse est bien sûr un tout. Cependant, étant donné le domaine choisi et les disciplines concernées, elle est susceptible d'intéresser des **lecteurs ayant des intérêts particuliers** :

- les pouvoirs publics
 - des différents domaines concernés par l'innovation : politique scientifique, politique agricole, économie, environnement, santé publique, etc.
 - aux différents niveaux de pouvoir : régional, national et européen
- les instances qui ont un rôle d'avis dans le processus d'innovation (par exemple, le Conseil Fédéral de Développement Durable)
- les chercheurs et institutions de recherche
- les entreprises privées
- les partis politiques
- les associations concernées par l'agriculture, l'environnement, les filières agroalimentaires ou l'innovation
- les médias
- les citoyens

Trois **parcours de lecture** sont proposés pour une éventuelle lecture différenciée par ces différents publics (Voir Figure 1 p 17):

- 1) ***Les résultats.*** Ce parcours est le 'parcours empirique', celui de l'approche systémique approfondie des liens entre innovations technologiques, filières agroalimentaires et systèmes socio-économiques. Il démarre avec les études de cas d'innovation en agriculture sur la résistance des pommiers et du froment aux maladies cryptogamiques et aboutit à l'analyse des facteurs qui influencent les innovations dans les systèmes de recherche agronomique, en passant par la comparaison des obstacles à la diffusion des variétés non-transgéniques résistantes aux maladies en verger et dans un champ de blé.
- 2) ***Choix épistémologiques et exploration de la complexité de l'innovation.*** C'est le parcours le plus 'académique'. Il démarre avec une synthèse critique des réglementations et méthodes d'évaluation des plantes transgéniques et se poursuit par l'explicitation des choix théoriques et méthodologiques. Il aboutit à la discussion des hypothèses fondant la thèse et de la posture de recherche interdisciplinaire, après avoir discuté des propositions d'améliorations des méthodes de gestion de l'innovation.
- 3) ***Du verger au Parlement, en passant par les experts.*** C'est le parcours qui fait le lien entre agronomie et politique. Il part des résultats les plus significatifs de la première étude de cas (synthétisée dans un article) pour aboutir aux apports substantiels de cette recherche pour mieux penser, choisir et gérer l'innovation. (distinction de 'voies d'innovation' en agronomie, comparaison des choix technologiques et des scénarios de développement, etc.)

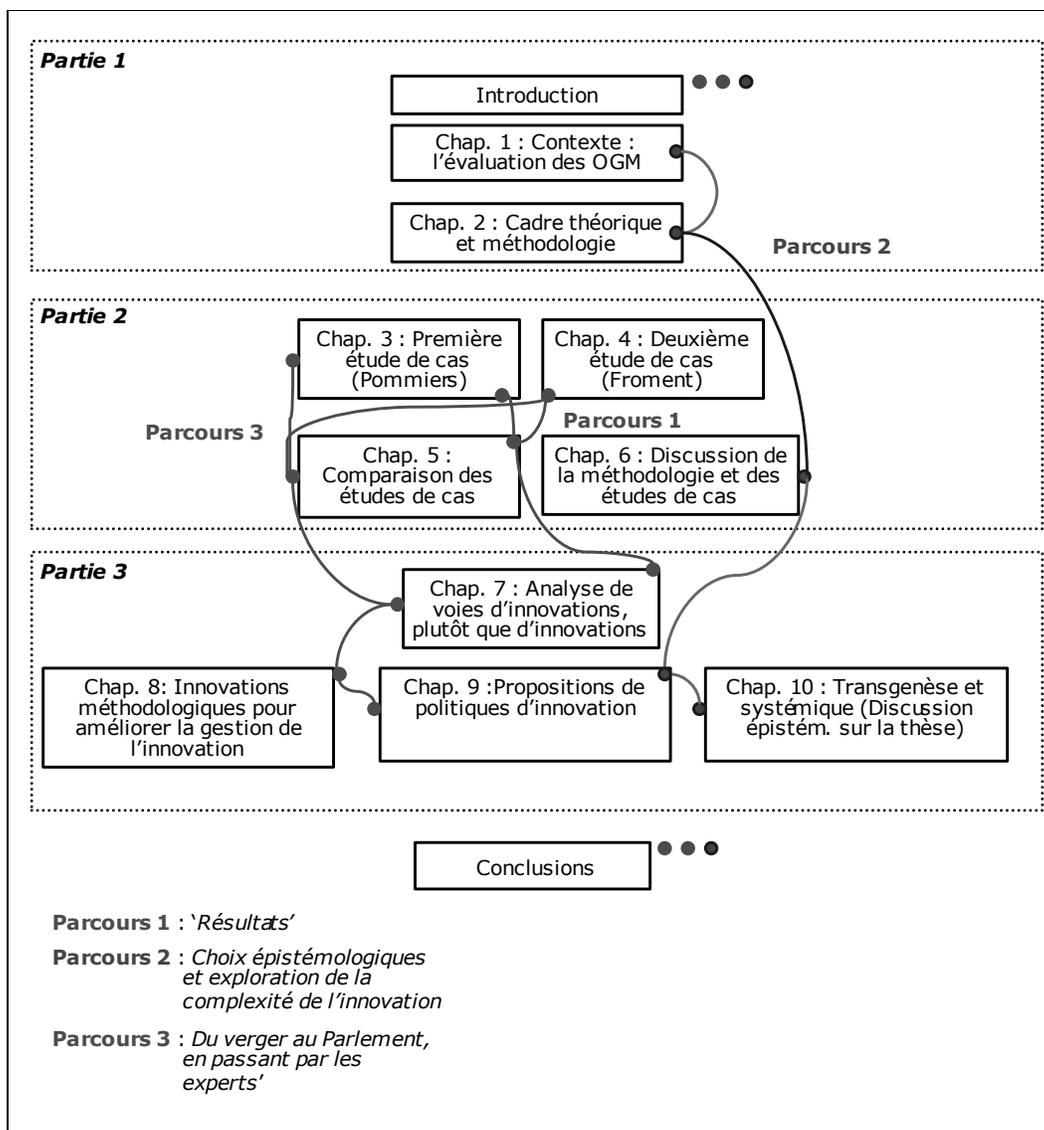


Figure 1 : Aperçu de la thèse et parcours de lecture

Voir aussi :

Les **pages d'introduction** de chaque partie et de chaque chapitre présentent les contenus de manière plus détaillée.

Un **index** en fin d'ouvrage permet au lecteur d'arriver directement aux chapitres ou sections concernant des sujets particuliers qui seront progressivement abordés dans cette thèse (déterminants d'innovation, *lock-in*, mélanges variétaux, etc) (p 517).

La **Figure 13 : Progression du travail de développement méthodologique** schématise le développement méthodologique depuis le Chapitre 1 jusqu'aux propositions méthodologiques faites au Chapitre 8 et 10 (p 358).

Les **Figures 14 et 15** schématisent le cheminement depuis les constats faits dans les études de cas jusqu'aux propositions de politiques d'innovation (pp 406 et 407).

PARTIE I
L'EVALUATION DES INNOVATIONS
ET L'APPROCHE SYSTEMIQUE

Analysis means taking something apart in order to understand it;

Systems thinking means putting it into the context of a larger whole.

Fritjof Capra

The Web of Life: A New Scientific Understanding of Living Systems (1986)

Chapitre 1 : L'évaluation des innovations scientifiques et technologiques, une controverse publique et scientifique

« On pensait avoir raison et on pensait avoir raison pour la société. On était convaincu que l'on avait là des solutions pour la faim dans le monde (...) et on était tellement persuadé de notre vision qu'on n'a pas su écouter le public. On pensait que, finalement, ce qui se passait là n'était que les frottements qui ne remettent pas en cause la loi de la gravitation »

Robert Shapiro, Ex-PDG de Monsanto
Conférence organisée à Londres par Greenpeace, 1999

Ce premier chapitre retrace le double contexte, socio-politique et scientifique, de l'évaluation des plantes transgéniques, qui est le point de départ de cette thèse.

Le chapitre démarre par une synthèse de l'évolution qui a abouti à la situation actuelle en matière d'évaluation des plantes transgéniques, trente quatre ans après les premières manipulations génétiques de Cohen et Boyer. Cette synthèse se limite aux développements scientifiques et institutionnels les plus importants (**Section 1**). Les différentes méthodes d'évaluation des technologies et de leurs risques sont ensuite présentées. Les avantages et inconvénients des deux grandes familles de méthodes (analytiques et participatives) sont discutés (**Section 2**). Ceci permet ensuite de présenter le mode officiel d'évaluation des plantes transgéniques en Belgique, dont le point de départ est la directive européenne 2001/18, cadre réglementaire contraignant pour l'évaluation des plantes transgéniques dans toute l'Union Européenne (**Section 3**). Les principales critiques qui ont été adressées à cette évaluation réglementaire sont ensuite discutées une à une. Leur synthèse démontre la nécessité de la poursuite du travail d'amélioration de l'évaluation des plantes transgéniques (**Section 4**). Ce chapitre introductif se conclut par une analyse critique qui replace l'évaluation des plantes transgéniques dans un contexte socio-politique plus large. Plusieurs exemples de tentatives d'élargir l'évaluation des plantes transgéniques, dont un épisode belge récent, permettent de bien situer l'enjeu que représente cette évaluation (**Section 5**). Cette dernière section situe clairement la thèse par rapport au contexte scientifique et socio-politique.

1. Un quart de siècle de co-évolution entre innovations et réglementations

Retracer la genèse de la gestion publique des OGM depuis les premières manipulations génétiques sur des bactéries est un sujet de thèse en soi. Cette section est une brève synthèse des développements les plus importants, basée sur des publications traitant amplement de cette question (Roy, 2001; Kempf, 2003; Jasanoff, 2005). L'objectif est de replacer dans leur contexte historique la présentation de l'évaluation actuelle des OGM et la synthèse des critiques sur celles-ci (Sections 3 et 4).

Cette remise en contexte permet de montrer que le développement des innovations technologiques nécessite et provoque des innovations institutionnelles, le tout étant un processus co-évolutif, influencé également par les évolutions culturelles et socio-politiques. La synthèse accorde une plus grande importance au contexte socio-politique européen.

Les plus importants développements scientifiques, technologiques, commerciaux, socio-politiques et institutionnels sont synthétisés dans la Figure 3 (p 30).

En Europe, le cadre formel de réglementation sur les OGM (la directive 90/210) est arrivé sept ans après les premières plantes transgéniques et dix-sept ans après les premières expérimentations d'ADN recombinant (les expériences de Cohen et Boyer sur des bactéries en 1973).

Découvertes scientifiques et autorégulation

Aux débuts du génie génétique (durant les années 70), la communauté scientifique s'est en effet auto-régulée. Cette auto-régulation s'est faite en deux temps.

Les premières manipulations génétiques en 1973, ouvrant la voie du génie génétique, ont rapidement entraîné une prise de conscience de la possibilité de risques, qui a provoqué la décision d'un moratoire d'une année sur certaines expérimentations, entre 1974 et 1975. La communauté scientifique des biochimistes et biologistes moléculaires s'est réunie à Asilomar (USA) en 1975 pour définir les conditions d'une reprise des recherches. La conférence d'Asilomar a abouti à un ensemble de principes et de règles de conduite pour une utilisation responsable et sûre du génie génétique. Ceux-ci ont donc été définis par cette communauté scientifique très restreinte (140 scientifiques présents) mais se voulant responsable.

Dans un deuxième temps, les scientifiques et industriels menant des projets de génie génétique ont collaboré avec les experts et fonctionnaires des organismes publics liés aux sciences et technologies pour définir progressivement un ensemble de normes, généralement appliquées par les scientifiques et industriels avant qu'elles n'aient force de loi. L'objectif reste toujours le développement de règles responsables mais non contraignantes par une communauté partageant des objectifs et une vision de la science et craignant qu'une absence d'autorégulation entraîne une régulation publique.

Jusqu'à ce que le génie génétique devienne l'objet d'une intense controverse publique au milieu des années 90, les réglementations liées aux OGM se sont construites de cette manière dans de nombreux pays. C'est le cas en Belgique, où une équipe de

scientifiques de l'Institut Scientifique de Santé Publique constitue un groupe informel qui se réunit dès 1990 et n'est formellement reconnu comme « Section de Biosécurité et Biotechnologie » qu'en 1996 (Moens, 2004). En France, les développeurs d'OGM consultent systématiquement la Commission du Génie Biomoléculaire (qui recommande des mesures en cas de risques liés aux disséminations d'OGM) dès sa création en 1986, alors que la consultation de cette commission est facultative jusqu'à une loi de 1992 (Chevassus-au-Louis, 2002).

Ce mode de construction de la réglementation va garantir l'application implicite d'un principe qui ne peut être mieux synthétisé que par l'expression « *d'encadrer sans entraver* », que l'on doit à Alexis Roy (Roy, 2001). Roy, analysant la construction progressive des réglementations publiques et le fonctionnement de l'expertise au sein de la Commission du Génie Biomoléculaire française, conclut « *qu'il s'agit pour les instances de contrôle d'accompagner la progression du processus d'innovation à travers ses différentes étapes de développement* ».

Aux Etats-Unis, les développements institutionnels sont plus contrastés : seize propositions de loi visant à réglementer la recherche sur l'ADN recombinant sont introduites sans succès au Congrès, face à l'opposition des scientifiques et industriels (1977).

Il faut rappeler qu'au début des années 80, les biotechnologies -dont le génie génétique- sont vues comme une des deux plus importantes voies d'innovations tous domaines confondus, avec l'informatique. Les découvertes scientifiques de l'ADN recombinant alimentent d'ambitieux rêves, par exemple ceux de créer des plantes résistantes à la sécheresse ou capables de produire leurs propres engrais (en transférant aux céréales les gènes dotant les plantes légumineuses de la capacité de capter l'azote atmosphérique). C'est la perspective de l' 'or vert', particulièrement attractif après les deux chocs pétroliers des années 70 et des crises environnementales (par exemple la pollution liée aux pesticides chimiques).

En 1986, l'OCDE publie le '*Livre Bleu*', un rapport sur l'évaluation des OGM qui aura une influence prépondérante sur l'évolution de la réglementation (OECD, 1986). L'OCDE a commencé à travailler sur le domaine des biotechnologies depuis 1983, dans une volonté d'harmoniser les réglementations nationales en la matière et d'influencer celles-ci par les principes sous-tendant la réglementation américaine. Le Livre Bleu insiste sur le fait qu'il n'y a aucune justification scientifique à l'adoption d'une législation visant spécifiquement les organismes à ADN recombiné, posant comme principes fondamentaux que les risques posés par ces organismes seraient de même nature que ceux présentés par des organismes classiques ; et qu'en cas de combinaison de caractères non observée dans la nature, la prévisibilité intrinsèque aux techniques d'ADN recombiné est plus grande que celle des méthodes classiques de modification des organismes. C'est donc la précision de la technologie qui est mise en avant plus que les risques de ses applications. Le Livre Bleu met en avant plusieurs principes pour la réglementation des OGM, dont deux sont essentiels. Il s'agit d'une part de l'évaluation 'au cas par cas' et d'autre part de l'évaluation 'étapes par étapes'. Le principe du 'cas par cas' stipule qu'on n'évalue pas la technologie de la transgénèse mais bien ses applications, et que celles-ci doivent être évaluées chacune séparément. D'autre part, l'évaluation doit se faire 'étape par étape' : l'expérimentation d'OGM se fait d'abord en environnement confiné (laboratoire) avant d'être élargie à l'environnement extérieur (champs d'essais puis commercialisation). L'évaluation de chaque étape repose sur les connaissances acquises lors de l'évaluation de l'étape précédente. La procédure par

étapes permet donc un apprentissage progressif de l'innovation et de ses risques éventuels.

L'OCDE fera également la promotion du principe d'«*équivalence en substance*», issu de la réglementation américaine. Celui-ci stipule que l'évaluation des risques des OGM doit se faire sur base d'une comparaison avec l'organisme vivant conventionnel le plus proche de l'organisme génétiquement modifié (la plante-hôte non modifiée qui a été utilisée pour y insérer un transgène). Si un organisme peut être prouvé «*équivalent en substance*» (en termes de quantités de protéines, sucres, acides gras, ...) à son équivalent non génétiquement modifié, alors il n'y a pas lieu de lui appliquer de réglementations spécifiques. Ce principe, déjà présent dans le Livre Bleu, est défini plus tard (OECD, 1993).

Les principes de l'OCDE influencent la construction de la réglementation européenne sans toutefois être appliqués de manière complète. L'Europe choisit en effet d'adopter une réglementation spécifique sur les OGM, au contraire des Etats-Unis. Deux directives réglementant les OGM sont adoptées en 1990 (les Directives 90/219 et 90/210). Elles réglementent d'une part l'usage confiné des OGM et d'autre part les disséminations volontaires d'OGM dans l'environnement à des fins d'expérimentation ou de commercialisation.

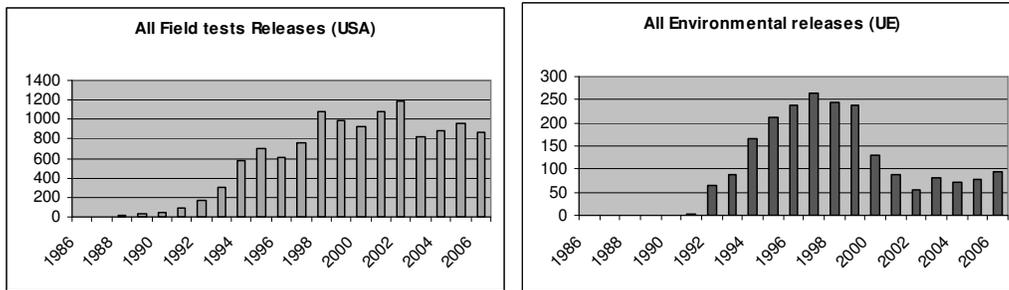
Les développements technologiques liés au génie génétique entraînent donc la définition de nouvelles réglementations, volontaires puis institutionnalisées. Le mouvement inverse se produit également : les réglementations influencent les développements technologiques.

Des laboratoires aux marchés financiers, en passant par les essais en champs

L'exemple le plus spectaculaire de ce mouvement inverse se produit en 1980. Alors que le Bureau des Brevets américain refusait d'octroyer un brevet sur une bactérie modifiée depuis 1971, la Cour Suprême américaine prend une décision dans l'affaire *Diamond vs. Chakrabarty* qui autorise le brevetage de micro-organismes modifiés par l'homme. Cette décision, qui sera par la suite élargie aux plantes, est l'événement déclencheur d'une vague d'investissements majeurs dans les biotechnologies. Des start-ups biotechnologiques lèvent des fonds sur les marchés de capitaux, les multinationales de l'agro-chimie décident de lancer d'importants projets de recherche et développement dans ce domaine et une «*course aux gènes*» est entamée. La possibilité de breveter des gènes et des organismes modifiés est la décision -l'innovation institutionnelle- qui garantit la sécurité des investissements dans le génie génétique et permet de facto le développement des innovations technologiques basées sur celui-ci.

Par ailleurs, les pouvoirs publics soutiennent le génie génétique. En Europe, le premier programme de recherche spécifique aux biotechnologies et au génie génétique -le *Biotechnology Engineering Program*- est lancé en 1982.

Le développement des plantes transgéniques passe également à l'étape des champs d'essais. Aux Etats-Unis, plus de 100 expérimentations en plein champ sont réalisées chaque année dès 1991 (Information Systems for Biotechnology, 2006). Dès 1998, il y en aura plus de mille chaque année. En Europe, les demandes officielles pour les expérimentations en plein champ atteignent leur maximum en 1997, avec plus de 250 autorisations (Voir Figures 2a et 2b ci-dessous).



Figures 2 a et b : Développement des essais de plantes transgéniques (Etats-Unis et Europe)

Légende : calculs établis à partir des bases de données de demandes officielles pour les champs d'essais expérimentaux en Europe (Joint Research Centre, 2007) et aux Etats-Unis (Information Systems for Biotechnology (ISB), 2006), février 2007¹.

La commercialisation des premières plantes transgéniques, des tomates modifiées pour avoir une durée de conservation plus longue, en 1994, est un échec. Le projet est abandonné.

C'est avec des cultures agricoles de base (*commodities*) que la commercialisation à très large échelle des premières plantes transgéniques démarre, en 1996, aux Etats-Unis. Elle rencontre tout de suite le succès, avec une superficie de 1.7 million d'hectares plantées avec des semences transgéniques en 1996 et 11 millions en 1998. Les premières plantes transgéniques concernent seulement quatre cultures (soja, maïs, coton, et colza) et deux phénotypes modifiés : la tolérance à l'herbicide total Roundup (plantes Roundup-Ready, en abrégé *RR*) et la résistance aux insectes par l'intégration d'un transgène codant pour une toxine à propriété insecticide (plantes *Bt*). Ces premières plantes sont idéalement adaptées aux grandes exploitations agricoles américaines. Elles permettent essentiellement une diminution du nombre de passages en champs, donc un moindre besoin de main d'œuvre, facteur clé pour des exploitants agricoles pressés d'agrandir leurs exploitations agricoles pour compenser la baisse des prix des produits agricoles. Les nouvelles semences transgéniques permettent donc de gérer une superficie plus grande avec la même main d'œuvre.

Au niveau financier, un vaste mouvement de fusions et acquisitions s'opère dans les secteurs agrochimiques, semenciers et biotechnologiques. L'utilisation de la transgénèse, qui permet de rendre des plantes résistantes à des herbicides, ou de faire produire par des plantes leurs propres insecticides à doses efficaces, entraîne des fusions qui permettent un développement complètement intégré de ces premières plantes transgéniques. Monsanto achète par exemple pour 7 milliards de dollars d'autres entreprises (semencières et start-ups) entre 1995 et 1998.

¹ **Remarque :** 1) les échelles des deux figures sont différentes 2) Un dossier officiel d'autorisation implique parfois plusieurs essais : les nombres de dossiers sont donc relatifs. 3) Les réglementations européennes et nord-américaines sont différentes ('Environmental releases of GMOs' des statistiques européennes et les 'Field Test Permits' américains). Une grande différence entre les deux est par exemple que certains types de plantes transgéniques sont 'dérégulés' aux Etats-Unis (dans le cas où ces plantes sont estimées ne pas poser de risques, par exemple quand un grand nombre d'essais ont déjà été réalisés sur celles-ci). La comparaison n'est donc pas aussi simple que ce que le graphe peut laisser supposer. Les Etats-Unis sont cependant bien en avance sur le développement de la technologie.

Pourtant, au niveau européen, le vent tourne complètement pour les OGM dès 1996. Dans un contexte modifié par la crise de la vache folle qui s'est déclarée au printemps, les premiers cargos contenant entre autres du soya transgénique débarquent dans les ports européens à l'automne 1996. Greenpeace lance à cette occasion une campagne médiatique sur le droit des consommateurs à connaître le contenu de leur alimentation. La sécurité alimentaire est devenue une question essentielle, et la campagne rencontre un vif succès alors que les OGM entrent sans heurts dans les filières agroalimentaires aux Etats-Unis. Des firmes agroalimentaires et des distributeurs européens s'engagent, sous la pression de Greenpeace, à ne pas utiliser d'OGM dans leurs produits. En 1997, les premiers fauchages de champs transgéniques sont organisés par la Confédération Paysanne. L'entreprise Monsanto, qui traîne par ailleurs derrière elle son passé de producteur de l'Agent Orange, défoliant utilisé au Vietnam durant les années 70, tente de se convaincre de l'intérêt des OGM et de promouvoir une image d'entreprise responsable en lançant une large campagne de publicité, qui sera en fait contre-productive car très mal perçue. Les médias se sont entretemps emparés de la controverse : les OGM sont devenus un objet médiatique, qui oscille entre couverture des possibilités technologiques et risques pour la santé et l'environnement.

Controverse internationale et moratoire européen

En 1999, la controverse s'internationalise. Les citoyens américains, qui jusque là ignoraient presque la question, découvrent que les OGM auraient des effets néfastes sur le Monarque, un magnifique papillon migrateur, icône de la faune sauvage dans ce pays. L'annonce par la firme Delta Pine Land de la découverte du moyen de produire des plantes transgéniques dont les semences sont stériles met le feu aux poudres. Cette nouvelle innovation technologique est rapidement nommée *Terminator* et entraîne un ralliement des ONG de développement à la campagne anti-OGM. L'annonce de cette possibilité que les paysans du Sud ne puissent plus replanter chaque année une partie de leur récolte de l'année précédente porte un coup important au génie génétique, qui avait été promu depuis ses débuts sur l'espoir de résoudre la question de la faim dans le monde.

Les décisions unilatérales de plusieurs Etats européens de mettre un moratoire sur les plantes transgéniques aboutissent à une décision collective, en 1999, de mettre fin à toute nouvelle autorisation de commercialisation d'OGM dans l'attente d'un cadre réglementaire garantissant l'étiquetage et la traçabilité des OGM ainsi que des produits qui en sont dérivés. Le moratoire vaut uniquement pour les autorisations de commercialisation et non pas pour les essais en champs, qui continuent mais à un rythme beaucoup moins soutenu, le minimum étant atteint en 2002 avec seulement une cinquantaine d'autorisations d'essais.

Au niveau international, le Sommet de la Terre à Rio de Janeiro, en 1992, a abouti à deux conventions, dont la Convention sur la Diversité Biologique (l'autre étant la Convention sur les Changements Climatiques). Des négociations internationales relatives aux risques posés par les mouvements internationaux d'OGM sur la biodiversité sont initiées dans le cadre de cette convention. Elles aboutissent en 2000 à la signature du Protocole de Carthagène sur la prévention des risques biotechnologiques (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2000). Ce protocole est le premier instrument légal international qui traite spécifiquement de la sécurité sanitaire et environnementale liée à l'utilisation des OGM. Il a pour objectif de garantir la sécurité lors du transport, de la manipulation et de l'utilisation d'OGM susceptibles de

présenter des effets défavorables sur la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique. Il autorise un pays à restreindre les mouvements d'OGM dans des conditions très précises. C'est une première, la circulation des biens et services étant jusque là régulée principalement par l'OMC. Ces deux formes de droit international (biodiversité et liberté de commerce international) continuent à coexister.

Au niveau européen, la Commission et le Parlement adoptent plusieurs nouvelles réglementations afin de débloquer le moratoire de fait. La première est la Directive 2001/18, qui abroge la directive 90/210 et apporte plusieurs changements à l'évaluation des risques, reconnaissant ainsi le caractère incomplet de la réglementation initiale. Les principaux changements sont la prise en compte de l'ampleur de l'utilisation prévue, de l'environnement récepteur potentiel et des effets indirects (sur la santé humaine et l'environnement) provenant des changements de pratiques agricoles liés à l'utilisation de plantes transgéniques. C'est le système agricole utilisant des plantes transgéniques lui-même qui est évalué. On est donc loin du concept d'équivalence en substance justifiant la seule comparaison d'une plante transgénique (mixée dans une éprouvette) avec une plante similaire non-transgénique (voir aussi p 44).

Cette évolution de l'évaluation des risques est significative. Le concept d'équivalence en substance a en fait été progressivement critiqué du fait qu'il niait la complexité des interactions dans le monde vivant, qui ne peuvent se réduire à la seule comparaison de substances (Millstone et al., 1999). Pour ce qui concerne l'évaluation des risques indirects sur l'environnement, l'étalon de comparaison de l'évaluation des risques environnementaux devient « *l'environnement dans lequel l'OGM va être disséminé* », c'est à dire l'agriculture conventionnelle (European Commission, 2004a).

Deux autres réglementations européennes essentielles sont celle sur l'étiquetage et la traçabilité des produits issus d'OGM pour l'alimentation humaine (règlements 1830/2003), et celle concernant les aliments destinés au bétail (règlement 1829/2003). D'autres réglementations viennent s'ajouter à celles-ci : elles prévoient entre autres l'obligation d'un monitoring post-récolte et l'obligation d'une information vis-à-vis du public. La Commission Européenne propose aussi des lignes directrices non contraignantes concernant la coexistence des cultures transgéniques, conventionnelles et biologiques (Recommandation de la Commission 2003/556/EC). (Remarque : Les principales réglementations internationales et européennes en matière d'OGM sont synthétisées dans l'Annexe I de cette thèse.)

On observe également, parallèlement aux nouvelles réglementations, un élargissement progressif de la composition des comités d'expertise aux disciplines agronomiques et environnementales, alors que ces comités étaient traditionnellement réservés aux biologistes moléculaires et biochimistes.

Les nouvelles réglementations n'apaisent pas la controverse. En 2003, les Etats-Unis mettent finalement en application leur menace de déposer une plainte devant l'OMC, avec le Canada et l'Argentine, concernant le moratoire européen en matière d'OGM. En Europe, les fauchages illégaux de champs d'OGM se poursuivent (ils ont démarré en 1997). En 2002-2003, la question de la faim dans le monde s'invite directement dans la controverse au plus haut niveau. Le Président Bush accuse l'Europe d'empêcher la lutte contre la famine en Afrique en refusant les OGM, alors que plusieurs pays d'Afrique Australe, subissant une grave crise climatique entraînant des crises alimentaires, refusent une aide alimentaire de maïs transgénique, craignant une contamination de leurs systèmes agricoles.

La controverse est également alimentée par des rapports sur les résultats agro-économiques observés aux Etats-Unis et en Argentine par exemple (Soil Association, 2002 ; Benbrook, 2005). Les plantes *Bt* résistantes aux insectes permettraient effectivement une réduction de l'utilisation d'insecticides –de l'ordre de 5% au niveau de l'utilisation globale de pesticides aux Etats-Unis selon Benbrook (2004). Les plantes résistantes aux herbicides (Roundup-Resistant, *RR*) ne provoqueraient, elles, une diminution que durant les trois premières années, mais une augmentation de l'utilisation globale des herbicides est constatée en 2004 par Benbrook. Pour ces plantes *RR*, l'effet est surtout une modification dans l'utilisation des herbicides (le Roundup remplaçant d'abord des herbicides spécifiques, mais ne suffisant plus avec l'apparition progressive d'adventices et de repousses de cultures résistantes)

Expansion des cultures et des résistances

La levée du moratoire européen est devenue politiquement possible avec l'ensemble des nouvelles réglementations. Elle est concrétisée par l'autorisation de commercialisation du maïs doux *Bt11* délivrée le 19 mai 2004 par la Commission Européenne.

Sur le plan scientifique, la recherche s'est poursuivie en Europe malgré le moratoire, tant dans certaines institutions publiques que par les industries. Plus de 2000 autorisations pour des essais de plantes transgéniques ont été délivrées en Europe depuis 1991. Le rythme de ceux-ci a repris en Europe depuis la fin du moratoire, avec plus de 125 demandes d'autorisations en 2006 par exemple (Joint Research Centre, 2007). Une partie des industries a cependant délocalisé les activités de R&D aux Etats-Unis ou choisi de se concentrer sur d'autres continents. Une nette diminution des demandes d'essais est observée. Aux Etats-Unis, plus de 12 000 dossiers d'expérimentations en champs ont été faites depuis 1986.

Malgré -ou à cause de- la fin du moratoire, un mouvement 'Zones sans OGM' est lancé, rassemblant un grand nombre d'entités locales en Europe. En 2006, la deuxième conférence 'Régions sans OGM' rassemble 160 Régions européennes qui aspirent à une poursuite du moratoire à leur niveau, déclarent refuser les OGM sur leur territoire et démarrent une réflexion sur un avenir sans OGM. L'ambiguïté de la prise de décision européenne en matière d'OGM n'est pas extérieure à ces résistances régionales. Au niveau du Conseil des Ministres, il faut une majorité pour l'autorisation des demandes de commercialisation, mais une unanimité pour leur refus. En l'absence quasi systématique d'une majorité tant en faveur de l'autorisation que d'une unanimité en faveur d'un refus, c'est la Commission qui tranche, toujours en faveur des autorisations. Ce mode de décision est ressenti comme faiblement légitime voire même franchement anti-démocratique. Il alimente les contre-pouvoirs et les décisions régionales.

En 2007, les OGM n'ont quasi pas pénétré dans les systèmes agricoles européens. La commercialisation des OGM reste confinée essentiellement à l'Espagne (60.000 hectares) -qui cultivait du maïs *Bt* déjà avant le moratoire- et à quelques projets restreints (8500 hectares) en France, Allemagne, République Tchèque, Roumanie et Portugal. C'est essentiellement en Amérique du Nord, en Amérique du Sud, en Chine, en Inde et en Afrique du Sud que les plantes transgéniques se développent.

La controverse, elle, continue, avec plusieurs annonces en janvier 2007 : d'une part celle de l'ISAAA, une association de promotion des biotechnologies végétales, affirmant que les plantes transgéniques couvriraient une surface de plus de 100 millions d'hectares au niveau mondial dans 22 pays (James, 2007), un chiffre immédiatement

dénoncé comme exagéré par l'Institute for Science in Society, une association critique sur le génie génétique (ISIS, 2007), et d'autre part celle des Amis de la Terre, qui documente un bilan très critique des dix premières années des OGM au niveau mondial (Friends of the Earth Europe, 2007).

Enfin, la 'seconde génération' de plantes transgéniques continue à se faire attendre plus de dix ans après le lancement de la première génération. L'industrie des biotechnologies annonce des plantes résistantes à la sécheresse pour 2010 et prévoit que la seconde décennie de plantes transgéniques (2006-2015) sera composée d'une part par la croissance des surfaces plantées en Asie et d'autre part par le développement commercial de plantes modifiées soit pour leur qualité nutritionnelle (plantes enrichies en oméga 3 par exemple) soit pour une production efficace d'énergies vertes comme le bioéthanol (James, 2007).

Dans les laboratoires et les champs d'essais, les expérimentations concernent en effet une large gamme de phénotypes modifiés (résistances aux maladies, modification du contenu nutritionnel, etc). Cependant, au niveau commercial, seuls quelques projets restreints concernent d'autres phénotypes que les plantes *RR* et *Bt* (une papaye résistante à un virus à Hawaï par exemple). Depuis 1996, le développement commercial du génie génétique s'est surtout fait par diffusion de plantes combinant les deux propriétés *RR* et *Bt* et par expansion de la surface cultivée en plantes transgéniques.

En 2007, plus de 99% de cette superficie continue à ne concerner que des plantes *RR* ou *Bt*. La culture de plantes transgéniques reste également restreinte aux quatre cultures initiales : le soja, le maïs, le coton et le colza.

<i>Dév. scientif., technol, indu. et commerciaux</i>	<i>Développements socio-culturels et socio-politiques</i>	<i>Développements institutionnels (Accent mis sur l'Europe)</i>
1973 Première manipulation génétique d'une bactérie (Cohen et Boyer) 1975	1970s Préoccupations environnementales croissantes, premières prises en compte de la question énergétique	1974 Moratoire volontaire des biologistes moléculaires et biochimistes sur certaines expériences de recombinaison d'ADN 1975 Conférence d'Asilomar 1975 Commission de classement et de contrôle des expériences de génie génétique (France)
1980s Investissements majeurs dans les start-ups biotech & Couise aux brevets (Monde) 1980 1982 1 ^{er} progr. de recherche spécifique européen (UE) 1983 1 ^{er} tabac transgénique (Bel & USA)	1980s Les biotechnologies (dont le génie génétique) sont vues comme une des deux plus importantes voies d'innovation, avec l'informatique. 1980 Présidence de Ronald Reagan : influence sur réglementation, assouplissement des principes de sécurité, enregistrement 'volontaire' des recherches par les entreprises (USA)	1980 Décision de la Cour Suprême autorisant le brevetage de micro-organismes (USA) 1982 Recommandation du Conseil sur l'enregistrement des travaux portant sur l'ADN recombinant (UE) 1983 Création du comité pour la science et la technologie (OCDE) 1986 Publication du « Livre Bleu » 1986 Création de la Commission du génie Biomoléculaire (France)
1986 1 ^{er} essai en champ (USA) 1987 1 ^{er} tabac Bt (Belgique) 1990	1992 Première autorisation de commercialisation	1990 Directives 90/219 et 90/210 réglementant l'expérimentation et la commercialisation des OGM (UE) 1993 Définition du concept d'équivalence en substance (OCDE)
1996 Première saison de culture à large échelle : 1.7 million d'hectares (USA) 1996 Commercialisation d'une purée de tomates transgéniques (UK) 1996 Première demande de mise sur le marché en Belgique 1995-1998 Mouvements de fusions-acquisitions dans le secteur de l'agrochimie et des biotechnologies	1996 Crise de la vache folle (UE) 1996 Arrivée du premier cargo de soja transgénique et première campagne OGM de Greenpeace (Europe) 1996 Des firmes agro-alimentaires et distributeurs annoncent qu'elles n'utilisent pas d'OGM (Europe) 1997 Les OGM deviennent un objet médiatique (Europe) ; Premiers fauchages de champs (France) 1999 Controverse OGM internationalisée ('Terminator', papillon Monarque, ...)	1996 Création formelle de la Section de Biosécurité et Biotechnologie (SBB) (Belgique) 1998 Directive 98/44 sur la protection juridique des inventions biotechnologiques (UE) 1998 Directive 98/95 réglementant l'inscription des variétés végétales génétiquement modifiées dans le catalogue variétal 1999 Adoption d'un moratoire de fait sur les OGM jusqu'en 2004 (UE)
2000 45 millions d'hectares de plantes transgéniques (Monde) 2000	2000s Poursuite de la controverse internationale (présence de maïs transgénique au Mexique, berceau originel de cette plante, ...)	2000 Protocole de Carthagène sur la prévention des risques biotechnologiques 2001 Directive 2001/18 abrogeant la directive 90/210, avec élargissement de l'évaluation du risque (UE) 2003 Plainte contre l'Union Européenne concernant le moratoire en matière d'OGM (OMC)
2005 Plus de 12000 essais expérimentaux réalisés depuis 1986 (USA) 2005	2002 Le président Bush accuse l'Europe de compromettre la lutte contre la famine en Afrique en refusant les OGM. Le Zimbabwe refuse une aide alimentaire américaine car elle contient du maïs transgénique 2003 Panel de citoyens sur les OGM (Belgique)	2003 Ensemble de réglementations sur la traçabilité, l'étiquetage, le monitoring des cultures, et lignes directrices pour la coexistence des cultures 2003 Tentative d'évaluation des aspects éthiques et socio-économiques des OGM (Belgique) 2005 Transposition de la directive 2001/18 (Belgique)
2007 100 millions d'hectares plantés (Monde)	2006 160 Régions forment le « Réseau européen des Régions sans OGM » (Europe)	2006 Décret sur la coexistence des cultures (Région Wallonne)

Figure 3 : Ligne du temps des plus importants développements scientifiques, technologiques, commerciaux, socio-politiques et institutionnels

2. Les méthodes d'évaluation des innovations technologiques

L'évaluation des plantes transgéniques et de leurs risques a été et reste un point important dans la controverse. Le développement de méthodes d'évaluation des technologies et des risques (*technology assessment* et *risk assessment*) a débuté bien avant celui des OGM² : ces méthodes s'appliquent aux innovations technologiques en général. Ce domaine de recherche a cependant été amplement utilisé du fait de l'importance du développement des OGM, de la controverse qu'ils ont suscitée et de la nature des risques posés (risques diffus, différés, incertains et irréversibles).

Cette thèse n'utilise aucune de ces méthodes en particulier, mais développe une approche systémique (Voir p 80). La présentation et la discussion de ces méthodes sert donc principalement à exposer ce qui existe, ce qui est principalement utilisé dans le cas des OGM et les avantages et inconvénients des principaux types de méthodes. Cette discussion permettra de montrer l'utilité de poursuivre l'exploration et l'amélioration de méthodes d'évaluation des innovations technologiques.

Un modèle d'évaluation des risques en trois étapes, proposé par l'Académie des Sciences des Etats-Unis en 1982, communément accepté par les scientifiques, est consacré dans la législation européenne (Mahieu, 2006). L'évaluation des risques est la première étape (elle inclut l'identification des dangers, la mesure des probabilités d'exposition de la population, etc). Elle précède la gestion du risque et la communication sur le risque. Certains considèrent par ailleurs que l'analyse du risque (*risk analysis*) comprend une étape scientifique et une étape politique : l'étape scientifique est l'évaluation du risque –un processus hautement formalisé et réalisé par des experts scientifiques- mais l'analyse du risque y inclut des éléments de politique publique et le met dans son contexte économique, social et culturel, ce qui en fait donc un processus analytique-délibératif (Auberson-Huang, 2002)³.

Les méthodes d'évaluation sont des méthodes analytiques ('normatives' ou 'scientifiques' au sens communément accepté du terme) ou des méthodes participatives ('délibératives'). La plupart des méthodologies peuvent être aisément classifiées selon cette dichotomie. A côté de ces deux grands types, il y a des méthodes 'expertes' stratégiques et prospectives (elles sont essentiellement analytiques et sont discutées dans la section qui s'y rapporte) et des méthodes d'évaluation éthique (qui sont présentées avec les méthodes participatives).

Remarques :

² L'évaluation des technologies (*technology assessment*) est l'étude et l'évaluation des nouvelles technologies, elle est par nature interdisciplinaire et tournée vers le futur. L'évaluation du risque (*risk assessment*) est le processus de la quantification de la probabilité d'un effet nuisible.

³ Remarque : Il y a un aspect réducteur à évoquer les méthodes d'évaluation des technologies sous la seule dichotomie des méthodes analytiques et délibératives. Les méthodes des deux types ont également des points en commun. Les méthodes des deux types sont sujettes à des impératifs normatifs, substantiels et instrumentaux. Organisées par des institutions publiques, elles sont toutes influencées par des procédures, par leur environnement, par les comportements stratégiques et les relations de pouvoir (Voir Stirling (2004) pour un brillant exposé à ce sujet). La distinction est cependant structurante et utile.

- Seules les méthodes qui ont été appliquées aux plantes transgéniques sont prises en compte.
- Ce sont uniquement les méthodes et le type de résultats qu'elles produisent qui sont présentés et discutés ici, et non les résultats concrets des études.

Le Tableau 1 synthétise ces différentes méthodes. Celles-ci sont présentées et discutées dans les deux sous-sections suivantes.

Tableau 1 : Méthodes analytiques et participatives d'évaluation des technologies et innovations

Type	Méthodes
METHODES ANALYTIQUES (normatives)	Evaluation du risque de biosécurité Evaluation des risques (ou impacts) environnementaux Evaluation agronomique Analyse coûts-bénéfices, Analyses de surplus et Modélisation économique Evaluation des impacts sociaux Analyse ' Sustainable Livelihoods Framework'
METHODES PARTICIPATIVES (délibératives)	Conférences (panels) de citoyens (de consensus) Focus groups Analyse multicritères 'Multi-criteria Mapping Analysis' Evaluation technologique interactive ou constructive
METHODES EXPERTES	Matrice éthique Evaluation environnementale stratégique Prospective technologique Analyse de scénarios

A. Méthodes analytiques

Les méthodes analytiques, bien que visant souvent plusieurs objectifs, peuvent être classées en trois sous-groupes : celles qui visent les risques environnementaux et de santé en particulier, celles qui ont une perspective agronomique et celles qui sont principalement économétriques.

Les **analyses des risques environnementaux** et de toxicité sont les plus courantes –car liées aux procédures réglementaires publiques- sont les évaluations du risque de biosécurité (Cockburn, 2002) et les *environmental risk assessment* (ERA), un type d'évaluation qui appartient à la catégorie générale des *environmental impact assessment* (EIA). Il n'y a pas une méthode générale applicable dans tous les cas : les méthodes sont plutôt des procédures pour intégrer les informations émanant d'un grand nombre d'expérimentations en laboratoires, en serres ou en champs d'essais⁴. Les ERA et EIA se concentrent sur quatre types de dangers potentiels dans le cas des plantes transgéniques : le flux de gène et l'introgression, l'invasivité, l'écotoxicité et les effets inattendus (comme l'évolution de la résistance).

⁴ S'il est ici question de méthodes d'évaluation, il existe également une grande quantité d'articles de revue (*reviews*) qui synthétisent périodiquement les différents avantages et inconvénients des plantes transgéniques. Pour une évaluation synthétique des avantages, inconvénients et risques potentiels des plantes transgéniques, voir par exemple (de Visser et al., 2000; Wolfenbarger, 2000 ; Pretty, 2001; Clark et al., 2002; Dale et al., 2002; Wesseler, 2006;). Des articles font une revue de la littérature plus spécifique par rapport à certains types d'enjeux ou de plantes transgéniques, comme par exemple pour le maïs transgénique (Gewin, 2003) ou pour les plantes résistantes aux herbicides (Schutte, 2003).

Les *Farm Scale Evaluations (FSE)* sont l'exemple le plus connu d'essais à grande échelle analysant l'impact sur la biodiversité de cultures transgéniques comparativement à celui de cultures conventionnelles. Elles ont été menées en Grande Bretagne par un consortium de chercheurs formé pour l'occasion et pendant une durée de trois ans à partir de l'année 2000, dans le cadre du débat national « *GM Nation?* ». Ces essais concernaient trois cultures transgéniques résistantes aux herbicides : la betterave, le maïs et le colza (Perry et al., 2003). Le principal enjeu était de savoir si ces cultures transgéniques résistantes aux herbicides exacerbaient ou diminuaient l'effet néfaste des cultures conventionnelles sur l'abondance de mauvaises herbes et donc sur la faune sauvage, en particulier l'avifaune (Firbank, 2003). Pour la première fois, des expérimentations à très large échelle, sur des dizaines de sites, et sur plusieurs cultures, analysaient certains impacts environnementaux potentiels des OGM. Les FSE ont abouti à démontrer que ces effets pouvaient différer d'une culture à l'autre. La culture des betteraves et du colza transgéniques résistants aux herbicides, et leur régime herbicide associé, a pour effet une plus faible biodiversité que leurs équivalents conventionnels, au contraire du maïs résistant aux herbicides totaux qui a un moindre impact négatif que son équivalent conventionnel.

Les objectifs, conditions d'expérimentation et les lacunes des FSE ont cependant été critiqués tant par les ONG que par certaines autorités publiques (House of Commons Environmental Audit Committee, 2004). Il a en effet été démontré que les résultats étaient très sensibles à des changements futurs dans les réglementations qui n'avaient pas été pris en compte dans les réglementations. L'interdiction prévue de l'atrazine, un herbicide toxique pour les nappes phréatiques, aboutira par exemple à une réduction des avantages du maïs transgénique au niveau de la biodiversité (Perry et al., 2004). Malgré toutes les imperfections de ces essais et le caractère restreint de la portée de leurs résultats, elles ont eu un impact significatif sur le débat public en Europe. Les experts belges associés au SBB ont par exemple mené un travail d'interprétation de ces expérimentations (Conseil de Biosécurité, 2003; 2004).

Les **évaluations agronomiques ou agro-économiques** évaluent les impacts des OGM sur les pratiques agricoles (utilisation d'intrants par exemple) et sur les revenus, se rapprochant des approches économiques. Elles ont été menées pour différentes cultures, dans différents pays et de manière *ex ante* ou *ex post*. Ce type d'évaluation a été mené par des organisations agricoles liées à l'agriculture conventionnelle (Canadian Wheat Board, 2002 ; National Farmers Union, 2003), par des associations de promotion de l'agriculture biologique (Soil Association, 2002), des institutions publiques (Marra et al., 2002) ou privées (Gianessi et al., 2003) ainsi que par des chercheurs indépendants (Benbrook, 2004, 2005)⁵.

Les études sont soit des essais expérimentaux en champs, soit des études menées à partir des résultats technico-économiques des exploitations agricoles cultivant des plantes transgéniques. Dans ce dernier cas, il existe des travaux basés sur des modèles agronomiques qui tentent de reproduire au mieux la réalité, des comparaisons faites sur les résultats réels d'agriculteurs cultivant des plantes transgéniques et de ceux qui n'en cultivent pas, et des enquêtes auprès d'agriculteurs. Les principaux facteurs étudiés sont le rendement, l'utilisation de pesticides, le revenu et les facteurs qui expliquent l'adoption.

⁵ Ce type d'évaluation est souvent diffusé sous forme de rapport qui synthétise un ensemble de statistiques et d'études et pas uniquement sous forme de publications scientifiques

Bien que basées sur des résultats réels en ce qui concerne les pays où les plantes transgéniques sont déjà cultivées (il s'agit de perspectives pour les autres pays), ces études aboutissent à des résultats hétérogènes (Chevassus-au-Louis, 2002) et à des conclusions divergentes. La controverse continue, au fur et à mesure des nouvelles études, malgré les synthèses existantes des résultats scientifiques disponibles régulièrement faites par des comités scientifiques d'autorités publiques ou de sociétés scientifiques (FAO, 2004; Strategy Unit, 2003).

Les **analyses coûts-bénéfices, les analyses de surplus et la modélisation économique** sont les méthodes d'évaluation économique les plus classiques. Elles ont été appliquées pour différentes études de cas de plantes transgéniques et concernent tant les aspects micro- que macroéconomiques (Demont, 1999). Ces études sont conduites à différentes échelles : celle de l'exploitation agricole, d'une région ou d'un pays. Ces analyses sont soit de type *ex ante*, par exemple pour chiffrer l'intérêt de cultiver des betteraves transgéniques résistantes au Roundup en Angleterre (May, 2003) soit de type *ex post*, par exemple pour évaluer le bénéfice enregistré par les agriculteurs espagnols qui ont cultivé du maïs transgénique résistant *Bt* entre 1998 et 2003 (Demont and Tollens, 2004). Les modèles utilisés sont de différents types (Falck-Zepeda et al., 2000 ; Pemsil et al., 2004 ; Moschini et al., 2006). Les analyses de surplus évaluent par exemple la répartition des gains entre producteurs et semenciers (Commissariat Général au Plan, 2004; Demont and Tollens, 2004).

Un grand nombre de synthèses de ces études ont été réalisées tant dans les pays développés (PG Economics, 2004) que dans les pays en voie de développement (Marra et al., 2002 ; Mayer-Tasch, 2005). Les analyses coûts-bénéfices en termes monétaires et au niveau du champ ont été nombreuses. Au niveau macro-économique, certaines études prennent en compte des effets plus complexes tels que les impacts sur la chaîne agroalimentaire ou sur le secteur de la distribution (Commissariat Général au Plan, 2004) ou enfin les coûts de la coexistence des cultures (Bock et al., 2002).

Les analyses économiques (analyse coûts-bénéfices et modélisations économiques) sont d'efficaces outils d'aide à la décision. Elles produisent en effet des résultats quantifiés et clairs, qui peuvent être utilisés pour les éventuelles décisions sur l'adoption des cultures d'OGM. La plupart des auteurs mettent cependant en garde contre l'impossible généralisation des résultats des études actuelles qui sont spécifiques à une culture, à un pays, et basées sur quelques années de cultures (Falck-Zepeda et al., 2002). Les études existantes, en nombre limité, sont également sujettes à des interprétations contradictoires (Strategy Unit, 2003). Selon Marra (2002) ou Ervin (2001), il n'y a pas suffisamment de faits et d'études pour généraliser les quelques conclusions qu'il est possible de tirer de l'expérience nord-américaine ou d'en transposer les conclusions pour les décisions européennes : davantage d'études à long terme et à large échelle, tenant compte des coûts et bénéfices non pécuniaires, doivent être menés. On peut par ailleurs reprocher à ces approches économiques d'être focalisées sur les aspects monétisables, entre autres sur la compétitivité de l'agriculture d'un pays. Leurs résultats sont également très fragiles car fortement dépendants de facteurs macroéconomiques et socio-politiques comme la demande pour les produits issus d'OGM, les régulations publiques de ceux-ci et les différentiels de prix entre produits issus d'OGM et non-OGM. Il y a donc de nombreuses zones d'incertitudes liées à l'utilisation de ces approches (Strategy Unit, 2003). Elles ne prennent pas toujours explicitement en

compte les effets environnementaux et sur la santé humaine, ou des aspects plus larges comme la sécurité alimentaire⁶. Enfin, ces méthodes ne tiennent pas compte de la complexité des filières agricoles et des communautés rurales, des aspects socio-politiques ou socioculturels ou des capacités d'un pays à régler le développement des OGM (capacités institutionnelles, expertise, niveau de recherche et développement, ...) (OECD, 2003).

Quelques **approches qualitatives et multidisciplinaires** d'évaluation des impacts liés au changement technologique permettent une meilleure appréhension de cette complexité. L'évaluation des impacts sociaux (*social impact assessment*) tente d'analyser *ex ante* des effets tels que les gains ou les pertes de position sociale et économique, les éventuelles pertes de possessions agricoles liées à l'identité culturelle, en plus des bénéfices éventuels comme les effets positifs sur la santé d'une réduction indirecte de l'usage des pesticides. Elle a été utilisée dans des pays en voie de développement, comme dans le cas de l'introduction de maïs transgénique au Mexique (Brush and Chauvet, 2006). Elle reste cependant inutilisée dans les systèmes agricoles du Nord. L'approche « *sustainable livelihoods framework* »⁷ vise à une évaluation complète des impacts d'une technologie sur une communauté rurale, en tenant compte de ses institutions, capitaux, politiques et des liens entre ses composants (Falck-Zepeda et al., 2002). Elle n'est cependant qu'en cours d'application au domaine des plantes transgéniques.

Certaines **méthodes stratégiques** ont été appliquées à l'étude des plantes transgéniques. Seule une méthode concerne cependant leur évaluation. Linacre et al. (2006) ont suggéré une adaptation de la méthode de *strategic environmental assessment* (SEA) aux biotechnologies afin d'aider le CGIAR à définir et choisir les priorités de ses investissements de recherche. Le SEA est une méthode d'évaluation des effets environnementaux d'une politique ou d'un programme et de ses alternatives (Therivel et al., 1992). Cette approche reste cependant centrée sur les questions environnementales et de risque. Elle n'est présentée que dans les grandes lignes pour les OGM et ne semble pas encore avoir été testée sur des cas réels (Linacre et al., 2005).

Les **méthodes prospectives** seront plus amplement développées ultérieurement, étant donné les liens établis, après les études de cas, entre l'approche prospective et l'approche systémique (Voir Chapitres 8 et 9). Elles ont été utilisées pour anticiper les possibilités et problèmes de coexistence des cultures transgéniques, conventionnelles et biologiques (Strategy Unit, 2003; Bock et al., 2002) ou dans le cadre de prospective technologique pour imaginer des scénarios soit sur l'avenir des biotechnologies (Sager, 2001 ; OECD, 2006), soit sur la 'sortie de crise' de la controverse sur les OGM (Heriart and Sissard, 2004).

⁶ Sécurité alimentaire entendue au sens de *food security* (accès à l'alimentation) et de non *food safety* (hygiène).

⁷ L'approche "*sustainable livelihoods framework*" examine comment la recherche et les technologies agronomiques correspondent ou non aux stratégies de subsistance des familles et individus ayant différents types de biens et ressources (Adato and Meinzen-Dick, 2002).

B. Méthodes participatives

Les méthodes ('procédures', 'dispositifs') participatives impliquent le public dans des processus de prises de décision qui vont plus loin que la simple participation aux procédures d'élections de la démocratie représentative (Beekman, 2004). Bien que certaines procédures de ce type ont été organisées par des décideurs publics dans un but d'informer le public et de médiatiser certains enjeux, leur objectif n'est pas là. L'objectif est d'établir une procédure qui mène à une analyse d'une situation avec comme principe que « *la solution sort de la discussion* » et qu'elle ne préexistait pas car aucun individu n'avait la solution complète en elle-même. (Le Tableau 1 p 32 synthétise les différentes approches).

Tout comme les méthodes analytiques, les méthodes d'évaluation participative des technologies (*participatory/deliberative technology assessment*) existaient avant la controverse sur les plantes transgéniques. Ces méthodes ont été appliquées depuis longtemps, que cela soit avec des citoyens sur des technologies controversées ou avec des groupes d'agriculteurs pour les technologies agricoles (Bellon, 2005) ⁸.

Plusieurs types de ces dispositifs participatifs et délibératifs ont été appliqués à la question des plantes transgéniques dans différents pays à la fin des années 90. Ces dispositifs avaient des liens divers avec l'action publique et poursuivaient différents objectifs (analyse des enjeux importants pour les citoyens, production de recommandations, etc.).

Les **conférences de consensus** ou conférences citoyennes sont les dispositifs participatifs les plus utilisés. Le principe de ce dispositif est de donner une voix aux citoyens dans le processus politique en sélectionnant un panel de citoyens (12 à 15 personnes) non impliqués dans le débat et sélectionnés pour leur représentativité de la population parmi un panel plus large de personnes volontaires (Beekman, 2004). Les citoyens ont pour objectif de formuler des recommandations à l'organisation commanditaire ou aux autorités publiques, par exemple en formulant les questions qui doivent être prises en compte avant une décision publique. L'avis des citoyens ne remplace ni l'avis des experts ni les voies de la démocratie directe : il contribue à compléter l'expertise et à éclairer la décision publique. Les membres du panel (qui ont par exemple été formés durant deux week-ends), interrogent différents experts : scientifiques, décideurs publics et autres personnes ayant une connaissance pertinente sur le sujet. Ils émettent des recommandations à la fin du processus, de préférence par consensus. Un rapport final est rédigé et remis à l'autorité publique commanditaire ⁹.

Des conférences citoyennes sur les OGM ont eu lieu en Grande Bretagne, en France, en Belgique et dans d'autres pays d'Europe. La première avait eu lieu en 1987 au Danemark, pays d'origine de ces dispositifs où ils sont régulièrement organisés (Levidow, 1998). Elles démontrent la compétence des citoyens 'profanes' à évaluer des enjeux complexes, à poser des questions et effectuer des recommandations auxquelles les experts n'avaient pas pensé. Les membres du panel ont effectué un travail de

⁸ Beekman passe en revue le contexte des méthodes délibératives et éthiques (Beekman, 2004). Le World Resources Institute a publié un rapport sur l'intégration des aspects socio-économiques dans les méthodes participatives (World Resources Institute, 2005).

⁹ Le dispositif est encadré par un comité de pilotage composé des gestionnaires du processus et d'experts aux avis diversifiés voire divergents.

recadrage et de pondération des priorités de l'action publique, et démontré que les dispositifs participatifs ne reproduisent pas la division classique entre la science et la politique, entre les faits et les valeurs, mais permettent de discuter en même temps de la technique et des choix sociaux (Pour plus de détails sur la conférence citoyenne, voir (Joly et al., 2000, 2003).

Les **groupes de discussion** (*focus groups*) sont des petits groupes (6-10 personnes) animés de manière informelle par un animateur qui suscite la discussion sur un certain nombre de questions et d'enjeux. L'objectif de ce dispositif n'est pas d'aboutir à une décision ou à des recommandations, mais à une analyse des attitudes des individus par une analyse qualitative des discussions par des scientifiques des sciences sociales (ESRC, 1999). Cette méthode, qui est plus une méthode de recherche que d'évaluation mais qui a toute sa place ici, a été utilisée pour analyser la perception qu'ont les citoyens de l'utilisation des OGM. 55 groupes de discussion ont été organisés entre 1998 et 2000 dans cinq pays européens (Royaume-Uni, France, Espagne, Italie et Allemagne) (Marris et al., 2001). Cette méthode a démontré que les images que se font les décideurs publics et les scientifiques à propos des perceptions des citoyens par rapport aux OGM sont fausses : l'analyse a invalidé dix 'mythes' des décideurs et experts sur les perceptions des citoyens concernant les OGM (Marris, 2001). Cette mauvaise compréhension est analysée comme une des causes principales de l'impasse du débat sur les OGM. La méthode a permis de lister les questions que se posent les citoyens et d'évaluer le type de connaissances que les citoyens mobilisent pour argumenter leurs opinions.

Globalement, l'utilisation des focus groups (Marris, 2001) a permis une compréhension fine de l'ensemble des enjeux que les citoyens lient à la question des OGM de manière bien plus correcte et détaillée que les sondages réguliers et largement diffusés de l'Eurobaromètre, dont certains résultats sont complètement invalidés (Gaskell et al., 2002).

Deux méthodes délibératives sont plus nouvelles et originales mais également plus marginales. Ces deux dernières méthodes seront présentées et discutées de manière plus approfondie dans le Chapitre 8 étant donné que cette recherche en propose des pistes d'amélioration. Elles ne sont donc que brièvement présentées ici.

L'analyse multicritères 'cartographique' (*multicriteria mapping analysis*) (Mayer and Stirling, 2002; Stirling and Mayer, 1999) a été développée pour utiliser au mieux les atouts des méthodes analytiques et ceux des méthodes participatives. L'objectif poursuivi est de comparer différentes possibilités politiques, en tenant compte d'un large spectre de perspectives et d'expertises, et en 'cartographiant' les positions de différentes personnes et organisations dans le débat public sur une technologie controversée. Elle a été appliquée à l'évaluation des avantages et inconvénients d'un soja transgénique par rapport à d'autres possibilités technologiques pour l'agriculture. La procédure implique une douzaine de personnes ayant un rôle important dans le débat public, qui décident des critères d'évaluation, des poids respectifs de ceux-ci, et des scores qu'ils assignent au soja transgénique et aux autres scénarios pour chaque critère. La méthode permet de montrer les zones d'accords et de désaccords entre des personnes d'opinions diverses.

L'évaluation technologique interactive ou constructive (*interactive technology assessment*) a été développée aux Pays-Bas dans les années 80 (Grin et al., 1997). La première application aux plantes transgéniques n'a cependant été faite qu'en France en

2001 (Bertrand et al., 2005). Une des originalités de la méthode repose dans le choix de participants qui implique des professionnels de la filière concernés par la technologie et des citoyens profanes. La sélection privilégie la prise en compte de la plus grande diversité possible de visions du monde et aboutit à choisir des individus et non des représentants des organisations auxquelles ils appartiennent, afin d'éviter des positions 'faiblement négociables car institutionnalisées'. C'est l'Institut National de Recherche Agronomique (INRA) français qui a mandaté une équipe de sociologues pour expérimenter cette méthode suite à une forte controverse à propos d'un de ses programmes de recherche sur des vignes transgéniques. La question initiale de l'INRA concernait l'opportunité de réaliser des essais en plein champ de porte-greffes potentiellement résistants au court-noué. Le groupe de quatorze personnes s'est rencontré à cinq reprises, pour une durée totale de sept jours et a abouti à un rapport final qui a partiellement influencé l'INRA.

Les différentes méthodes varient donc d'une part sur leur fonctionnement et procédures et d'autre part en ce qui concerne le type d'acteurs qu'elles font participer et délibérer : des citoyens 'profanes' dans les focus groups et les conférences de citoyens, des professionnels impliqués par la technologie dans une filière particulière (évaluation technologique interactive) ou encore des acteurs du débat public sur les OGM (analyse multicritères cartographique) (ce qui s'approche du concept de « forum hybride » (Callon et al., 2001) dans lesquels des groupes « concernés » ou « émergents » sont impliqués dans le dispositif).

Tout comme pour les méthodes analytiques et délibératives, il existe de nombreuses **méthodes d'évaluation des aspects éthiques** liées aux nouvelles biotechnologies (Beekman, 2004; Nielsen et al., 2002; James, 1997). Ces méthodes ont trois objectifs : la prise de décision par les pouvoirs publics, l'aide à la formation d'une opinion dans le public et la prise de décision par les acteurs privés des chaînes agroalimentaires (Beekman, 2004).

La méthode la plus connue est la **matrice éthique** (*ethical matrix*). Elle a été proposée pour faciliter les jugements éthiques sur les nouvelles biotechnologies utilisées dans l'alimentation (Mephram, 2000). La matrice éthique est un tableau dont les trois colonnes se réfèrent aux principaux principes éthiques : bien-être (wellbeing), autonomie et justice, tandis que les quatre lignes représentent les groupes affectés : organismes modifiés, producteurs (agriculteurs,...), consommateurs et environnement (biotope). Les douze cellules spécifient la signification de ces trois principes pour chaque groupe potentiellement affecté. Par exemple, le respect du principe d'autonomie pour les consommateurs est le respect du choix du consommateur, le respect du principe de justice pour le biotope est la durabilité des populations vivantes du biotope. La matrice éthique a été appliquée à un cas de maïs transgénique de Novartis. Elle permet de vulgariser et de structurer la réflexion éthique, d'identifier les zones de divergences d'avis, mais est très généraliste et ne va pas en profondeur sur chaque question.

C. Avantages, inconvénients et complémentarité des deux types de méthodes

Chaque méthode produit bien évidemment des résultats de types différents en fonction d'hypothèses et d'objectifs spécifiques. Au-delà des spécificités de chaque méthode, on peut analyser les principaux atouts et les critiques des deux grands types de méthodes.

Les méthodes analytiques ont pour atouts la précision et le détail de leurs procédures ainsi que leur 'scientificité' (parfois idéalisée). Les méthodes scientifiques reposent sur plusieurs propriétés fondamentales : la transparence (toutes les informations sont publiées), la systémativité (les méthodes sont systématiques et les résultats répétables), le scepticisme intellectuel dont font preuve les scientifiques sur les connaissances produites, le processus de contrôle par les pairs, l'indépendance des méthodes par rapport aux intérêts personnels, les procédures institutionnelles qui garantissent la responsabilité professionnelle et l'apprentissage (Stirling, 1999a). Ces méthodes aboutissent également à des résultats relativement clairs, souvent quantifiés.

Les méthodes analytiques sont remises en question car elles sont généralement centrées sur une seule technologie (les plantes transgéniques en l'occurrence), reposent sur des hypothèses subjectives non reconnues et que leur précision est artificielle (ce point sera développé plus amplement dans la Section 4 p 44). Selon Ingeborg et al. (2003), ces évaluations classiques excluent les raisons pour lesquelles les gens ont des valeurs et des biais individuels, et sont incapables de prendre en compte les enjeux éthiques et socio-économiques. Leurs résultats sont d'autant plus sensibles à la critique car tant les opposants que les promoteurs des OGM trouvent régulièrement dans les nouvelles publications scientifiques des faits qui soutiennent leurs arguments respectifs (Stirling and Mayer, 1999 ; Karlsson, 2003a). Ces méthodes ne permettent donc pas de rassurer le public (Mayer and Stirling, 2002). L'accumulation d'expérimentations (à plus large échelle et plus long terme) ne peut pas non plus résoudre ce problème étant donné que des incertitudes subsisteront toujours (Welsh et al., 2002).

Les méthodes participatives ont pour atouts la mobilisation d'un spectre d'expertise et un cadrage des problèmes plus large (que celui des experts contraints par leurs frontières disciplinaires), une meilleure identification des alternatives, une meilleure prise en compte des incertitudes et des possibilités d'erreurs dans les décisions, et des jugements finaux qui reflètent la sensibilité des citoyens aux valeurs et au bon sens commun (Fiorino, 1990).

Selon Joly (2003), ces méthodes permettent de dépasser les positions 'pour ou contre' pour interroger les fins (pourquoi utiliser les OGM et à quelle fins ?) et les moyens (nécessité de la technique, perspectives,...). Elles mettent à l'épreuve l'innovation en organisant la controverse entre les experts, donc en ouvrant les 'boîtes noires' des experts (Latour, 1989). Elles donnent un plus grand écho à des vues minoritaires en restant dans des limites imposées, stimulent une implication plus large du public et influencent le débat public (Levidow, 1998) sans cependant pouvoir le structurer (Bertrand et al., 2005). Un autre impact positif est la stimulation d'attitudes réflexives au sein d'institutions de recherches (Bertrand et al., 2005).

Les méthodes participatives sont généralement critiquées pour leur non-scientificité, pour le fait qu'elles n'aboutissent pas à des conclusions claires ou qu'elles peuvent être influencées par l'une ou l'autre personne charismatique. Elles seraient manipulées par les opposants aux nouvelles technologies (Cantley, 2004)¹⁰. Le manque d'information qui est donné aux participants est une autre faiblesse de ces méthodes (Godard, 2000). Ce manque d'information est en fait surtout lié au manque de temps, un problème

¹⁰ Cantley (2004) avance par exemple que le débat public *GM Nation ?* en Angleterre (qui a révélé une opposition aux plantes transgéniques) a produit « *more heat than light* » tout en appréciant l'effort de participation du public lors d'une votation suisse (en faveur des biotechnologies).

crucial dans les méthodes participatives. Celui-ci est partiellement comblé par l'interrogation d'experts pour avoir accès aux connaissances nécessaires. L'irrationalité des citoyens ordinaires est également mise en cause comme facteur biaisant intrinsèquement les processus participatifs, bien que cette critique ait été invalidée par l'expérience empirique des dispositifs participatifs (Marris et al., 2001 ; Joly et al., 2003). L'influence des médias sur l'opinion publique -et donc sur les dispositifs participatifs- est également critiquée étant donné l'écart entre les pratiques des médias de masse et l'idéal de la synthèse de l'information (phénomènes de création et de réactualisation d'émotions) (Mormont, 2005). Sans sous-évaluer l'influence prépondérante des médias sur le cadrage public et politique du débat sur les OGM, il a également été démontré que les citoyens n'étaient pas des récepteurs passifs de médias mais qu'ils étaient engagés dans l'interprétation et le jugement de multiples formes de médiation et d'information, dont certaines incluent les médias (Marris et al., 2001).

Les dispositifs participatifs ont aussi été remis en question car ils impliquent des citoyens coupés de leur milieu socio-politique et car ils n'impliquent que des personnes qui acceptent de débattre ouvertement du sujet, ce qui exclut une partie de l'opposition aux OGM (Joly et al., 2003). Ceci a d'ailleurs suscité une critique forte de certains dispositifs participatifs tels que l'évaluation technologique interactive (ETI) par des associations opposées aux OGM (Nature et Progrès et al., 2003).

Une critique fondamentale qui est faite aux dispositifs actuels est que les recommandations faites dans les dispositifs participatifs sont souvent largement ignorés (Renn et al., 1995). Il n'y a pas de relais décisionnel qui traduise politiquement les recommandations finales de ces processus, ce qui contribue à une perte de confiance des citoyens dans les pouvoirs publics (Stirling, 2005), voire apporte une certaine forme de légitimation aux actions telles que les destructions en champs (Joly et al., 2003). Certains dispositifs ont pu être instrumentalisés pour tenter d'apaiser les conflits (Roy, 2001) ou pour « légitimer les technologies plutôt que démocratiser les choix technologiques » (Levidow, 1998).

Au vu des avantages, inconvénients et limites des deux approches, la construction d'une **complémentarité** entre les méthodes analytiques et participatives est une des questions au cœur d'une amélioration des politiques d'innovation. C'est dans cette perspective que se situe cette thèse.

Remarque : La discussion sur les méthodes d'évaluation des plantes transgéniques n'est pas close. Certaines lacunes des méthodes existantes n'ont été identifiées qu'après les études de cas menées sur les pommiers et les froments transgéniques résistants aux maladies (Chapitre 4 et 5). Ces lacunes seront présentées dans le Chapitre 8, de même que des propositions d'amélioration de certaines méthodes présentées, qui n'ont été possibles qu'après le travail empirique et analytique de cette recherche.

3. L'évaluation réglementaire des plantes transgéniques en Europe

En Belgique, la régulation des plantes transgéniques est principalement déterminée par des réglementations européennes traduites en droit national dans chacun des Etats-membres ainsi que par plusieurs accords internationaux.

Dans ce chapitre, nous nous intéresserons principalement à l'une de ces réglementations : la directive 2001/18 relative à la dissémination d'OGM dans l'environnement (European Commission, 2001). C'est en effet le texte principal en ce qui concerne l'évaluation des plantes transgéniques. A côté de cette directive, la régulation des OGM est basée sur plus d'une dizaine de réglementations aux échelons européen, régional, national et international, depuis le Protocole de Carthagène sur les risques de biosécurité lors des mouvements internationaux d'OGM jusqu'au règlement 1829/2003 qui réglemente la commercialisation des OGM et des produits issus d'OGM pour la consommation humaine (*food*) ou pour l'alimentation du bétail (*feed*) (European Commission, 2004a). (Voir Annexe 1).

Ces réglementations ont déjà été amplement analysées sous leurs aspects légaux, administratifs et politiques. L'objectif n'est évidemment pas ici de décrire et d'analyser l'ensemble des subtilités de la régulation des OGM. Une description exhaustive de la réglementation peut par exemple être trouvée dans Nihoul et Mahieu (2005) tandis que Schiffino et Varone (2006) en proposent une analyse politique. Ce qui est recherché ici est d'analyser la manière dont la directive fixe le cadre de référence de l'évaluation d'une plante transgénique.

La directive 2001/18 réglemente les disséminations volontaires d'organismes génétiquement modifiés (expérimentations en plein champ) et les autorisations de mises sur le marché d'OGM en tant que produits ou partie de produits (European Commission, 2001). Les OGM sont définis par la technique utilisée pour les obtenir. L'évaluation des OGM repose sur le principe que c'est l'utilisation de la technique et son application dans des cas concrets qui peut être évaluée, la technique en elle-même étant neutre. La définition officielle des OGM est celle de la directive 2001/18, qui définit un organisme génétiquement modifié (OGM) comme un «*organisme, à l'exception des êtres humains, dont le matériel génétique a été modifié d'une manière qui ne s'effectue pas naturellement par multiplication et/ou par recombinaison naturelle*».

L'objectif déclaré de la directive est de protéger la santé humaine et l'environnement lors des disséminations volontaires ou commercialisations d'OGM ou de produits issus de ceux-ci. Le terme de biosécurité se réfère à ce double objectif de protection de la santé humaine et de l'environnement et donc aux risques qui concernent ces deux domaines.

La réglementation repose sur plusieurs principes généraux. Le premier est qu'aucun OGM n'est commercialisé ou relâché dans l'environnement sans approbation préalable. Le deuxième est que le mécanisme d'autorisation repose sur une analyse du risque en trois grandes phases (évaluation des risques, gestion de ceux-ci et communication sur ceux-ci). L'évaluation du risque scientifique se fait au cas par cas et par une expertise scientifique. Le troisième principe est que la réglementation assure l'absence de risques pour la santé et l'environnement grâce à une procédure «*étape par étape*» depuis les

autorisations d'essais en champs jusqu'à la commercialisation. Cette procédure *étape par étape* signifie que la dissémination des OGM doit se faire par une série d'étapes qui va permettre l'accumulation d'éléments sur la plante et permettre une certaine « familiarité » des experts avec celle-ci. Les données scientifiques des expériences en milieu confiné servent à éclairer la décision sur l'autorisation des essais en champs, et les résultats de ceux-ci guident l'évaluation des risques préalable à l'autorisation de commercialisation. Cette procédure repose sur l'hypothèse que les risques existant à chaque étape seront identifiés, garantissant la biosécurité à un niveau d'expérimentation plus élevé. Ce dispositif est similaire de celui qui prévaut pour la biosécurité des laboratoires de recherches, qui sont classés sur différents niveaux de risque. Ces principes sont traduits dans les dispositions pratiques et procédurales de la directive.

L'évaluation réglementaire des risques environnementaux (*environmental risk assessment*) est définie à l'Annexe II de la directive 2001/18 ainsi que dans la Décision de la Commission 2002/623/EC (European Commission, 2004a). Les textes explicitent les objectifs, les principes généraux ainsi qu'une **méthodologie en six étapes** :

- *Etape 1*: Identification des caractéristiques qui peuvent avoir des effets négatifs.
- *Etape 2*: Évaluation des conséquences potentielles de chaque effet négatif, s'il se produit.
- *Etape 3*: Évaluation de la probabilité que chaque effet négatif potentiel se produise.
- *Etape 4*: Estimation du risque lié à chaque caractéristique identifiée des OGM.
- *Etape 5*: Application de stratégies de gestion des risques provenant de la dissémination volontaire ou de la commercialisation d'OGM.
- *Etape 6*: Détermination du risque général du ou des OGM.

Cette méthodologie se concentre principalement sur la biosécurité, en énumérant les « effets néfastes potentiels » sur la santé publique et l'environnement qui doivent être pris en compte ainsi que les mécanismes qui peuvent aboutir directement ou indirectement à ces effets. Les effets néfastes potentiels sont par exemple les maladies pouvant affecter l'homme, y compris les effets allergisants ou toxiques, ou les effets sur la dynamique des populations des espèces présentes dans l'environnement récepteur, ainsi que sur la diversité génétique de chacune de ces populations. Les mécanismes qui peuvent aboutir directement ou indirectement à ces effets sont la propagation des plantes transgéniques dans l'environnement, le transfert du matériel génétique inséré à d'autres organismes ou au même organisme, l'instabilité phénotypique et génétique, les interactions avec d'autres organismes (autres que les échanges de matériel génétique / pollen) et les modifications de la gestion, y compris, le cas échéant, des pratiques agricoles.

En pratique, une organisation, une firme ou une institution de recherche souhaitant disséminer des OGM dans l'environnement doit demander une autorisation de mettre en culture (dissémination volontaire) ou de mettre sur le marché. Elle remplit à cette fin un dossier de notification composé d'un dossier technique sur l'organisme, d'une déclaration sur les risques de biosécurité et d'un résumé SNIF (Summary Notification Information Format) qui sera accessible au public. Les organes de contrôle accordent l'autorisation après expertise scientifique de ce dossier et moyennant éventuellement

certaines conditions de gestion du risque. La procédure d'autorisation a lieu à l'échelon national pour les disséminations volontaires (champs d'essais) et à l'échelon européen en ce qui concerne les mises sur le marché. L'autorisation est normalement accordée pour une période de dix ans, bien que de la plupart des demandes concernent des périodes plus courtes, et est renouvelable.

4. Critiques de l'évaluation réglementaire

L'évaluation réglementaire des plantes transgéniques et des risques qui y sont associés a été et reste au centre de nombreuses critiques malgré les améliorations enregistrées lors de la création de la directive 2001/18. Cette section synthétise les principales critiques formulées sur le mode principal d'évaluation des plantes transgéniques, représenté par la directive 2001/18. Celles-ci viennent de scientifiques et d'experts, à la fois des sciences exactes et des sciences humaines.

On peut synthétiser ces critiques selon six axes : le choix biaisé de l'étalon de comparaison, le principe « étape par étape » et l'hypothèse que tout risque est gérable, l'interprétation contestable du principe de précaution, les caractéristiques de l'expertise scientifique en présence d'incertitudes, l'absence de participation publique, et enfin l'exclusion des critères socio-économiques et éthiques.

A. Le choix de l'étalon de comparaison

La nécessité de comparaison est omniprésente en science et largement présente dans la question des OGM. Les divergences se situent sur le choix de l'étalon de comparaison étant donné que celui-ci détermine le résultat de l'évaluation.

Comme déjà explicité dans la synthèse de l'évolution des réglementations, la directive 2001/18 dépasse le principe d'*équivalence en substance*, qui est resté durant longtemps une base fondamentale dans l'évaluation des risques directs pour la santé humaine (cfr p 24). L'étalon de comparaison de l'évaluation des risques environnementaux est « *l'environnement dans lequel l'OGM va être disséminé* » (European Commission, 2004a). Implicitement, il s'agit du système d'agriculture conventionnelle, mais ce système n'est pas spécifié et cela pose par conséquent des problèmes majeurs d'interprétation des critères et principes de l'évaluation (Mayer and Stirling, 2002).

Le choix de comparer les impacts de la culture de plantes transgéniques aux effets des pratiques agricoles prévalant dans l'agriculture conventionnelle est une question controversée. Pour une majorité, il s'agit d'une évidence étant donné que l'agriculture conventionnelle est le système majoritaire dans nos pays. Les avantages et inconvénients d'une innovation comme une plante transgénique doivent donc être évalués par rapport à ce système. La comparaison avec l'agriculture conventionnelle doit alors être complète et symétrique, en y incluant par exemple les effets négatifs de l'utilisation des pesticides (International Council for Science (ICSU), 2003; Hails, 2002; Dale et al., 2002). C'est la logique qui a prévalu lors des *Farm-Scale Evaluations* menées en Grande-Bretagne.

D'autres estiment au contraire que l'agriculture conventionnelle est une base de comparaison biaisée, étant donné ses impacts environnementaux négatifs (notamment son utilisation intensive de pesticides) et sa dépendance à une politique agricole vouée à être réformée (House of Commons Environmental Audit Committee, 2004). En conséquence, une comparaison plus large, incluant notamment les systèmes agricoles alternatifs tels que l'agriculture biologique, est préconisée par de nombreux auteurs et organisations (Comstock, 2004; Deblonde, 2004; International Council for Science

(ICSU), 2003; Hails, 2002; Ervin et al., 2001). Cette comparaison est inexistante dans la réglementation et les études de cas rarissimes dans la littérature.

B. Le principe 'étape par étape' et l'hypothèse que tout risque est gérable

Le principe de la progression 'étape par étape' comme garant de l'absence de risques dans la dissémination des OGM et de leur évaluation a été remis en question par une partie de la communauté scientifique depuis le milieu des années 1990 (Roy, 2001). Celui-ci serait en effet faillible : les résultats des essais confinés ne garantissent pas la biosécurité des essais en champs et les résultats de ceux-ci ne garantissent pas la biosécurité d'une commercialisation à large échelle. Les éléments qui sont progressivement venus miner la validité de ce concept à la base de la réglementation européenne sont : la concentration des efforts de recherche sur le flux de gènes (empêchant une vision plus globale incluant l'introgression des gènes dans l'environnement), l'absence de collecte indépendante des résultats en champs (malgré les nombreuses disséminations), et les conditions des expérimentations décourageant les observations des populations de plantes transgéniques à long terme (des effets tels que la dissémination du transgène par les repousses de colza résistant dans les cultures suivantes ne peuvent par exemple être évalués que sur le long terme et à large échelle) (Roy, 2001).

L'évaluation des risques environnementaux de la réglementation européenne, concrétisée par la procédure en six étapes, vise à la prévention des risques de biosécurité par cette procédure 'étape par étape' et par l'application de mesures de gestion de ces risques. L'hypothèse sous-jacente est que tout risque est soit identifié par l'étape précédente, soit gérable par ces mesures de gestion du risque.

Théoriquement, la réglementation laisse en effet peu de place à l'interdiction formelle d'une plante transgénique (pour lesquels les risques seraient supposés ingérables). La réglementation laisse cependant une grande marge de manœuvre aux experts sur la définition des mesures de gestion à mettre en place pour éviter les risques. En l'absence d'une possibilité de refus, les experts peuvent exiger des mesures de gestion du risque qui auront pour conséquence une non-expérimentation ou une non-commercialisation décidée par le demandeur, car les mesures de gestion deviennent des obstacles à la profitabilité du processus d'innovation.

L'évaluation du risque environnemental (ERA) de la réglementation est en effet à la fois précise et floue. L'ambiguïté laisse une grande marge de manœuvre aux experts. La définition des effets négatifs potentiels inclut par exemple « *les effets sur la biogéochimie (cycles biogéochimiques), en particulier le recyclage du carbone et de l'azote par modification de la décomposition des matières organiques du sol* » tandis qu'il est précisé que les effets négatifs potentiels peuvent se produire directement ou indirectement par des mécanismes pouvant comprendre « *les modifications de la gestion, y compris, le cas échéant, des pratiques agricoles, [comme] l'ensemencement, la plantation, la culture, la récolte ou le transport (par exemple, plantation sur de grandes ou de petites parcelles), le calendrier ; la rotation des cultures (par exemple, culture de la même espèce végétale tous les ans ou tous les quatre ans) ; la lutte contre les maladies et les parasites (par exemple, type et doses d'insecticides utilisés sur les plantes, ou d'antibiotiques administrés aux animaux, ou autres mesures) (...)* ». Théoriquement, cela signifie que, s'il peut être scientifiquement prouvé que la culture

d'une plante transgénique entraîne une modification de la décomposition des matières organiques du sol, des mesures de gestion de ce 'risque' doivent être prises, une attitude qui serait tout à fait originale car le même régime devrait s'appliquer à de nombreuses pratiques de l'agriculture conventionnelle.

Le monitoring des cultures, prévu par les nouvelles réglementations européennes, permet théoriquement d'évaluer *ex post* les cultures transgéniques et donc de pouvoir adapter en cas d'effets négatifs.

C. Une interprétation étroite du principe de précaution

La réglementation européenne se réfère directement au principe de précaution, un principe inscrit dans la directive 2001/18. Elle est d'ailleurs analysée par beaucoup comme une application complète du principe de précaution au domaine particulier des OGM étant donné l'existence d'une réglementation spécifique à ces innovations technologiques, l'aspect préventif (on évalue avant la dissémination) et le processus progressif (étape par étape).

Bien que la comparaison de la réglementation européenne avec son équivalent américain, beaucoup plus permissif, est à son avantage, cette caractérisation de la réglementation européenne comme une approche respectant le principe de précaution est remise en question (Wiener and Rogers, 2002 ; Jasanoff, 2005). Elle est même profondément contredite par ceux qui mettent en avant le caractère complexe de ce principe et les différentes interprétations possibles de celui-ci.

En se basant sur les travaux liés à la Communication de la Commission Européenne sur le principe de précaution (European Commission, 2000), Mayer et Stirling (2002) ont proposé huit critères pour évaluer une procédure réglementaire d'évaluation du risque, après avoir synthétisé les principes et concepts associés au principe de précaution (Stirling, 1999a)¹¹. Ces huit critères, définis sous formes de questions, sont :

- 1) **Humilité** : l'évaluation reconnaît-elle les nombreuses sources d'incertitudes, d'ignorance et de subjectivité dans son appréciation ? Evite-t-elle des affirmations sur des connaissances définitives ?
- 2) **Entièreté** : la portée de l'évaluation est-elle suffisamment large pour prendre en compte les effets cumulés, complexes, synergétiques et indirects aussi bien que les effets directs ?

¹¹ La signification précise du principe de précaution fait l'objet de débats dans les arènes académiques et publiques. Il est cependant possible d'en synthétiser les grands principes: Principes subordonnés au principe de précaution : 1) 'Prévention' : responsabilité de prévenir plutôt que de contrôler ou traiter les risques 2) 'Pollueur-payeur' : les parties responsables ou bénéficiant d'activités dommageables sont responsables des effets néfastes de la pollution 3) 'Pas de regrets' : faveur aux options satisfaisant en même temps aux critères économiques, environnementaux et autres 4) 'production propre' : adoption seulement des investissements et choix technologiques qui ont démontré avoir un impact moindre 5) 'éthique biocentrée' : reconnaissance de la valeur intrinsèque de la vie non-humaine. Concepts associés : 1) reconnaissance des limites de la science, humilité par rapport aux connaissances et anticipation des étonnements 2) reconnaissance de la vulnérabilité de l'environnement naturel 3) soutien des droits de ceux qui sont négativement influencés par les technologies 4) nécessité de prendre en compte la complexité des comportements dans les organisations réelles 5) nécessité de prendre en compte la variabilité des situations locales 6) nécessité d'assigner une légitimité égale à différents jugements de valeurs 7) nécessité d'adopter une perspective à long-terme et holistique

- 3) **Prise en compte des bénéfices et des justifications** : Y a-t-il une prise en compte systématique des avantages et justifications, tout comme des effets négatifs, afin de permettre la détermination des avantages 'nets' ?
- 4) **Comparaison** : L'évaluation est-elle comparative, incluant une gamme d'options technologiques et politiques ainsi que les effets cumulés des différentes possibilités ?
- 5) **Participation** : Toutes les parties intéressées et affectées sont-elles engagées dans la procédure, à la fois pour considérer toutes les connaissances pertinentes et pour prendre en considération toutes les priorités et hypothèses de références pertinentes ?
- 6) **Cartographie (*Mapping*)** : Est-ce que les résultats sont exprimés non comme des valeurs discrètes mais en utilisant une analyse de sensibilité afin de 'cartographier' les conséquences de différents jugements de valeur et de différentes hypothèses de référence ?
- 7) **Transparence** : Jusqu'à où les méthodes utilisées sont-elles simples, minimisant le nombre de variables cachées, et permettant de contrôler en quoi certains résultats dérivent de certains choix initiaux ?
- 8) **Diversité** : Est-ce que l'évaluation tient compte du fait que différentes options peuvent contribuer à se protéger des incertitudes et de l'ignorance ainsi qu'à accommoder des perspectives sociales divergentes ?

Le *risk assessment* de la directive 2001/18 ne vérifie que certains des critères. L'évaluation réglementaire, évaluée sous la perspective d'une approche de précaution selon Stirling et Mayer, est déficiente sur plusieurs critères, comme par exemple l'absence de prise en compte des alternatives ou l'étroitesse de la gamme des critères d'évaluation.

Deblonde et Dujardin (2005) clarifient la situation en insistant sur l'existence de deux grandes interprétations ou approches du principe de précaution. La première est une approche orientée sur les dangers (*harm-oriented approach*) et la seconde est orientée sur les objectifs (*goal-oriented approach*). La réglementation suit la première approche : elle applique implicitement le principe de précaution en réglementant à priori les produits pour lesquels il n'y a pas de preuves préalables de dommages, et explicitement en déclarant le principe de précaution comme priorité. La seconde interprétation exige, elle, une approche orientée sur des objectifs, reliant le principe de précaution à une éthique publique. Les auteurs argumentent que les objectifs doivent être ceux de la durabilité.

L'approche choisie dans cette thèse est inspirée de cette distinction. Le référentiel de la durabilité, qui interviendra essentiellement sur les propositions de politiques d'innovation issues des études de cas, sera discuté dans le chapitre traitant des politiques d'innovation (Chapitre 9).

Enfin, le lien entre évaluation des OGM et principe de précaution fait intervenir les questions d'incertitudes et d'ignorance. Ces deux notions sont à distinguer fondamentalement de celle de risque.

La prise de décisions en situation d'incertitudes est au cœur du principe de précaution. Il existe à ce sujet une controverse sur la quantité d'information et de recherche scientifique (sur les éventuels risques des plantes transgéniques) qui doit être obtenue avant de pouvoir autoriser ou refuser le développement des plantes transgéniques. Il y a deux opinions majeures et opposées. La première estime qu'il y a eu suffisamment d'analyses de risques et que ces analyses ont prouvé l'absence de risques significatifs : il y a donc lieu d'autoriser le développement de ces plantes (Cockburn, 2002 ; Cantley, 2004). La seconde opinion est que nos connaissances sur les OGM et leurs effets potentiels sont trop faibles pour en autoriser le développement à large échelle. Ceux qui

défendent ce point de vue rappellent que certains risques majeurs d'innovations technologiques passées ne sont survenus ou n'ont été identifiés que dans le long terme, comme les effets négatifs du DDT sur la faune sauvage ou les impacts de l'amiante sur la santé humaine (Ervin et al., 2001; Stewart and Wheaton, 2001). Ceux-là appellent généralement à davantage de recherches sur les effets à long terme et les effets cumulés des plantes transgéniques, incluant les effets non linéaires (*tipping points* et effets de seuils) (Ervin et al., 2003). La question du flux de gènes (*gene flow*) est par exemple un domaine pour lequel davantage de recherche interdisciplinaire sur les effets écologiques et agronomiques a été souhaité par des scientifiques, jusque dans les commentaires des revues les plus prestigieuses (Snow, 2002).

Le problème de l'ignorance est un concept à distinguer de celui du risque et des incertitudes. L'ignorance est « *ce que nous ne savons pas que nous ne savons pas* ». On peut citer les exemples historiques de l'impact des gaz CFC sur la couche d'ozone atmosphérique ou les effets de l'amiante sur la santé humaine. Plus formellement, c'est une condition dans laquelle il est impossible d'utiliser des probabilités ou des scénarios. Les jugements concernant des faits scientifiques pour lesquels nous avons un certain degré d'ignorance sont donc intrinsèquement subjectifs et influencés par des valeurs (Stirling, 1999b).

Une évaluation scientifique des risques ne peut donc pas entièrement prendre en compte toutes les dimensions liées à l'innovation technologique, notamment les incertitudes et l'ignorance. L'interprétation du principe de précaution basée sur les dangers mène aussi à ignorer les avantages : ils sont implicitement supposés existants, mais l'évaluation ne peut les mesurer.

D. Sciences et expertise, neutres de valeurs ?

Une autre hypothèse sur laquelle repose l'évaluation des risques des plantes transgéniques est celle d'un fonctionnement idéal des procédures impliquant des comités d'experts scientifiques prenant des décisions rationnelles sur base d'études prouvant un certain nombre de faits scientifiques.

Cette situation est théorique tant au niveau des activités scientifiques que de l'expertise.

Au niveau des sciences, ce sont les sociologues des sciences qui ont pu démontrer, par une observation des activités menées au jour le jour par les scientifiques, que les activités scientifiques sont, par nature, liées à des valeurs, des jugements professionnels et des aspects éthiques (Callon, 1986 ; Amblard et al., 1996 ; Jasanoff, 1998). Les positions avancées ne sont pas celles d'un relativisme absolu mais d'une analyse qui tente d'ouvrir les 'boîtes noires' de la science et d'expliquer l'activité scientifique en dépassant les seuls canons de Merton (universalisme ; communalisme, désintéressement, scepticisme organisé) (Merton, 1942). L'approche est entre autres de suivre la trajectoire d'un objet scientifique, d'un programme de recherche, d'une innovation, et d'analyser l'interprétation qui est faite des résultats d'une expérience, les choix de continuer ou poursuivre un projet, etc. (Latour and Woolgar, 1988 ; Latour, 1989).

Au niveau de l'expertise, les jugements de valeur interviennent encore davantage. Roqueplo, spécialiste de l'expertise scientifique, résume bien la difficulté de la position des scientifiques : ceux-ci doivent transgresser les limites de leurs savoirs lorsqu'ils sont

en situation d'expertise et exprimer leurs propres convictions (Roqueplo, 1997). Une dimension qui force à une prise de décision faisant intervenir des jugements de valeur est la complexité des enjeux et la quasi-impossibilité à générer des connaissances scientifiques complètes pour une prise de décision entièrement basée sur celles-ci. La complexité de certains enjeux environnementaux ou sanitaires est en effet difficilement appréhendable par les approches scientifiques réductionnistes, particulièrement dans le cas d'effets diffus ou indirects (effets de substances combinées, effets à long terme, effets indirects, etc).

L'expertise est toujours une situation d'incertitudes. L'expert doit donc extrapoler ses connaissances scientifiques. Les jugements professionnels qui interviennent dans cette extrapolation portent sur l'appréciation des risques scientifiques, en particulier sur la pertinence, la plausibilité et l'acceptabilité de ceux-ci, sur la limite des impacts inclus ou exclus de l'évaluation ou sur la définition d'un effet négatif ou du niveau acceptable de risque (ESRC, 1999 ; Borch and Rasmussen, 2002 ; Dale et al., 2002)¹².

Chaque scientifique -chaque citoyen- appréhende et extrapole différemment les questions liées aux enjeux des sciences et technologies en fonction de ses valeurs, connaissances et expériences personnelles. Pour chaque situation donnée, il peut donc y avoir plus qu'un ensemble d'hypothèses de références raisonnables pour l'évaluation. L'ensemble choisi doit donc être justifié en termes scientifiques mais aussi non scientifiques (Stirling and Grove-White, 1999).

Le cas des plantes transgéniques est un cas typique qui démontre toutes les limites d'une expertise scientifique idéalisée selon de nombreux auteurs (Joly, 2001; Roy, 2001; Carr and Levidow, 2000).

L'expertise scientifique telle qu'exercée dans l'évaluation des plantes transgéniques a également été longuement critiquée pour la non-diversité de l'expertise mobilisée. Les instances d'évaluation des plantes transgéniques ont longtemps été constituées de spécialistes de la biologie moléculaire et des disciplines liées aux niveaux les plus réduits du vivant (biochimiste, physiologie végétale, ...). Etant donné l'étendue des effets potentiels des plantes transgéniques, un élargissement de l'expertise à d'autres disciplines (génétique des populations, écologie, agronomie, ...) a été exigé par les organisations environnementales, partis écologistes et différents scientifiques, et en partie obtenu.

E. L'absence de participation publique dans les procédures

Bien qu'une amélioration de l'expertise scientifique soit possible, une conclusion des critiques des procédures expertes et analytiques du risque est la nécessité de compléter l'expertise scientifique par des procédures délibératives ou participatives. De telles procédures d'évaluation devraient améliorer et légitimer la décision publique sur les innovations technologiques.

¹² Carr et Levidow ont suggéré une checklist de questions qui permettent de révéler les hypothèses et valeurs inexprimées des décideurs publics en se basant sur le *critical systems heuristics* d'Ulrich (Carr and Levidow, 2000).

L'appel à des procédures d'évaluation participative provient de sociologues (Joly et al., 2003), d'économistes (Ervin et al., 2003), de politologues (Schiffino et Varone, 2006) et de philosophes (Karlsson, 2003b). Plusieurs organisations scientifiques ont également officiellement reconnu la nécessité des procédures participatives (National Research Council, 1996).

Les procédures d'évaluation strictement scientifiques restent privilégiées par ceux qui estiment que les procédures participatives sont accaparées par les opposants aux plantes transgéniques et génèrent plus de controverse que d'amélioration de la prise de décision (Voir p 38).

Remarque : ce point sera plus amplement discuté au Chapitre 9 (Voir p 434)

F. L'absence d'évaluation des aspects éthiques et socio-économiques

Une critique majeure de l'évaluation actuelle est qu'elle ne prend en compte qu'un nombre restreint de critères, alors que chacun sait que la sélection des critères influence le résultat de l'analyse. Bien que reconnaissant l'importance des principes éthiques au niveau national dans son préambule, la directive 2001/18 ne prévoit en effet aucune évaluation des aspects éthiques et des impacts socio-économiques. Le Protocole de Carthagène prévoit lui dans son article 26 la possibilité de prendre en compte des considérations socio-économiques provenant de l'impact des plantes transgéniques sur la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique, particulièrement ceux qui sont liés à la valeur de cette biodiversité pour les communautés locales et indigènes (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2000). La procédure d'évaluation du risque spécifiée en annexe du Protocole ne détaille pourtant pas du tout ces aspects, au contraire des risques de biosécurité¹³.

L'inclusion de critères socio-économiques dans l'évaluation des plantes transgéniques est préconisée par un grand nombre de chercheurs (Lacy and Busch, 1991; Chevassus-au-Louis, 2002 ; Mayer and Stirling, 2002 ; Ervin et al., 2003). Les enjeux à prendre en compte sont par exemple la nécessité des plantes transgéniques, leurs impacts sociaux, les impacts sur les filières agroalimentaires et sur les régions rurales (ESRC, 1999).

On trouvera au Chapitre 8 une proposition de synthèse des critères à évaluer, sur base de la littérature et des études de cas de cette thèse (voir p 383).

La question de l'inclusion de critères éthiques et socio-économiques dans l'évaluation entraîne celle du lien entre l'évaluation des risques de biosécurité et celle des aspects éthiques et socio-économiques. La question ouverte est de savoir si les deux évaluations doivent se faire séparément ou conjointement. Viney et Kourilsky (2000) ont plaidé pour un "deuxième cercle" de l'expertise scientifique, à côté de celui de l'expertise scientifique classique, incluant quelques experts scientifiques des risques, des économistes, les parties prenantes (*stakeholders*) et les autorités publiques en charge des aspects sociaux, économiques et éthiques. Godart (2000) argumente également en faveur d'une distinction entre les deux pour que des décisions de dispositifs participatifs soient fondées sur les meilleures informations disponibles. La proposition de 'forums

¹³ Les Etats de l'Union Européenne seraient cependant en train de spécifier ces considérations socio-économiques (European Presidency, 2004).

hybrides', s'inscrivent dans la seconde perspective, celle qui vise à débattre en même temps des aspects scientifiques et socio-économiques (Callon et al., 2001).

Pour terminer cette section, on peut avancer que le mode d'évaluation officiel n'est pas représentatif du nouveau référentiel de l'évaluation du risque qui émerge et dont les principes, synthétisés par Stirling (1999b), ne sont pas tous respectés, entre autres les suivants :

- *Distinguer l'évaluation des risques sous différents critères de la priorisation des différents critères.*
- *Soumettre l'identification des critères et leur priorisation à un processus délibératif impliquant toutes les organisations socio-politiques ayant un intérêt dans la décision sur le risque.*
- *S'efforcer de faire une évaluation du risque qui explore systématiquement les sensibilités des résultats à différents scénarios socio-politiques.*
- *Concentrer l'attention sur la construction de 'portefeuilles d'options technologiques, politiques ou d'investissements' plutôt que sur l'option 'la meilleure' ou 'la moins risquée'.*
- *Faire de l'exercice de l'évaluation du risque un processus social itératif et réflexif plutôt qu'un acte analytique disjoint.*
- *Reconnaître que toute détermination des risques relatifs, du point de vue de la société dans son ensemble est fondamentalement politique plutôt qu'analytique et donc sujette à des conditions de légitimité et de responsabilité.*

5. L'évaluation de l'innovation remise en question : un enjeu pour la recherche

L'ensemble des critiques démontre que la réglementation européenne, malgré ses évolutions positives très significatives, reste un sujet de controverse, en particulier chez les spécialistes de l'expertise et de l'évaluation des technologies. Le mode d'évaluation des plantes transgéniques ne reflète pas non plus la richesse des méthodes d'évaluation existantes.

Pourquoi est-ce le cas ? Y a-t-il eu des tentatives d'innovations institutionnelles pour aller plus loin que la réglementation européenne, qui prendraient en compte ces critiques ? Comment cette thèse se situe-t-elle par rapport à l'état actuel de la réglementation et de ces avancées ? Ces trois questions amènent à trois axes pour la conclusion de ce chapitre. Elles appellent au développement dans les sections suivantes de trois conclusions sur la gestion publique des plantes transgéniques :

- 1) Le mode actuel d'évaluation des plantes transgéniques est basé sur le référentiel politique et économique dominant dans nos sociétés, le libéralisme politique et économique.
- 2) Les tentatives d'élargir l'évaluation aux aspects socio-économiques ou de faire participer les citoyens à l'évaluation des technologies existent mais restent inabouties à de maints égards car de multiples insuffisances scientifiques et obstacles politiques subsistent.
- 3) L'évaluation actuelle est insuffisante par rapport à une vision systémique de l'innovation agroalimentaire.

A. Le mode actuel d'évaluation dépend du référentiel politique et économique dominant

L'évaluation réglementaire des plantes transgéniques en Europe illustre bien le mode dominant d'évaluation des technologies dans nos pays.

Ce mode d'évaluation repose sur le contrôle des risques avérés ou éventuels des innovations technologiques. Cette affirmation est a priori banale. Elle ne l'est pas. Les pouvoirs publics, focalisés sur le contrôle des risques de biosécurité dans le cas des plantes transgéniques, n'évaluent en effet pas l'*intérêt* ou l'*utilité* de telles innovations. Cette évaluation-là est laissée au marché. L'évaluation du risque assurée par les comités d'experts joue un rôle de filtre, triant les innovations trop risquées, mais c'est ensuite le marché qui joue le rôle de filtre des innovations intéressantes ou utiles. Le marché, en agrégeant les choix individuels de tous les acteurs concernés (agriculteurs, transformateurs, consommateurs, investisseurs...), permet une évaluation de l'intérêt de l'innovation. Une innovation technologique qui rencontre une demande et devient un succès commercial est utile et intéressante, et a contrario l'échec d'une innovation technologique sur le marché démontre son inutilité.

Laisser l'évaluation de l'intérêt de l'innovation au marché et ne donner un rôle à l'autorité publique que sur les risques n'est pas un choix anodin. Des critères et des procédures de choix technologiques qui par exemple tiennent compte de l'utilité des

innovations technologiques et de leurs impacts sociaux ont été développés depuis deux ou trois décennies (Sclove, 1995).

L'évaluation des plantes transgéniques est en fait influencée par la **philosophie du libéralisme** politique et économique, dont nos sociétés sont fortement imprégnées. Dans cette philosophie, le contrôle des risques –les risques de biosécurité dans le cas des plantes transgéniques- est considéré comme une fonction régaliennne de l'Etat. Selon la philosophie libérale, les autorités publiques doivent en effet protéger les droits et libertés des individus et des entités légales. La seule raison justifiant une restriction des actions est la prévention de dommages inacceptables aux personnes ou entités dignes de protection (les hommes, animaux et végétaux dans ce cas) (Jensen, 2002).

Le contrôle des risques des innovations est donc vu comme faisant partie des règles minimales garantissant la sécurité des citoyens, mais aussi le bon fonctionnement de l'économie. Comme la liberté d'entreprendre et donc d'innover est un droit, il importe en même temps d' *'encadrer sans entraver'*, comme le soulignait Roy (2001). Le droit à la sécurité des citoyens est donc en fragile équilibre avec le droit à entreprendre des entreprises. Dans la construction progressive de la régulation, cet encadrement a d'abord été défini par les innovateurs eux-mêmes (scientifiques et industriels), puis une régulation de plus en plus forte a été concédée face aux exigences des organisations citoyennes qui ont déclenché une controverse publique (voir p 22).

L'interprétation du principe de précaution dans la réglementation européenne, centrée sur les seuls risques et pas également sur les objectifs des innovations, est donc une interprétation du principe de précaution dans la tradition du libéralisme politique. L'ambiguïté de la directive révélée par la synthèse des critiques dont elle fait l'objet provient donc de l'écart entre conception plus généraliste du principe de précaution et le principe de liberté de circulation des biens, consacré tant dans les traités européens (marché unique) que dans les esprits¹⁴.

Enfin, l'évaluation des plantes transgéniques est à inscrire dans un cadre plus large, car elle va de concert avec un important soutien public aux biotechnologies, tant dans les discours que dans les faits (budgets de recherche et développement). Il y a en effet toujours eu une hypothèse intrinsèque à la régulation des OGM, c'est que les biotechnologies et les OGM contribuaient à un futur positif pour nos sociétés et pour l'agriculture européenne (Mayer and Stirling, 2002). Pour certains, la mise en place de procédures de contrôle n'est d'ailleurs *'pas qu'une affaire de science'* : elle vise à rassurer une opinion publique supposée réticente au génie génétique et est donc mise au service de la promotion de l'innovation par les pouvoirs publics (Roy, 2001). (Ces aspects seront approfondis dans les chapitres 7 et 8).

Finalement, à côté de l'évaluation qui précède la dissémination ou la mise sur le marché, la régulation encadrant le développement des plantes transgéniques en Europe inclut également deux autres principes inscrits dans des réglementations : celui de l'étiquetage et celui de la coexistence des cultures.

¹⁴ Mahieu (2006) énonce par exemple une nécessité de concilier « *impératifs économiques* » et protection de l'environnement » pour le Protocole de Carthagène ou de concilier sécurité et « *exigences du marché* » dans son analyse juridique de la réglementation européenne. Rien ne prouve cette nécessité si ce n'est une morale qui donnerait la primauté au marché dans nos sociétés.

L'étiquetage des denrées alimentaires issues de plantes transgéniques a pour fonction d'assurer la liberté de choix du consommateur, une liberté qui est ici reconnue.

La nécessité de garantir la coexistence des cultures transgéniques, conventionnelles et biologiques est largement acceptée et reconnue. Il s'agit de garantir dans toute l'Union Européenne la liberté du producteur de produire ce qu'il souhaite produire. La Commission Européenne n'a cependant pas pris de réglementations contraignantes à cet égard, mais uniquement des lignes directrices. La possibilité réelle (technique et organisationnelle) d'une coexistence à court et long terme est cependant amplement contestée sur des bases tant environnementales que logistiques et économiques pour un certain nombre de cultures et de filières. Cette impossibilité n'est peut-être pas pour rien dans le choix de la Commission de ne pas réguler. La Commission, qui a centralisé toute la régulation des innovations, a choisi la subsidiarité en ce qui concerne la coexistence (étant donné la diversité des systèmes agricoles, chaque pays définit ses règles de coexistence).

La gestion des plantes transgéniques repose donc sur ce triangle : évaluation, coexistence et étiquetage. Liberté d'innover, de produire et de consommer sont les principes fondamentaux des réglementations dans chacun de ces domaines, principes qui ne sont remis en question que pour des questions de risques scientifiques prouvés par une « science orthodoxe » (*sound science*). En laissant au marché la fonction de l'évaluation de *l'intérêt* des innovations technologiques pour la société (les choix technologiques), le mode de gestion actuel applique une conception libérale de la politique d'innovation.

B. Complexités scientifiques et socio-politiques d'un élargissement de l'évaluation

La courte synthèse de la genèse de la régulation des plantes transgéniques et celle des critiques adressées à la régulation actuelle montrent qu'on est encore loin d'avoir créé et formalisé en procédures officielles des méthodologies d'évaluation qui soient à la hauteur des enjeux suscités par les plantes transgéniques. Le décalage entre innovations technologiques et innovations institutionnelles est encore présent.

Les tentatives de diminuer ce décalage en élargissant l'évaluation aux aspects socio-économiques ou aux comparaisons d'options technologiques (pour ne reprendre que deux des critiques) rencontrent des complexités scientifiques et socio-politiques. Ces complexités sont discutées avant de présenter plus en détail la tentative belge de mettre sur place en 2003 une évaluation plus complète que celle de la directive 2001/18.

1) Complexités scientifiques

Le développement de méthodologies d'évaluation des enjeux des plantes transgéniques est complexe de par la nature des enjeux en question. La complexité vient de plusieurs éléments i) l'évaluation idéale doit intégrer des aspects environnementaux, agro-économiques, sociaux, politiques, économiques, éthiques et culturels ; ii) elle doit prendre en compte les différentes échelles auxquelles peuvent avoir lieu les impacts potentiels (niveaux micro, comme l'exploitation agricole, ou macro, comme une région ou un pays) ; iii) elle doit intégrer des informations qualitatives et quantitatives ; iv) elle doit tenir compte de la présence d'incertitudes.

Les méthodologies existantes n'abordent souvent que certains des aspects concernés. Il existe par exemple peu de synthèses exhaustives des critères d'évaluation adéquats pour évaluer les plantes transgéniques, et la majorité des publications se concentre soit sur les aspects de biosécurité 'réduite' (introgession, toxicité, etc.), soit sur des aspects environnementaux 'larges' (utilisation de pesticides, biodiversité) soit sur des aspects économiques. L'intégration des différentes dimensions reste un défi scientifique (World Resources Institute, 2005).

Enfin, il faut aussi relever une faiblesse empirique : la relative rareté des recherches qui évaluent les impacts des plantes transgéniques avec un cadre systémique. Le développement de méthodologies d'évaluation des nouvelles technologies n'est pas un domaine de recherche anecdotique : l'état des lieux de la littérature scientifique à ce sujet démontre la richesse des méthodes et des études de cas. En Belgique et en Europe, comme ailleurs, les recherches empiriques sont essentiellement de type analytique et restreintes aux méthodes les plus robustes, qui ont parfois un cadre analytique très réduit (analyses coûts-bénéfices et études d'impact sur la biosécurité ou sur le flux de gènes). Au vu des enjeux soulevés, on peut quand même s'étonner du faible nombre d'utilisations faites de chaque méthodologie. Certaines des plus intéressantes n'ont en effet parfois été utilisées qu'une fois. La *multi-criteria mapping analysis* de Stirling a été appliquée une seule fois en 1998-99, à un seul cas de plante transgénique et avec un seul échantillon de personnes. Il en est de même de l'*évaluation technologique interactive* de Bertrand (Bertrand et al., 2005), qui n'a à notre connaissance été appliquée qu'à un cas très précis de vigne transgénique résistante à un virus.

La relative nouveauté de certains de ces dispositifs, le faible intérêt qu'ils rencontrent dans un grand nombre de régions et leur non-répétition (source d'apprentissage et de maturation) contribue donc à freiner le processus d'amélioration de ceux-ci. L'histoire n'est donc pas écrite, il reste des opportunités d'amélioration.

2) Complexités socio-politiques

Dans l'Union Européenne et ailleurs, certains pays ont pris des initiatives visant à pallier les lacunes de l'évaluation réglementaire strictement basée sur le contrôle des risques de biosécurité. Ces initiatives sont principalement de deux types : d'une part des expérimentations de dispositifs participatifs d'évaluation des plantes transgéniques et d'autre part la prise en compte dans les réglementations nationales de critères éthiques et/ou socio-économiques.

Ces pays ont surtout expérimenté de manière plus ou moins formelle des dispositifs participatifs d'évaluation des plantes transgéniques. Ces expérimentations ont cependant essentiellement été des 'projets pilotes', des expériences ponctuelles plutôt que des mécanismes structurels. Elles avaient pour objectif la consultation et l'aide à la décision, voir de diffuser une information ou seulement stimuler le débat, mais toujours sans remplacer le cadre réglementaire européen transposé en droit national dans chaque Etat.

Ces expérimentations participatives sont majoritairement restées à l'extérieur de la décision publique et ont eu peu ou pas d'effets sur les décisions réelles. Elles ont également été essentiellement situées en aval du processus d'innovation (l'acceptation ou le refus de technologies au stade final de leur développement scientifique), ceci empêchant une vue plus large de la gestion de l'innovation. Les appels publics à un engagement des citoyens en amont de ce processus d'innovation, dans les activités de

recherche et leur définition, ne sont devenus plus audibles que récemment (Nature editorial, 2004 ; Wilsdon et al., 2005).

Outre les conférences de citoyens organisées dans différents pays, les autorités publiques du Royaume-Uni ont été plus loin en organisant un processus plus complet d'information et de participation du public ainsi que de la communauté scientifique. Ce processus, qui avait pour but de sortir de la crise paralysant un développement efficace des plantes transgéniques, a inclus plusieurs activités très diverses : une expertise scientifique officielle sur l'état des connaissances sur la transgénèse et les risques liés aux plantes transgéniques, qui a abouti à trois rapports officiels (Strategy Unit, 2003 ; The GM Science Review Panel, 2003, 2004) ; des expérimentations à large échelle comparant l'impact des cultures transgéniques et de cultures conventionnelles sur la biodiversité (les *Farm Scale Evaluations*) et un cycle de conférences publiques (le débat public « *GM Nation* »).

Enfin, l'intégration des aspects éthiques et/ou socio-économiques des plantes transgéniques dans l'évaluation est encore plus inhabituelle que l'organisation de procédures participatives. Les pays qui ont intégré de telles dimensions dans leur réglementation sont rares. Une étude du World Resources Institute en cite six (Afrique du Sud, Argentine, Indonésie, Philippines, Nouvelle Zélande et Norvège) (World Resources Institute, 2005). En ce qui concerne l'Union Européenne, rappelons que le préambule de la directive laisse la possibilité aux Etats membres de prendre en compte des aspects éthiques mais ceux-ci sont complètement absents de la méthodologie d'évaluation du risque au cas par cas.

La difficulté de mettre en œuvre une évaluation des aspects socio-économiques et éthiques des plantes transgéniques est illustrée par le cas de la Suède. La loi suédoise de 1994 sur le génie génétique spécifie que les autorisations ne peuvent avoir lieu que si elles sont 'éthiquement justifiables' et si elles produisent des bénéfices sociaux, c'est-à-dire des bénéfices non restreints à un utilisateur en particulier mais de valeur plus large. Or, une analyse des vingt et une décisions d'autorisation d'essais qui ont eu lieu entre 1999 et 2000 a montré l'absence de discussion éthique explicite lors des décisions dans les comités d'experts (Karlsson, 2003b). Seul un dossier a été refusé pour manque de données scientifiques. En aucun cas, les objectifs et règles générales du texte n'avaient été appliqués. L'impact de l'autorisation ou du refus du développement de la technologie sur les différents acteurs concernés n'avait pas été évalué, de même que la répartition des bénéfices entre eux ou les effets indirects ou à long terme. Les décisions reposaient essentiellement sur l'évaluation scientifique classique du risque.

Tout comme le World Resources Institute, Karlsson insiste sur la nécessité d' '*opérationnaliser l'éthique du développement durable*', en définissant clairement les considérations socio-économiques qui doivent être prises en compte dans l'évaluation afin que la mise en œuvre d'une telle évaluation soit faisable (Karlsson, 2003b).

3) L'expérimentation belge d'une évaluation des aspects éthiques et de durabilité

En 2003, le Service de Biosécurité et de Biotechnologie (SBB) -l'instance fédérale responsable de la gestion administrative des autorisations d'expérimentations de plantes transgéniques en Belgique- convoquait une première réunion ayant pour but l'évaluation des aspects de durabilité, éthiques et socio-économiques d'un essai de pommiers transgéniques.

Cette réunion est initiée sous impulsion politique de la Ministre de tutelle mais sans cadre officiel. Elle intervient dans le contexte de l'intense controverse portant sur les politiques publiques à mener en matières de plantes transgéniques, particulièrement la transposition en droit belge de la directive 2001/18, et donc les modalités d'évaluation réglementaire des essais en pleins champs de plantes transgéniques.

Il est intéressant de retracer la genèse de cette initiative.

Le souhait d'élargir les critères d'évaluation était essentiellement un souhait des partis écologistes. Cependant, même William Moens, directeur du Service de Biosécurité et Biotechnologie, peu suspect de cette sensibilité politique, reconnaît dans la presse qu' *'il manque, c'est vrai, les évaluations socio-économiques et éthiques sur les questions que posent les innovations et chaque nouveau type d'OGM'* (Le Soir, 26 avril 2002). Un projet d'arrêté royal élaboré par le Ministre Tavernier est discuté au Conseil des Ministres en décembre 2002. Il prévoit entre autres une procédure d'évaluation éthique mais n'aboutit pas, faute de consensus entre écologistes d'une part et libéraux et socialistes d'autre part (Schiffino et Varone, 2006). Suite au refus d'agir du gouvernement, des parlementaires écologistes déposent début 2003 une proposition de loi qui relance cette évaluation (Laenens et Dardenne, 2003). Celle-ci est d'ailleurs cohérente avec le Plan Fédéral de Développement Durable 2000-2004, qui insiste sur une analyse 'complète' des risques : *'L'évaluation des OGM ne se limitera pas à l'avis donné par les laboratoires de référence mais comprendra une analyse complète des risques (analyse socio-économique, éthique...)'* (Gouvernement fédéral, 2000).

Des panels citoyens sur la question des OGM sont prévus ou organisés à la même période (FGF, 2003; Goorden, 2003).

C'est dans ce contexte que le Conseil Consultatif de Biosécurité (le comité d'experts) forme un groupe 'Durabilité et aspects éthiques', sous l'impulsion de la Ministre écologiste Magda Alvoet. Le groupe se réunit en mars 2003 pour tenter d'évaluer une demande d'autorisation de pommiers transgéniques déposée par la Katholieke Universiteit Leuven. Il réunit quelques experts traditionnellement associés aux expertises scientifiques de biosécurité, plusieurs chercheurs de sciences naturelles et humaines ainsi que quelques membres d'associations actives sur la question des plantes transgéniques, participant en tant qu'observateurs. L'exercice est informel et non contraignant. Il a pour double objectif de cerner ce qu'est une évaluation éthique et socio-économique et de faire l'exercice sur un dossier concret. Aucune méthodologie particulière n'est cependant suivie et seules deux réunions sont convoquées alors que les enjeux concernés sont nouveaux et multiples.

Le groupe n'est plus convoqué, et l'expérience s'arrête là, l'agenda politique tournant également avec l'approche d'élections législatives. La proposition de loi n'aboutit pas non plus, faute de consensus politique et de rapport de force politique permettant de faire avancer ce texte initié par les écologistes avant les élections de juin 2003, qui marquent la défaite des partis écologistes dans les deux parties du pays.

Une nouvelle proposition de loi est cependant introduite en septembre 2003 (Gerken, 2003). Elle vise à introduire une 'évaluation éthique' (c'est-à-dire) *'une évaluation intégrant les aspects éthiques, environnementaux et socio-économiques, dans une perspective de développement durable, dans le dessein de soupeser, d'un point de vue qualitatif et quantitatif, les avantages et les inconvénients qui découlent de la dissémination et de la mise sur le marché d'OGM'* qui permettrait de *'répondre à une*

question fondamentale : le nouvel OGM donne-t-il une plus value à la société et à ses diverses parties prenantes ?

Enfin, l'éclairage du droit est nécessaire. Une législation belge incluant une évaluation éthique ou socio-économique telle que prévue en Belgique en 2003 aurait été sans effet et inutile. Il ressort en effet d'une analyse de droit communautaire commanditée par la Ministre de tutelle qu' *'en aucun cas, si l'évaluation écologique et sanitaire est positive, les autorités belges ne pourraient rejeter la demande au motif que l'évaluation socio-économique serait négative ; et en aucun cas, une évaluation socio-économique positive ne peut entraîner une décision défavorable de la part des autorités belges, au cas où l'évaluation environnementale serait négative'* (De Saedeleer, 2004).

La directive 2001/18 est transposée en droit belge sans débat parlementaire, bien plus tard, par l'Arrêté Royal du 21 février 2005. Le texte belge ne prévoit pas une évaluation plus large que celle prévue dans la directive européenne.

L'épisode du groupe d'évaluation 'Durabilité et aspects éthiques' est donc un échec, mais aussi un apprentissage collectif sur l'évaluation des innovations technologiques, lien entre sciences et politique. Les causes de cet échec sont multiples. Outre un agenda et un rapport de force politique défavorable, on peut citer l'inexpérience de l'administration à traiter de ces aspects étrangers à son champ d'expertise classique –en l'occurrence la biosécurité- et donc une frilosité handicapante par rapport à ces aspects, l'absence de proactivité de la part de certains experts des dimensions éthiques et socio-économiques ou l'absence de cadre structurel créant les conditions pour un engagement proactif de ces experts, et l'ignorance des méthodes existantes qui auraient pu être utilisées.

Cette expérimentation d'évaluation des aspects de durabilité et d'éthique, auquel l'auteur a participé en tant qu'observateur, a donc participé à forger le cadre initial de cette thèse en 2003, en particulier l'importance d'une recherche utile aux pouvoirs publics et provenant de cas réels de plantes transgéniques.

C. Insuffisance de l'évaluation actuelle par rapport à une approche systémique de l'innovation

La conception actuelle de la gestion et de l'évaluation des plantes transgéniques, fondée sur une interprétation libérale et réductionniste du principe de précaution, est insatisfaisante et inappropriée pour cinq raisons fondamentales :

- La première est que le concept d'une évaluation de l'intérêt des innovations par le seul mécanisme du marché -décidant du succès ou de l'échec d'innovations- est erroné compte tenu de nos connaissances sur l'importance des externalités en agriculture (ce point, comme le suivant, sera approfondi au Chapitre 9).
- La seconde est la nécessité incontournable d'une évolution de nos modes de production agroalimentaires vers plus de durabilité face à des phénomènes globaux tels que les changements climatiques.
- La troisième est l'aspiration citoyenne et la perspective de politique publique visant à construire une démocratie plus forte comprenant des aspects participatifs en plus des aspects représentatifs.

- La quatrième est l'existence d'incertitudes scientifiques et d'un degré d'ignorance sur les risques liés à la transgénèse végétale, en ce compris des risques d'irréversibilité.
- La cinquième est la controverse sans précédent que les OGM ont suscitée parmi le public et la perte de confiance des citoyens dans les instances publiques, y compris celles qui gèrent l'innovation.

Ces cinq facteurs d'insatisfaction au sujet de la réglementation actuelle doivent inciter à faire émerger un autre mode d'évaluation qui prenne mieux en compte la complexité de l'innovation et soit davantage articulé avec des objectifs publics décidés collectivement.

La vision systémique de l'innovation scientifique en agriculture, de son évaluation et de sa gestion ne sera développée que progressivement au cours de cette thèse, dans le Chapitre 2 sur la plan théorique, au fil des études de cas mais aussi dans les Chapitres 7-8-9. Une des questions essentielles de cette approche est cependant la suivante : il s'agit de celle de l'*intérêt* des innovations. Malgré, ou à cause de, tous les travaux sur le *risk assessment*, cette question fondamentale n'a pas été suffisamment approfondie dans les approches méthodologiques existantes, ce qui est d'autant plus étonnant après le constat établi sur l'extrême complexité d'une gestion publique des risques et incertitudes scientifiques.

La nécessité d'inclure cette question de l'intérêt des innovations dans l'évaluation est d'ailleurs une des conclusions des dispositifs participatifs. Elle n'est cependant ni introduite dans des approches conceptuelles, ni dans les méthodologies d'évaluation, ni testée dans des études de cas concernant des exemples précis de plantes transgéniques. C'est donc la question de l'intérêt, de la pertinence des innovations, qui est fondamentale à nos yeux, et qui a une place plus importante dans ce travail que celle du risque, un choix assumé étant donné l'abondance de travaux sur ce dernier domaine.

Une telle approche n'est donc pas destinée à remplacer les évaluations du risque de biosécurité, mais à les compléter pour tendre vers de meilleures politiques et modes de gestion de l'innovation.

Chapitre 2 : Cadre épistémologique

(...) il n'est point nécessaire de contenir nos esprits dans aucune borne.

(...) Que si donc quelqu'un se résout à rechercher sérieusement la vérité des choses, il ne doit pas choisir une science particulière : car elles sont toutes conjointes entre elles et dépendent les unes des autres.

René Descartes

Règles pour la direction de l'esprit, 1629

Le précédent chapitre a présenté '*the state of the art*' sur l'évaluation des plantes transgéniques, c'est-à-dire dans notre cas à la fois l'état de la littérature au niveau scientifique et de la question au niveau politique. Le cadre épistémologique de cette thèse a lui été très brièvement abordé dans l'introduction, par la présentation des deux postulats initiaux de la thèse (voir p 13).

Ce chapitre présente les objectifs, la thèse et les hypothèses de cette recherche (**Section 1**). Les fondements théoriques, principalement ceux de l'approche systémique, mais aussi de l'analyse socio-technique, sont ensuite synthétisés (**Section 2**). Le choix des études de cas est ensuite présenté et discuté (**Section 3**). Finalement, la méthodologie suivie dans les études de cas est présentée composante par composante (**Section 4**).

1. Objectifs, thèse et hypothèses

Cette section explicite les objectifs de la thèse, liés aux deux postulats présentés en introduction, énonce la thèse et présente les quatre hypothèses qui y sont liées.

A. Objectifs

Cette thèse a deux principaux objectifs :

Le premier objectif est lié au postulat concernant la complexité des enjeux liés aux plantes transgéniques. Il s'agit d'analyser de manière systémique des cas concrets d'innovations scientifiques -des plantes transgéniques- en les étudiant d'une part dans le contexte des problèmes agricoles précis auxquelles elles répondent et d'autre part dans le contexte des systèmes dans lesquels elles s'insèrent -principalement des filières agroalimentaires- pour comprendre les interactions entre ces objets technologiques et les différentes parties de ces systèmes. Cette analyse doit permettre de mieux comprendre comment les acteurs des filières agroalimentaires gèrent des problèmes agricoles précis (tels que des maladies de plantes) et comment ils prennent en compte les innovations scientifiques qui résolvent ces problèmes. En une phrase : comprendre comment l'innovation est pensée et gérée dans des filières agroalimentaires et les systèmes de recherche qui y sont liés.

Le second objectif est lié au postulat concernant la nécessité de combler le décalage entre avancées technologiques et avancées institutionnelles. Il s'agit, à partir de la compréhension des processus concernant l'innovation dans les filières, de contribuer à améliorer la politique et la gestion publique de l'innovation. Comprendre comment penser idéalement l'innovation, comment la gouverner, comment la choisir, comment la gérer.

L'évaluation des innovations scientifiques n'est qu'une partie de la politique d'innovation, à côté d'autres domaines tels que les politiques de recherche par exemple. L'évaluation des plantes transgéniques est le point de départ de cette recherche. Les politiques de recherche et d'innovation ainsi que la gestion de l'innovation sont l'horizon de celle-ci.

Les recherches empiriques basées sur l'application de l'approche systémique à des cas particuliers de plantes transgéniques doivent servir à nourrir la réflexion critique sur l'innovation dans les filières agroalimentaires, à améliorer nos capacités de réflexivité, de maîtrise de nos capacités technologiques, et à réaliser des choix technologiques cohérents. Ces résultats empiriques vont permettre de développer ou d'améliorer des approches conceptuelles ainsi que des outils d'analyse, de réflexion, de débat et d'aide à la décision afin de permettre une articulation plus cohérente entre science, innovation et politique.

B. Thèse

« Une approche systémique d'innovations scientifiques dans le contexte des filières agroalimentaires permet une évaluation de leur pertinence agronomique et socio-économique. Cette évaluation rend possible une politique et une gestion de l'innovation ouvertes au débat démocratique sur les différentes possibilités d'atteindre des objectifs de durabilité dans nos systèmes agroalimentaires. »

Remarque : L'énoncé de la thèse appelle à une réponse de type qualitative et non binaire. Il faut anticiper à ce stade une spécificité de l'approche systémique quant à l'élaboration de la question de recherche. En systémique, il n'y a en effet pas systématiquement de question de recherche spécifique qui serait formulée de manière cadrée et fermée, permettant une réponse affirmative ou négative simple. La systémique est en effet utilisée dans des situations où l'objectif initial est simplement l'amélioration du fonctionnement du système étudié. C'est bien le cas ici : le chapitre précédent a en effet conclu à la nécessité d'une amélioration du 'système' de la gestion et de l'évaluation des innovations. (Rem : cette spécificité sera développée directement après l'énoncé des hypothèses.)

C. Hypothèses

Quatre hypothèses structurent la recherche :

« L'approche systémique est l'approche épistémologique essentielle pour étudier les innovations en agriculture et leur gestion au sein des filières, de manière complémentaire aux approches réductionnistes expérimentales »

Actuellement, les innovations scientifiques sont en effet essentiellement étudiées dans le cadre d'approches réductionnistes expérimentales -par exemple l'évaluation du risque de biosécurité- ou d'analyses économétriques. Les sciences expérimentales permettent de répondre séparément à une multitude d'aspects couverts par les objectifs de cette recherche. Par contre, elles n'offrent pas de méthode permettant d'intégrer l'ensemble des connaissances existantes et de relier celles-ci aux questions que les pouvoirs publics ont à gérer. Elles sont insuffisantes, seules, pour articuler les questions techniques précises liées aux innovations scientifiques et les dimensions agronomiques, socio-économiques et politiques concernées par ces mêmes innovations. A l'interface des sciences et de la politique, l'évaluation des innovations et les politiques concernant les choix technologiques ont besoin d'approches et de méthodes nouvelles tant pour être adaptés aux enjeux des nouvelles biotechnologies qu'à ceux des défis contemporains comme la nécessaire amélioration de la durabilité de nos modes de production et consommation.

« L'application de l'approche systémique à l'étude des innovations dans les filières agroalimentaires implique un enjeu méthodologique : le développement d'une méthode qui intègre et synthétise les connaissances existantes à deux niveaux, à savoir les connaissances scientifiques publiées et les connaissances des acteurs de terrain, non publiées ».

Cette hypothèse découle partiellement de la première. Elle suppose qu'un chercheur -ou même une équipe de recherche- ne peut produire lui-même l'ensemble des données que l'approche systémique nécessite quand elle est appliquée à un domaine aussi multidisciplinaire que l'agriculture. L'enjeu de la méthodologie à mettre en œuvre n'est donc pas uniquement de créer des connaissances scientifiques nouvelles mais surtout d'articuler les connaissances existantes et les expériences des acteurs concernés.

« Si l'innovation en agriculture est étudiée de manière systémique, alors le point de départ adéquat de l'analyse est l'objectif sous-jacent à l'innovation (par exemple, le problème auquel elle répond) et non l'innovation en elle-même ».

Le référentiel classique de la plupart des analyses des innovations scientifiques est l'innovation en elle-même. Ce référentiel conduit à des approches centrées essentiellement sur les risques, avantages ou impacts liés à l'innovation. Ce référentiel est insuffisant dans une perspective de développement durable. Cette troisième hypothèse stipule que l'approche systémique doit être centrée sur non pas sur l'innovation en elle-même et les risques qui y sont liés mais sur l'objectif explicite ou implicite de l'innovation, qui peut être de résoudre un problème agronomique (une maladie, des dégâts d'insectes, ...) ou de créer de nouvelles possibilités techniques. L'approche est donc centrée sur le couple objectif-innovation.

« Si l'innovation en agriculture est étudiée de manière systémique, la filière agroalimentaire est un des niveaux pertinents d'analyse ».

Cette hypothèse stipule que le niveau d'analyse pour une approche systémique n'est pas celui de l'innovation en elle-même, mais celui du système dans lequel elle s'insère. Ce système n'est pas de type agronomique (la parcelle, l'exploitation agricole, le bassin versant) mais de type socio-économique (la filière agricole ou agroalimentaire) ou socio-technique (le réseau d'acteurs concerné par l'innovation ou par l'objectif de celle-ci). Le système étudié n'est donc pas un système réel (comme une cellule végétale) mais conceptuel (une vue de l'esprit, la mise en valeur d'une partie de notre système agroalimentaire). Il est défini par l'observateur en fonction des objectifs de recherche. Cette hypothèse découle donc du choix de l'approche systémique et en plus particulier, de l'influence de l'analyse socio-technique, développées dans la section suivante.

La thèse et ces quatre hypothèses ont comme conséquence de situer cette recherche dans la perspective d'une complémentarité avec les approches existantes, notamment les évaluations de risques en matière de biosécurité.

Remarque : la validité de ces hypothèses est discutée en fin de manuscrit, au Chapitre 10 (voir p 446).

2. Fondements théoriques

A. Choix épistémologiques

Le objectifs et hypothèses posées ont pour conséquence que cette recherche ne consiste pas en l'application à la situation particulière choisie d'un cadre théorique et méthodologique complet pré-existant.

On peut considérer trois grands types de recherches : la recherche expérimentale qui vise à tester les limites de concepts et généralisations précédemment établies (*testing-out research*), la recherche exploratoire (*exploratory*) et la recherche visant à résoudre des problèmes (*problem-solving research*) (Philipps and Pugh, 2004). Les recherches de type exploratoire s'attaquent à des problèmes ou domaines pour lesquels peu de connaissances existent, au point que l'idée même de la recherche est difficilement formulée au début de la recherche. La recherche examine quelles théories et concepts sont appropriés, ou en développe de nouveaux si nécessaires. Elle examine quelles méthodologies sont appropriées. Les recherches qui visent à résoudre des problèmes ont comme point de départ un problème du monde réel. Elles combinent toutes les ressources intellectuelles nécessaires pour y apporter une solution : le problème doit être défini, de même que la méthode, pour aboutir à la solution. Ce type de recherche est souvent interdisciplinaire, impliquant plusieurs types de théories et méthodologies.

Cette thèse combine principalement des éléments des deux derniers types de recherche. D'une part, le point de départ initial a été « un problème du monde réel », celui de l'absence de méthodes permettant d'évaluer de manière systémique les avantages et inconvénients des plantes transgéniques. Ce problème était très palpable tant dans les discussions d'experts ayant à conseiller les pouvoirs publics sur les décisions à prendre sur les plantes transgéniques que dans le débat public général (Cfr pp 22-31). D'autre part, la direction précise de la recherche n'a pas été définie une fois pour toutes au début de la recherche. Plusieurs théories et méthodologies ont été utilisées, dont certaines ont été abandonnées, d'autres créées pour l'occasion, de même pour les concepts. Ce n'est qu'après avoir mené les deux études de cas que les résultats de cette recherche ont permis de tester les limites de concepts existants (*testing-out research*), bien que cela n'était pas un objectif initial.

La recherche a été construite à partir du choix épistémologique de l'approche systémique, enrichie par l'apport d'un autre champ théorique, celui de la théorie de l'acteur-réseau. Relativement peu connus, ces deux champs théoriques sont présentés dans la section suivante.

Le choix de l'approche systémique est légitimé par plusieurs constats :

- Les problèmes qui sont étudiés -la gestion des maladies cryptogamiques et des innovations scientifiques qui y répondent- sont des problèmes du monde réel (*real-world problems*) ou des 'enchevêtrements' (*messes*) pour lesquels l'approche systémique est pertinente (Ackoff and Emery, 1972 ; Checkland, 2004).
- L'agriculture implique des systèmes naturels et des systèmes sociaux qui s'imbriquent l'un dans l'autre. Elle est, par nature, multidisciplinaire. Une

recherche qui étudie ces systèmes écologiques et sociaux doit donc relever le défi de comprendre les interactions complexes entre les agroécosystèmes et les pratiques des acteurs humains. La systémique permet l'intégration des résultats des recherches réductionnistes.

- Les objectifs de la thèse concernent l'amélioration de systèmes (politiques et gestion de l'innovation, filières agroalimentaires). Or, l'amélioration de systèmes ne se fait pas par des approches linéaires et est un des objectifs des approches systémiques.

B. L'approche systémique

Dans cette section, nous présentons l'approche systémique (ou pensée systémique, *systems thinking*) et ses applications au domaine de l'agriculture, ainsi que les principes de la théorie de l'acteur-réseau qui sont utilisés dans cette recherche.

1) La systémique, méta-discipline complémentaire au réductionnisme scientifique

L'approche systémique est une **méta-discipline**. Elle peut s'appliquer à toute autre discipline tout comme l'approche expérimentale (ou scientifique) s'applique à la biologie, la physique ou d'autres disciplines (Checkland, 2004).

L'approche systémique accepte les acquis de la tradition scientifique qui postule que le monde est caractérisé par des phénomènes naturels et réguliers qui peuvent être isolés les uns des autres pour être étudiés. Elle suppose cependant que le monde contient des ensembles (depuis la cellule jusqu'aux sociétés humaines) qui sont régulés par certains principes qu'elle entend définir et explorer. Ces ensembles, des systèmes, sont l'objet de la systémique. La systémique avance que la réalité est mieux comprise comme un tout (épistémologie holistique plutôt que réductionniste) (Whitmore, 1998).

La systémique s'est développée en réaction à la complexité grandissante des ensembles qui nous entourent, à l'irréductibilité de certains phénomènes et en réaction à l'inefficacité des préceptes réductionnistes à résoudre un nombre croissant de problèmes du monde. Elle s'est développée dans les années cinquante par la rencontre de plusieurs disciplines : le structuralisme, la cybernétique (travaux de Wiener), la théorie de l'information (travaux de Shannon), la bionique (travaux de Mac Culloch) et la biologie. C'est le biologiste Von Bertalanffy qui est considéré comme le fondateur de la systémique, avec sa « Théorie du système général » (Durand, 2002).

La systémique a pour **objectif** de comprendre un système, en représenter le fonctionnement, voire en modéliser la structure. Elle se concentre sur des problèmes du monde réel, en particulier ceux de la gestion pour lesquels des améliorations ou un changement est souhaité (Checkland, 2004). Les points de départ sont des situations de complexité ou d'incertitude, ou encore des enchevêtrements (*messes*) qui ne sont pas améliorables par des approches linéaires, déterministes ou réductionnistes (Ackhoff and Emery, 1972).

L'approche systémique est **complémentaire** au réductionnisme scientifique, modèle principal de pensée scientifique. Elle est considérée comme un « paradigme alternatif d'analyse et d'exploration de la réalité » (Bonami, 1996). Les deux approches (des

« manières d’appréhender des problèmes ») incarnent des visions du monde différentes. L’opposition des deux est donc inappropriée car elles détiennent toutes deux des éléments de vérité. Un modèle conceptuel hiérarchisant les stratégies qui permettent de résoudre des problèmes a d’ailleurs été construit afin de conceptualiser le continuum entre réductionnisme et holisme, il s’agit de la spirale de Hawkesbury (Whitmore, 1998).

Il a par ailleurs été proposé de parler ‘recherche orientée vers l’entièreté’ (*wholeness-oriented research*) plutôt que de recherche holistique afin de montrer que ce qui est recherché est bien la totalité mais sans prétendre à atteindre celle-ci, étant donné qu’aucune recherche ne peut capturer l’ensemble de la réalité (Alroe and Kristensen, 2002).

Préceptes

Les **préceptes** de la théorie systémique ont été énoncés par Le Moigne dans sa Théorie du système général (Le Moigne, 1977). Ils sont opposés à ceux préconisés par Descartes dans son « Discours sur la méthode » :

- au précepte de l’évidence est opposé le précepte de pertinence « *Convenir que tout objet que nous considérons se définit par rapport aux intentions implicites ou explicites du modélisateur. ...* »
- au réductionnisme est opposé le précepte de globalisme « *Considérer toujours l’objet à connaître par notre intelligence comme une partie immergée et active au sein d’un plus grand tout. ...* »
- au causalisme est opposé le précepte téléologique « *Interpréter l’objet non pas en lui-même, mais par son comportement.. Comprendre en revanche ce comportement et les ressources qu’il mobilise par rapport aux projets que, librement, le modélisateur attribue à l’objet. ...*»
- à l’exhaustivité le précepte d’agrégativité « *Convenir que toute représentation est simplificatrice, non pas par oubli du modélisateur, mais délibérément. ...* »

Ces préceptes guident la **définition des principes** essentiels de la systémique :

- *Le principe de totalité* : « le tout est plus que la somme des parties ». Il est aussi « moins et différent » (Morin, 2005).
- *Le principe de finalité* : le comportement du système est orienté, ne fut-ce que pour sa propre survie.
- *Le principe d’équifinalité* : le même état final peut être atteint à partir d’états initiaux différents, par des chemins différents.
- *Le principe d’interaction ou d’interdépendance* : chaque élément tire son information des autres éléments et agit sur eux. Pour comprendre un élément, il faut le considérer dans le contexte avec lequel il interagit.
- *Le principe de rétroaction (feed-back)* : La rétroaction est l’information en retour sur l’état d’un processus qui permet de corriger ou confirmer l’orientation du processus.
- *Le principe d’homéostasie* : lorsqu’un système subit une légère transformation, d’origine interne ou externe, il a tendance à revenir à son état antérieur. L’homéostasie est une notion de stabilité dynamique, comportant la nécessité d’ajustements en permanence.

Le principe de totalité est associé à un autre concept, celui d'**émergence**. A partir d'un certain niveau de complexité, le système a des propriétés émergentes, celles qui émergent de l'assemblage des composants (ou sous-systèmes) mais qui ne sont pas des propriétés de ceux-ci de manière indépendante. Les systèmes ne peuvent donc pas être correctement étudiés en isolant les composants.

Système, structure et fonctionnement

Un système est, au sens étymologique, un 'ensemble organisé'. L'acceptation plus commune du terme est « un ensemble d'éléments en interaction dynamique organisés en fonction d'un but » (De Rosnay, 1975).

La structure d'un système comporte (i) les frontières du système, ce qui distingue le système de son environnement et à la fois ce qui le relie à lui (ii) les éléments du système qui peuvent être regroupés par catégories (iii) des réservoirs qui permettent de stocker matière, énergie et information et (iv) des réseaux de communication qui permettent la circulation des flux et structurent le système¹⁵.

Le fonctionnement du système est étudié par l'identification des flux, des centres de décision, des délais et des boucles de rétroaction.

Comparaison de l'approche systémique avec l'approche analytique

L'approche systémique diffère nettement de l'approche cartésienne. Le tableau 2 compare les deux approches. A l'inverse de la logique cartésienne qui dissocie et décompose, la logique systémique associe, rassemble et considère les éléments dans leur ensemble les uns vis-à-vis des autres et dans leur rapport à l'ensemble. A l'inverse de l'approche analytique qui prend en compte l'individu, l'élément ou le problème considéré, l'approche systémique prend en compte l'ensemble du système auquel appartient l'individu, l'élément ou le problème considéré afin de l'appréhender par les interactions qu'il entretient avec les autres éléments du même système.

¹⁵ L'étude des processus de communication et de contrôle (rétroaction, etc) est partie intégrante de la systémique. La communication et le contrôle sont deux concepts provenant de la cybernétique, la science de l'information. Celle-ci oppose l'information (mesure de l'organisation) à l'entropie (mesure de désorganisation).

Tableau 2 : Comparaison des approches systémiques et analytiques. Tiré de De Rosnay (1975)

Approche analytique	Approche systémique
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Isole</i> : se concentre sur les éléments. Considère la nature des interactions. S'appuie sur la précision des détails. Modifie une variable à la fois. Indépendante de la durée : les phénomènes considérés sont réversibles. • La validation des faits se réalise par la preuve expérimentale dans le cadre d'une théorie. • Modèles précis et détaillés mais difficilement utilisables dans l'action. • Approche efficace lorsque les interactions sont linéaires et faibles. • Conduit à un enseignement par disciplines. • Conduit à une action programmée dans son détail. • Connaissance des détails, buts mal définis. 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Relie</i> : se concentre sur les interactions entre les éléments. Considère les effets des interactions. S'appuie sur une perception globale. Modifie des groupes de variables simultanément. Intègre la durée et l'irréversibilité. • La validation des faits se réalise par comparaison du modèle avec la réalité. • Modèles insuffisamment rigoureux pour servir de bases aux connaissances mais utilisables dans la décision et l'action. • Approche efficace lorsque les interactions sont non linéaires et fortes. • Conduit à un enseignement pluridisciplinaire. • Conduit à une action par objectifs. • Connaissance des buts, détails flous.

Approches 'hard system' & 'soft system'

Au sein de la systémique, deux approches considèrent deux différents types de systèmes. Les *hard systems* sont bien organisés et sont facilement mesurables et quantifiables alors que les *soft systems* sont faiblement structurés, difficilement modélisables en chiffres, et ont pour principaux composants des êtres humains. Dans l'approche *hard system*, le système existe vraiment dans le monde réel, ses compartiments et flux peuvent être modélisés. L'approche *soft systems* considère des systèmes conceptuels : le système est une manière de penser pour comprendre un problème et tenter d'améliorer la situation (ICRA, 2000; Ison et al., 1997).

L'approche *hard systems* est orientée vers un objectif précis, celui de déterminer comment améliorer une situation donnée par rapport à un problème bien spécifié. On connaît l'état S1 d'une situation donnée et on souhaite aller à l'état S2 et on connaît également les différentes manières d'y arriver. L'objectif est de déterminer la meilleure solution. Cette branche de la systémique a engendré des approches de « systems engineering », par exemple l'analyse systémique développée par la RAND Corporation. Elle a un prolongement naturel dans la recherche opérationnelle. L'approche *hard systems* a été développée pour optimiser l'efficacité d'un système : la finalité de ce système et la mesure de l'efficacité ne sont pas remises en question (ICRA Learning materials and Hawkins, 2000). L'inconvénient de cette approche est que très peu de problèmes du monde réel se présentent sous forme de systèmes dont les buts sont bien définis. L'analyse systémique totalement quantifiée, modélisée, optimisant les interactions les plus complexes, un rêve d'ingénieur pour gérer de manière optimale tous les systèmes, ne peut donc pas remplacer la politique (Latour, 2005).

L'approche *soft systems* n'est pas autant orientée par un but bien particulier et précis. Lorsqu'elle est appliquée à des problèmes de gestion, son objectif est de répondre à trois questions : Quelles sont les caractéristiques du système ? Peut-il être modifié ? Comment ? (Checkland, 2004). Elle a entraîné le développement de méthodologies de recherche qui sont des processus d'apprentissage entre le(s) chercheur(s) et les acteurs du système étudié : la recherche-action (*action research*) (Checkland, 2004), le *'systems*

learning' (Ison et al., 1997), le '*systemic development*' (Whitmore, 1998) et le '*critical systems thinking*' (Ulrich, 1990).

Cette recherche s'ancre dans l'approche *soft systems*.

2) La systémique, pertinence pour les sciences agronomiques ?

La systémique a été utilisée dans l'étude des systèmes physiques, des systèmes vivants (écologie, biologie, les sciences humaines et les sciences de la cognition) et des systèmes sociaux (l'entreprise, la famille, les systèmes économiques, ...).

L'agriculture est **multidisciplinaire** par nature : elle est caractérisée par des pratiques qui impliquent à la fois des systèmes naturels et sociaux. Elle a été en fait un champ d'application naturel de la systémique. La multidisciplinarité de l'agriculture et des sciences agronomiques est évidente dans la pratique professionnelle de l'agronomie et dans la définition de celle-ci : L'agronomie est « *l'ensemble des sciences exactes, naturelles, économiques et sociales à l'application desquelles il est fait appel pour comprendre l'agriculture dans toutes ses dimensions à l'exception de ce qui a trait à la médecine vétérinaire* » (Agence de Coopération Culturelle et Technique, 1977). Cependant, cette intégration des disciplines est moins évidente au niveau de la recherche scientifique en agronomie, où ce sont essentiellement des systèmes naturels qui sont étudiés. L'approche réductionniste et expérimentale reste dominante dans l'analyse des systèmes (biochimiques et physiques, végétaux, agricoles, des bassins versants, des systèmes régionaux et supra-régionaux). Ce constat ne met pas en opposition les approches, mais constate un déséquilibre.

L'approche systémique appliquée à la gestion des ressources naturelles est définie comme celle qui intègre les aspects biologiques, sociaux et organisationnels ou institutionnels de l'agriculture et de la gestion du développement agricole afin de comprendre et améliorer le système dans son ensemble (Ison et al., 1997).

Il y a plusieurs **méthodologies systémiques** appliquées à l'agriculture. Les méthodes *hard systems* sont prédominantes : la modélisation des cultures ou de la gestion de l'irrigation (Stephens and Hess, 1999), la *Farming system research* (FSR) (Ison et al., 1997), ou *l'agroecosystem analysis* de Conway (Conway, 1985, 1987). Parmi les méthodologies *soft systems*, on compte par exemple l'approche *systems agriculture* (Bawden, 1991) ou la *rapid rural appraisal* (Chambers, 1981). La systémique a également inspiré des analyses des différents domaines transdisciplinaires liés à l'agriculture : la gestion des maladies (Lewis W.J. et al., 1997), la réduction de l'utilisation des pesticides (Alroe and Kristensen, 2000), la théorie de l'évolution et de la différenciation des systèmes agraires (Mazoyer et Roudart, 2002) ou l'analyse de la construction de la sécurité alimentaire dans les filières (Hennessy et al., 2003).

L'approche systémique a aussi inspiré des méthodologies dans l'étude de la gestion de l'innovation. On parle dans ce cas d'**approches systèmes d'innovation** (*SI approach*) (Lundvall, 1992; Nelson, 1993). Cette approche n' pas été suivie dans les deux études de cas mais a par contre été utilisée dans le Chapitre 7.

L'approche systémique appliquée à l'agriculture reste une approche méthodologique en construction bien que ses concepts et sa formulation théorique générale aient été largement décrits. Cette nécessité d'explorer et développer une méthodologie

systemique a d'ailleurs été particulièrement évidente en agriculture biologique et fait l'objet de développements récents (Alroe and Kristensen, 2000; 2002).

Il existe peu d'analyses de l'innovation en agriculture qui se revendiquent de l'approche systémique. Morris et al. (1999) ont adopté une recherche-action systémique qui identifie en quoi certaines innovations ou pratiques agricoles innovantes peuvent réduire l'impact environnemental de l'agriculture, et quel était le potentiel de différentes innovations pour les agriculteurs. L'analyse comprend une analyse de la gamme d'innovations potentielles et quantifie les impacts de ces innovations sur le rendement, la marge économique, les bénéfices pour l'emploi et l'environnement, le tout à l'aide de scores simplifiés (1/5 à 5/5). Les contraintes en termes de temps de travail, de coûts, de facilité de mise en œuvre et d'obstacles à utilisation sont également prises en compte. L'analyse évalue aussi les interactions entre les différentes technologies et les effets systémiques de l'utilisation de nouvelles technologies (comme les changements en termes de pression des pairs sur les agriculteurs ou de la perception qu'ont les agriculteurs des avis et contraintes en matière d'environnement).

3) L'analyse socio-technique : principes utiles pour l'analyse de l'innovation

Si l'approche systémique constitue le cadre théorique et épistémologique adéquat par rapport aux objectifs choisis, la méthodologie développée pour mener pratiquement une approche systémique d'innovations en agriculture a été également inspirée d'un second cadre d'analyse. Ce cadre est la théorie de l'acteur-réseau (*Actor-Network Theory*, ANT)¹⁶, un courant important en sociologie des sciences et techniques.

Utiliser un champ théorique de la sociologie des sciences dans une thèse présentée dans une Faculté d'ingénierie biologique, agronomique en environnementale peut étonner. Et pourtant, bien que majoritairement négligées dans la pratique, les sciences sociales sont intrinsèquement incluses dans la définition même de l'agronomie. Les dimensions sociales sont en effet omniprésentes tant au niveau de la production agricole que de l'innovation et de la science.

Les plantes transgéniques sont un des domaines d'application de l'analyse socio-technique (Joly, 2003). Les applications proches de cette finalité de tenir compte du couple objectif/innovation sont beaucoup plus rares. Arellano-Hernandez (1998) a effectué une analyse socio-technique de l'engagement de fondations et chercheurs américains et mexicains dans la création de maïs hybrides au Mexique dans les années 30, en retraçant les raisons qui ont abouti à ce choix (au détriment de l'amélioration classique).

Cette section s'attache principalement à montrer comment certains principes de l'ANT ont été utiles pour l'approche systémique de l'innovation. La présentation de l'ANT sera donc brève étant donné que cette recherche s'en inspire plutôt que d'être réellement fondée sur cette approche.

L'ANT est une théorie sociologique qui étudie la production des faits scientifiques et des innovations. Elle a été développée par Michel Callon, Bruno Latour et John Law (Callon, 1986 ; Latour, 1989 ; Amblard et al., 1996). L'ANT s'ancre dans le courant

¹⁶ Encore appelé 'sociologie de la traduction' ou 'analyse socio-technique'.

‘relativiste’ en sociologie des sciences qui remet en question la vision classique de la science comme structure sociale normée, fondée par Merton, et a au contraire pour objectif d’ouvrir les ‘boîtes noires’ que sont les faits scientifiques.

L’objectif de l’ANT est de reconstituer les processus par lesquels la science se construit réellement. Elle analyse les réseaux socio-techniques qui sont articulés autour des innovations et des projets de recherche. Elle reconstruit les processus scientifiques et technologiques grâce à une démarche méthodologique en dix étapes. Sa plus grande particularité est de traiter objets techniques et acteurs humains sur le même pied, amenant ainsi encore plus loin le principe de symétrie du ‘programme fort’ de la sociologie des sciences, qui recommandait de traiter succès et échecs sur le même pied.

Le programme fort comporte quatre principes.

- *Principe de causalité* : les variables sociales, qui influencent ou déterminent d’autres variables (technologiques par exemple) doivent être prises en compte pour expliquer l’état des connaissances.
- *Principe d’impartialité* : le chercheur doit être impartial (sans préjugé) quant à la vérité ou la fausseté d’une connaissance, la rationalité ou l’irrationalité d’une croyance, le succès ou l’échec d’un projet. Il doit les traiter de la même manière.
- *Principe de symétrie* : Les aspects techniques, sociaux et économiques doivent être mis sur pied d’égalité dans l’attitude méthodologique et être étudiés de manière symétrique.
- *Principe de réflexivité* : le chercheur doit appliquer ces critères à l’étude elle-même

Le point d’accroche initial avec l’ANT est le fait que celle-ci prend un objet bien précis comme point de départ de l’analyse. Cette pratique correspondait bien avec l’objectif d’analyser de manière systémique un cas bien précis de plante transgénique.

Le principe de suivre un objet technique ou une innovation technologique et d’appréhender un réseau d’acteurs autour de celui-ci a donc structuré la méthodologie. Cependant, si l’ANT analyse un objet, c’est le couple objectif/innovation qui est au centre de l’approche systémique.

Le second principe suivi est celui qui avance qu’«*il n’y a pas de causes économiques, sociologiques, politiques ou techniques générales qui expliquent le succès ou l’échec d’une innovation : celui-ci est le résultat de la controverse elle-même. Les caractéristiques d’une innovation qui font son succès ne sont pas les causes du succès mais ses conséquences*». Ce principe peut sembler exagérément relativiste. En agriculture, le succès ou l’échec d’une innovation est puissamment lié à sa performance agronomique et économique. Tout dépend cependant de la mesure de cette performance. L’économie de l’environnement a, depuis longtemps, montré que la mesure classique de la performance économique (d’un système agricole par exemple), est complètement biaisée si elle n’intègre pas les externalités économiques et environnementales, positives et négatives, si elle ne mesure pas l’entièreté des effets non pris en compte par le marché ou dépassant le cadre du système étudié¹⁷.

¹⁷ Une analyse des coûts cachés de l’agriculture du Royaume-Uni a par exemple été faite récemment (Pretty et al., 2000).

Ce principe, qui reprend le principe de symétrie, a conduit à faire une analyse symétrique des causes techniques, économiques ou politiques des succès et échecs des innovations, en analysant les explications des acteurs sur le succès de certaines innovations et l'échec d'autres. L'idée de refuser la présence d'obstacles ou inconvénients techniques comme seules causes de l'échec d'une innovation a été particulièrement utile. Elle a abouti à l'analyse des obstacles à l'utilisation des variétés résistantes de pommiers (Chapitre 3), à l'analyse des déterminants d'innovation techniques ou socio-économiques de différentes innovations (Chapitre 4) ou à l'analyse de ces mêmes déterminants d'innovation dans les systèmes de recherche agronomiques (Chapitre 7).

Certains principes méthodologiques de l'ANT ont guidé l'enquête auprès des acteurs. Le choix des acteurs interviewés, par exemple, n'est pas fait de manière systématique, mais par la méthode 'de proche en proche', qui correspond bien à analyser et reconstituer le réseau -le système- qui existe autour d'un problème ou d'une innovation (Voir p 87). De même, l'ANT a influencé la manière de mener les entretiens. Le guide d'entretien par exemple été structuré pour partir du rôle de chaque acteur par rapport au problème donné. L'analyse qui consiste à bien comprendre l'intérêt de chaque acteur par rapport au problème et à l'innovation a été un des axes importants de la méthode. Les sous-questions de l'entretien visaient à prendre en compte les éléments aussi bien techniques que socio-économiques, à comprendre aussi bien le succès de certaines innovations que l'échec d'autres.

La recherche a cependant été loin de suivre complètement l'ANT. Cette méthode est en fait surtout adaptée à l'étude de la trajectoire d'une innovation particulière (un processus d'innovation, un programme de recherche et développement, etc). Or, c'était bien la compréhension systémique de la gestion de l'innovation par rapport à des objectifs et des problèmes agronomiques qui était l'objet d'étude principal de la thèse. Dès lors qu'il s'agissait d'analyser comparativement plusieurs innovations (plusieurs trajectoires) par rapport au même objectif, le principe de suivre une innovation était insuffisant et trop contraignant. Le cadre de l'ANT permettait d'analyser plusieurs sous-parties de la recherche (l'analyse des obstacles au développement des variétés résistantes ou aux mélanges variétaux) mais pas de construire l'ensemble de l'analyse.

Enfin, l'approche systémique n'a intégré ni le langage particulier de l'ANT ni les dix étapes de celles-ci (depuis l' 'intéressement' jusqu'à la 'traduction'), deux éléments jugés non prioritaires voire inutiles dans l'utilisation de l'ANT qui était faite ici.

Remarque : Deux sections discutent l'utilisation de l'approche systémique dans cette thèse : *Forces et faiblesses de la méthodologie développée et utilisée* (p 299) et *Hypothèses 1 et 2 : L'approche systémique est l'approche épistémologique adéquate pour étudier les innovations en agriculture et nécessite le développement d'une méthodologie adaptée* (p 446).

3. Terrain empirique : choix des études de cas

Le choix des deux études de cas de cette thèse n'est pas le fruit du hasard mais du contexte initial dans lequel est née cette thèse et de choix stratégiques faits afin de limiter la complexité des enjeux à étudier.

Les études de cas sont chacune limitées à une culture et à un problème pour cette culture (une maladie en l'occurrence). Cette attention apportée à des cas très précis est nécessaire pour dépasser les généralités du débat OGM et pour coller à la réalité des problèmes du monde agricole. La sélection parmi les innombrables cas de plantes existantes ou en cours de développement en 2003 a abouti au choix des pommiers résistants à la tavelure et des froments résistants aux maladies cryptogamiques (fusariose et septoriose).

A. Deux filières agroalimentaires et deux enjeux significatifs

Les deux cultures étudiées, pommiers et froments, sont toutes les deux impliquées dans des filières agricoles ou agroalimentaires significatives du secteur agricole belge et même européen. La pomme est le fruit le plus consommé en Europe après la banane. L'arboriculture fruitière est une filière importante en Belgique, surtout dans les provinces du Limbourg et de Liège. C'est aussi une filière en développement. Quant aux céréales, elles sont à la base de notre alimentation et de celle du bétail. Le froment d'hiver est la première culture de Wallonie en termes de surface, et il implique une très grande partie des acteurs du secteur agricole en Wallonie.

Les deux problèmes étudiés, la tavelure du pommier d'une part et la fusariose et la septoriose du froment d'autre part, sont des problèmes significatifs pour chaque filière et pour lesquels des plantes transgéniques sont réellement en développement. Ce sont toutes deux des maladies cryptogamiques (des maladies des plantes occasionnées par des champignons microscopiques). Elles requièrent des applications de fongicides coûteuses (intensives dans le cas de la tavelure du pommier). La fusariose est également associée avec la présence de mycotoxines problématiques.

1) Les problèmes sanitaires et environnementaux des fongicides

L'application de fongicides, outre son coût, pose aussi des problèmes environnementaux et de santé publique.

Les fongicides sont néfastes sur la faune aquatique mais aussi par exemple sur les insectes utiles dans les vergers. Les interactions entre produits, mélangés lors de la pulvérisation pour économiser le coût de l'application, sont complexes. Certains fongicides exacerbent la toxicité de certains insecticides, augmentant leurs effets néfastes et la complexité de l'analyse de ceux-ci. Les fongicides utilisés en verger ont par exemple un impact sur les insectes auxiliaires, or 2/5 des insectes vivant dans un verger sont des insectes utiles (comme pollinisateurs entre autres)¹⁸. Il faut donc

¹⁸ Philippe Lebrun, intervention lors de l'après-midi d'études « *Lutte intégrée ou biologique en arboriculture fruitière* », 14 décembre 2005, organisée par la DG Agriculture (Région Wallonne), Moulins de Beez, Namur.

concevoir la toxicité des fongicides comme une partie du problème de l'utilisation des pesticides en général.

Pour reconstituer le réel impact de ces produits, il faudrait analyser l'effet combiné de l'exposition (par absorption, par ingestion, etc) d'un cocktail de produits (fongicides, herbicides, insecticides, etc) utilisés sur l'ensemble des cultures produisant nos aliments (céréales, fruits, légumes, etc) et sur des longues périodes (plusieurs décennies).

Cette tâche est extrêmement complexe.

Au niveau du nombre de substances utilisées, il y avait 800 substances actives qui pouvaient être utilisées comme pesticides en Europe en 1993 et encore 489 en 2005 après l'obligation d'inscription dans la liste positive européenne (Aubertot et al., 2005). Ces 489 substances (165 fongicides) appartiennent à 150 familles chimiques différentes et sont commercialisées dans 2500 produits. Le profil toxicologique de ces substances, au niveau individuel, est disponible sur diverses bases de données (Agritox, etc) ou documents généralistes (Pesticide Manual, 2006)

Au niveau des quantités de substances actives, on estime la quantité de pesticides à usage agricole à 6150 tonnes en Belgique (Comité Régional Phyto, 2007) et 76100 tonnes en France (Aubertot et al., 2005). Cette quantité correspond à 5.9 kg/ha pour les grandes cultures en Belgique ou, en nombre d'applications et pour la France, à une moyenne de 6.6 traitements par an pour le blé et plus de 17 traitements fongicides et 10 traitements insecticides par an en verger. Les quantités françaises ont augmenté durant la seconde moitié des années 90 et diminué de 24% (31% pour les fongicides) depuis 2001.

La diminution du volume de matière active peut cependant être contrebalancée par le choix de produits plus actifs, ce qui fait dire aux experts français de l'INRA et du CEMAGREF, dans une expertise officielle sur la réduction de l'utilisation des pesticides « *Il n'est pas possible de relier directement ces évolutions de consommation à la baisse avec une évolution des modes de production résolument orientés vers une réduction des utilisations de produits de protection des plantes par les agriculteurs. Les tonnages vendus en 2002 sont par exemple comparables à ceux du milieu des années 90.* ». (Aubertot et al., 2005)

Au niveau des résidus, l'Agence Fédérale pour la Sécurité de la Chaîne Alimentaire (Belgique) mesurait en 2005 plus de 7% de dépassement de normes maximales de résidus légalement acceptables dans les échantillons de fruits (essentiellement d'autres fruits que la pomme) mais aucun pour les céréales (AFSCA, 2005). 44% des échantillons de fruits et légumes et 87% des échantillons de céréales n'avaient aucun résidu. Des 200 pesticides testés dans les fruits et légumes, 72 étaient trouvés dans des concentrations ne dépassant pas les maxima autorisés (à noter que les maxima légaux ne signifient pas un danger direct pour le consommateur). Les fongicides étaient les principaux pesticides retrouvés.

On estime pourtant que la **contamination des milieux est généralisée** : sols agricoles, eaux superficielles et souterraines, et air dans toutes les phases atmosphériques (Aubertot et al., 2005)

Cette contamination des milieux et la présence des résidus entraînent **des problèmes pour la santé publique** (par l'ingestion des fruits, la consommation d'eau ou la respiration de l'air) et **pour l'environnement** (biodiversité, toxicité pour la faune, etc).

De nombreuses synthèses de ces effets ont été faites depuis le fameux ‘*Silent Spring*’ de Rachel Carlson (1963), tant par des chercheurs indépendants (Pimentel, 1997 ; Hond et al., 2003) que par des organisations environnementales (Natural Resources Defense Council, 1998 ; Veillerette, 2002 ; Stenuit et Van Hammée, 2004 ; PAN, 2007). Au niveau de la santé publique, les effets observés par des études épidémiologiques (effectuées surtout aux Etats-Unis et souvent sur les travailleurs agricoles) sont nombreux : troubles respiratoires, troubles de la mémoire, dépressions, problèmes dermatologiques, déficits neurologiques, leucémies, tumeurs cérébrales, cancers des ganglions et de la prostate. Sur le plan environnemental, les impacts sont la réduction de la biodiversité, la contamination des captages d’eaux entraînant l’inutilisation ponctuelle ou structurelle d’un nombre croissant de ceux-ci, des problèmes pour l’apiculture, etc.

Ces impacts ont bien sûr des répercussions économiques rarement calculées.

Les recherches existantes permettent donc de suspecter la non nocivité des produits phytosanitaires, évaluée dans des procédures réglementaires d’homologation des produits (une évaluation au ‘cas par cas’, sans prise en compte des interactions entre produits, et faite sur des courtes périodes). Les impacts néfastes sur la santé et l’environnement, malgré la controverse sur leur ampleur, entraînent d’ailleurs régulièrement l’interdiction de certains produits (le captane, fongicide utilisé en verger, a été par exemple interdit en Allemagne) et surtout la mise en œuvre de **programmes publics de réduction de l’utilisation des pesticides**. En Région Wallonne, le Comité Régional Phyto a notamment pour mission de sensibiliser les agriculteurs à un usage ‘durable’ des pesticides. Au niveau belge, un programme fédéral de réduction des pesticides vise une diminution de 25% de l’impact négatif des pesticides utilisés dans l’agriculture en 2010 par rapport à 2001 (Ministre de l’environnement, 2004). Des projets similaires existent en France, aux Pays-Bas, au Danemark, en Suède et en Norvège (Aubertot et al., 2005). Cet objectif est d’ailleurs repris dans les recommandations internationales (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Dans cette recherche-ci, les risques sanitaires et environnementaux des fongicides spécifiques aux deux études de cas n’ont pas été étudiés. Ce travail représenterait une autre thèse de doctorat. Il a été choisi de suivre comme postulat l’existence d’impacts négatifs généralisés mais diffus des pesticides et la pertinence d’une diminution de leur utilisation. Ces postulats justifient particulièrement l’intérêt d’analyser l’innovation par rapport à ces problèmes, et surtout les voies d’innovations qui sortent de la phytopharmacie de synthèse.

Le choix des deux études de **cas** permet donc d’étudier des plantes transgéniques potentiellement importantes pour l’agriculture belge car touchant à l’objectif public de réduction de l’utilisation des pesticides.

Le choix des deux cas relève aussi d’autres éléments, différents pour chacun des cas.

2) Le choix du cas du pommier résistant à la tavelure

En 2003, un dossier de pommiers transgéniques faisait l’actualité, celui d’un pommier transgénique autofécond (autofécond). Comme celui d’un pommier transgénique résistant à la tavelure, il a été accepté par le Conseil de Biosécurité, l’autorité administrative compétente, mais refusé par la Ministre compétente. L’opportunité de creuser un de ces deux dossiers était donc forte. Pourtant, d’autres cas de cultures transgéniques (colza, betterave, maïs, ...) étaient tout aussi valables. Une des premières

décisions était cependant de choisir parmi les cas de plantes transgéniques qui avaient fait l'objet d'une demande officielle de « dissémination volontaire » auprès du Conseil de Biosécurité Belge.

Une motivation du choix du pommier transgénique, une fois les premiers critères définis, est bien plus pragmatique. En avril 2003, les deux mois passés à faire une première revue de la littérature existante et à participer à des réunions du Conseil de Biosécurité ainsi qu'à quelques conférences scientifiques sur les plantes transgéniques ont permis d'appréhender la complexité des enjeux à étudier si une approche réellement systémique devait être faite sur une culture transgénique. Autant l'objectif était d'affronter cette complexité, autant le réalisme sur les chances d'aboutir et d'être capable d'analyser ces enjeux était nécessaire. Le choix du pommier permettait, dans ce contexte, de réduire une première couche de complexité. Un verger de pommiers est en effet planté pour une douzaine d'années au même endroit : ce simple choix d'une culture pérenne permettait d'éviter d'étudier une culture dans le cadre de sa rotation. Blé, colza, betterave, sont chacun insérés dans des rotations et chaque problème de chaque culture interagit avec ceux des autres cultures. C'est un article (May, 2003) qui a permis de se rendre compte de cela : l'auteur se concentrait sur les seules dimensions de coût économique à l'hectare et chiffrait l'ensemble de ces interactions (par exemple, le coût de contrôler les éventuelles repousses de betteraves transgéniques résistantes au glyphosate). Le choix 'agronomique' de cette première étude de cas était donc lié à l'enjeu méthodologique.

La seconde raison qui a conduit à ce choix était stratégique : les principales plantes transgéniques (maïs et soja résistants à des herbicides totaux ou ayant des propriétés insecticides) étaient déjà abondamment étudiées par des équipes de recherche américaines ou françaises par exemple. Prétendre faire mieux que ces équipes expérimentées et présentes sur les lieux de culture de ces plantes semblait peu réaliste en début de thèse. Le choix d'un cas de plante transgénique en cours de développement, au lieu de celui d'une plante déjà commercialisée, permettait donc aussi de s'attaquer à un champ de recherche moins exploré, celui de l'analyse prospective des avantages et des inconvénients de plantes transgéniques n'ayant pas encore dépassé le stade des champs d'essais.

Le choix d'un cas de pommier transgénique était finalement cohérent avec l'actualité politique centrée sur l'évaluation des plantes transgéniques en Belgique en 2003. C'est en effet suite à une demande officielle d'autorisation d'un verger expérimental de pommiers transgéniques que la Belgique avait initié une réflexion sur la possibilité d'une évaluation des aspects éthiques et socio-économiques des OGM (Cfr *L'expérimentation belge d'une évaluation des aspects éthiques et de durabilité* p 56).

3) Le choix du cas du froment résistant aux maladies

Pour la seconde étude de cas, la sélection des cas possibles a eu pour point de départ les bases de données des champs d'essais de plantes transgéniques en Belgique, en Europe et aux Etats-Unis¹⁹. Les critères de choix étaient différents de ceux ayant mené à la première étude de cas.

¹⁹ En Europe, les plantes pour lesquelles il y avait plus de 20 essais dans les bases de données (Joint Research Center, online) ont été retenues : betterave sucrière et betteravière, chicorée, coton, maïs, blé,

La localisation des essais expérimentaux de plantes transgéniques en Belgique, qui était un critère de sélection, n'était plus un critère pertinent. La globalisation des recherches en génie génétique était de plus en plus avérée en 2004 avec l'expatriation de centres de recherches de plusieurs multinationales freinées en Europe par le climat anti-OGM (réglementations et militants faucheurs d'OGM). Les OGM développés dans un centre de recherche outre-Atlantique pouvaient être destinés au marché européen. Les recherches expérimentales aux Etats-Unis avaient donc autant de pertinence pour nos agricultures que les essais effectivement réalisés en Belgique, qui n'étaient pas réellement significatifs.

Un nouveau critère était celui de choisir une grande culture 'agricole', pour ne pas rester dans l'horticulture, secteur qui a ses spécificités. Un autre critère était d'étudier une culture pour laquelle il existait une diversité de systèmes de culture (au minimum un système de type 'agriculture conventionnelle intensive' et un système 'agriculture biologique'). Toutes les cultures ne satisfaisaient pas à ce critère (la betterave par exemple).

Enfin, en 2004, la comparaison des deux études de cas était considérée comme un avantage voire une nécessité, ce qui représentait un tournant dans la recherche. L'enjeu initial de la thèse en 2003 n'était pas la comparaison mais l'exploration du sujet (« chaque cas ouvre de nouvelles questions ») et le développement d'une méthode, celle-ci devant donc justement être appliquée et testée sur des cas très différents.

Le choix du froment résistant aux maladies cryptogamiques permettait à la fois la comparaison et l'amélioration de la méthode, en changeant de culture mais pas de type de problème (maladies cryptogamiques). Ce choix permettait aussi une certaine économie en terme de compréhension des enjeux techniques et scientifiques (ceux des maladies cryptogamiques ne sont pas ceux du désherbage ou de la qualité technologique des produits). De plus, la fusariose était un vrai enjeu de par le lien entre cette maladie et les fusariotoxines, un enjeu de santé publique. Enfin, les maladies cryptogamiques étaient également un des principaux problèmes en froment (avec la fertilisation, le désherbage, les maladies virales et les pucerons,...).

Le froment avait également l'avantage d'être une culture où la recherche publique était bien impliquée, que ce soit au sein des institutions de Gembloux mais aussi à l'UCL, au contraire de la betterave par exemple, gérée de manière plus autonome par les acteurs de la filière eux-mêmes au sein d'un institut de recherche autonome.

Il faut enfin noter que le choix 'rationnel et personnel' aurait été d'analyser le maïs transgénique *Bt* résistant aux insectes (ayant des propriétés insecticides). Celui-ci soulevait la question de la lutte contre les insectes et des insecticides (beaucoup plus toxiques que les fongicides). Il est cultivé amplement aux Etats-Unis mais aussi en Espagne et en France. Il aurait pu être comparé à un système alternatif de contrôle des insectes, les lâchages invasifs d'insectes prédateurs, système utilisé sur 10% des

colza, pomme de terre, riz, tabac et tomate. La base de donnée des USA (Aphis) permettait de voir quelles étaient les tendances pour ces cultures (Voir aussi Figures 2 a et b : Développement des essais de plantes transgéniques (Etats-Unis et Europe) p 25 et Figures 11 a et b : Développement des essais de pommiers transgéniques et de blés transgéniques (Etats-Unis et Europe) p 273).

surfaces de maïs dans les zones françaises où l'insecte est présent et problématique. Il n'a cependant pas été choisi entre autres pour des raisons de faisabilité (les personnes à interviewer vivent soit dans le Sud de la France soit en Espagne soit aux Etats-Unis, ce qui multipliait les coûts, alors que la simple obtention d'une bourse de recherche sur un thème transdisciplinaire se révélait être un vrai défi²⁰. De plus, il concernait peu l'agriculture wallonne. L'insecte problématique au cœur de ce cas, la pyrale, ne vit pas actuellement en Belgique, bien que cela puisse arriver avec les changements climatiques, qui pourraient provoquer une remontée de ces insectes sous nos latitudes.

B. Nombre d'études de cas

Initialement, l'objectif était de mener quatre ou cinq études de cas afin de pouvoir tester la méthodologie développée dans des cas différents (différentes cultures et différents types de problèmes). La multiplication des études de cas était aussi la dimension « quantitative » estimée nécessaire pour convaincre un jury d'attribution de bourse de recherche peu convaincu de l'approche qualitative de la thèse. Cette multiplication souhaitée des études de cas était aussi une sous-estimation du temps que prenait chaque étude de cas, ainsi que des autres étapes de la recherche incluses dans la troisième partie de cette thèse.

Le principal intérêt d'un nombre plus important d'études de cas aurait été de pouvoir analyser, pour chacune des deux filières choisies, deux types de plantes transgéniques : une plante résistante aux maladies et une plante modifiée pour un phénotype complètement différent, par exemple une modification du métabolisme et donc de la composition de la plante, un choix qui aurait permis une exploration plus approfondie des activités de transformation dans les filières agroalimentaires (Voir *Discussion du choix des études de cas* p 296).

Etudes de cas complémentaires menées par des mémorants

A côté des deux études de cas entièrement menées, trois autres études de cas ont été menées par des étudiants lors de leurs mémoires de fin d'études, avec l'approche développée. (Voir *Apports des trois études de cas des mémoires* p 297).

²⁰ Voir à ce sujet la section L'interdisciplinarité, riche mais fragile posture de recherche (p 453).

4. Méthodologie développée et utilisée

La méthodologie présentée ici est celle, stabilisée, qui a été suivie lors de la seconde étude de cas sur les froments transgéniques. Une caractéristique principale de l'activité scientifique est en effet de présenter une science robuste en gommant les aspérités, les détours et les obstacles de celle-ci afin de satisfaire aux canons d'un idéal scientifique (Latour, 1989). Dans les faits, la méthodologie a cependant évolué entre sa conception initiale au printemps 2003, avant la première étude de cas sur les pommiers transgéniques, et sa stabilisation durant l'automne 2004, après son amélioration suite à cette première expérience. L'objectif initial de cette thèse était en effet une analyse systémique *des risques liés à l'utilisation des plantes transgéniques* en agriculture. L'objectif final concerne une approche systémique *de la gestion de l'innovation* en agriculture. Le développement de la méthodologie d'analyse centrée sur les plantes transgéniques a été une étape intermédiaire, liée à ces objectifs²¹.

Cette section présente d'abord le système étudié et le canevas d'analyse synthétisant les principaux axes d'analyse poursuivis de manière transversale dans les différentes étapes de la méthodologie. La présentation des différentes composantes de la méthodologie est ensuite décrite, composante par composante.

A. Le système analysé

Le système analysé n'est pas un système existant réellement, mais un schéma mental permettant l'analyse. Il est défini à partir du problème étudié (la gestion des maladies et l'innovation dans ce domaine). Le système étudié dans l'étude de cas 'froment' est illustré par la Figure 4 (reprise du Chapitre 4).

Il existe en fait **différents types de systèmes**, liés aux différentes approches couvrant le domaine étudié :

- *La filière agroalimentaire* suit le parcours 'de la fourche à la fourchette', de la production à la distribution, en passant par la transformation. Les institutions de recherche ne sont donc pas une priorité dans l'analyse.
- *L'approche 'système d'innovation'* se concentre sur les acteurs et activités de recherche et développement (institutions publiques de recherche, départements R&D des entreprises agro-chimiques et semencières).
- *Le réseau socio-technique* (analyse socio-technique) est l'ensemble des 'actants' liés à un objet technique ou une innovation (acteurs et objets : pour une maladie de plante, le réseau est constitué tant par les firmes agro-chimiques, que par les réseaux d'avertissement agro-météorologiques sur le niveau de la maladie ainsi que le champignon responsable de la maladie, qui est un acteur étant donné qu'il peut par exemple devenir résistant aux fongicides).

²¹ **Remarque** : Les différences de méthodologies entre les deux études de cas sont analysées dans le Chapitre 6.

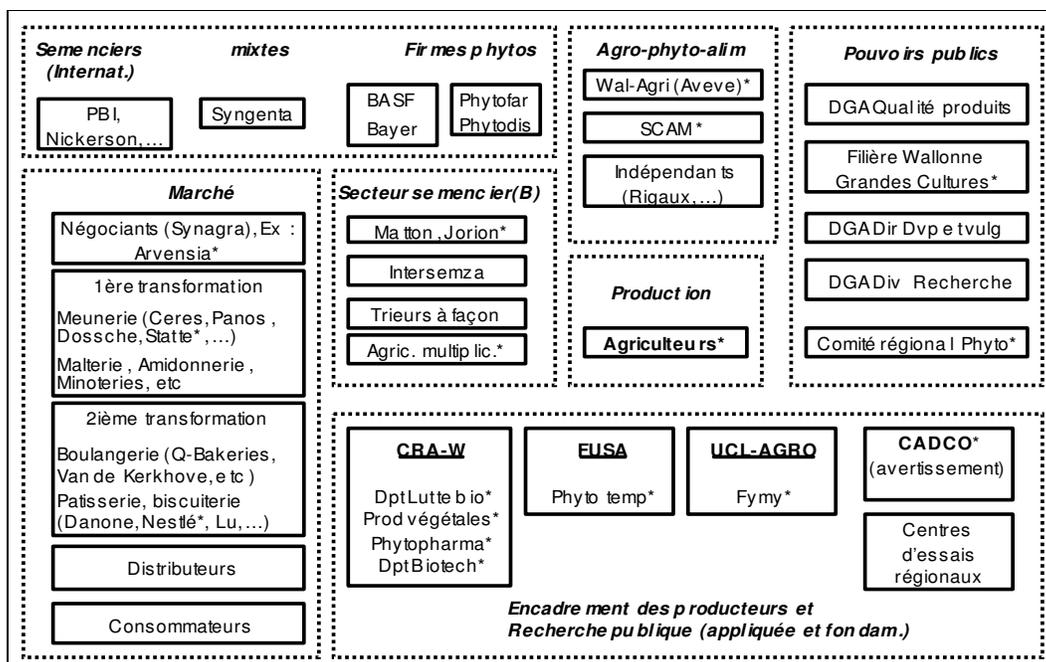


Figure 4 : Système analysé (exemple de l'étude de cas froment)

Légende : Les acteurs sont regroupés par secteurs (marché, conseil, recherche, secteur semencier, etc.). Les astérisques marquent les organisations dont une ou plusieurs personnes ont été interrogées

Le système étudié est en fait composé plus précisément par les acteurs de cette filière qui ont un rôle par rapport à un problème technique étudié (les maladies cryptogamiques). C'est là l'influence du concept de réseau socio-technique de l'ANT, mais qui n'a pas été utilisé intégralement (cfr p 71). Les acteurs concernés sont majoritairement des acteurs du secteur agricole plus que de la partie en aval de la filière alimentaire.

Le système dont il est question n'est donc pas non plus un 'système d'innovation' (SI), comme ceux étudiés dans les approches SI qui visent à étudier le fonctionnement des processus d'innovations nationaux ou régionaux (L'approche SI est utilisée dans le Chapitre 7).

Le système étudié a également été circonscrit dans des dimensions temporelles et géographiques bien définies afin d'être maîtrisables :

- Le cadre temporel a été défini. Pour la gestion actuelle du problème, le cadre est celui du présent au sens large (2000-2005). Pour l'analyse des innovations, c'est l'horizon 2015-2020 qui est la période considérée comme le futur. Pour l'analyse du niveau de développement des voies d'innovations, c'est la seconde moitié du vingtième siècle qui est considérée.
- Au niveau géographique, l'échelle géographique correspond, pour l'étude de cas sur le froment, à la Région Wallonne (les principaux acteurs de la filière sont organisés à cette échelle) et, pour l'étude de cas sur les pommiers, à la région fruitière belge, concernant la Flandre et la Wallonie.

Le système étudié est un système ouvert, en interaction avec son environnement, et non un système fermé. Les éléments du système ont été regroupés par catégories et analysés

comme tels (les acteurs de l'encadrement public et du conseil aux agriculteurs, les contraintes du marché, la recherche scientifique, la politique scientifique, les contraintes réglementaires,...).

La circulation de l'information a été étudiée dans la seconde étude de cas (voir *La gestion des maladies cryptogamiques du froment vue sous l'angle d'une analyse systématique du 'Livre Blanc', référence incontournable de la filière céréalière* p 133) et dans la phase d'observation participante *Analyse des forums publics et scientifiques sur l'innovation en agriculture* p 320).

Le système n'a pas été défini 'une fois pour toutes' au début de la recherche en fonction du principe qui veut que « *wholes are not predetermined* » (Ackoff, 1972). Concrètement, le système a été défini, lors de l'enquête par entretien, par la méthode 'de proche en proche' (Voir p 87). Après les deux études de cas, les limites du système étudié (les filières agricoles) ont été élargies pour y inclure les instances de la politique scientifique, au niveau wallon, fédéral et européen.

Le système étudié est un 'système défini par un problème' (*problem-defined system*), par opposition aux 'problèmes définis par les systèmes' (*system-defined problem*) (Ison et al., 1997). C'est l'ensemble des acteurs liés à la question des maladies du verger et du champ qui a été rencontré durant l'enquête et l'ensemble des enjeux liés à ce système était progressivement analysé. Ce choix est fondamentalement différent de celui des analyses plus classiques sur l'innovation en agriculture, analyses qui sont plus traditionnellement portées sur des 'problèmes de système', tels la productivité de la recherche ou la rentabilité de celle-ci.

B. Axes transversaux (Canevas d'analyse)

La méthodologie développée vise à récolter, intégrer et analyser des informations sur les interactions entre les innovations et le système constitué par les acteurs des filières concernés par celles-ci.

Quatre niveaux d'analyse sont transversaux aux différentes composantes méthodologiques de récolte d'informations : le problème agronomique initial, les stratégies de lutte actuelles qui permettent de résoudre ce problème, les voies d'innovations qui ont le potentiel de proposer d'autres stratégies dans le futur et les liens complexes entre ces voies d'innovations et la filière. Ce référentiel d'analyse est synthétisé dans le Tableau 3.

Ces quatre axes sont situés à deux niveaux temporels différents : les deux premiers (problème et stratégies) concernent principalement le présent tandis que les deux derniers (voies d'innovations et liens entre innovations et filières) sont tournés vers l'avenir mais contiennent des éléments du présent et du passé.

Le premier niveau implique une incontournable caractérisation du problème agronomique à la base de l'étude de cas (des maladies de plantes). La question initiale est : Quel est le problème technique qui se pose ? Quelle est l'importance des implications agricoles, environnementales et socio-économiques du problème pour la filière et la société ?

Le second niveau est une analyse systématique des différentes stratégies agronomiques actuelles de lutte et de prévention pour le problème étudié. Quelles sont les stratégies conseillées aux agriculteurs, disponibles et faisables, pour prévenir/lutter contre le problème? Parmi celles-ci, quelles sont les stratégies principales –pour lesquelles un consensus existe - et les stratégies secondaires, faiblement utilisées? L’approche systémique dépasse naturellement la caractérisation de la situation : elle explore l’utilisation réelle de ces stratégies par les producteurs pour comprendre les raisons de la non-utilisation de certaines stratégies (les stratégies préventives principalement).

Tableau 3 : Canevas d’analyse des études de cas : axes d’analyse transversaux

1. Le problème	<ul style="list-style-type: none"> ▪ caractérisation du problème (quel est le problème technique qui se pose ?) : importance et implications du problème pour la filière et la société : quelles sont les implications économiques, agricoles et environnementales ?)
2. les stratégies actuelles de lutte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ analyse systématique des différentes stratégies agronomiques de lutte et de prévention pour le problème étudié (quelles sont les stratégies conseillées aux agriculteurs pour prévenir/lutter contre le problème (disponibles actuellement), quelles sont les stratégies principales (consensus) et secondaires ?) ▪ utilisation réelle de ces stratégies par les producteurs ; raisons de la non-utilisation si c’est le cas (éléments directs et éléments « systémiques »)
3. Les voies d’innovations	<ul style="list-style-type: none"> ▪ analyse de la gamme des différentes voies d’innovations pour le problème étudié ▪ pour chacune : principe agronomique + niveau de développement des différentes voies d’innovations (résultats des recherches fondamentales, application au blé/pommier, utilisation commerciale, avantages et inconvénients)
4. liens entre innovations et filière	<ul style="list-style-type: none"> ▪ gestion de l’innovation par la filière : importance et potentiel des différentes voies d’innovations selon les acteurs (voies d’innovations perçues comme principales, secondaires ou nulles) ▪ facteurs de développement (stimulants ou obstacles techniques ; socio-économiques) pour les plantes transgéniques et pour les autres voies d’innovations

Légende : L’analyse porte sur quatre domaines principaux, qui guident chaque étude de cas et chacune des étapes de recherche.

Le troisième niveau concerne les voies d’innovations. Il s’agit d’analyser la gamme des différents types d’innovations (transgénique et non-transgénique) qui peuvent contribuer à résoudre le même problème à un horizon de 15 à 20 ans. Les plantes transgéniques sont considérées comme une voie d’innovations scientifique parmi d’autres. L’analyse est spécifique à chaque voie d’innovations : description du principe sur laquelle elle repose, analyse de son niveau de développement scientifique et commercial (résultats des recherches fondamentales, application à la culture étudiée, utilisation commerciale, avantages et inconvénients techniques). L’horizon de 15 à 20 ans est de l’ordre de ceux considérés dans des exercices de prospective, tels que celui menée sur les plantes transgéniques par le cabinet du Premier Ministre du Royaume-Uni (Cabinet Office Strategy Unit, 2003).

Le quatrième niveau est celui qui explore les liens complexes entre innovations (comme objets technologiques) et filières (comme systèmes). Il s’agit d’analyser la gestion de l’innovation dans la filière en évaluant d’une part le crédit que les différents acteurs accordent aux différentes voies d’innovations pour résoudre le problème dans l’avenir (quel est le potentiel des voies d’innovations selon eux, quelles sont les voies d’innovations perçues comme principales, secondaires ou nulles). D’autre part, il s’agit d’analyser les facteurs de développement des différentes voies d’innovations. Les facteurs de développement sont des facteurs, positifs (stimulants) ou négatifs

(obstacles), techniques ou socio-économiques qui influencent le développement scientifique et commercial des voies d'innovations.

Ce référentiel en quatre points est le canevas pratique réel qui est décliné lors des différentes étapes de la recherche pour les guider, que cela soit pour produire le guide des entretiens, pour élaborer les grilles d'analyse des comptes-rendus d'entretiens, pour déterminer les domaines de recherche bibliographique et pour rédiger le chapitre de l'étude de cas.

C. Composantes méthodologiques

L'approche est composée de différentes parties méthodologiques, distinctes et complémentaires :

- l'enquête par entretiens
- l'analyse de la littérature (grise et scientifique)
- la synthèse et l'articulation entre ces deux étapes
- la validation des résultats
- l'observation participante aux forums sur l'innovation (cette dernière se situant essentiellement supérieur à celui des études de cas).

Ces composantes sont détaillées une par une dans les pages qui suivent.

La Figure 5 schématise l'approche pour une étude de cas : le sujet étudié (au centre), les différentes étapes méthodologiques (à gauche) et les axes transversaux d'analyse (à droite).

La Figure 6 schématise la récolte de données faite dans la thèse.

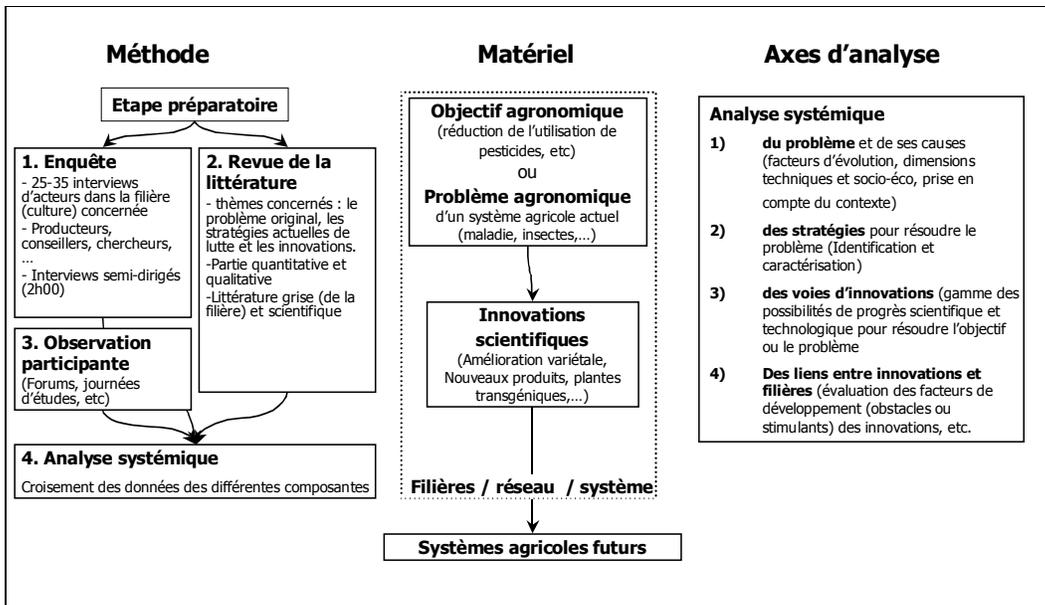


Figure 5 : Schéma synthétique de l'approche systémique menée pour chaque étude de cas

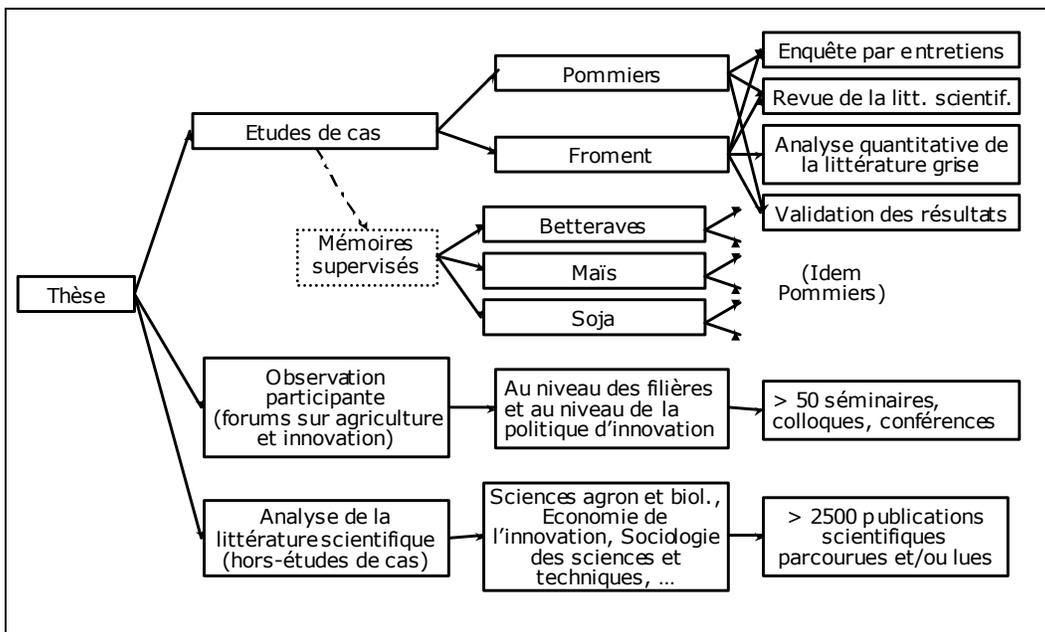


Figure 6 : Schématisation des différentes composantes de récolte d'informations de la recherche

1) Etape préparatoire

L'étape exploratoire consiste en une préparation des deux premières étapes méthodologiques de l'étude de cas : l'enquête par entretiens et la revue bibliographique. Elle est incontournable étant donné que le chercheur ne connaît pas la filière étudiée et que les différentes dimensions du problème technique étudié ne sont pas évidentes a priori.

Il faut d'abord comprendre l'organisation de la filière et repérer les acteurs qui sont, a priori, les plus importants. Un schéma de la filière est réalisé à partir d'entretiens exploratoires et de données généralement disponibles sur internet (sites des organisations et firmes actives dans la filière). Il sera complété et corrigé durant toute l'étude de cas. Une liste des personnes à rencontrer prioritairement est établie, elle sera amendée en cours d'enquête.

Le second enjeu de l'étape préparatoire est de comprendre les différentes dimensions du problème étudié. Une recherche bibliographique exploratoire est réalisée, d'une part à partir de recherches avec des mots-clés définis et d'autre part à partir de nombreux documents disponibles sur les sites des organisations. Une liste générale de questions qui devront être résolues durant l'enquête est dressée, elle sert à compléter la trame du guide d'entretien, et à établir une liste de sous-questions à adresser à certains acteurs en particuliers.

Tous les documents lus sont répertoriés dans une base de données bibliographiques (Reference Manager). Deux documents de synthèse de ces lectures sont constitués au fur et à mesure : a) le premier synthétise les articles scientifiques lus (éléments principaux, questions soulevées, lien avec pratiques agricoles réelles) et b) le second analyse tous les documents de la filière belge (rapports, articles, presse...).

Un guide d'entretien est ensuite préparé et testé lors d'un ou deux entretiens exploratoires. Ce guide d'entretien est ensuite décliné en plusieurs versions, en fonction des personnes qui seront interviewées (producteurs, chercheurs, fonctionnaires-conseillers, opérateurs économiques, etc). Le guide d'entretien comprend une trame commune pour tous les acteurs et des questions spécifiques pour chaque acteur (Voir Annexe II).

Une base de données (Excel) reprend a) les acteurs de la filière et leurs coordonnées (ainsi que les personnes qui ont suggéré de les rencontrer) b) les ressources internet utiles c) une liste personnelle de questions de fond à résoudre d) les recherches bibliographiques effectuées (mots-clés, base de données analysée).

2) Enquête par entretiens

L'enquête consiste en une série d'entretiens (20 à 35) avec les acteurs les plus importants dans la culture et la filière concernée et pour le problème étudié. La pratique des entretiens semi-dirigés a été choisie face aux limites de celle des questionnaires dans le cas d'une approche systémique d'un sujet complexe (Blanchet et Gotman, 2001). Celle-ci consiste à interviewer la personne à partir d'un guide d'entretien pré-établi tout en restant ouvert aux aspects que la personne évoque à partir de ces questions et qui n'avaient pas été prévus au préalable. L'utilisation d'entretiens semi-dirigés a été intégrée à plusieurs types d'enquêtes en sciences agronomiques, par exemple le '*Rapid rural appraisal*' (Conway, 1999). Elle permet d'aller bien plus en profondeur que les

questionnaires, qui se restreignent aux dimensions préalablement connues de l'interrogateur.

Choix des acteurs interrogés

Une première salve d'entretiens est menée en fonction de la liste de personnes à interviewer établie lors de l'étape préparatoire (acteurs concernés par le problème étudié et les innovations futures pour celui-ci, tout au long de la filière : producteurs, organisations agricoles, conseillers techniques, scientifiques, firmes innovatrices). D'autres personnes jouant un rôle par rapport au problème étudié sont ensuite ajoutées à la liste en fonction des personnes conseillées par les acteurs interviewés. C'est la méthode 'de proche en proche', dans laquelle il est demandé à chaque personne interviewée d'identifier les personnes jugées intéressantes pour comprendre le problème étudié (Blanchet et Gotman, 2001). Une liste de plus de 160 personnes a ainsi été progressivement constituée, même si seulement une petite fraction de celles-ci ont finalement été interrogées. Les personnes les plus citées ont été interrogées dans la seconde salve d'interviews.

Dans le choix des acteurs interrogés, une grande attention a été portée aux acteurs de l'encadrement public des agriculteurs (conseillers techniques, scientifiques).

Plusieurs acteurs de la politique scientifique wallonne (DG Agriculture – Recherche), fédérale (SPP Politique scientifique) et européenne (DG Recherche) ont également été interrogés en dehors des études de cas, afin d'alimenter la réflexion de la troisième partie de cette thèse.

Préparation des entretiens

Prise de contact. Le premier contact est systématiquement fait par téléphone, afin de présenter par oral l'objet de la demande d'entretien. Tous les acteurs ont accepté un rendez-vous dans les deux à quatre semaines suivant le contact téléphonique, à l'exception de deux agriculteurs souhaitant post-poser l'entretien hors des périodes de semis et de récolte des betteraves.

Préparation de l'entretien en lui-même. Chaque entretien a été préparé i) de manière informelle par une récolte d'informations sur la personne interviewée (quel est son rôle, a-t-il(elle) écrit/publié quelque chose ?, quelle personne m'a conseillé de le(a) rencontrer ?...) (recherche web et bibliographique) et ii) de manière formelle par la formulation de questions complémentaires au guide d'entretien, adaptées à la personne rencontrée.

Conduite des entretiens

Deux salves d'entretiens : dans le cas du froment, l'enquête s'est déroulée en deux salves, séparées par une première phase d'analyse et de rédaction, afin d'affiner les questions lors de la seconde phase.

Domaines couverts dans l'entretien : rôle de la personne par rapport au problème étudié, causes du problème, moyens de lutte existants pour celui-ci, avantages et inconvénients de ceux-ci, état des innovations, avantages et inconvénients de celles-ci, problème principal pour l'acteur, ... (varie en fonction de la fonction de l'interviewé)

Déroulement de l'entretien. L'entretien, sauf exceptions, se passe sur le lieu de travail de la personne interviewée. Il démarre par un rappel de mon travail de recherche (présenté lors du contact téléphonique) et la présentation du mode de déroulement de l'entretien (attirer l'attention sur le fait que l'entretien est ouvert). L'entretien est enregistré et des notes sont prises durant tout l'entretien. La durée moyenne de l'interview est de 1h30 (entre 1h et 3h00).

Un compte-rendu de l'entretien est rédigé le jour même ou le lendemain. Le compte-rendu n'est pas une transcription intégrale de l'entretien (car les entretiens ne sont pas utilisés à des fins sociologiques pures). Il est réalisé principalement sur base des notes prises et reprend les principaux éléments fournis par la personne pour les différents domaines abordés. L'enregistrement sert essentiellement pour les passages plus difficiles lors de la prise de notes ou pour réécouter une partie lors de la phase de rédaction finale.

L'analyse des entretiens se fait essentiellement au moyen de deux grilles d'analyse qui ont été conçues à cet effet (Excel) :

- La première est une grille d'analyse primaire. Cette grille comprend une colonne par entretien, et une ligne par point d'analyse du canevas d'analyse, chaque point étant subdivisé de manière détaillée²².
- La seconde grille synthétise, pour des points d'analyse plus larges, ce qui a été dit de manière générale par les acteurs (en ne discernant plus ce qui a été dit par chaque acteur) mais à différents niveaux. Par exemple, pour une voie d'innovations précise, la grille discerne son principe agronomique, l'évaluation du potentiel de cette voie d'innovations selon les acteurs, les projets effectivement réalisés en Belgique pour obtenir des solutions appliquées de cette voie d'innovations et finalement les obstacles à un développement plus important de cette innovation²³. Les citations les plus significatives pour chaque élément sont alors reprises dans une colonne séparée, elles seront utilisées lors de la rédaction.
- Les grilles sont remplies manuellement : pour la première grille d'analyse, en copiant/collant les parties des comptes-rendus d'entretiens qui correspondent à chaque élément ; en rédigeant des synthèses pour la deuxième.

Recherche par itérations et interactions entre étapes méthodologiques

Si la présentation de la méthode suivie est linéaire, il faut faire remarquer que celle-ci se déroule, dans les faits, par itérations et qu'il existe de nombreuses interactions entre phases d'entretiens d'acteurs et de recherche bibliographique (pour sa partie non-systématique). Plusieurs chercheurs m'ont par exemple cité des articles de référence pour le domaine étudié, et la lecture d'articles a, en retour, suscité de nouvelles

²² Cette grille est remplie à partir des comptes-rendus d'entretien, en répartissant l'ensemble de ce que chaque acteur a dit durant l'entièreté de l'entretien pour chacun des points d'analyse, étant donné que les informations les plus intéressantes sont souvent données en réponse à des questions indirectes.

²³ Exemple pour l'analyse des stratégies actuelles pour lutter contre le problème : synthèse, stratégie par stratégie, 1) du principe agronomique 2) des remarques principales 3) de l'utilisation réelle de cette stratégie par les producteurs 4) de ses avantages et inconvénients 5) des citations significatives pour cette stratégie 6) des éléments/problèmes indirectement liés à cette stratégie.

questions complémentaires posées à des acteurs dans la seconde salve d'entretiens. Chacune de ces deux étapes s'est donc aussi, même partiellement, nourrie de l'autre.

3) Analyse de la littérature

L'analyse de la littérature intervient à deux niveaux dans cette thèse (voir Figure 6, p 85). La première analyse de la littérature, classique, est celle qui alimente la première et la troisième partie de la thèse. C'est la revue de la littérature qui contextualise la recherche et permet d'en discuter les résultats. La seconde analyse fait partie intégralement des études de cas comme étape méthodologique. Peu de publications considèrent en effet le problème étudié -ou la plante transgénique- de manière systémique. Néanmoins, il existe une quantité de publications qui permettent de retracer les connaissances scientifiques existantes sur chaque partie du système. Celles-ci, dans notre approche systémique, servent à compléter les données obtenues lors de l'enquête par entretiens et sont également objet d'analyse. En effet, les chercheurs font eux-mêmes partie du système étudié. Ils sont en interaction avec la filière agricole et leurs travaux influencent celle-ci. Cette partie sert donc également à analyser l'innovation sous l'angle de la production d'articles scientifiques et de vulgarisation scientifique.

Deux types de littérature sont étudiés : la littérature scientifique au niveau international et la littérature grise et de vulgarisation scientifique de la filière concernée.

Analyse de la littérature scientifique

L'analyse de la littérature scientifique au niveau international a pour but de caractériser la production scientifique internationale, en particulier sur les différentes innovations explorées. Quelle est l'importance des différentes voies d'innovations dans la production scientifique (de manière absolue, et de manière relative, les unes par rapport aux autres). Quelle est l'évolution de cette importance dans le temps ? Quel type de recherches sont effectuées sur celles-ci ?

Cette 'sortie' du système étudié (ancré en Wallonie) est justifiée par le fait que le système pertinent pour l'innovation n'est pas le même que celui pour le problème (la filière en Wallonie), étant donné la spécialisation des équipes de recherches (étudier la seule recherche en Wallonie serait insuffisant pour caractériser l'innovation).

Concrètement, cette analyse a pris la forme d'une part d'une revue qualitative de la littérature et d'autre part d'une tentative d'analyse bibliométrique, qui aurait pu prendre la forme d'une analyse quantifiée des articles scientifiques publiés pendant les dix ou quinze dernières années dans l'ensemble des publications ou dans une sélection des revues scientifiques les plus adéquates pour le sujet étudié. Cette piste a été explorée, puis abandonnée (Voir

Analyse de la littérature grise et de vulgarisation scientifique

Dans l'approche systémique, il est considéré que les publications jouent un rôle en tant que tel dans le système étudié, celui de circulation de l'information dans la filière.

La littérature grise est utilisée dans un premier temps pour préparer les entretiens avec les acteurs et dans un second temps pour les compléter et croiser, confirmer ou infirmer les résultats issus de ceux-ci. Concrètement, cette analyse de la littérature grise s'est faite par une récolte de rapports d'activités de différentes organisations, des études socio-économiques ponctuelles, d'articles divers, et en demandant à chaque personne interrogée quels documents écrits permettraient au mieux d'aider à comprendre les sujets évoqués au cours de l'entretien, ce qui a abouti à récolter un certain nombre de publications.

Dans le cas de la filière céréalière, une **analyse systématique et quantifiée** d'une partie de cette littérature a été faite en plus l'analyse qualitative. Le « *Livre Blanc* » (*Livre Blanc Céréales Gembloux*) est une véritable 'institution' pour la filière. Son analyse était donc particulièrement importante. L'analyse de cette publication contribue à une approche systémique de la gestion du problème des maladies cryptogamiques et des innovations qui sont directement proposées par et pour les acteurs de la filière. Concrètement, cette analyse a été concrétisée par une **étude systématique du contenu de cette publication pendant cinq ans (2000-2005)**.

Les objectifs spécifiques de cette analyse systématique d'analyser d'une part quelles sont les informations prioritaires que les chercheurs tentent de faire passer aux producteurs via cette publication et d'autre part quelles recherches expérimentales étaient effectuées en région Wallonne sur le froment, car les résultats de celles-ci sont présentés dans la publication. Cette analyse permet de mieux appréhender l'action d'une des parties du système étudié, celle de l'encadrement public des producteurs et de la recherche agronomique appliquée aux céréales (Services de la DG Agriculture concernés et institutions de recherche actives, à Gembloux et à Louvain-la-Neuve).

La présentation de l'analyse systématique du Livre Blanc se trouve **au Chapitre 4** (Voir *La gestion des maladies cryptogamiques du froment vue sous l'angle d'une analyse systématique du 'Livre Blanc', référence incontournable de la filière céréalière* p 133).

Synthèse et articulation des composantes

L'approche systémique consiste à croiser les données récoltées lors de l'enquête, de la revue bibliographique, de l'analyse de la littérature grise et de l'observation participante. Les différentes approches sont en effet complémentaires. L'une sans l'autre produit des résultats incomplets car elles se situent à des niveaux différents : connaissances scientifiques décontextualisées pour la recherche bibliographique, et reconstruction du fonctionnement d'une filière par rapport à des enjeux techniques pour l'enquête par entretiens et les forums concernant la gestion de l'innovation. L'étape de synthèse et d'articulation a donc pour objectif :

- de valider (ou invalider) et comparer les arguments des acteurs avec les données publiées (comparaison entre connaissances scientifiques et connaissances/pratiques des acteurs)

- de compléter les informations qualitatives de l'enquête avec des données quantitatives présentes dans la littérature grise de la filière et les publications scientifiques

Un premier rapport est rédigé après une première salve d'entretiens, en suivant la logique présentée dans le canevas d'analyse (le problème, les stratégies, les voies d'innovation). La rédaction se fait à partir des deux grilles d'analyse des entretiens. Des extraits d'entretiens significatifs sont choisis pour illustrer l'analyse. Les comptes-rendus d'entretiens sont relus, et les enregistrements réécoutés pour retrouver l'aspect initial des données quand cela est nécessaire. La rédaction est progressivement complétée par la revue de la littérature, par la relecture des notes personnelles enregistrées oralement après les entretiens.

Au cours de cette première phase de synthèse, certains points à analyser plus en profondeur apparaissent : des vérifications à faire, des lacunes à combler, des données quantitatives à trouver si elles existent, un choix de personnes à interroger dans la seconde salve d'entretiens. Des personnes sont également contactées dans un but plus précis : la vérification d'une information, la disponibilité d'une donnée, etc. Dans quelques cas, à l'initiative de la personne appelée, l'entretien a démarré par téléphone et a abouti à un rendez-vous ultérieur.

L'étude de cas complète est terminée après la seconde phase d'entretiens, en suivant les mêmes principes que ceux expliqués ci-dessus.

Validation des résultats

Un rapport écrit de l'analyse faite été proposé, pour les deux études de cas, à différents acteurs de chaque filière afin de valider l'analyse et d'obtenir leurs commentaires et avis sur celle-ci. Les acteurs qui ont accepté de relire le travail ont alors été rencontrés pour pouvoir discuter de leurs commentaires (Voir *Validation des résultats & interaction avec les acteurs de la filière* p 308).

D. Observation participante aux forums sur l'innovation scientifique

L'horizon de la thèse, la politique et de la gestion de l'innovation, dépasse celui des études de cas, lié au contexte particulier à ces deux filières. Le passage du niveau des études de cas à celui de la gestion de l'innovation au sens large se fait dans la troisième partie de la thèse. Ce passage s'est fait d'une part via l'observation participante à plus d'une cinquantaine de forums sur l'innovation et d'autre part par une large revue de la littérature scientifique dans de nombreuses disciplines liées à l'innovation) (Voir Figure 6, p 85).

L'observation participante est définie comme "*une recherche caractérisée par une période d'interactions sociales intenses entre le chercheur et les sujets, dans le milieu de ces derniers. Au cours de cette période des données sont systématiquement collectées (...)*"(Bogdan and Taylor, 1975). L'observation participante recouvre donc une méthodologie de recherche dépassant ce qui a été réalisé au cours de cette recherche, mais c'est le terme adéquat pour définir une autre partie des activités de recherche que celles qui viennent d'être décrites.

Dans ce travail, l'observation participante a été la participation à plus d'une cinquantaine de forums concernant l'innovation scientifique dans les filières ou en agriculture de manière générale. Certains de ceux-ci étaient liés aux filières étudiées : Journées du Livre Blanc à Gembloux ou encore journée de présentation des recherches en arboriculture financées par la Région Wallonne. D'autres forums concernaient l'innovation scientifique en agriculture de manière générale : journées d'études, colloques, conférences organisées par la Commission européenne, etc. La liste de ces événements est reprise en Annexe VII.

La participation à ces forums n'est pas de la recherche « *caractérisée par une période d'interactions sociales intenses entre le chercheur et les sujets* » au sens implicitement entendu par le terme d'observation participante, qui recouvre un travail de terrain, une immersion dans le système étudié. Cette participation n'est cependant pas non plus celle du chercheur venant présenter ses propres résultats à un colloque ou écouter les débats à une conférence-débat ou à une journée d'études. Chaque forum était observé et analysé comme une partie intégrante du système étudié : un nœud de circulation de l'information, un lieu où émergent les questions importantes, où les acteurs présentent, à partir de leurs travaux, leur analyse de la situation et les conclusions qu'il y a lieu d'en tirer. Ces forums sont également un des lieux d'interaction entre sciences et politique. Chercheurs, pouvoirs publics (représentants politiques, partis, administrations), entreprises privées, organisations agricoles, organisations de défense des consommateurs ou de l'environnement y sont présents. L'objectif n'était donc pas une meilleure compréhension directe du génie génétique ou des maladies cryptogamiques, mais la compréhension et l'analyse des enjeux, intérêts et stratégies des acteurs par rapport au génie génétique, par rapport aux maladies cryptogamiques. Faute de pouvoir appliquer une méthodologie d'analyse précise et robuste, l'état d'esprit recherché lors de ces forums était « *Qu'est ce qui se passe dans ce forum, qu'est ce qui est présent dans le programme, présenté par les orateurs (dans leur intervention et surtout dans leurs conclusions), qu'est ce qui est débattu dans les questions-réponses et qu'est ce qui ne l'est pas* ».

Le contenu du programme a été systématiquement évalué à posteriori, de même que le contenu des interventions et des débats. Des notes ont le plus souvent été prises pour relever les aspects essentiels des interventions des orateurs. Les documents disponibles ont systématiquement été récoltés pour être analysés ultérieurement. Des interventions directes ont parfois été faites lors des débats pour étudier la réaction des acteurs par rapport au contenu des interventions. Les moments de pause ont été exploités au mieux pour confronter l'approche contenue dans cette thèse avec celle qu'ils venaient de présenter. Moyennant ces précautions et précisions, ce travail peut être assimilé à une forme d'observation participante (Pierre Stassart, communication personnelle, novembre 2006).

PARTIE II
L'INNOVATION AU CŒUR DES
PROBLEMES DES FILIERES
AGROALIMENTAIRES
(ETUDES DE CAS)

« Les OGM font voir l'agriculture »

M. Blois

PARTIE II : L'INNOVATION AU CŒUR DES PROBLEMES DES FILIERES AGROALIMENTAIRES (ETUDES DE CAS)

Cette deuxième partie est la partie empirique de la thèse. Elle découle des choix épistémologiques décrits dans la première partie et elle alimente les généralisations et propositions faites dans la troisième partie. Dans cette partie, on va donc quitter le domaine de l'évaluation des OGM pour entrer dans celui des filières agricoles, des problèmes agronomiques concrets qui se posent dans un verger ou dans un champ, des stratégies agricoles disponibles aujourd'hui –mais parfois pas utilisées- et des voies d'innovations en développement dans les laboratoires et champs d'essais. Les OGM ne sont donc plus les objets centraux dans cette partie.

La présentation des deux études de cas est différente. Pour l'étude de cas sur le problème de la tavelure en pommiers (août 2003), c'est un article et non le rapport extensif de l'étude de cas qui est présenté (**Chapitre 3**). L'étude de cas sur la gestion des maladies cryptogamiques en froment (octobre 2005) est, elle, présentée de manière complète, avec une simple description des éléments approfondis ou repris dans des communications scientifiques (**Chapitre 4**). Les résultats des deux études de cas sont ensuite comparés, et des premières conclusions sur la gestion de l'innovation dans la filière sont tirées (**Chapitre 5**). Cette deuxième partie se termine par un chapitre plus réflexif, celui de la discussion de la méthodologie développée puis utilisée dans les deux études de cas ainsi que dans les trois mémoires qui ont été supervisés durant la thèse (**Chapitre 6**).

Chapitre 3 : les pommiers transgéniques résistants à la tavelure : approche systémique d'une plante transgénique de seconde génération

Pour la première étude de cas, il a été choisi de reproduire un article qui synthétise les principaux résultats :

Vanloqueren, G., Baret, P.V. (2004) Les pommiers transgéniques résistants à la tavelure - Analyse systémique d'une plante transgénique de "seconde génération". *Le Courrier de l'Environnement de l'INRA* (52), Septembre 2004, 5-20.

Cet article décrit l'approche systémique d'un type de pommiers transgéniques, à partir des documents officiels d'une demande d'autorisation pour un verger expérimental de tels pommiers adressée aux autorités fédérales belges en 2002. Il explore la première question qui s'est posée durant l'enquête : pourquoi développer des pommiers résistants à la tavelure *génétiquement modifiés*, alors que des variétés classiques ont des propriétés similaires ? C'est l'échec de ces variétés classiques qui est analysé, facteur par facteur, avant d'évaluer ensuite les avantages et les inconvénients des pommiers transgéniques, mais aussi leurs alternatives. (Remarque : les conclusions de l'article ne sont pas essentielles à la lecture de ce chapitre, étant donné qu'elles seront développées de manière bien plus approfondie dans la Partie 3 de la thèse).

Plusieurs éléments de l'étude de cas ne se retrouvent pas dans cet article :

- la description approfondie du rôle de chaque catégorie d'acteurs (arboriculteurs, criées, pépiniéristes, etc) par rapport au problème de la tavelure et du choix variétal ;
- l'analyse des réactions des acteurs par rapport aux innovations alternatives aux pommiers transgéniques ;
- l'analyse de la différence en termes de 'réseaux socio-techniques' entre les variétés non-résistantes (*Jonagold*), les variétés résistantes classiques '*Vf*' (*Topaz*) et les variétés résistantes transgéniques '*Amp*' (en développement).

Ces éléments se trouvent dans le mémoire de DEA, publié en 2003 :

Vanloqueren, G. (2003) Le secteur de l'arboriculture fruitière face à l'innovation transgénique et à ses alternatives : le cas des pommiers résistants à la tavelure. *Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies en Sciences de l'Environnement. Fondation Universitaire Luxembourgeoise (FUL)*.

Remarque : l'article reproduit a été adapté à la mise en page de la thèse.

les pommiers transgéniques résistants à la tavelure

analyse systémique d'une plante transgénique
de « seconde génération »

Gaëtan Vanloqueren, Philippe V. Baret

Université catholique de Louvain, faculté d'ingénierie biologique, agronomique et
environnementale,
département Biologie Appliquée et Productions Agricoles, unité de Génétique.
Croix du Sud 2 bte 14, 1348 Louvain-la-Neuve, Belgique.
vanloqueren@gena.ucl.ac.be

Jusqu'ici, la régulation publique des plantes transgéniques s'est essentiellement faite dans une logique de contrôle des risques. Les évaluations se faisant au sein des procédures réglementaires prennent principalement en compte les potentiels effets négatifs sur la santé humaine et l'environnement (critères de biosécurité). Les pouvoirs publics n'évaluent pas la pertinence de l'innovation en elle-même et donc celle d'autoriser, encourager ou de développer de telles innovations. Cette évaluation se fait par la somme des choix individuels des acteurs (agriculteurs, consommateurs,...) dans le contexte d'une économie de marché. La pertinence des innovations est donc classiquement évaluée par le succès ou l'échec commercial de celles-ci.

Cette conception classique de l'évaluation nous semble insuffisante pour diverses raisons. En effet, la controverse sans précédent que les OGM ont suscitée parmi le public, l'exigence grandissante d'une évolution de nos modes de production agroalimentaires vers plus de durabilité, et l'existence d'incertitudes scientifiques sur

les risques liés aux plantes transgéniques (irréversibilité, ...) sont trois facteurs qui pourraient inciter à une régulation plus volontariste des biotechnologies. En ce sens, nous rejoignons les différents scientifiques ou acteurs publics qui ont appelé à un élargissement des modes et critères d'évaluation (Mephram, 2000 ; House of Commons Environmental Audit Committee, 2004). Toute innovation technologique, en agriculture, a en effet des dimensions agronomiques, environnementales mais aussi éthiques et socio-économiques.

Le cas d'un pommier transgénique résistant à la tavelure, principale maladie des vergers, a été choisi pour évaluer l'apport qu'une approche systémique (Checkland, 1981 ; Ison et al., 1997) pouvait avoir pour améliorer notre compréhension de ces multiples enjeux et construire des modes d'évaluation plus adaptés à ceux-ci. Notre objectif est d'évaluer l'ensemble des aspects techniques et socio-économiques qui sont concernés par ces pommiers transgéniques et ainsi de replacer l'innovation technologique dans son contexte. Elle comporte trois étapes : une analyse des raisons de l'échec commercial des variétés résistantes conventionnelles (alter ego actuelles des futures variétés transgéniques), une évaluation prospective des atouts et limites des pommiers transgéniques et une approche systémique de l'ensemble des stratégies de lutte contre la tavelure.

Les résultats de nos recherches contribuent à combler une lacune de l'expertise scientifique actuelle : l'absence d'évaluation de la pertinence des innovations biotechnologiques aux niveaux agronomique et socio-économique. Nous entendons « pertinence » au sens de la capacité de ces innovations à résoudre les problèmes techniques ou socio-économiques, actuels ou futurs, sans en créer de nouveaux.

A. Demandes d'autorisation de vergers expérimentaux de pommiers réducteurs de fongicides

Les pommiers étudiés sont le fruit de travaux de Plant Research International, un centre de recherche hollandais actif à la fois dans les biotechnologies et dans l'amélioration de pommiers. Leurs chercheurs ont inséré un gène responsable de la production d'hordothionine (une protéine antimicrobienne qu'ils ont découvert dans l'orge) au sein du génome de pommiers de variété Elstar (variétés dont ils sont propriétaires), Gala et Santana. L'objectif déclaré est bien d'accroître la résistance aux maladies fongiques, principalement la tavelure, afin de diminuer l'utilisation de produits phytosanitaires (Plant Research International, 2001).

Pour tester cette résistance en conditions réelles, des demandes de disséminations expérimentales pour ces pommiers ont été soumises aux autorités fédérales belges et

Encadré 1. Les pommiers transgéniques résistants à la tavelure sont une des applications de la transgénèse végétale aux pommiers parmi d'autres. Plusieurs types de transgènes sont d'ailleurs testés pour conférer à différentes variétés une résistance aux maladies. Les transgènes, codant pour des peptides antimicrobiens, proviennent de champignons, d'oignons ou de céréales, comme dans le cas étudié ici. D'autres projets se concentrent sur la résistance aux insectes (expression de toxines), la modification de la date de floraison, du mûrissement, le ralentissement du brunissement ou la création d'arbres à port colonnaire réduisant drastiquement le besoin de taille des arbres (Information Systems for Biotechnology, 2004).

néerlandaises. Les promoteurs du projet ont mis en avant les mérites des nouvelles variétés tandis que des militants anti-OGM ont demandé l'application du principe de précaution face aux incertitudes et risques accompagnant ces plantes modifiées. Refusées aux Pays-bas, puis en Belgique en 2002, les expérimentations ont finalement été acceptées aux Pays-Bas lors d'une seconde tentative.

La tavelure est une maladie causée par le champignon *Venturia inaequalis*. Elle affecte l'aspect extérieur des fruits (tâches brunes), les rendant invendables. Elle peut aussi entraîner la chute des feuilles et affaiblir l'arbre. En conséquence, les producteurs sont forcés de contrôler cette maladie, dont le développement est d'ailleurs rapide. Dix à vingt traitements fongiques par an (Lespinasse et al., 1999 ; Sandskar, 2003) sont nécessaires, soit soixante pour cent des traitements appliqués au verger ou l'équivalent de quinze à quarante kilos de matière active par hectare et par an (Populer et Lateur, 1993). Ces fongicides posent un certain nombre de problèmes d'importance variable : ils sont coûteux, doivent être renouvelés régulièrement et sont suspectés d'être à la source de problèmes environnementaux et de santé humaine (Hour et al., 1998 ; Alavanja et al., 2003 ; Pesticide Action Network, 2003). Ils sont remis en question par un nombre croissant de consommateurs qui souhaitent une agriculture moins intensive en intrants chimiques (Penrose, 1995 ; Collet, 2003). Pourtant, malgré ces inconvénients, les producteurs ne tiennent pas compte de la sensibilité de la variété à la tavelure (et donc de son besoin de protection phytosanitaire) lors des rénovations partielles de vergers.

Le pommier transgénique, en soulevant la question de l'utilisation intensive de fongicides de synthèse et son objectif de diminution du nombre de traitements, est donc susceptible de pouvoir rallier tant les producteurs que les consommateurs.



Pommes tavelées
Photothèque INRA

B. Une approche systémique du problème de la tavelure du pommier et des variétés résistantes

En l'absence de vergers commerciaux ou expérimentaux, il était impossible de mettre en œuvre une étude agronomique traditionnelle à partir des résultats réels des pommiers transgéniques. De plus, même si de tels vergers expérimentaux existaient, les conditions de production y sont différentes de celles des vergers commerciaux. Nous avons donc dû innover.

Notre approche systémique (voir encadré n°2) se concentre autant sur le problème pour lequel la plante transgénique a été créée que sur l'innovation transgénique en elle-même. Pour cela, une vingtaine d'acteurs de la filière de la pomme (des producteurs, pépiniéristes, conseillers techniques, chercheurs, directeurs de criées,...) ont été sélectionnés (méthode de proche en proche) et interviewés (interviews semi-dirigés). L'enquête s'est essentiellement faite essentiellement réalisée dans les régions fruitières intensives de Belgique (Limbourg,...). Les résultats de ces multiples entretiens ont ensuite été combinés, avec différentes données sur les pratiques du secteur et avec une revue de la littérature scientifique sur la question. Cette approche systémique partage certains principes avec les méthodologies de l'analyse socio-technique de Callon, Latour et Law (Callon, 1986 ;

Amblard et al., 1996). Celles-ci, en sociologie des sciences et techniques, étudient des innovations techniques dans leur environnement complexe (technique et socio-économique). Enfin, si cette étude est centrée sur la région arboricole intensive située en Belgique, la similitude de la configuration du secteur fruitier avec celle de d'autres pays permet d'en tirer des résultats valables également ailleurs.

Le problème de la tavelure relève d'un paradoxe. En effet, cette maladie est reconnue par tous pour être comme « le problème n° 1 » en verger alors que les actuelles variétés actuelles résistantes à cette maladie (conventionnelles, non-transgéniques) sont très peu vendues, ne représentant qu'une infime portion des surfaces plantées.

Nous nous sommes donc d'abord penché sur ces variétés pour comprendre pourquoi certains chercheurs avaient recours à une technologie si controversée -la transgénèse végétale- pour créer une caractéristique déjà existante dans certaines variétés conventionnelles. Le travail consistait essentiellement à faire une synthèse des éléments de réponse, chaque acteur n'en disposant que d'une partie, et à tirer profit du recul que nous permettait notre non-implication dans la recherche en arboriculture fruitière.

Encadré 2 : La systémique

La systémique s'est développée en réaction à la nécessité d'étudier la complexité croissante des ensembles qui nous entourent et à l'inefficacité des préceptes réductionnistes à résoudre les problèmes du monde réel. La « théorie du système général » de Von Bertalanffy a été approfondie par les travaux de Checkland, de Rosnay ou Morin pour n'en citer que quelques uns. Les approches systémiques ont pour objectif d'étudier les parties d'un système et leurs interactions plutôt que de se concentrer sur une seule partie isolée (Checkland, 1981). Parfois décrite comme un paradigme alternatif d'analyse et d'exploration de la réalité (Bonami, 1996), la systémique trouve ses applications dans l'étude des systèmes vivants et sociaux. Appliquée en agronomie, elle intègre les aspects biologiques, sociaux et organisationnels ou institutionnels de l'agriculture, afin de comprendre et d'améliorer le système entier (Ison et al, 1997). Elle se concrétise par une série de principes à mettre en œuvre plutôt que par un protocole précis.

Si la faible qualité gustative des variétés résistantes (*Topaz, Initial, ...*) est parfois évoquée par certains pour expliquer leur échec commercial, notre approche systémique a néanmoins permis de corriger cette affirmation. Nous avons relevé treize facteurs de type technique, socio-économique ou historique qui expliquent le non-développement de ces variétés dont les caractéristiques agronomiques devraient pourtant favoriser le succès (Tableau 4).

Tableau 4 : Facteurs de non-développement des variétés résistantes à la tavelure

<p>Producteurs <i>Choix de stratégie de lutte contre la tavelure</i> <i>Choix de variété</i></p>	<p>1) L'utilisation intensive de fongicides de synthèse est efficace. Les inconvénients de cette stratégie ne sont pas suffisants pour induire un changement. 2) Le renouvellement des vergers se concentre sur des variétés commerciales non-résistantes, moins risquées sur le plan commercial</p>
<p>Améliorateurs et histoire de l'amélioration</p>	<p>3) Longue période de sélection en défaveur de la résistance aux maladies et réduction de la diversité des variétés plantées 4) Longue période de concentration des programmes de création de variétés résistantes sur la résistance monogénique</p>
<p>Conseil technique et jardins d'essais</p>	<p>5) Les centres de recherche et développement conseillent la plantation de variétés non-résistantes renommées malgré les résultats relativement bons des variétés résistantes.</p>
<p>Marché <i>Criées</i> <i>Clubs</i> <i>Grande distribution</i> <i>Consommateurs</i> <i>Critères de qualité</i></p>	<p>6) Les objectifs commerciaux des criées et les contraintes imposées par la globalisation des marchés fruitiers incitent à la gestion de six ou sept variétés seulement (frein à la diversité) 7) Les récents clubs variétaux se concentrent sur la promotion de variétés très sensibles (Pink Lady) à grands renforts de marketing. 8) Faible intérêt pour les variétés résistantes 9) Rationalisation des variétés vendues (quelques variétés vendues toute l'année) et difficulté de lancement de nouvelles variétés (nécessité d'atteindre une masse critique,...) 10) Goût formaté par quelques variétés présentes toute l'année 11) Faible connaissance des conditions de production et faible traduction des valeurs écologiques dans les actes d'achats 12) Ambiguïté sur l'adéquation des variétés résistantes par rapport aux critères de qualité (gustatifs, techniques, commerciaux) 13) Les critères de qualité sont construits par le marché et par quelques variétés commerciales.</p>

Légende : Treize facteurs (techniques, socio-économiques et historiques) expliquent le faible niveau de développement des variétés résistantes non-transgéniques.

1) Choix des producteurs (stratégies de lutte et variétés)

Deux raisons directes expliquent la non-plantation de variétés résistantes par les producteurs au moment de la rénovation partielle des vergers, soit tous les quinze ans pour chaque sous-parcelle d'un verger. D'une part, les producteurs ne peuvent pas se permettre de planter des variétés sans avoir la garantie que celles-ci se vendront durant une dizaine d'années. Or, le contexte est actuellement instable. En Belgique par exemple, la *Golden*, puis la *Jonagold*, ont chacune connu une apogée puis une crise. Aujourd'hui, dans un contexte de crise de variétés, les producteurs ne savent plus quelle variété planter, et sont forts dépendants des conseils commerciaux stratégiques des criées pour leurs choix.

D'autre part, si les producteurs peuvent se permettre de planter ces variétés commerciales très sensibles à la tavelure, c'est justement parce que l'application de fongicides chimiques est actuellement une stratégie de lutte relativement efficace, autorisée et dans laquelle les pouvoirs publics et des acteurs privés ont investi depuis des années. Les fongicides de synthèse ne seraient en effet pas devenus et restés techniquement et économiquement concurrentiels pour les producteurs sans l'investissement privé des firmes, la création du réseau d'avertissement des risques d'infections et les tests de nouveaux produits par les jardins d'essais en collaboration avec les firmes. Bien que les fongicides soient problématiques, ils restent donc une solution globalement satisfaisante pour les producteurs.

2) Sélection et amélioration

Certains aspects historiques de l'amélioration variétale ont un impact important sur le problème actuel de la tavelure. La sélection des variétés qui a accompagné la professionnalisation de l'arboriculture (dans les années trente et après-guerre) s'est en effet faite au détriment de la résistance aux maladies. Les critères de productivité, de présentation et de tenue à la conservation frigorifique ont primé sur les critères de pertinence agronomique, comme la résistance aux maladies, critères devenus moins importants grâce aux fongicides chimiques (Populer et Lateur, 1993). Ceci explique les progrès de l'amélioration en terme de qualité du fruit mais explique également la très forte sensibilité des variétés commerciales actuelles.

Parallèlement, le nombre de variétés conseillées et commercialisées a progressivement été réduit. En Belgique, le Comité National de Pomologie ne reprenait déjà que 36 variétés dans sa liste de variétés recommandables en 1939 (Collet, 2003). Le verger belge est progressivement devenu majoritairement planté par une seule variété, bien adaptée au marché industriel naissant : la *Golden*, puis la *Jonagold*. Cette configuration du verger a créé un environnement favorable au développement du champignon *Venturia inaequalis*, qui s'est progressivement adapté à la variété la plus plantée. La *Jonagold* est ainsi passée du classement « moyennement sensible » à la tavelure au début de sa commercialisation en Belgique à « très sensible » dans les années 90s, au moment où cette variété était plantée sur plus de 75% des surfaces.

Parallèlement, la résistance est devenue un objectif prioritaire d'un large nombre de programmes d'amélioration, non suivis de succès commerciaux, comme cet article le retrace. Ces programmes se sont d'abord essentiellement concentrés sur une unique source de résistance : *Malus floribundia*, un pommier sauvage découvert dans les années quarante et possédant un gène conférant une résistance totale à la tavelure (le gène *Vf*). Les croisements entre des variétés commerciales –sensibles– et ce pommier ont produit une trentaine de variétés depuis 1970 (Crosby et al., 1992).

En 1993, un événement a ajouté un inconvénient supplémentaire au développement des variétés résistantes. Des chercheurs français prouvent l'existence d'une nouvelle souche du champignon *V. inaequalis* capable de contourner partiellement le mécanisme de résistance des variétés *Vf* (Parisi et al., 1993). Bien que la culture de variétés résistantes permet une diminution de 76% du nombre de traitements (Parisi et al., 1995), il est désormais conseillé de traiter lors des pics d'infection afin d'empêcher l'apparition de souches résistantes. La résistance n'est donc plus que partielle. Cette adaptation du champignon a renforcé la réorientation des programmes d'amélioration vers la création de variétés à résistance polygénique (résistance basée sur plusieurs gènes sources de

résistance). La création de telles variétés, plus complexe à réaliser, avait parfois été écartée car jugée trop complexe par rapport à la stratégie *Vf*. Les quelques variétés à résistance polygénique obtenus avant 1990 n'ont d'ailleurs pas obtenu plus de succès commercial que les autres. De nouveaux programmes, démarrés dans les années 90s, ont réintégré dans les schémas de sélection des variétés paysannes tolérantes ou résistantes datant de la période pré-industrielle, afin de diversifier les sources de résistance (Lateur et Populer, 1994 ; Lespinasse et al., 1999).

3) Conseils techniques et Jardins d'essais

Toutes les nouvelles variétés sont testées et évaluées comparativement aux autres variétés existantes par des jardins d'essais, structurés en réseau au niveau européen. Techniquement, certaines variétés résistantes atteignent le niveau des variétés non-résistantes. Pourtant, elles ne sont pas encore recommandées par les conseillers techniques pour la plantation. A long terme, il est cependant probable que les essais de centres techniques soient des alliés des variétés résistantes, étant donné que ceux-ci ont initié des tests particuliers aux programmes de traitements minimaux pour les variétés résistantes. Bien que ces tests soient mis en œuvre dans un souci de soutien à l'arboriculture biologique, les résultats pourront intéresser l'ensemble des producteurs.

4) Tavelure et Marché

Si les facteurs techniques et historiques ont une place importante dans le non-développement des variétés résistantes, il serait incomplet d'arrêter l'analyse à ce stade. Le fonctionnement général du marché des fruits oppose en effet plusieurs « résistances » aux variétés résistantes.

Les criées, en tant qu'organisations de producteurs, devraient logiquement être des partenaires dans le développement des variétés résistantes étant donné que celles-ci ont des avantages économiques dans le verger et le potentiel de séduire des consommateurs à la recherche de produits moins traités. Pourtant, c'est le contraire qui se passe. D'une part, les criées cherchent à rationaliser l'offre de variétés : il leur est plus facile de stocker, promouvoir et vendre six ou sept variétés qu'une vingtaine. En conséquence, elles n'ont pas cherché à diversifier ni l'offre ni la demande variétale. D'autre part, les criées n'ont actuellement pas de réel intérêt à promouvoir des variétés résistantes : leurs clients, les firmes d'export et la grande distribution, ne s'intéressent pas prioritairement à ces critères environnementaux et de santé.

Le fonctionnement propre de la grande distribution est également un facteur de non-développement des variétés résistantes. En effet, pour que leurs pommes soient vendues dans les étals de la grande distribution, les promoteurs de variétés résistantes devraient pouvoir être en mesure de s'engager à fournir celles-ci durant toute l'année au mieux, ou au moins trois à quatre mois, dans des quantités non-négligeables. Pour atteindre cette « masse critique », un nombre suffisant de producteurs a du être convaincu trois ans plus tôt de prendre le risque de planter ces variétés sans garantie de succès. Les variétés résistantes se confrontent donc, comme d'autres nouvelles variétés, aux modes de fonctionnement de la grande distribution. En outre, la plupart des variétés introduites dans les supermarchés durant les vingt dernières années possédaient deux caractéristiques qui ont contribué à leur succès : des qualités distinctives (apparence, goût ou texture) qui permettaient une différenciation par rapport aux variétés existantes ;

et le fait d'avoir été stratégiquement promues par de puissantes organisations (SARE, 1997).

Une difficulté supplémentaire pour les variétés résistantes est qu'elles sont parfois créées par des centres de recherches qui n'ont pas les moyens d'assurer leur promotion. C'est le cas de la station expérimentale tchèque Støižovice, ayant obtenu la variété *Topaz* (une des seules variétés résistantes obtenant un relatif succès), dont l'équipe est restreinte à deux techniciens et un améliorateur.

5) Consommateurs et critères de qualité

En arboriculture fruitière, les goûts du consommateur sont traduits à travers une grille de critères de qualité du fruit (texture, goût, qualité, couleur, ...) qui sont combinés à des critères de qualité de la variété agronomiques (conduite de l'arbre, ...) et industriels (résistance aux maladies de conservation, ...). Une grande partie des acteurs de l'arboriculture fruitière cite parfois la faible qualité gustative des variétés résistantes en premier lieu. Les propos sont plus nuancés dès que la question est approfondie et il est généralement admis que certaines variétés résistantes présentent un réel intérêt au niveau gustatif. Cette ambiguïté à propos de l'influence capitale des critères de goût sur l'échec des variétés *Vf* est d'ailleurs confirmée par les résultats de plusieurs études scientifiques. Celles-ci établissent que certaines variétés résistantes -*Topaz* et *Ariwa* par exemple- sont acceptées par les consommateurs et peuvent concurrencer les variétés les plus appréciées et connues (Casutt et al., 2001 ; Kühn et Thybo, 2001). Sans nier que certaines variétés résistantes soient de faible qualité gustative, de telles études existent en fait depuis longtemps (Durner et al., 1992) sans toutefois permettre de lever cette ambiguïté et de crédibiliser les meilleures variétés résistantes.

Certaines variétés possèdent par ailleurs des problèmes techniques divers et parfois majeurs (conduite technique de l'arbre, susceptibilité à des insectes, calibre inadéquat, durée de conservation limitée,...). Par exemple, certaines variétés résistantes ont l'inconvénient d'une sensibilité élevée à certaines maladies de conservation, un inconvénient majeur dans un système de marché désaisonnalisé, où les quelques variétés sélectionnées pour être vendues doivent être présentes en rayons toute l'année. Ceci illustre deux nouveaux aspects.

D'une part, le succès de variétés résistantes requiert la création de nouvelles connaissances techniques, tel le développement de traitements thermiques préventifs pour résoudre le problème des maladies de conservation. Les inconvénients techniques des variétés prisées par le marché ont d'ailleurs, dans le passé, été résolus par un investissement de recherche et d'essais afin de pouvoir produire correctement la variété qui se vendait bien. D'autre part, il est utile de rappeler que les critères de qualité ne sont pas naturels ou innés. Ils ne sont pas uniquement liés à la réaction de nos papilles lorsque nous croquons des pommes mais dépendent également de l'organisation du marché et de la distribution des fruits. Les variétés *Jonagold*, *Golden*, *Elstar*, *Gala*, *Braeburn* ne sont pas uniquement les variétés préférées des consommateurs : ce sont aussi presque les seules variétés qui sont disponibles douze mois par an dans chaque magasin. Ce sont les variétés auxquelles nous sommes habitués, étant donné l'absence d'une plus large gamme.

Encadré 3 : Variétés résistantes et Clubs

Les pommiers transgéniques sont une innovation technologique encore loin d'être plantée dans les vergers. La véritable innovation actuelle dans le secteur fruitier n'est pas technique, mais institutionnelle/organisationnelle. En effet, depuis quelques années, des pépiniéristes et différents acteurs du marché fruitier ont créé des « clubs » pour faire face à la difficulté de promouvoir de nouvelles variétés. Le club est un groupement de pépiniéristes, financiers, entreprises de mise sur le marché et producteurs dont l'objectif est la production, la promotion et la vente d'une variété bien précise. Le club contrôle chaque aspect de la filière (hectares mis en cultures, critères de qualité des fruits qui sont acceptés sous le label du club, prix, etc.). Pour financer la promotion de la variété, le club se rémunère en effectuant un prélèvement sur chaque kilo vendu. Le club le plus connu fait la promotion de la variété Pink Lady et est une structure active à l'échelle internationale. Les producteurs sont pour le moment divisés sur les avantages et les risques liés au développement de ce type de structure.

La Pink Lady est une variété hypersensible à la tavelure, un inconvénient technique qui a été gommé par une promotion avec des moyens financiers rarement vus dans le secteur fruitier. Encore plus récemment, un club s'est créé en France avec l'objectif de promouvoir des variétés résistantes aux maladies, suite à un partenariat avec un groupement de pépiniéristes et l'INRA, qui a créé ces variétés. Les Naturianes font actuellement la promotion de deux variétés résistantes aux maladies, Ariane et Doriane, avec des objectifs de croissance très modestes. Ce club a pourtant choisi de ne pas faire la promotion de ses variétés sur la résistance, leur atout écologique (dans leurs dépliants promotionnels du moins), mais plutôt sur une image de santé et de nature. Est-il impossible d'avouer que ces pommes-là font recours à moins de fongicides car cela supposerait de rappeler au consommateur que toutes les autres pommes en sont abondamment aspergées ? A court terme, les clubs ne sont donc pas encore de puissants acteurs de la promotion des pratiques arboricoles plus durables.

6) Variétés résistantes et vente locale

Ce « formatage » du goût par la faible diversité des variétés vendues en grandes surfaces ne se retrouve pas dans d'autres systèmes de vente. Par exemple, lorsque producteurs et consommateurs contournent le fonctionnement du supermarché, en situation de vente directe. Le consommateur peut alors exprimer des préférences bien différentes (préférence pour des pommes croquantes, des molles, des sucrées, des acidulées, des pommes de table, des pommes de compote...). Le producteur peut en conséquence diversifier son verger pour répondre à cette diversité de préférences et vendre en direct le plus longtemps possible. Enfin, il peut assurer lui-même la promotion des nouvelles variétés qu'il choisit de planter en fonction de critères agronomiques et pas uniquement commerciaux. Bien que la vente directe ne représente qu'une faible partie de la commercialisation des pommes, ce sont ces conditions-là qui permettraient de stimuler le développement des variétés résistantes, par exemple dans certaines régions d'Allemagne où la vente directe est davantage développée.

Nos résultats sur l'échec commercial des variétés résistantes rejoignent ceux d'une étude ayant analysé le même problème dans le Nord-est des Etats-Unis (SARE, 1997). Actuellement, les variétés résistantes ne sont donc pour les pépiniéristes qu'une niche commerciale essentiellement destinée aux producteurs en arboriculture biologique. Les pépiniéristes, bien que conscients de l'évolution à long terme du marché –évolution qui serait favorable aux variétés résistantes- ne font pas tous une priorité du critère de

résistance aux maladies dans leurs collaborations à des programmes d'amélioration variétale. L'heure est davantage aux créations de « clubs » (voir encadré).

C. Atouts et limites des pommiers résistants transgéniques

Dans ce contexte, le principal avantage des futures variétés transgéniques n'est pas la résistance en elle-même. Comme nous l'avons vu, cette caractéristique n'est pas neuve. L'atout de telles variétés génétiquement modifiées est en fait de transformer des variétés déjà renommées sur le plan commercial (Gala, Elstar,...) pour en faire des variétés résistantes et acceptées par le marché (par la criée, le distributeur, le consommateur). L'avantage comparatif des variétés transgéniques est donc de contourner certains des principaux obstacles aux variétés résistantes conventionnelles, sans que ces obstacles ne soient nécessairement techniques.

Malgré ce relatif avantage, les pommiers transgéniques de Plant Research International ne seront probablement pas commercialisés prochainement. Si les variétés résistantes non-transgéniques font face à plus d'une dizaine de facteurs freinant ou empêchant leur développement, les variétés transgéniques ont eux aussi différents obstacles à surmonter, bien que différents de ceux des pommiers résistants conventionnels.

Les premiers obstacles concernent la recherche et le développement de l'arbre en lui-même. Les promoteurs de pommiers transgéniques ont un obstacle spécifique à surmonter : la difficulté d'obtenir des autorisations pour faire leurs essais en plein champs. Ceux des pommiers résistants à la tavelure ont essuyé deux refus, celui des Pays Bas et de la Belgique (Minister van Consumentenzaken, Volksgezondheid en Leefmilieu, 2002) avant d'être finalement acceptés par les Pays-Bas. D'autres essais ont été refusés en Allemagne (Gentech-News, 2003). La présence d'un gène de résistance à un antibiotique est un des éléments du refus des autorités. Ce caractère est inutile dans le verger mais nécessaire dans le laboratoire lors d'une étape de la création des pommiers modifiés. L'utilisation d'un tel gène sera interdite après 2006 suite à une décision des autorités européennes de prévenir tout risque de baisse de l'efficacité des antibiotiques dans la médecine humaine (suite à une éventuelle généralisation des antibiotiques dans les aliments). Une nouvelle méthode doit donc être trouvée, et des pommiers recréés à partir de celle-ci.

Enfin, la résistance en elle-même risque d'être également problématique. Celle-ci est en effet partielle et potentiellement non durable. Partielle, car la résistance ne fait que réduire l'incidence de la tavelure, et dans des proportions pas encore aussi importantes que les meilleures variétés non-transgéniques : les essais en serres concluent à une réduction de 50% (PRI, 2001). Non durable, car il est probable que la résistance soit également contournée un jour par une souche s'adaptant au nouveau mécanisme. Ce contournement de la résistance est un des risques potentiels pour les arbres fruitiers transgéniques parmi d'autres : toxicité liée à la production d'une protéine non naturellement présente dans le fruit, effets sur des organismes non-cibles, instabilité de l'expression du transgène, diffusion des transgènes dans l'environnement (Genetic Engineering Newsletter, 2002).

Enfin, les pommiers transgéniques ont un inconvénient prépondérant par rapport au soja ou au maïs génétiquement modifié : le rapport du consommateur à l'aliment est direct, comporte un aspect culturel, tandis que l'ingestion de maïs ou de soja est diffuse dans de nombreux aliments transformés. Il est donc probable que la commercialisation de tels

fruits transgéniques cristallise l'opposition des consommateurs et qu'aucun acteur privé ne soit prêt à promouvoir leur commercialisation.

D. Prospective autour d'un problème technique et des stratégies d'innovation

Etant donné cet éloignement de la commercialisation des pommiers transgéniques résistants, il semble pertinent de compléter notre enquête par deux derniers aspects. Il s'agit d'abord de relever les facteurs qui vont évoluer dans le temps en faveur ou défaveur des variétés résistantes. Ensuite, il convient de recenser les autres stratégies ou innovations qui permettent aujourd'hui ou pourraient permettre demain d'atteindre le même objectif que les pommiers transgéniques, la réduction de l'utilisation de fongicides chimiques.

De l'avis d'une grande partie des acteurs du secteur fruitier, la résistance aux maladies n'est en effet pas « encore » la priorité mais va progressivement prendre une place de plus en plus importante suite à la conjonction de différents facteurs. Sur le long terme, certains facteurs vont en effet jouer en défaveur des fongicides de synthèse ou en faveur des variétés résistantes. Il s'agit par exemple de l'évolution des politiques publiques nationales ou européennes (de plus en plus soucieuses d'une agriculture moins intensive en intrants chimiques) vers une restriction croissante de l'utilisation de produits phytosanitaires. Par ailleurs, des facteurs vont favoriser directement le développement des variétés résistantes conventionnelles : on peut citer la qualité croissante des variétés résistantes qui sortent des programmes d'amélioration, ou la création de variétés à résistance polygénique, plus efficaces dans le verger (Tableau ci-dessous).

Tableau 5 : Potentiels facteurs de développement des variétés résistantes à la tavelure (futur)

Union Européenne et Etats	- interdiction croissante de produits phytosanitaires par l'U.E. et écologisation des politiques nationales de certains gouvernements
Amélioration et sélection variétale	- amélioration de la qualité des variétés résistantes (qualité de plus en plus proche de celle des variétés commerciales) - création de variétés à résistance polygénique (plus durable)
Marché	- naissance de structures commerciales faisant la promotion de variétés résistantes
Consommateurs	- sensibilisation croissante des consommateurs aux conditions de production - Préférences de plus en plus contrastés (demande pour des produits de qualité différenciée)
Conditions de production	- amélioration de la recherche et des essais sur les inconvénients techniques particuliers aux variétés résistantes.

Les facteurs « positifs » recensés ci-dessus sont cependant à comparer avec ceux « négatifs » pour le développement de ces variétés « écologiques », recensés plus haut (Tableau 4 p 102). On ne peut donc pas garantir que les variétés résistantes vont supplanter les variétés sensibles.

E. « OGM ou fongicides ? » L'approche systémique pousse à redéfinir le problème

L'approche systémique a donc montré que la question de la résistance à la tavelure dépassait de loin la seule interaction entre le champignon *Venturia inaequalis* et les différentes variétés de *Malus domestica*. Le caractère incomplet de la résistance des variétés dites résistantes (transgéniques ou non) et l'adaptation progressive du champignon à certains mécanismes de résistance monogénique montrent que la question soulevée ici n'est pas d'avoir soit des vergers traités quinze à vingt fois par an ou d'avoir nouvelles variétés transgéniques, solution finale au problème de la tavelure et des fongicides. Si l'utilisation de variétés résistantes permet de réduire drastiquement l'utilisation de fongicides, certains traitements restent en effet nécessaires lors des pics d'infection pour éviter l'apparition de populations résistantes.

Le problème n'est donc pas binaire : « OGM ou fongicides » et la question essentielle qui pourrait servir de point de départ à une évaluation des innovations pourrait être de comprendre comment réduire au maximum les problèmes de tavelure dans les vergers, pour réduire l'utilisation de fongicides coûteux, risqués et controversés. Cette question-là appelle une étude plus approfondie des multiples stratégies²⁴ qui ont pour objectif commun d'anéantir ou de réduire la germination des filaments de *V. inaequalis* dans les feuilles et fruits des pommiers. Quelles sont ces autres stratégies, à côté des variétés transgéniques ? Sont-elles concurrentes ou complémentaires ?

F. Multiples stratégies de lutte contre la tavelure : complémentarité et concurrence

Les stratégies qui permettent d'atteindre cet objectif ont été recensées et classées en fonction de leur niveau d'action : le champignon, l'arbre, le verger ou le système de commercialisation. Les variétés transgéniques sont une de ces vingt stratégies (Figure 7). Différentes études ont déjà permis d'identifier et caractériser certaines de ces stratégies (Penrose, 1995 ; SARE, 1997 ; Reganold et al., 2001 ; Lateur, 2002).

Dans un premier temps, il nous a semblé utile de mettre de côté la question de la faisabilité technique, socio-économique et politique de chaque stratégie, qui est très hétérogène. A priori, la création de pommiers contenant des gènes de résistance provenant d'une céréale aurait pu sembler difficilement réalisable en termes techniques autant qu'économiques et politiques. Pourtant, c'est une option réelle aujourd'hui. De même, rien ne permet d'affirmer à priori que les autres stratégies, séparément ou en synergie, ne permettraient pas d'atteindre le même niveau de protection des fruits si des efforts sont mis en œuvre pour en assurer le développement. Nous n'avons en conséquence éliminé aucune stratégie à priori : ni celles qui ont un faible potentiel de réduction du problème (p.ex. éviter la surfertilisation) ni celles, non abouties, qui demanderaient des investissements de recherche plus poussés (les agents éliciteurs de résistance systémique induite) ou nécessiteraient une rénovation plus globale de la

²⁴ Le terme « stratégie » est ici utilisé comme terme commun pour les différentes pratiques agricoles (horticoles) présentes et innovations futures de lutte contre la tavelure.

filière (vergers polyvariétaux mixtes). Le premier objectif est donc uniquement un état des lieux des stratégies agronomiques, sans considérations économiques ou politiques.

Ces stratégies de lutte contre la tavelure, y compris les variétés résistantes, sont à la fois complémentaires et concurrentes. Dans le verger, une combinaison de plusieurs de ces stratégies alternatives aux fongicides de synthèse pourrait être une option réellement efficace à long-terme et s'inscrire dans le cadre de systèmes agro-écologiques (Altieri, 1996) et d'une approche systémique totale pour une gestion durable des pathogènes (Lewis, 1997), à condition d'être alliée à des innovations institutionnelles tout au long de la filière (Collet, 2003). L'approche système ne peut pas, pour nous, se restreindre aux aspects techniques : le lien entre innovations techniques et institutionnelles est essentiel dans notre approche systémique.

Au stade de la recherche par contre, ces pratiques ou innovations sont en concurrence, étant donné que les budgets de recherche sont des budgets « en enveloppe fermée » (toute recherche sur une stratégie en empêche une autre). Certaines disciplines scientifiques ont mobilisé ou mobilisent toujours davantage les énergies des chercheurs et les programmes de recherche. Pendant longtemps, la chimie de synthèse a reçu les préférences des budgets de recherche publics : des acteurs privés sont aujourd'hui devenus autonomes dans le développement de produits dans ce domaine. Aujourd'hui, la génétique et la biologie moléculaire sont fort valorisées dans les communautés scientifiques, et orientent une majeure partie de l'innovation scientifique. Par ailleurs, certaines stratégies sont également plus aptes à attirer l'intérêt des firmes privées, de par leur capacité –ou non- à générer des profits (brevetabilité des produits, ...). Ceci explique que certaines stratégies évoquées plus haut aient bénéficié de davantage d'efforts de recherche publics et privés que d'autres (celles basées sur les principes de l'agro-écologie, notamment), qui sont en conséquence aujourd'hui moins bien développées.

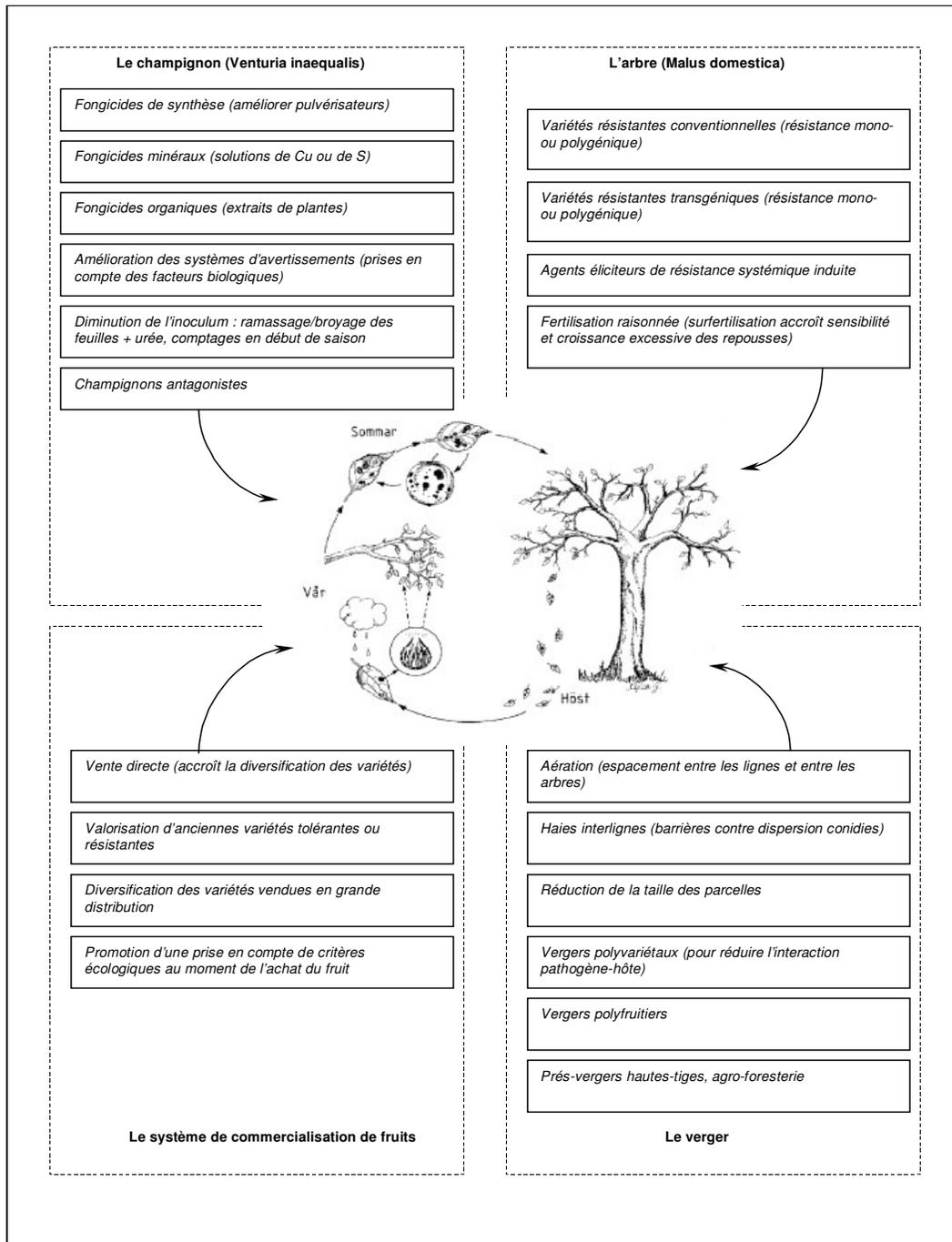


Figure 7 : Gamme des stratégies de lutte contre la tavelure

Légende : Une vingtaine de stratégies contribuent à différents niveaux (le champignon, l'arbre, le verger et le système commercial) à réduire le problème de la tavelure et de l'utilisation de fongicides de synthèse. Dessin central : Kajsa Göransson in Sandskar (2003)

G. Conclusions et perspectives pour la recherche et l'action publique

L'intérêt de notre recherche concerne essentiellement la recherche et l'action publique en général, celle-ci n'étant pas restreinte à la régulation des plantes transgéniques.

Les pommiers transgéniques résistants à la tavelure étudiés ici ne sont pas techniquement prêts, ils sont seulement au stade de la recherche. L'Union Européenne prédit d'ailleurs le développement de telles plantes transgéniques, la « seconde vague » des OGM, pour 2007-2012 (European Science and Technology Observatory, 2003). En conséquence, rappelons que notre objectif n'était ni de chercher à comprendre si de tels pommiers seraient concurrentiels au plan technique ni d'évaluer leur potentiel commercial. La situation permettait plutôt de prendre du recul par rapport à une actualité (la controverse autour de demandes pour des vergers expérimentaux de pommiers transgéniques en Belgique), à un problème (la tavelure et les fongicides) et aux solutions possibles. Nos résultats aboutissent à trois conclusions.

1) Lien entre plante transgénique, problème technique et environnement socio-économique

L'analyse systémique d'une plante transgénique et de sa pertinence soulève d'abord la question « comment résoudre un problème technique agronomique ? », ici dans un verger. L'approche systémique permet de faire émerger les nombreux enjeux concernés par un problème technique particulier du verger et les multiples pratiques ou innovations qui permettent de résoudre ce problème. Ensuite, notre approche soulève la question « Quels sont nos objectifs en matière d'arboriculture ? ». Dans le cas étudié, cet objectif est clair : une diminution de l'utilisation des fongicides de synthèse. Il est d'ailleurs concrétisé dans de nombreux rapports officiels publics et publications scientifiques (Lespinasse et al., 1999). Les objectifs d'autres plantes transgéniques le sont-ils tout autant ? Ces objectifs sont-ils clairs et en adéquation avec les objectifs de nos politiques publiques ? Une approche systémique des OGM encourage donc à une meilleure définition de ces objectifs.

En décortiquant la question de la résistance à cette maladie, nous avons montré que l'échec d'une innovation (le non-développement commercial actuel des variétés résistantes conventionnelles) n'est pas uniquement dû à des causes techniques. Le système commercial, l'histoire de la sélection, et les orientations et investissements de recherche jouent également un rôle prépondérant. L'analyse des obstacles au développement des variétés résistantes a montré que l'arboriculture fruitière moderne, industrielle, et le marché fruitier laissent peu de place à certaines pratiques et innovations qui présentent pourtant un intérêt pour les producteurs, les consommateurs et l'environnement.

Une enquête détaillée sur les autres cas de pommiers transgéniques permettrait de dégager de manière plus générale les avantages et inconvénients de ces variétés pour avoir une meilleure image de leur pertinence agronomique et socio-économique. Quels sont les enjeux techniques et socio-économiques des pommiers transgéniques à mûrissement retardé, à brunissement retardé, résistants aux insectes ou à port colonnaire ? Participent-ils à résoudre les problèmes de l'arboriculture fruitière ? A créer des modes de production et de consommation plus durables ? Sont-ils l'option technique la plus efficace par rapport aux éventuelles alternatives ?

Le cadre institutionnel actuel de l'expertise des plantes transgéniques, la Commission de Génie Biomoléculaire en France ou le Conseil de Biosécurité en Belgique, ne permet pas de prendre en compte ces dimensions

2) *Multiplicité du progrès scientifique : des choix à évaluer, orienter et assumer*

Notre approche systémique, en décelant les pratiques alternatives à la voie transgénique, montre que le progrès scientifique n'est pas unique. Pour régler le problème de la tavelure, on peut chercher à créer des pommiers transgéniques, mais il est également possible de mener des programmes de recherche pour comprendre quels sont les prédateurs naturels de ce champignon (champignons antagonistes), quels sont les produits qui permettent à l'arbre de mieux se défendre (résistance systémique induite), etc.

Il est tout à fait compréhensible que les producteurs professionnels, ayant des contraintes économiques à court-terme, ne plantent pas les variétés qui permettent une diminution de l'utilisation de fongicides de synthèse. Par contre, il est utile de s'interroger sur les options privilégiées par le fonctionnement propre à la recherche scientifique. En effet, si le progrès est multiple, cela veut aussi dire que le potentiel de chaque stratégie peut (devrait ?) être suffisamment évalué et exploré : est-ce le cas ? Par qui, à quel moment et avec quelles méthodes ? Parce que l'innovation scientifique est indissociable de son contexte, que chaque stratégie influence et est influencée par celui-ci (cfr les « obstacles au développement » des variétés résistantes), il nous semble que l'évaluation des nouvelles biotechnologies, en agriculture, doit être systémique. Outre la nécessaire évaluation des risques, elle doit prendre en compte à la fois le contexte, les aspects socio-économiques, et la comparaison avec les stratégies concourant au même objectif. Pour cela, il y aurait lieu de mener une réelle étude comparative, en tenant compte de l'efficacité de chaque méthode, de ses avantages et inconvénients, des progrès accumulés et du potentiel attendu, des obstacles techniques et socio-économiques au développement de chacune, et également des efforts de recherche consacrés à chaque stratégie. On pourrait ainsi évaluer la contribution que chaque stratégie peut avoir dans l'objectif général, dans ce cas-ci, la diminution de l'utilisation de fongicides de synthèse.

En effet, la recherche agronomique ne peut pas se restreindre à l'étude des seules stratégies techniques compatibles avec les contraintes techniques ou socio-économiques actuelles. En ayant privilégié une ou deux stratégies dans la lutte contre la tavelure durant longtemps, elle a omis d'explorer d'autres voies qui mériteraient en conséquence aujourd'hui un regain d'investissement. Il est également probable que des projets de recherche-intervention accompagnant des expériences concrètes de promotion des variétés résistantes, ou un soutien à des partenariats entre producteurs et consommateurs autour de telles initiatives (GAWI et CRRG, 2002) puissent être tout aussi efficaces, relativement à un objectif de diminution des fongicides de synthèse, que le soutien direct au développement d'innovations techniques. L'apport des sciences humaines à la compréhension de ces enjeux est donc essentiel (Collet et Mormont, 2003).

Cette vision du progrès scientifique « multiple » signifie également que, une fois que les chercheurs ont produit des découvertes scientifiques et donné leur expertise, les parties prenantes (producteurs, consommateurs, autorités, groupements d'intérêt public,...) peuvent également prendre part au débat et aux choix collectifs. Par exemple, il est

concevable que, s'il existe plusieurs innovations pour résoudre un même problème et qu'il s'avère que l'opinion publique refuse une de ces innovations, les pouvoirs publics pourraient décider de stimuler la recherche et le développement des autres innovations. Cela donnerait davantage de crédibilité à l'autorisation des éventuels essais d'une innovation controversée (si ceux-ci n'ont pas de risques de biosécurité) : un premier pas vers des relations plus équilibrées entre science et société, entre chercheurs, producteurs, consommateurs et citoyens.

Les responsables publics qui ont pour objectif de réduire l'utilisation de fongicides de synthèse en arboriculture se trouvent, en fait, face à plusieurs solutions pour orienter leurs décisions. La première est d'attendre que les meilleures variétés résistantes conventionnelles surmontent l'ensemble des obstacles identifiés plus haut. La seconde est d'attendre la création de variétés transgéniques résistantes et d'espérer que le consommateur les accepte et que le champignon ne contourne pas la résistance en quelques années. Une troisième solution serait de promouvoir et investir dans une rénovation progressive des vergers, des variétés, du marché et de la recherche agronomique pour favoriser un ensemble plus large de pratiques techniques et socio-économiques qui concourent à la lutte contre la tavelure et dont nous n'avons qu'ébauché certains traits. Cette stratégie, qui semble agronomiquement séduisante, ne peut bien sûr s'envisager qu'à long-terme.

C'est dans le cadre de cette troisième stratégie publique que pourrait s'envisager la mise en œuvre d'évaluation de la pertinence des plantes transgéniques. Des groupes d'intérêt public ayant mené des recherches sur cette stratégie à un niveau plus général aboutissent à des conclusions comparables et complémentaires à celles de notre cas particulier (Buffin et al., 2004).

3) Elargir l'évaluation des plantes transgéniques, introduire le critère de pertinence

Si l'on accepte que les plantes transgéniques ne soulèvent pas que des questions techniques tels les risques de biosécurité, il est alors concevable que l'évaluation et la régulation publique des plantes transgéniques puisse prendre en compte d'autres dimensions, telles que les aspects socio-économiques ou la présence d'alternatives. Cette prise en compte est aujourd'hui prévue dans certains pays et a même fait l'objet de textes législatifs. Faute de méthode pour évaluer ces aspects non techniques aussi efficacement que les risques, ces textes ne sont pas réellement appliqués (Ingeborg et Traavik, 2003 ; Karlsson, 2003). L'approche systémique que nous avons mise en œuvre constitue un premier pas pour identifier et évaluer les multiples enjeux liés au développement d'une plante transgénique. Ce premier pas permettrait ensuite de construire une évaluation de la pertinence agronomique et socio-économique des plantes transgéniques, comparativement à d'autres scénarios.

Bien que ce nouveau mode d'évaluation que nous cherchons à concrétiser ne soit pas encore opérationnel, des propositions ont été ébauchées en ce sens ailleurs (Vanloqueren et Baret, 2004). Elles consistent à définir les conditions d'une telle évaluation (définition des scénarios à évaluer, des critères d'évaluation, etc), ce qui implique de trouver un juste équilibre entre les atouts et les limites de l'expertise scientifique et d'une démarche participative avec les parties prenantes du problème concerné. L'approche multicritère développée par Stirling et Mayer (1999, 2002) donne un cadre intéressant pour une telle approche. Bertrand et al.(2002) ont également montré

l'intérêt, dans la gestion de l'innovation, de rencontres organisées entre chercheurs et acteurs dans le cadre du projet de vignes transgéniques développées à l'INRA.

Outre compléter le mode de régulation public des plantes transgéniques (autorisations ou refus des essais en champs et commercialisation), ce type d'évaluation a une place à trouver à d'autres niveaux de l'action publique, par exemple, au niveau des politiques agricoles ou de recherche et développement (orientations des financements publics). Elle permettrait de donner un outil aux décideurs publics pour faire face à la complexité des problèmes que connaît aujourd'hui l'agriculture et de renforcer l'évaluation comme véritable lien entre science et politique.

Enfin, il est évident que les pommiers transgéniques ne résolvent pas les problèmes centraux de l'arboriculture fruitière, tels que la surproduction en Europe et demain dans le monde (Minist. Cl. Moy. et de l'Agriculture, 2000), les prix bas et l'instabilité liées aux crises variétales. Ce n'est d'ailleurs pas leur objectif. Il faut donc rendre la place qui leur revient aux innovations « institutionnelles » (les innovations économiques et socio-politiques, l'organisation de marché et ses règles par exemple) et également évaluer la capacité de celles-ci à résoudre durablement ces problèmes cruciaux, en harmonie avec les innovations technologiques.

Remerciements :

A François Mélard (unité Socio-Economie-Environnement-Développement, département Sciences et Gestion de l'environnement de l'Université de Liège) et Claude Bragard (Unité de Phytopathologie, Université catholique de Louvain) pour leurs commentaires sur l'article, ainsi que l'ensemble des personnes qui ont participé à l'enquête.

H. Références bibliographiques

Alavanja, M.C.R., C.Samanic, M.Dosemeci, J.Lubin, R.Tarone, C.F.Lynch, C.Knott, K.Thomas, J.A.Hoppin, J.Barker, J.Coble, D.P.Sandler, et A.Blair. 2003. Use of agricultural pesticides and prostate cancer risk in the agricultural health study cohort. *American Journal of Epidemiology* 157:800-814.

Altieri, M. (1995) *Agroecology : the science of sustainable agriculture*. 2nd edition. Westview Press, Boulder, 433 p.

Amblard,H., Bernoux, P.H., Herreros, G., et Livian, Y.F. (1996). *Les nouvelles approches sociologiques des organisations*. Seuil, Paris, 256 p.

Bertrand, A., Marris, C. et Joly, P. B. (2002) Co-construction d'un programme de recherche : une expérience pilote sur les vignes transgéniques. *Méthodologie pour l'élaboration d'un dispositif de co-construction*, INRA-STEPE, 13p.

Bonami, M. et al. (1996) *Management des systèmes complexes. Pensée systémique et intervention dans les organisations*. De Boeck Université, 272 p.

Buffin, D., Diamand, E., McKendry, R., et Wright, L. (2003). *Breaking the pesticide chain. The alternatives to pesticides coming off the European market*. Friends of the Earth et Pesticide Action Network, 28pp

Callon, M. (1986). Eléments Pour une sociologie de la traduction. La domestication des coquilles Saint-Jacques et des marins-pêcheurs dans la baie de saint-Brieuc. *L'année sociologique* 36 : 169-205.

Casutt, M., Guggenbuehl, B., Kellerhals M. (2001) *Consumer reactions on new disease resistant apple cultivars*. D.A.R.E. newsletter.

Checkland, P.B. (1981). *Systems Thinking, Systems Practice*. John Wiley and Sons, New York.

Collet, E. (2003) *Signification, direction et portée d'une pratique de production intégrée : le cas du Groupement des Arboriculteurs pratiquant en Wallonie les techniques Intégrées*. Thèse pour l'obtention du titre de docteur en Sciences de l'Environnement, Fondation Universitaire Luxembourgeoise, pp 31-79.

Collet, E., et Mormont, M. (2003) Managing pests, consumers, and commitments: the case of apple growers and pear growers in Belgium's Lower Meuse region. *Environment and Planning A*. 35:413-427.

Crosby, J.A., Janick, J., Pecknold, P.C., Korban, S.S., Oconnor, P.A., Ries, S.M., Goffreda, J. et Voordeckers, A. (1992). Breeding Apples for Scab Resistance - 1945-1990. *Fruit Varieties Journal* 46:145-166.

Durner, E.F., Polk, D.F., Goffreda, J.C. (1992) Low-input apple production systems : consumer acceptance of disease-resistant cultivars. *HortScience* 27(2) : p177-179.

European Science and Technology Observatory (2003) Review of GMOs under research and development and in the pipeline in UE. March 2003

GAWI et CRRG (2002) La coopération transfrontalière pour la relance des variétés anciennes de pommes et le développement de la production intégrée. Bilan des activités du programme INTERREG I et II 1993-2001. Groupement des Arboriculteurs pratiquant en Wallonie les techniques intégrées et Centre Régional de Ressources Génétiques, 16 p.

Genetic Engineering Newsletter (2002) Transgenic plants in viticulture and fruit growing. Special Issue 9/10 (October 2002) Oko-Institut e.V.- Institute for Applied Ecology. 14 pp.

Hour, T.C., Chen, L., et Lin, J.K. (1998). Comparative investigation on the mutagenicities of organophosphate, phthalimide, pyrethroid and carbamate insecticides by the Ames and lactam tests. *Mutagenesis* 13:157-166.

House of Commons Environmental Audit Committee. (2004). GM Foods - Evaluating the Farm Scale Trials. Second Report of Session 2003-04, Volume I.

Information Systems for Biotechnology (2004) Field Test Releases in the U.S. <http://www.nbiap.vt.edu/cfdocs/fieldtests1.cfm>, accessed 16/05/2004.

- Ingeborg, A.M., et Traavik, T. (2003). Sustainable Development and Norwegian Genetic Engineering Regulations: Applications, Impacts, and Challenges. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 16 (4): 317-335, 2003.
- Ison, R.L., Maiteny, P.T., et Carr, S. (1997). Systems methodologies for sustainable natural resources research and development. *Agricultural Systems* 55:257-272.
- Karlsson, M. (2003). Ethics of sustainable development – A study of Swedish regulations for genetically modified organisms. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 16: 51–62.
- Kühn, B.F., et Thybo, A.K. (2001). Sensory quality of scab-resistant apple cultivars. *Postharvest Biology and Technology* 23:41-50.
- Lateur, M. et Populer, C. (1994). Screening Fruit Tree Genetic-Resources in Belgium for Disease Resistance and Other Desirable Characters. *Euphytica* 77:147-153.
- Lateur, M. (2002) Perspectives de lutte contre les maladies des arbres fruitiers à pépins au moyen de substances naturelles inductrices d'une résistance systémique. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* (6) 2 : 67-77
- Lespinasse et al. (1999) D.A.R.E., un projet européen coordonné par l'INRA d'Angers, *Phytoma - La défense des Végétaux*, n°514, mars 1999, 23-26.
- Lewis W.J., Van Tereren J.C., et S.C.Phatak. (1997). A total system approach to sustainable pest management. *Proc Nat Aca Sc* 94:12243-12248.
- Mayer, S. , Stirling, A. (2002) Finding a Precautionary Approach to Technological Developments - Lessons for the Evaluation of GM Crops. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 15(1): 57-71.
- Mephram, B. (2000). A framework for the ethical analysis of novel foods: The ethical matrix. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 12:165-176.
- Minister van Consumentenzaken, Volksgezondheid en Leefmilieu (2002) Kennisgeving B/BE/O2/V1 –weigering van toelating. Lettre à F. Krens (Plant Research International).
- Ministère des Classes Moyennes et de l'Agriculture (2000) « Comment notre horticulture peut-elle survivre dans l'évolution galopante actuelle ? ». Administration de la Politique agricole, 20p.
- Parisi L., Lespinasse J., Guillaumes J., Krüger J., (1993). A new race of *Venturia inaequalis* virulent to apples with resistance due to the *Vf* gene . *Phytopathology* 83 (5) : 533-537.
- Parisi, L., Orts, R., Rivenez-Damboise, M.O., Lefeuvre, M., Lagarde, M.P. (1995) Protection intégrée du verger de pommiers en l'an 2000. Tavelure et oïdium : variétés résistantes et lutte raisonnée, *Arboriculture fruitière* 486, 25-29.
- Penrose, L.J. (1995). Fungicide Use Reduction in Apple Production - Potentials Or Pipe Dreams. *Agriculture Ecosystems & Environment* 53:231-242.
- Pesticide Action Network (non daté) Captane : Fiche technique de synthèse des études scientifiques et des classifications officielles de risques pour l'environnement et la santé humaine, 3p.

- Plant Research International (2001) Fiche d'information destinée au public. Essais de pommiers génétiquement modifiés présentant une meilleure résistance aux champignons phytopathogènes. Note d'identification du dossier d'identification B/BE/02/V1. 10 pp
- Populer, C. et Lateur, M. (1993) Sauvegarde et valorisation des ressources génétiques fruitières. *Annales de Gembloux* (99) : 97-107.
- Prokopy, R.J. (2003). Two decades of bottom-up, ecologically based pest management in a small commercial apple orchard in Massachusetts. *Agriculture Ecosystems & Environment* 94:299-309.
- Reganold, J.P., Glover, J.D. et al. (2001) Sustainability of three apple production systems. *Nature* (410), 19 April 2001, pp 926-929
- Sandskar, B. (2003) Apple Scab (*Venturia inaequalis*) and Pests in Organic Orchards. Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Crop Science, Alnarp, 39p.
- SARE Final report (1997) Sustainable agriculture research and education (SARE) Program and agriculture in concert with the environment (ACE). Final report – Section II. Development of a sustainable apple production system for the Northeast. pp 1-13
- Stirling, A. et Mayer, S. (1999). *Rethinking Risk: A Pilot Multi-Criteria Mapping of a Genetically Modified Crop in Agricultural Systems in the UK.*, SPRU, University of Sussex, 6p.
- Vanloqueren, G. et Baret, P.V. (2004) Systemic « relevance » assessment of transgenic crops: bridging biotechnology regulations and sustainable development policies. 5th Congress of the European Society for Agricultural and Food Ethics (EurSafe 2004), Science, Ethics and Society, Section 2: Ethics and Environmental policies in agriculture and food industry, Leuven, September 2-4.

Chapitre 4: La filière céréalière wallonne face au problème des maladies cryptogamiques et aux innovations pour les résoudre

La fusariose de l'épi est une des nombreuses maladies affectant le froment. Sa particularité est d'être associée au problème des mycotoxines, des substances toxiques pour l'homme et l'animal produites par les champignons microscopiques qui causent cette maladie. Le problème de la fusariose est donc agro-économique mais aussi de santé publique. Malgré cette spécificité, et même entre autres grâce à elle, cette étude de cas dépasse le problème de la fusariose. L'analyse considère la fusariose parmi les autres maladies du froment. C'est la gestion des maladies cryptogamiques qui est au centre de l'analyse.

Le chapitre démarre avec une rapide description de la fusariose, qui est située dans son contexte (**Section 1**). La gestion des maladies cryptogamiques dans les champs de froment est d'abord analysée par l'intermédiaire d'une analyse systématique du contenu du *Livre Blanc*, une publication de référence de la filière. Cette analyse permet une première caractérisation de la gestion des maladies telle que 'conseillée' aux producteurs, sur des bases empiriques (**Section 2**). Ensuite, l'approche systémique procède en deux temps : les stratégies actuelles (2005) et les innovations pour le futur (2005-2020). Le premier temps est celui de l'analyse des stratégies agricoles techniquement disponibles. Quelles sont-elles ? Pourquoi certaines ne sont-elles pas utilisées ? (**Section 3**). Le second temps est celui de l'innovation. Quelles sont les voies d'innovations qui devraient permettre de gérer les maladies cryptogamiques demain ou après-demain. Le fondement scientifique et l'état d'avancement de chaque voie sont étudiés de manière approfondie. L'originalité repose cependant dans l'analyse du potentiel des voies d'innovations à résoudre les problèmes selon les acteurs, et dans celle des facteurs de développement de ces voies d'innovations (qui stimulent ou empêchent leur développement scientifique et commercial) (**Section 4**). Les particularités de la sous-filière de l'agriculture biologique sont brièvement étudiées (**Section 5**). Finalement, la discussion porte sur six axes de conclusion transversaux qui décrivent la gestion de l'innovation par la filière céréalière (**Section 6**).

Deux communications scientifiques synthétisent et approfondissent certains aspects de cette étude de cas davantage que dans ce chapitre :

1. Vanloqueren, G., Baret, P.V. (accepted for publication pending revision) Why are 'ecological' disease-resistant wheat cultivars slow to develop commercially? A Belgian agricultural 'lock-in' case study. *Ecological Economics*.

Cet article synthétise l'analyse des facteurs qui expliquent le faible développement des variétés résistantes aux maladies en Région Wallonne (Section 2 et 3 de ce chapitre). Cet ensemble d'obstacles aboutit à une situation de 'lock-in' non souhaitable car pas optimale. La situation wallonne est également comparée avec la situation française (Voir Annexe IX).

2. Vanloqueren, G., Baret, P.V. (2006) Innovation to reduce fungal diseases in wheat: Are all innovation pathways playing in the same field? *Abstracts of the 58th International Symposium on Crop Protection, Ghent, May 23.*

Cette communication orale compare deux des six voies d'innovations qui pourraient diminuer les problèmes de maladies cryptogamiques dans les champs de froment : le génie génétique et les mélanges variétaux (Section 4 de ce chapitre). Outre une présentation du principe et des résultats agronomiques des deux voies d'innovations, une analyse bibliométrique (non présentée dans ce chapitre) permet de démontrer le déséquilibre des deux voies. Les raisons qui expliquent le non-développement des mélanges variétaux sont synthétisées à partir des résultats décrits dans l'étude de cas (Non reproduit).

1. La fusariose, un problème d'actualité en froment d'hiver

Pourquoi la fusariose, jusqu'il y a peu un problème technique parmi d'autres, est-elle devenue d'une importance primordiale pour tous les acteurs de la filière céréalière ? Comment cette maladie se développe-t-elle, quelles sont ses conséquences agricoles, économiques et environnementales pour les différents acteurs concernés ? C'est à ces questions que s'attache cette première partie de l'approche systémique, passage quelque peu 'introdutif' mais incontournable pour comprendre les sections ultérieures sur les stratégies de lutte d'aujourd'hui et sur les innovations de demain.

Cette section commence par la présentation de la filière céréalière wallonne (Sous-section 1) ainsi que des principales particularités de la fusariose et des mycotoxines (Sous-section 2). Cette maladie est ensuite resituée dans le contexte technique de la production céréalière au niveau des producteurs et dans le contexte socio-économique de la filière agricole céréalière (Sous-section 3).

L'étude de cas suit le **canevas d'analyse** (Tableau 3 : *Canevas d'analyse des études de cas : axes d'analyse transversaux* p 83).

A. La filière céréalière en Région Wallonne

1) La production céréalière en Wallonie

Le froment d'hiver est la principale céréale cultivée en Région Wallonne : plus de 8000 exploitations en cultivent. En 2004, il couvrait presque 130 000 hectares, soit plus de 70% de la surface céréalière (Institut National de Statistiques, 2005)²⁵. Cette proportion progresse depuis 1982 : à cette date, le froment ne représentait que 45% des céréales (Conseil Supérieur Wallon de l'Agriculture, 2002). Le froment d'hiver est également la principale culture, toutes cultures confondues : à titre de comparaison, la superficie cultivée en betteraves sucrières avoisine les 55 000 hectares, comme celle du maïs. Le rendement du froment observé en Région Wallonne est proche de 85 quintaux par hectare.

Le froment cultivé est destiné à l'alimentation animale, à l'alimentation humaine et à l'industrie. La Belgique est déficitaire en céréales (taux d'approvisionnement de 46,8% en 1999-2000) mais accueille de nombreuses entreprises important et exportant des produits bruts ou transformés. Il est donc complexe de détailler l'utilisation du froment indigène. Les chiffres avancés sont de l'ordre de 60% pour l'alimentation animale (industrie des aliments pour bétail), 20% pour la consommation humaine (meunerie, biscuiterie, etc.) et 10% pour l'industrie de l'amidon (Groupe de travail de la filière "Céréales" et Unité d'économie et de développement rural, 2003).

²⁵ Le froment de printemps est cultivé sur une superficie qui varie entre 2000 et 4000 hectares par an.

2) La filière céréalière wallonne - Le système étudié

Etant donné l'importance des céréales dans notre alimentation et les nombreuses transformations possibles en produits secondaires (boulangerie, biscuiterie, ...), la structure de la filière agroalimentaire céréalière est extrêmement complexe.

Les principaux acteurs peuvent cependant être classés en fonction de leur domaine d'activités (voir Figure 8) :

- Les acteurs privés :
 - o Les producteurs
 - o Les coopératives de producteurs comme la Société Coopérative des Agriculteurs de la Meuse, (SCAM), les entreprises d'agro-fourriture généraliste (Wal.Agri) et les indépendants (qui exercent toute la fonction de vente d'intrants et de semences aux agriculteurs et de collecte des céréales)
 - o Les firmes semencières (obteneurs et/ou multiplicateurs), au niveau belge et mondial
 - o Les firmes phytosanitaires, au niveau mondial
 - o Les acheteurs divers : négociants, première transformation (meunerie, amidonnerie ...) et deuxième transformation (boulangerie, biscuiterie,...)
 - o Les consommateurs
- L'encadrement public des producteurs et les organismes de recherche agronomique:
 - o Le Centre de recherches Agronomiques de Wallonie (CRA-W)
 - o Les institutions universitaires : Faculté Universitaire de Sciences Agronomiques à Gembloux (FUSAGx) et Université catholique de Louvain à Louvain-la-Neuve (UCL)
 - o Les pouvoirs publics (Direction générale de l'Agriculture, Directions de la Recherche, du Développement et Vulgarisation, de la qualité des produits)
- Les organismes de concertation (Filière Wallonne Grande Cultures, Comité Régional Phyto) et la Fédération Wallonne de l'Agriculture

Tous les acteurs n'ont pas été rencontrés lors de l'enquête (voir Figure 8). Ils n'interviennent en effet pas tous dans le réseau socio-technique du problème étudié (Pour plus de détails, cfr *Le système analysé* p 80 et *Discussion de la méthodologie* p 299).

Des **extraits d'entretiens** sont utilisés à certains endroits : ils illustrent un fait ou un argument décrit dans le texte principal, et renforcent l'analyse. Sauf dans les cas où la personne est volontairement identifiée dans le texte, les noms ont été supprimés. Des faux noms ont été utilisés afin que ce travail n'interfère pas négativement sur les relations interpersonnelles des acteurs interrogés et pour éviter que chacun cherche à savoir ce qui a été dit par les autres. Les acteurs sont simplement présentés avec des noms et prénoms fictifs et une mention indiquant à quelle catégorie générale ils appartiennent dans la réalité : encadrement public des agriculteurs (conseillers techniques, chercheurs, etc) ou acteurs privés de la filière (coopératives de producteurs, firmes semencières, etc.).

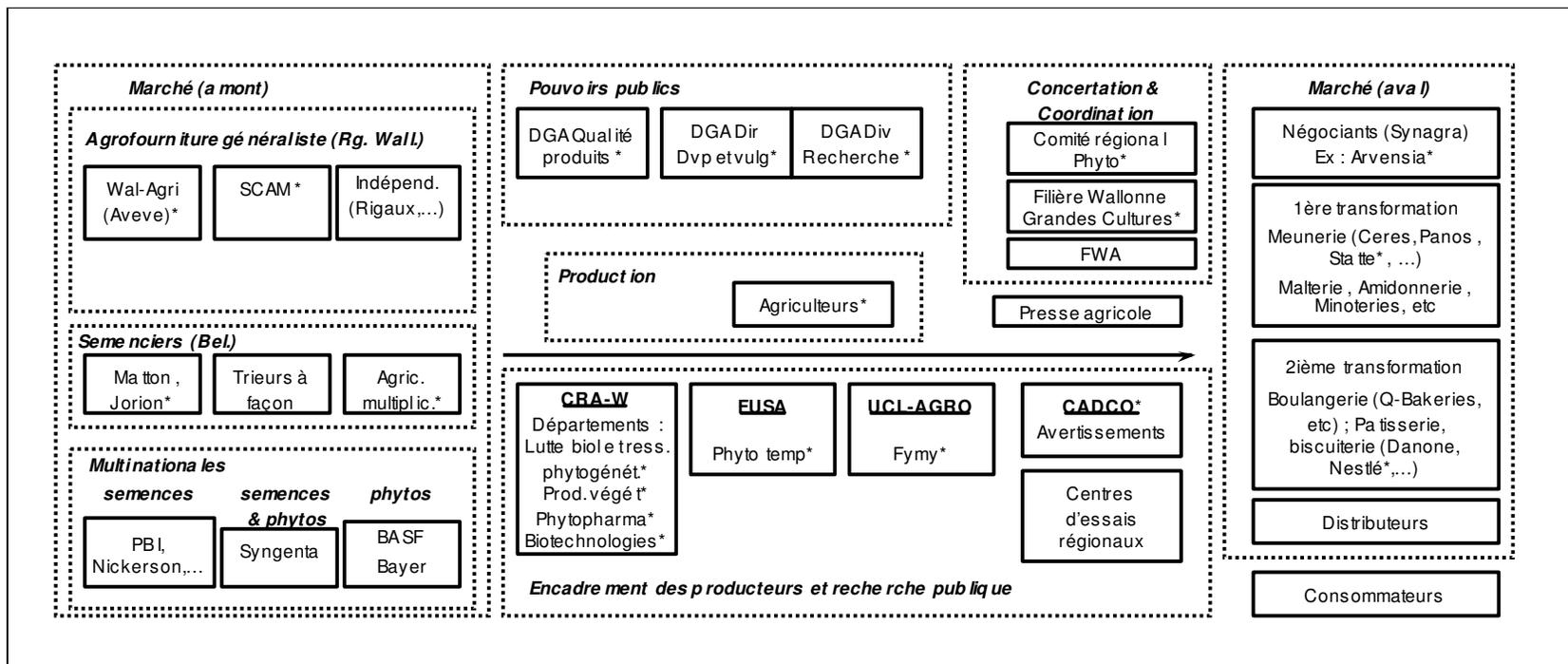


Figure 8 : La filière céréalière : le système étudié

Légende : Les acteurs sont regroupés par secteurs (marché, conseil, recherche, secteur semencier, etc.) (Voir acronymes). Les astérisques marquent les organisations dont une ou plusieurs personnes ont été interrogées (Liste des entretiens voir Annexe III).

B. La fusariose et les mycotoxines : un problème agricole et de santé publique

La fusariose de l'épi est une maladie cryptogamique dont les impacts négatifs potentiels se situent tant au champ (Section A) qu'au plan de la santé humaine et de la rentabilité des exploitations d'élevage (Section B) dans de nombreuses régions du monde, y compris en Région Wallonne. (Section C).

1) La fusariose de l'épi : situation au champ

La fusariose est causée par un complexe de champignons (*Fusarium graminearum*, *F. culmorum*, *F. avenaceum*, *F. poae*, *F. triticum* et *Microdochium nivale*) dont les proportions dans les champs varient –entre autres- temporellement et géographiquement. Le développement de la maladie -la densité d'épis touchés- est lié à des conditions météorologiques particulières (des pluies, un temps chaud et humide lors de la floraison, période pendant laquelle les épis sont plus sensibles aux contaminations par les *Fusarium*), qui ne se produisent que certaines années ainsi qu'à d'autres facteurs que nous étudierons progressivement. La maladie induit un dessèchement partiel des épis. Début juillet, une décoloration blanchâtre apparaît au niveau de certains épillets sur des épis, à côté d'épis encore verts. A la récolte, on observe des grains recouverts d'un mycélium duveteux rosé (grains fusariés). La plupart des champignons peuvent aussi causer des fontes de semis et des pourritures du pied (Chandelier et al., 2004).

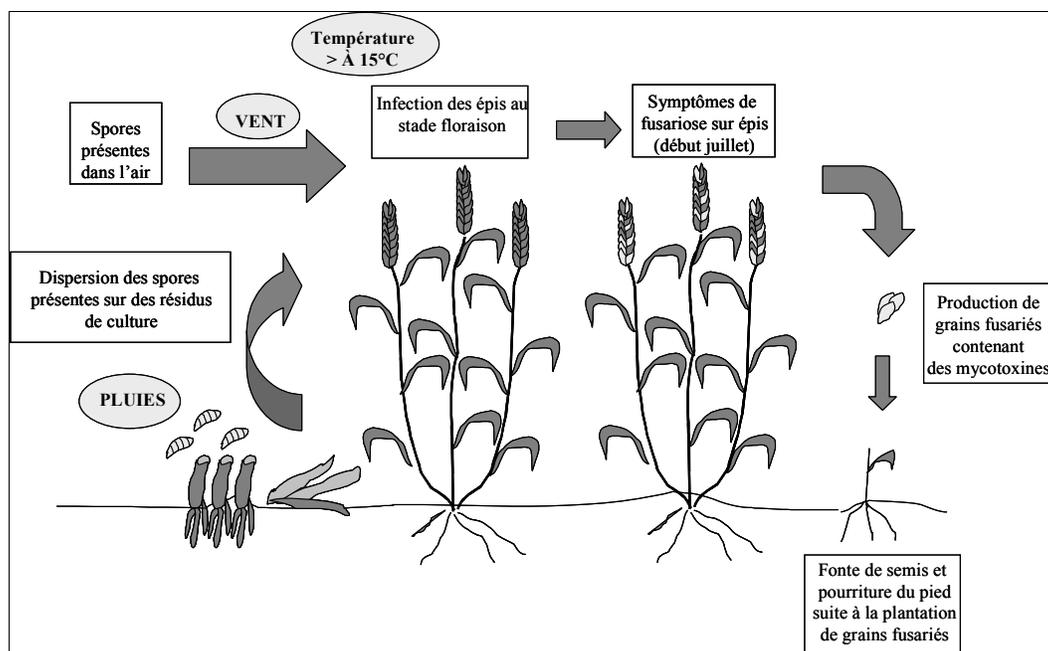


Figure 9 : Cycle de *Fusarium graminearum*, un des champignons responsables de la fusariose de l'épi (in Chandelier et al., 2004)

2) Les mycotoxines : le problème de santé publique

L'aspect le plus problématique de la fusariose est la production de mycotoxines toxiques par certains des champignons du complexe causant cette maladie.

Toxicité pour l'homme et l'animal

Les mycotoxines sont des substances toxiques pour l'homme et l'animal. Ce sont des métabolites secondaires produits par divers champignons. Parmi celles-ci, les fusariotoxines sont les mycotoxines produites au champ par les champignons responsables de la fusariose (*Fusarium spp.*). Ces champignons du sol produisent différentes mycotoxines de la classe des trichothécènes (toxines T-2 et HT-2, déoxynivalénol (DON, appelé également vomitoxine) et nivalénol (NIV)) ainsi que des toxines d'autres familles (zéaralénone (ZEA) et fuminosines).

Le DON, la fusariotoxine la plus fréquente, a été prise comme « indicateur » de la teneur en mycotoxine des grains même si ce n'est pas la plus toxique.

Les effets toxiques varient en fonction de l'espèce animale qui ingère les grains contaminés (humain, bovin,..), de son âge, de son état de santé, de la quantité ingérée et de la fréquence d'ingestion ainsi que de l'interaction entre différentes mycotoxines. Les mycotoxines sont chimiquement et thermiquement stables, elles sont donc présentes dans les grains et les aliments transformés. Les fusariotoxines, produites au champ, ont une toxicité à très faible concentration mais leur dangerosité est relativement faible par rapport à celles produites lors du stockage (ochratoxine) ou celles affectant d'autres cultures (aflatoxine du maïs). Les connaissances scientifiques sur leurs effets sont très incomplètes, mais on connaît les effets suivants :

- Chez l'homme : vomissements, diarrhées et réactions cutanées mais les cas de mycotoxicoses (intoxication par des mycotoxines) sont très rares
- Chez le porc (animal le plus sensible au DON) : vomissements, réduction de l'appétence et diminution du gain de poids ainsi qu'une plus forte sensibilité aux maladies (Scientific Committee on Food (European Commission), 1999)
- Possibles effets cancérigènes des trichothécènes, peu documentés (Champeil et al., 2004a)

Les mycotoxines posent aussi des problèmes technologiques pour la fabrication de la bière, et du pain (qualité de la fermentation).

Les problèmes de la fusariose et des mycotoxines sont complexes à étudier pour plusieurs raisons. D'abord, il n'y a pas de corrélation stricte entre l'observation de symptômes de fusariose au champ et la présence de mycotoxines dans les grains récoltés. Des grains dépourvus de symptômes peuvent être contaminés par les agents de la fusariose. L'absence de symptômes au champ ne signifie donc pas l'absence de *Fusarium* et donc de mycotoxines dans les grains (Chandelier et al., 2004). Ce phénomène complique l'étude du problème, mais il est généralement admis qu'une diminution des symptômes en champs est un objectif prioritaire. Enfin, tous les agents pathogènes du complexe de la fusariose ne produisent pas de mycotoxines (*Microdochium nivale* n'en produit aucune). Finalement, il y a une incertitude sur

l'ampleur de nos ignorances (la production de mycotoxines qui ne sont pas encore étudiées par exemple).

3) Réglementation

La fusariose de l'épi est devenu un problème relativement important au fur et à mesure de l'accumulation des connaissances scientifiques sur les effets nocifs des mycotoxines (toutes sortes confondues) sur la santé humaine et animale. Des normes maximales de mycotoxines ont d'abord été fixées au sein de la filière elle-même par l'organisme de représentation des négociants (Synagra). Actuellement, c'est ce barème Synagra qui fait autorité : droit de refus pour les lots contenant des teneurs supérieures à 750 µg/kg pour l'alimentation humaine et 5000 µg/kg pour l'alimentation animale (Detrixhe et al., 2004).

Des normes publiques contraignantes pour plusieurs mycotoxines sont en cours de discussion depuis deux ans à la Commission européenne (DG Santé du consommateur). Les seuils maximaux varient en fonction de l'utilisation (seuils en discussion : 1250 ppb pour l'alimentation humaine, 900 à 5000 ppb pour l'alimentation animale, en fonction de l'animal et 200 ppb pour les aliments pour bébés²⁶). L'arrivée de la directive qui mettra en oeuvre ces seuils est attendue et anticipée par toute la filière, qui suit les débats attentivement. Les seuils décidés auront un impact sur la gestion des mycotoxines et des céréales.

Le problème de la fusariose, initialement un problème agro-économique, est devenu également un problème de santé publique.

4) Importance du problème en Région Wallonne

En Région Wallonne, la fusariose ne cause –actuellement- pas de diminutions sensibles de rendements, mais elle provoque tout de même des fontes de semis en cas de non désinfection des semences (Chandelier et al., 2005). Les problèmes sont plus graves dans d'autres pays, spécifiquement aux Etats-Unis ou au Canada, la fusariose étant une des principales maladies pour ce dernier (Parry et al., 1995). Des pertes de rendement allant jusqu'à plus de 50 % dans des conditions défavorables, sont rapportées dans d'autres régions du monde, ainsi qu'une diminution de la qualité et du taux de germination, ce qui fait de la fusariose un important problème pour les régions céréalières même s'il est limité en Région Wallonne actuellement (Parry et al., 1995 ; Miedaner, 1997 ; Champeil et al., 2004a).

Le CRA-W analyse les contaminations en DON depuis 2001. Le risque d'épidémie de fusariose et donc de contamination des grains par les mycotoxines est cyclique (tous les 3-5 ans), lié aux conditions météorologiques favorables à la maladie. S'il est presque nul en années normales, certaines années ont été problématiques : par exemple 1997-98 puis 2002 (en Belgique) et l'année 2000 (en France), (Chandelier et al., 2004a). Aucun échantillon ne dépassait la norme maximale en 2001. En 2002, 27% des échantillons dépassaient la norme de 750 µg/Kg et 18% dépassaient la norme de 1250 µg/Kg. En

²⁶ Des normes plus contraignantes sont déjà requises dans ces filières spécifiques (babyfood) suite à l'application de directives européennes pour celles-ci.

2003, 9% dépassaient la norme de 750 µg/Kg et 5% celle de 1250 µg/Kg. En 2004, les dépassements étaient respectivement de 5% et 1,8% (Chandelier et al., 2005).

Il est relativement difficile d'estimer quelle proportion des lots dépassant les normes ont été refusés dans la filière, étant donné que ces lots peuvent avoir été valorisés en blé fourrager et non dans la filière meunière ou dans l'industrie de l'amidon. Sur les trois années, aucun lot n'a en effet dépassé la norme maximale pour l'élevage (5000 µg/Kg). L'organisme Synagra n'a pas communiqué de données sur la proportion de lots refusés, mais l'estime négligeable²⁷.

Le problème est donc relativement bien géré et n'atteint pas les mêmes proportions qu'aux Etats-Unis et au Canada. Malgré cela, la fusariose préoccupe énormément les acteurs de la filière. Plusieurs facteurs participent à cela :

- la forte toxicité des mycotoxines (le problème est aigu dans certaines situations)
- les incertitudes scientifiques (on ne fait que commencer à comprendre les effets néfastes et ceux déjà avérés sont inquiétants)
- l'incertitude sur le risque (qui dépend beaucoup des conditions météorologiques)
- la nécessité d'anticiper sur les directives européennes pour préparer la filière à tous les niveaux.

C. La fusariose : interactions avec les autres problèmes

Avant de présenter notre analyse, il est utile de replacer la fusariose dans le contexte plus général de la production de froment d'hiver.

1) Les maladies cryptogamiques du froment

La fusariose n'est qu'une des maladies cryptogamiques du froment parmi d'autres. Les principales maladies cryptogamiques en dehors de la fusariose sont, en Wallonie, la septoriose, l'oïdium, les rouilles (jaune et brune), le piétin verse et le piétin échaudage. Il existe aussi des maladies non cryptogamiques (les viroses,...) et des problèmes techniques autres que les maladies (verse, enherbement, fertilisation, pucerons, ...).

A côté de notre intérêt principal pour la fusariose, nous avons choisi de **considérer une seconde maladie cryptogamique : la septoriose**. La septoriose n'engendre pas des problèmes de santé publique comme la fusariose, mais par contre elle survient chaque année. Ce choix de considérer une seconde maladie est venu de l'enquête : les liens entre la fusariose et les autres maladies sont apparus automatiquement durant les entretiens. Pour améliorer la portée de notre recherche, nous avons donc étudié parallèlement ces deux maladies, en interrogeant les acteurs sur ces deux maladies spécifiquement (par rapport aux stratégies de prévention et de lutte et quant aux

²⁷ Nestlé effectue de son côté un nombre important de contrôles sur les lots de céréales de sa filière « babyfood » contractualisée. Bien que des chiffres précis n'aient pas été fournis, l'estimation est plus sévère, car la norme mycotoxines est plus basse (200 ppb, voir plus loin). Plus ou moins 40 % des lots seraient contaminés selon cette norme lors des mauvaises années (Interview Olivier Marchand).

possibilités d'innovations pour gérer ces maladies). Certaines questions étaient aussi élargies aux « maladies en général ».

Les spécificités de la septoriose ne sont pas présentées ici, et les stratégies de lutte et de prévention spécifiques à cette maladie ne sont pas non plus analysées. Le travail est centré sur la fusariose. L'élargissement à cette seconde maladie a surtout permis d'analyser de manière rigoureuse plusieurs aspects de notre recherche : l'analyse des raisons de la non prise en compte des stratégies préventives, l'analyse du développement des voies d'innovations par rapport aux maladies et la discussion des résultats.

2) *Contexte socio-économique des différents acteurs de la filière*

Les mycotoxines ont actuellement une forte propension à occuper l'actualité, allant jusqu'à alimenter des questions parlementaires sur une éventuelle plus forte présence de mycotoxines dans la filière bio (Annales Sénat de Belgique, 2002). Les acteurs des filières et les chercheurs évaluent, eux, de manière très contrastée l'importance du problème des toxines précisément liées à la fusariose. Pour les négociants en céréales, les coopératives de producteurs et pour certains chercheurs, la question est très importante tandis que pour d'autres chercheurs (ou même le responsable de la filière babyfood chez Nestlé) le problème est actuellement sous contrôle et peut tout à fait être maîtrisé par l'application des stratégies de lutte et de prévention. Qu'en est-il vraiment ?

Quels problèmes la fusariose pose-t-elle spécifiquement aux acteurs ? Quels sont les problèmes principaux des acteurs, en dehors des maladies cryptogamiques ? Cette section présente le contexte général de la filière céréalière. Le point de départ, l'axe central de notre approche systémique, est en effet le problème de la fusariose, élargi à la protection des plantes contre les autres maladies cryptogamiques. Ce problème est bien évidemment imbriqué dans les nombreux autres problèmes auxquels les différents acteurs sont confrontés.

L'analyse des problèmes et des objectifs des acteurs est donc essentielle²⁸. Les objectifs et problèmes particuliers à la fusariose sont soulignés. Les objectifs « évidents » (comme la maximisation du profit pour un acteur privé à but lucratif) n'ont pas été inclus.

Les producteurs

L'objectif des producteurs est de maximiser le rendement à l'hectare et les chances d'atteindre celui-ci. Leurs principaux problèmes sont (i) la diminution du prix de vente du froment, (ii) le choix du produit phytosanitaire à appliquer, la décision du nombre et du moment des traitements, (iii) la perte de rendement et de bonification en cas de mauvaise qualité (voire le refus du lot si dépassement du seuil réglementaire) et (iv) la difficulté de valorisation boulangère (exigences de qualité, cfr taux de protéines).

²⁸ Cette analyse s'est faite sur base des comptes-rendus des entretiens en analysant les réponses des acteurs à la première question (Quel est votre rôle, votre fonction, par rapport aux problèmes des maladies ? »), mais aussi sur base de l'ensemble de l'entretien. Les éléments qui découlent de la littérature et de la compréhension personnelle de la filière y ont ensuite été ajoutés.

Les coopératives et entreprises généralistes

Les coopératives et entreprises généralistes (Ex : SCAM, Wal.Agri) ont deux objectifs : vendre des produits phytosanitaires et des semences et se créer un assortiment variétal (prendre des licences sur les variétés qui ont les meilleures caractéristiques). Leurs problèmes sont (i) d'anticiper la mise en œuvre des futures normes européennes en matière de mycotoxines et (ii) de mettre en place des systèmes de traçabilité (contrôle, échantillonnage, etc.), notamment au niveau de l'application des normes en matière de mycotoxines.

Sélectionneurs / Multiplicateurs de variétés privés

Les entreprises semencières (Ex : Jorion) ont deux objectifs principaux : sortir chaque année plusieurs variétés innovantes sur le marché belge mais aussi européen (sur les plans du rendement, de la qualité -boulangère et autres-, et de la résistance aux maladies) et prendre des licences sur les variétés produites par les firmes de sélection étrangères. Leurs problèmes sont (i) de réussir les tests pour l'homologation des variétés, (ii) d'anticiper les ventes des variétés de la saison suivante et de produire suffisamment de semences des bonnes variétés en établissant des contrats avec les agriculteurs-multiplicateurs, (iii) d'anticiper la mise en œuvre des futures normes (traçabilité) : traçabilité des semences multipliées par des agriculteurs.

Les entreprises agroalimentaires achetant des céréales

Deux firmes se fournissant en céréales ont été analysées : ce sont toutes deux des exemples d'acteurs spécifiques en ce qui concerne la fusariose. Nestlé babyfood a pour objectifs de contrôler les taux de mycotoxines des matières premières et les résidus de pesticides, de mettre en place des contrats-filières et les améliorer, de répartir le risque (géographiquement), de promouvoir la création et l'utilisation de variétés résistantes à la fusariose et d'augmenter le spectre de mycotoxines analysées. Les Moulins de Statte ont pour objectifs d'avoir des blés de qualité (protéine, ...) à un prix compétitif et de maximiser le tonnage de farines transformées. Les deux firmes doivent anticiper la mise en œuvre des futures normes européennes en matière de mycotoxines et de traçabilité et faire face à la concurrence internationale.

L'encadrement public des producteurs

Les organismes de vulgarisation et de conseil aux agriculteurs (CRA-W, CADCO, Comité Phyto et chercheurs) ont pour objectifs principaux (i) de « répondre aux attentes de la profession », (ii) de faciliter l'accès de l'information aux producteurs sur les risques de maladies (CADCO), (iii) de donner une information indépendante sur les caractéristiques des variétés (CRA) et des différents fongicides, (iv) de vulgariser les recherches expérimentales et (v) de promouvoir les bonnes pratiques en matière de pesticides (Comité Phyto). Les problèmes qui les préoccupent sont (i) le turn-over rapide des variétés (donc nécessité permanente de nouveaux essais variétaux), (ii) la difficulté de promouvoir des stratégies préventives dans le contexte de risques importants et imprévisibles et (iii) la nouveauté de la fusariose.

Chercheurs

Les objectifs des chercheurs des organismes publics (FUSAGx, FYMY) sont (i) de comprendre les multiples dimensions du problème, ses causes et ses solutions

(modéliser la maladie, caractériser les populations des différentes espèces de *Fusarium* spp, comprendre l'effet de la fertilisation sur les maladies en général; établir le lien entre symptômes et taux DON, évaluer la résistance des variétés,...) , (ii) pour certains, de promouvoir les stratégies d'utilisation minimale des fongicides (un seul traitement au bon moment). Le premier problème est de faire face aux difficultés inhérentes à la fusariose (nouveau de l'intérêt pour les mycotoxines, donc : connaissances à créer, fortes variations annuelles des épidémies, difficulté de lier symptômes en champ et production de mycotoxines). Un second problème est d'évaluer de manière prospective l'évolution des filières (valorisations non alimentaires des céréales, prix, influences des évolutions internationales, etc.)

Le Conseil de Filières « Grandes Cultures »

Le Conseil a pour mission (i) de maintenir/renforcer la position de la filière au plan international, (ii) d'établir un plan de développement de la filière (valoriser au mieux les productions), (iii) de mettre en œuvre les standards GIQF (Gestion intégrale de la Qualité dans la Filière), (iv) d'analyser les possibilités de filières de qualité différenciée (Eqwalys). Ses problèmes sont la création récente de l'institution, le faible nombre de produits candidats à la certification Eqwalis et les changements des priorités politiques au niveau du Ministère de l'Agriculture.

Les pouvoirs publics

L'administration (DG Agriculture) a pour objectif d'anticiper la mise en œuvre des futures normes européennes en matière de mycotoxines et de traçabilité

Le tableau suivant synthétise les éléments expliqués dans le texte.

Tableau 6 : Objectifs et problèmes en relation avec la fusariose, les mycotoxines, et les maladies pour les différentes catégories d'acteurs

Acteurs	(A) Objectifs	(B) Problèmes
Producteurs	<ul style="list-style-type: none"> - maximiser le rendement à l'hectare et les chances d'atteindre celui-ci 	<ul style="list-style-type: none"> - diminution du prix du blé - choix du produit, décision du nombre et du moment des traitements - <u>perte de rendement et de bonification en cas de mauvaise qualité (voire refus du lot si dépassement du seuil réglementaire)</u> - difficulté de valorisation boulangère (exigences de qualité, cfr taux de protéines)
Coopératives et entreprises. (Ex : SCAM, Wal.Agri)	<ul style="list-style-type: none"> - vendre des produits phytosanitaires et des semences - se créer un assortiment variétal (prendre des licences sur les variétés qui ont les meilleures caractéristiques) 	<ul style="list-style-type: none"> - anticiper la mise en œuvre des futures <u>normes européennes en matière de mycotoxines</u> - <u>mettre en place des systèmes de traçabilité</u> (contrôle, échantillonnage, etc.), notamment au niveau de l'application des normes en matière de mycotoxines
Sélectionneurs /Multiplicateurs de variétés privés (Ex : Jorion)	<ul style="list-style-type: none"> - sortir chaque année plusieurs variétés innovantes sur le marché belge mais aussi européen (sur les plans du rendement, de la qualité (boulangère et autres) et de la résistance aux maladies) - prendre des licences sur les variétés produites par les firmes de sélection étrangères 	<ul style="list-style-type: none"> - réussir les tests pour l'homologation des variétés - évaluer les ventes futures et produire suffisamment de semences des bonnes variétés - <u>anticiper la mise en œuvre des futures normes (traçabilité)</u> : traçabilité des semences multipliées par des agriculteurs
Sélectionneur de variétés public (CRA)	<ul style="list-style-type: none"> - Créer des variétés résistantes aux maladies (le plus possible à toutes les maladies, pas spécifiquement à une maladie), productives, de bonne qualité boulangère, à faible besoin en intrants (azote et fongicides). - Redévelopper l'épeautre 	<ul style="list-style-type: none"> - Faiblesses des moyens à disposition - Choix du matériel génétique à croiser et de l'idéotype (idée que le sélectionneur a de la variété idéale) - Inexpérience et absence de structures en matière de promotion des variétés obtenues
Acheteurs (Agroalimentaire, exemples pour des acteurs spécifiques en ce qui concerne la fusariose)	<ul style="list-style-type: none"> - Nestlé babyfood : 1) <u>contrôler les taux de mycotoxines</u> des matières premières et les résidus de pesticides, 2) mettre en place des contrats-filières et les améliorer, 3) répartir le risque (géographiquement) 4) promouvoir la création et l'utilisation de variétés résistantes à la fusariose, 5) augmenter le spectre de mycotoxines analysées - Moulins de Statte : avoir des blés de qualité (protéine, ...) à un prix compétitif ; maximiser le tonnage de farines transformées 	<ul style="list-style-type: none"> - <u>anticiper la mise en œuvre des futures normes européennes en matière de mycotoxines et de traçabilité</u> (Good Manufacturing Processing practices, système HACCP,..) - Concurrence internationale
Vulgarisation et Conseil aux agriculteurs (CRA-W, CADCO, Comité Phyto, chercheurs)	<ul style="list-style-type: none"> - « répondre aux attentes de la profession » - faciliter l'accès de l'information aux producteurs sur les risques de maladies (CADCO) - donner une information indépendante sur les caractéristiques des variétés (CRA) et des différents fongicides - vulgariser les recherches expérimentales - promouvoir les bonnes pratiques en 	<ul style="list-style-type: none"> - turn-over rapide des variétés (donc nouveaux essais variétaux en permanence) - difficulté de promouvoir des stratégies préventives dans le contexte de risques importants et imprévisibles - nouveauté de la fusariose

	matière de pesticides (Comité Phyto)	
Chercheurs (FUSAGx, FYMY)	<ul style="list-style-type: none"> - <u>comprendre les multiples dimensions du problème, ses causes et ses solutions</u> (modéliser la maladie, caractériser les populations des différentes espèces de <i>Fusarium</i> spp, comprendre l'effet de la fertilisation sur les maladies en général, établir le lien entre symptômes et taux DON, évaluer la résistance des variétés,...) - pour certains, promouvoir les stratégies d'utilisation minimale des fongicides (un seul traitement au bon moment) 	<ul style="list-style-type: none"> - <u>difficultés inhérentes à la fusariose</u> : 1) nouveauté de l'intérêt pour les mycotoxines, donc connaissances à créer 2) fortes variations annuelles des épidémies 3) difficulté à lier symptômes en champ et production de mycotoxines - évaluer de manière prospective l'évolution des filières (valorisations non alimentaires des céréales, prix, influences des évolutions internationales, etc.)
Conseil de Filières « Grandes Cultures »	<ul style="list-style-type: none"> - maintenir/renforcer la position de la filière au plan international - établir un plan de développement de la filière (valoriser au mieux les productions) - mettre en œuvre les standards GIQF (Gestion intégrale de la Qualité dans la Filière) - analyser les possibilités de filières de qualité différenciée (Eqwalys) 	<ul style="list-style-type: none"> - création récente de l'institution - peu de produits candidats à la certification Eqwalis - changements des priorités politiques au niveau du Ministère de l'Agriculture
Pouvoirs publics (DGA)	<ul style="list-style-type: none"> - <u>anticiper la mise en œuvre des futures normes européennes en matière de mycotoxines et de traçabilité</u> 	
Organisations environnementales (Ex : IEW)	<ul style="list-style-type: none"> - promouvoir une transition vers une agriculture durable moins dépendante des pesticides 	<ul style="list-style-type: none"> - faible intérêt des chercheurs et acteurs, objectif opposé à celui d'autres acteurs (industrie des produits phytopharmaceutiques)

Légende : Les objectifs et problèmes particuliers à la fusariose sont soulignés

2. La gestion des maladies cryptogamiques du froment vue sous l'angle d'une analyse systématique du 'Livre Blanc', référence incontournable de la filière céréalière

[Le Livre Blanc ?] Pour nous c'est une bible, même si on n'est pas toujours d'accord.

Michel F., acteur économique de la filière céréalière

Le 'Livre Blanc' est la publication clé de la filière céréalière wallonne. Il s'agit d'une véritable institution de référence, créée il y a quarante ans, en 1967. Le 'Livre Blanc' est en fait l'appellation courante d'un rapport de sobre couverture blanche qui sort deux fois par an et dont la dénomination officielle est « *Fumure et Protection Phytosanitaire des Céréales* ». L'édition de septembre (qui est sous-titrée « *Informations avant les semis des céréales* ») conseille les producteurs avant la période des semis d'automne tandis que l'édition de février concerne la saison de croissance des cultures.

Durant toute l'enquête, la référence au 'Livre Blanc' a été omniprésente. C'est cette importance qui a incité à considérer cette publication comme faisant partie du système analysé. Dans une approche systémique, les publications représentent en effet partiellement la circulation de l'information dans le système.

Cette section a pour objectif d'analyser quelles sont les informations prioritaires que les acteurs de l'encadrement public et de la recherche agronomique appliquée aux céréales (DGA, CRA, Faculté de Gembloux) tentent de faire passer aux producteurs via cet outil qu'est le Livre Blanc.

Les questions spécifiques qui guident l'analyse sont les suivantes :

- 1) *Quelles stratégies de prévention et de lutte sont conseillées par rapport à cette maladie, et aux maladies en général ? Y a-t-il des différences entre le contenu des publications et les discours des acteurs durant les entretiens ?*
- 2) *Quelles recherches expérimentales sont effectuées par les institutions sur la gestion des maladies et présentées aux producteurs ?*

La section commence par une présentation du Livre Blanc et détaille ensuite la méthode d'analyse et les résultats de celle-ci.

A. Présentation du Livre Blanc

Le Livre Blanc est coordonné par les deux principaux acteurs publics de la filière céréalière : les Facultés universitaires des Sciences Agronomiques de Gembloux (FUSAGx) et le Centre de Recherches Agronomiques de Wallonie (CRA-W). Il paraît deux fois par an et a pour objectif de donner aux producteurs les meilleurs conseils possibles en fonction des recherches expérimentales existantes. En 1992, un numéro spécial « 25 ans » reprend de mots de M. Laloux -à la base de la création de la publication en 1967- qui synthétisent l'esprit du Livre Blanc : « *la première de nos convictions est notre foi dans la promotion technique (...), la deuxième conviction étant*

que des progrès techniques importants peuvent être réalisés dans l'immédiat avenir en raison notamment des ressources de la recherche scientifique » (Detroux, 1992).

Cette source est écrite, collective et stable : elle est donc utilement complémentaire à mes interviews qui eux sont individuels et dépendants du moment et du déroulement propre de l'entretien.

Chaque numéro contient une dizaine d'articles, de taille très variable. L'édition de février est quantitativement plus importante que celle de septembre : celle de 2005 par exemple fait 185 pages d'articles et 50 pages d'annexes, contre 80 pages d'articles pour celle de septembre, sans annexes. Certains articles sont présents de manière structurelle (par exemple, un important article général sur la phytotechnie du froment, ou un article de conseils en matière de fumure azotée). D'autres thèmes sont abordés occasionnellement (une maladie particulière, une technique de semis, etc.). La distinction entre les deux n'est pas mise en valeur réellement, elle découle de l'analyse.

Le Livre Blanc est diffusé lors de demi-journées publiques de présentation. Plusieurs centaines d'acteurs de la filière y sont présents (chercheurs, fonctionnaires, délégués commerciaux des firmes, producteurs, ...). Les auteurs y donnent des communications synthétisant leurs articles. Les organisateurs estiment que si tous les producteurs ne lisent pas directement le Livre Blanc, les informations qui y sont présentées sont aussi diffusées plus amplement par les délégués commerciaux des firmes, qui sont en contact plus direct avec les agriculteurs, et par la presse agricole, qui reprend certaines informations (Le Sillon Belge).

Le Livre Blanc joue donc un rôle de **référentiel**, de **cadre cognitif**. Un comité de rédaction décide de son contenu. Les acteurs interrogés s'y réfèrent souvent. Certains chercheurs peuvent y publier tandis que d'autres n'y ont pas accès. Les journées de présentation sont des moments-clés de rassemblement de toute la filière. L'analyse du Livre Blanc en particulier, par rapport à d'autres choix de publications agricoles possibles, est donc volontaire et justifiée.

L'objectif du Livre Blanc n'est ni de faire l'état des lieux de la science sur un sujet donné, ni de faire de la prospective sur les innovations, mais d'informer les producteurs sur les meilleurs choix techniques qu'ils peuvent faire en fonction des résultats de la recherche appliquée en céréales. Les innovations (nouveaux produits, nouvelles variétés) y sont analysées essentiellement si elles sont au stade de commercialisation. Les innovations en développement ne sont pas systématiquement évoquées mais les projets publics -comme le système de prévision du risque de fusariose- sont parfois amplement présentés.

Le Livre Blanc est évidemment complémentaire à la presse agricole belge et française et à d'autres canaux d'information aux acteurs concernés (ceux de la DGA, etc.).

B. Méthode d'analyse et résultats

La publication a été étudiée entre 2000 et 2005, soit 12 numéros. Les publications ont été analysées quantitativement et qualitativement. Des numéros plus anciens (1990-2000) disponibles à Gembloux, ont été parcourus pour la partie qualitative, spécialement le numéro spécial de février 1992 à l'occasion des 25 ans du Livre Blanc.

Les publications étudiées contiennent 125 articles au total, comptant 1465 pages en tout. Les annexes de l'édition de février (318 pages), purement techniques, n'ont pas été incluses dans l'analyse.

L'analyse quantitative s'est faite à deux niveaux : d'une part sur les thèmes couverts par la publication et d'autre part sur les recherches expérimentales présentées dans les articles.

L'analyse des thèmes couverts permet d'analyser l'importance des différents thèmes entre eux et donc l'importance donnée à chacun de ces thèmes, ceci en analysant le nombre de pages consacrées à un problème par rapport au nombre total d'articles et de pages sur la période considérée, en considérant si le sujet est traité dans des articles 'structurels' présents systématiquement chaque année ou dans des articles 'conjoncturels' plus épisodiques, de même qu'en analysant les évolutions dans le temps de l'importance donnée à ces différents thèmes.

L'analyse des recherches expérimentales permet de caractériser le type de recherches effectuées, essentiellement par la recherche publique, pour la culture concernée et même pour le problème de la gestion des maladies. Cette analyse s'est faite sur base d'une analyse systématique des tableaux de résultats présents dans tous les articles dont le thème était lié à la gestion des maladies. Chaque tableau a été considéré comme une donnée représentant à la fois une recherche expérimentale effectuée par les chercheurs et acteurs de l'encadrement public et une information présentée aux acteurs de la filière.

Chaque tableau/recherche a été analysé quant au type de résultat présenté et au type d'essai expérimental mis en œuvre pour produire ces résultats. Le type de résultat est lié à l'objectif poursuivi (analyse du rendement, de la sensibilité d'une variété, de la qualité du grain, etc.). Le type d'essai est, par exemple, la durée de l'essai ou les systèmes agricoles (itinéraires techniques) étudiés par celui-ci. Les résultats proviennent tous d'essais en champs effectués soit dans des sites d'essais expérimentaux soit chez l'agriculteur.

L'analyse qualitative de la publication permet d'interpréter et de compléter cette analyse quantitative. L'ensemble des articles liés à la gestion des maladies a été lu, ce qui a permis de coupler une analyse qualitative du contenu textuel à celle, quantitative, des types de recherches appliquées présentées. Ont entre autres été analysés : la manière dont les articles présentaient le problème de la sensibilité/résistance des maladies, le type de recherche appliquée présentée et discutée dans le texte (les recherches majoritaires et minoritaires), le type de comparaison effectué dans ces recherches ainsi que les différences entre le contenu de ces articles et les entretiens oraux des acteurs.

Remarque : Deux tableaux (Voir Annexe IV) détaillent l'ensemble des résultats. Leur lecture n'est pas nécessaire : les résultats les plus significatifs sont repris ici.

1) Thèmes couverts

Une première classification a été introduite : la séparation entre **articles 'structurels'** et articles '**conjoncturels**'. Cette distinction n'est pas apparente dans la publication mais est bien réelle. Les articles structurels sont ceux qui se retrouvent systématiquement, ou presque, dans au moins une des deux publications annuelles. Ils représentent 83% du

volume des publications si l'on considère le nombre de pages (66% en nombre d'articles).

Les articles parus ont ensuite été classés en fonction des **thèmes principaux** qu'ils abordent :

- Dans les articles structurels, il y a un article systématique sur la phytotechnie des céréales (publié deux fois par an, soit 12 articles qui sont aussi les plus volumineux de la publication), 21 articles plus courts sur le thème de la fumure, 6 articles sur les fongicides, 7 sur le désherbage, 5 sur la climatologie et 6 sur la qualité des froments (6 articles = 1 par an).
- Pour les articles conjoncturels, les thèmes qui ont été définis sont « maladies, ravageurs et dégâts » (15 articles), « nouveauté et divers » (11 articles), « mesures agri-environnementales » (6 articles), « valorisation des céréales » (5 articles), « impact environnemental des pratiques » (4) et « contexte politique » (2).

Il faut noter plusieurs **évolutions dans le temps**. Plusieurs sujets prennent une importance croissante : il s'agit du problème de la fusariose et des mycotoxines d'une part et de la valorisation des céréales (la qualité du grain, le froment comme aliment pour les volailles, etc.) d'autre part. La fusariose, présentée comme un problème émergent en 2003, est davantage analysée en 2005 comme un problème à garder à l'œil mais sans grave danger en Wallonie à condition d'appliquer les stratégies, de développer le modèle de prévision agro-météorologique et d'effectuer des analyses du risque de contamination (ce qui est quand même tout un programme). Par contre, les articles sur les mesures agri-environnementales ont tous été publiés entre 2000 et 2003 : il n'y a plus aucun article depuis lors. Les deux seuls articles sur le froment en agriculture biologique, de deux pages chacun, ont été publiés en 2001 et 2002, à une période où cette filière avait le vent en poupe.

2) *Analyse des recherches expérimentales présentées*

L'analyse sur les recherches expérimentales présentées dans cette publication a porté sur les articles qui concernent la gestion des maladies et les différentes stratégies qui s'y rapportent. (C'est à dire, pour les articles structurels, les articles « phytotechnie du froment » et « fongicides » et pour les articles conjoncturels, les articles des sous-thèmes « Fusariose et Mycotoxines », « Variétés de froment et maladies », « Froment en agriculture biologique » et « Mesures agri-environnementales ».)

L'analyse a donc porté sur 633 pages de 31 articles, soit 43% du volume total des publications. Ces articles sont répartis de la manière suivante : 18 articles structurels (12 consacrés à la phytotechnie du froment et 6 aux fongicides) et 13 conjoncturels (2 sur les variétés de froment et la sensibilité aux maladies, 3 sur la fusariose et les mycotoxines, 6 sur les mesures agri-environnementales et 2 sur le froment en agriculture biologique).

Les recherches expérimentales présentées dans les articles sélectionnés ont été analysées sur base des tableaux de résultats d'essais présentés dans l'article. Chaque tableau est considéré comme une donnée, c'est-à-dire une recherche expérimentale effectuée par les chercheurs et acteurs de l'encadrement public et dont les résultats sont présentés à la

filère. Les articles contenaient 205 tableaux présentant les résultats de recherches expérimentales, dont la majorité se trouvent dans les articles structurels (Tableau 7).

Chaque tableau/recherche a ensuite été analysé quant au **type de résultat présenté** et au **type d'essai expérimental** mis en œuvre pour produire ces résultats. Le type de résultat est lié à l'objectif poursuivi (analyse du rendement, de la sensibilité d'une variété, de la qualité du grain, etc.). Le type d'essai est, par exemple, la durée de l'expérimentation ou les systèmes agricoles (itinéraires techniques) étudiés par celui-ci. Les résultats proviennent tous d'essais en champs effectués soit dans des sites d'essais expérimentaux soit chez l'agriculteur (Tableau 8).

Tableau 7 : Analyse des résultats expérimentaux présentés dans le Livre Blanc (2000-2005) : thèmes des articles publiés

	<i>Articles</i>	<i>Tableaux</i>
Articles structurels	18	169
Phytotechnie des céréales (froment)	12	121
Fongicides	6	48
Articles conjoncturels	13	36
Variétés de froment et maladies	2	4
Fusariose et Mycotoxines	3	9
Froment en agriculture biologique	2	2
Mesures agri-environnementales	6	21
Total	31	205

Tableau 8 : Analyse des recherches expérimentales présentées dans le Livre Blanc (2000-2005) : types de résultats présentés et d'essais en champs mis en œuvre

Recherches qui prennent en compte ces paramètres	Nombre de tableaux	Pourcentage par rapport au total (n=205) %
Paramètres analysés		
(A) Type de résultat		
l'influence d'une variable sur le rendement à l'hectare (kg/ha)	95	46,3
la « contribution phytosanitaire au rendement »	56	27,3
une cotation de la sensibilité aux maladies (échelle de sensibilité)	21	10,2
l'évolution d'une maladie dans la culture (% surface atteinte)	20	9,8
la différence de revenus entre plusieurs systèmes (exprimés en kg/ha)	16	7,8
un dosage de mycotoxines (mg/kg)	7	3,4
l'effet du précédent	1	0,5
(B) Type d'essais		
Durée de l'expérimentation supérieure à 3 ans	37	18,0
Comparaison entre systèmes agraires (intensité de la fertilisation)	35	17,1
Prise en compte de systèmes agraires différenciés (MAE)	20	9,8
Prise en compte de systèmes agraires différenciés (bio)	2	1,0

Voici les différentes conclusions qui peuvent être faites sur base de l'analyse des tableaux présentant les recherches expérimentales.

La grande majorité des recherches expérimentales concernent soit l'influence d'un paramètre (date de semis,...) sur le rendement (46% des essais), soit la contribution phytosanitaire au rendement (le taux de "perte" du non-traité par rapport au traité, en % ou en kg/ha) (27%) soit l'évolution d'une maladie dans la culture ou la sensibilité des variétés (10% chaque). Le dosage des mycotoxines ou l'effet du précédent sur le taux de mycotoxines se fait uniquement dans les articles spécifiques à la fusariose.

Les essais de longue durée ne concernent qu'une faible partie des recherches. Les résultats qui proviennent d'une accumulation de résultats sur plusieurs années donnent un gage de rigueur que ce soit pour caractériser la sensibilité d'une variété, l'efficacité d'un fongicide ou l'intérêt d'un schéma de fertilisation donné. C'est le cas de 18% des recherches présentées. Par contre, il est presque impossible de dire quelle proportion de ces essais est réellement faite sur plus de trois ans sur le même site et dans les mêmes conditions culturales (durée choisie par l'auteur pour caractériser la durée « longue »). Selon les descriptions des recherches faites, ce type d'essais serait très rare. Les compilations de résultats interannuels sont en effet souvent des moyennes de plusieurs sites, voire d'essais de variétés différentes, ce qui peut engendrer de grandes différences.

Les essais expérimentaux ne **comparent pas systématiquement tous les itinéraires techniques**. L'objectif intrinsèque de la majorité des essais est de comparer différentes variétés ou différents traitements, par exemple. Cette comparaison est un des piliers de la recherche expérimentale appliquée. Le nombre de variétés prises en compte dans les essais est d'ailleurs souvent important (de 20 à 40 pour les essais spécifiques aux variétés, souvent plus d'une dizaine pour d'autres types d'essais). Outre les variétés et les traitements fongicides, le type de comparaison favorisé est essentiellement celui de différents schémas de fertilisation azotée (intensité et fractionnement de la fertilisation). 18% des recherches font ce type de comparaisons mais celles-ci sont cependant concentrées dans les articles consacrés aux mesures agri-environnementales (MAE).

La comparaison avec des itinéraires techniques qui diffèrent plus fondamentalement du modèle classique (en termes d'utilisation d'intrants) est beaucoup plus rare. Seuls 10% des recherches effectuent des comparaisons avec un schéma cultural de type « MAE » et 1% seulement avec un schéma cultural satisfaisant aux critères de l'agriculture biologique. Quinze des dix-sept tableaux/recherches qui tiennent compte d'un essai MAE ont été présentés dans les six articles spécifiquement consacrés au MAE entre 2000 et 2003. La comparaison des schémas de culture classiques avec des essais « MAE » dans les articles généralistes structurels n'a été faite que deux fois, en février 2001 (jamais pour les essais bio). On peut donc estimer que ces deux systèmes agraires différenciés (MAE et bio) ne sont pas vus comme des systèmes agraires à comparer avec les systèmes agraires habituels.

Le mode de calcul promu est celui du rendement, pas celui de l'optimum économique. Le rendement à l'hectare est, on l'a dit, le principal objectif d'une majorité de recherches, suivi par la contribution phytosanitaire au rendement. Une majorité des recherches présentent l'un ou les deux paramètres. Par contre, seuls 7,8% des tableaux introduisent une dimension économique complète en incluant dans le calcul le coût des intrants agricoles. Le calcul précis n'est pas celui d'une marge brute

en termes monétaires. La différence de revenus entre deux systèmes est exprimée en « équivalents kg/ha » sur base d'une table d'équivalence qui définit le coût moyen d'un produit phytosanitaire à - 400 kilos, celui d'un passage pour traiter le champ à -125 kg et celui de la prime MAE à + 900 kg/ha (Rendements équivalents des différents éléments de coûts marginaux *in* (Buyze et al.2003).

Quatorze des seize tableaux présentant ce calcul de l'optimum économique ont été réalisés dans le cadre d'essais « MAE ». Seuls quatre tableaux de ce type (deux en 2000 et deux en 2001) ont été repris dans des articles structurels généralistes.

Un seul article comprend des recherches dont l'unité est l'euro et non les kg/ha (Dekeyser et al., 2003).

Les recherches présentées dans les six articles consacrés aux mesures agri-environnementales sont originales par rapport aux autres articles. Deux types de recherches ont été présentées exclusivement dans ces articles : celles qui comparent des itinéraires techniques nettement différents (systèmes combinant plusieurs différences au niveau des intrants : fongicides, fertilisants, régulateur) et celles qui analysent tant le rendement brut (kg/ha) que l'optimum économique. L'optimum économique était toujours atteint avec le schéma MAE, même sans tenir compte de la prime pour quelques rares variétés. Etant donné la nature des résultats obtenus, il est anormal, d'un point de vue agronomique, que ce type de recherches n'ait pas été poursuivi et publié dans des articles généralistes à titre de comparaison.

3. La filière face à la fusariose aujourd'hui : les stratégies actuelles de lutte et de prévention (2005)

Quelles sont les stratégies de lutte ou de prévention qui permettent aujourd'hui de réduire ou d'éliminer le risque de fusariose de l'épi ? Sont-elles utilisées par les producteurs ? Pourquoi certaines ne sont-elles pas mises en œuvre ? Les acteurs de la filière, à commencer par les producteurs, ne sont évidemment pas inactifs par rapport à la fusariose. La compréhension de la situation actuelle est nécessaire avant de pouvoir analyser les différentes voies d'innovations qui viendront, peut-être, modifier celle-ci.

C'est d'abord la gestion concrète des maladies (fusariose et septoriose) qui est analysée, en identifiant la gamme des stratégies qui permet de contrôler ces maladies, dans le champ (Section 1). Ensuite, l'analyse porte sur des facteurs 'systémiques' qui expliquent la différence entre les stratégies conseillées et les pratiques agricoles réelles (Section 2). La compréhension de ces facteurs est utile en soi, mais aussi afin d'analyser de manière prospective les possibilités de réussite des innovations futures.

A. Les stratégies conseillées : gamme, utilisation et obstacles directs au niveau des producteurs

Il y a quatre stratégies de prévention et de lutte 'principales' et quatre stratégies 'secondaires' (Voir Tableau ci-dessous). Cette distinction entre stratégies principales et secondaires n'apparaît pas dans la littérature : elle découle de notre analyse.

Les quatre stratégies principales font l'objet d'un relatif consensus parmi les scientifiques et sont connues par tous les acteurs rencontrés. Elles sont chacune liées à un facteur favorable au développement des champignons causant la maladie. Outre les conditions climatiques favorables à la maladie durant la floraison, les acteurs de la filière s'accordent en effet sur quatre facteurs majeurs de risque de fusariose : la présence d'un précédent maïs dans la rotation, le travail du sol (le non-labour), la sensibilité variétale à la fusariose et au développement de mycotoxines et la non utilisation de fongicides. En année normale (absence de conditions climatiques favorables à la contamination durant la floraison), certains de ces facteurs ne sont pas des paramètres significatifs (Chandelier, 2005). Cependant, comme les conditions météorologiques à la floraison sont imprévisibles, il peut être considéré ici que les stratégies sont à mettre en œuvre chaque année.

Ces **stratégies principales** sont régulièrement reprises dans la principale publication de vulgarisation des institutions scientifique encadrant la filière céréalière : le Livre Blanc Céréales. L'avis des acteurs sur ces stratégies étant relativement semblable, nous nous sommes donc attaché à évaluer l'utilisation de ces stratégies par les producteurs²⁹.

²⁹ Une discussion du fonctionnement précis de chaque stratégie (stratégies secondaires y compris) et des incertitudes scientifiques sur des aspects particuliers à chacune a été faite par Champeil et al.(2004b). Voir aussi (Meekes and Köhl, 2005)

Les **stratégies secondaires** sont celles qui ont été peu mises en avant par les acteurs et chercheurs dans les entretiens. Elles sont également moins présentes dans les conseils aux agriculteurs (Livre Blanc, etc). Leur importance ne fait pas l'objet d'un consensus parmi les acteurs. Certaines sont également évoquées car leur rôle permettrait de diminuer les problèmes des maladies cryptogamiques en général mais non spécifiquement la fusariose.

Tableau 9 : Stratégies de lutte et de prévention contre la fusariose.

Stratégies principales	Stratégies secondaires
Rotation favorable (éviter un précédent maïs ou froment)	Niveau de fertilisation adapté (éviter de sur-fertiliser)
Travail du sol (éviter le non-labour)	Non-utilisation de régulateur de croissance
Choix variétal (éviter les variétés sensibles)	Densité de semis adéquate
Utilisation de fongicides	Date de semis (Semis pas trop précoce)

Dans les stratégies principales, les trois premières stratégies peuvent être considérées comme « préventives » tandis que la dernière est plus une intervention active, bien que l'application de fongicides est également effectuée à titre préventif pour la fusariose (étant donné que l'apparition des symptômes est ultérieur à la contamination). Le rôle de certaines des stratégies secondaires fait l'objet d'un plus faible consensus parmi les scientifiques (p.ex. la fertilisation). Celui de certaines voies est attesté dans des publications de haut niveau (p.ex. les régulateurs de croissance défavorables) mais ignoré des acteurs rencontrés, scientifiques compris (Dans les réponses durant les interviews et dans leurs publications).

Les stratégies s'utilisent en complémentarité, comme cela sera décrit progressivement.

Pour chacune des stratégies seront abordées successivement (i) son principe agronomique, (ii) l'utilisation qu'en font les agriculteurs et (iii) les différents obstacles et contraintes interférant spécifiquement avec l'utilisation ou la non utilisation des stratégies au niveau des producteurs.

L'analyse des obstacles à l'utilisation des stratégies préventives se fait en deux temps, d'abord au niveau du producteur, ensuite au niveau du système dans son ensemble

1) Les stratégies principales

Une rotation favorable

Principe agronomique

Les taux de contamination par mycotoxines (taux de DON) sont plus élevés sur les parcelles dont le précédent est le maïs (ou le blé) car le maïs est une autre plante hôte des *Fusarium* qui subsistent dans les résidus de cultures. Il y a donc lieu d'éviter ces précédents pour diminuer le risque de fusariose.

Utilisation réelle de la stratégie

Il n'existe pas de données officielles sur l'application de cette stratégie. Les acteurs rencontrés surévaluent sa mise en œuvre par rapport à la seule étude trouvée concernant la Région Wallonne, qui révèle que trente pour cent de près des 200 champs étudiés avaient pour précédent un maïs (Chandelier et al., 2005)³⁰. Le précédent maïs, malgré qu'il soit le principal facteur de risque, est donc relativement fréquent.

Hormis cette étude, il existe peu de données pour quantifier l'existence de précédents maïs en Wallonie. On peut par contre caractériser clairement l'augmentation générale de la culture de maïs (et donc sa présence dans les rotations). En Wallonie, elle est passée de 36.000 hectares en 1980 à plus de 55.000 hectares en 2004 (Conseil Supérieur Wallon de l'Agriculture, 2002)). En Europe, l'augmentation de la superficie de maïs ensilage correspondrait d'ailleurs à l'augmentation de la fusariose causée par *F. graminearum* ; en Bavière, les superficies de maïs ont doublé voire triplé entre 1972 et 1988, et aux Pays-Bas la superficie a été multipliée par cinquante entre 1970 et 1990 (Meekees and Köhl, 2005). Sachant que la culture de maïs entraîne des risques élevés comme précédent à une culture de froment, mais également de manière indirecte car les *Fusarium* peuvent subsister plusieurs années et être remontés à la surface lors du labour de la seconde culture après le maïs, on peut affirmer que ce phénomène a un impact sur les niveaux d'épidémies de fusariose.

Les engrais verts pourraient également avoir un impact, car certains d'entre eux (lupin) sont hôtes de certains *Fusarium*. Leur rôle dans le développement de la maladie n'a cependant pas été établi (Chandelier et al., 2003). Certains précédents jouent par contre un rôle positif : une betterave en précédent diminue de moitié l'incidence de la maladie (Champeil et al., 2004a).

Problèmes interférant avec cette stratégie

De nombreux producteurs sont en fait amenés à cultiver le maïs plus et plus souvent qu'une rotation idéale ne l'exigerait. Des **contraintes liées à l'élevage poussent** à cultiver du maïs comme précédent au froment. Les éleveurs doivent en effet produire une importante quantité de fourrage pour leur bétail. Le maïs est une culture relativement aisée, à très haut rendement et produisant une alimentation adéquate. Le choix de rotations non risquées est donc écarté et cette stratégie est économiquement cohérente : l'élevage est une spéculation rentable et les céréales éventuellement affectées par les *Fusarium* sont encore utilisables.

De plus, les agriculteurs peuvent gérer le problème (minimiser le risque de fusariose) en jouant sur les différentes stratégies à leur disposition s'ils doivent cultiver du froment après un précédent maïs.

Le risque peut être aisément calculé en fonction de chaque parcelle. Dans une « Grille de décision fusariose sur blé tendre », Arvalis - Institut du végétal (Gatel et al., 2004) propose en effet aux producteurs un calcul de risque simple, basé sur trois variables : le précédent (maïs ensilage, maïs grain ou sorgho, autres), le type de labour (labour ou

³⁰ Celle-ci porte sur un échantillon de 197 parcelles de froment de la zone de haute densité céréalière appartenant à plus de 80 agriculteurs différents.

non-labour) et la sensibilité de la variété (trois classes de sensibilité) (Arvalis - Institut du végétal, 2003). Les différentes possibilités aboutissent à une quantification du risque de fusariose (faible, moyen, fort), lui-même dépendant du climat.

L'agriculteur peut évaluer son propre risque à partir de ses pratiques (avec la grille de risque faite par Arvalis). Attention, l'agriculteur réfléchit pour chaque situation. Si j'ai un maïs en précédent, je fais un labour, je mets Apache et je fais un fongicide Caramba à la floraison. L'agriculteur peut gérer cela. Est-ce que je destine mon blé au meunier ou au fourrager ?... (Philippe V., acteur économique de la filière céréalière)

Lorsque le froment est cultivé après un maïs, il est alors fortement conseillé d'appliquer les autres stratégies : labourer la terre et broyer les résidus des cultures avant ce labour afin d'en accélérer la décomposition (Gatel et al., 2004).

Derrière la stratégie d'éviter un précédent maïs quand on cultive du froment se trouve ensuite la question des **rotations courtes et des monocultures**. Si le précédent maïs est déconseillé pour diminuer les risques de fusariose, le précédent froment est lui déconseillé de manière générale pour les maladies (septoriose, piétins,...). Les rotations courtes sont pourtant utilisées par les agriculteurs car les problèmes associés à celles-ci (augmentation du risque de diverses maladies et prolifération des ravageurs) ne justifient pas de les éviter, et parce que les choix de cultures se font sur des critères économiques et financiers (investissements) bien plus que sur des critères agronomiques. Les solutions pour traiter les maladies existent, sont suffisamment efficaces et le choix de rotations courtes peut être in fine économiquement rentable pour le producteur. Les rotations courtes et les monocultures sont relativement fréquentes en Wallonie, bien que seules des approximations des acteurs interrogés soient disponibles :

Les céréales reviennent quand même tous les deux ans. On fait une tête de culture puis une céréale, l'escourgeon revient quand même rarement. (Louis D., acteur économique de la filière céréalière)

Blé sur blé, c'est significatif. Je dirais à peu près 10%. [Evolution vers augmentation ou diminution?] C'était proscrit il y a 20 ans mais c'est pas rare aujourd'hui. [Pourquoi ?] Parce qu'ils font plus d'orge d'hiver, parce qu'ils n'ont pas de contrats de chicorée, pas envie de se lancer dans des pommes de terres, ça demande un investissement, ou qu'ils n'ont pas de contrats pommes de terre, ou qu'ils n'ont pas de quotas betteraves. La diversification de la tête de rotation augmente (betterave, chicorée, pomme de terre). En céréales, l'orge d'hiver diminue. (Thibaut V., encadrement public et recherche)

Le travail du sol

Principe agronomique

Les champignons pathogènes *Fusarium* subsistent sur les résidus de cultures (les débris végétaux) durant l'hiver. Un champ non labouré est donc un facteur de risque avéré. Le non-labour en cas de précédent maïs double le risque.

Etant donné que les débris végétaux non décomposés peuvent revenir à la surface deux années plus tard (chaque labour retournant complètement le sol), le labour ne peut pas être considéré comme une solution radicale, mais doit être réfléchi parallèlement aux rotations, à la qualité du labour (profondeur, etc.).

Utilisation réelle de la stratégie

Comme pour les rotations, peu de données statistiques sont disponibles à l'échelle de la Région Wallonne. La pratique du non-labour serait en augmentation malgré son impact négatif sur les risques de maladies. Selon la seule étude disponible, les cas de champs non labourés avant froment sont cependant limités (9 % des parcelles dans le cadre de l'étude précitée et les cas de non-labour après un précédent maïs, très risqués, existent mais sont rares (<2%)(Chandelier et al., 2005).

Problèmes interférant avec cette stratégie

Le non-labour est pratiqué car il combine des **avantages environnementaux, agronomiques et économiques** (diminution de l'érosion, ...) qui ne seront pas abordés ici tant la question est vaste. Les agriculteurs qui la pratiquent font donc la balance entre les avantages et les inconvénients (dont l'impact sur le développement des maladies).

Choix variétal (variétés résistantes)

Principe agronomique

Chaque variété a un certain degré tolérance/résistance³¹ par rapport à chaque maladie. Le choix des variétés les plus tolérantes possibles permet de minimiser le risque.

Utilisation réelle de la stratégie

Il est relativement complexe de caractériser le degré moyen de résistance (à la fusariose et aux maladies en général) de toutes les variétés vendues et plantées. D'une part, l'assortiment variétal est relativement diversifié: quarante quatre variétés sont inscrites au catalogue des variétés 2004 (Ministère de l'Agriculture, 2005). De plus, les firmes commercialisent également en Belgique un nombre croissant de variétés inscrites au catalogue européen au départ d'un autre pays membre. Mais il n'existe pas de données publiques sur la répartition de l'utilisation de ces variétés (les surfaces cultivées par exemple) alors qu'on sait que certaines variétés sont très vendues et d'autres le sont de manière marginale. D'autre part, la caractérisation de la sensibilité variétale est en constante évolution (elle change d'année en année parfois significativement) et diffère fort d'une maladie à l'autre pour chaque variété (une variété fort tolérante à la fusariose peut être très sensible à d'autres maladies).

La caractérisation de la sensibilité variétale dans le cas précis de la fusariose est encore plus complexe du fait de la différence entre les symptômes observés au champ et le taux de DON analysé dans l'épi (rappel : la cotation visuelle au champ ne suffit pas pour évaluer le risque de contamination en DON selon les variétés).

³¹ Les deux termes sont fréquemment utilisés. Il n'existe pas, pour la majorité des maladies en froment, de variétés totalement résistantes à la maladie. La résistance à la fusariose et aux autres maladies est évaluée de manière quantitative (échelle de 1 à 9 par exemple). Le terme 'variétés résistantes' est attribué à celles qui sont 'particulièrement tolérantes' à une ou plusieurs maladies sans qu'une définition du niveau de résistance qui correspond à ce terme ait été faite.

En Wallonie, une quarantaine de variétés ont été testées dès 2003 (Chandelier et al., 2003). Les résultats (sur deux ans) sont cependant considérés avec beaucoup de prudence car ils diffèrent fortement d'une année à l'autre. Les acteurs rencontrés insistent d'ailleurs sur la complexité due à l'absence de corrélation entre symptômes et taux de DON, aux résultats non conclusifs car contradictoires ou aux biais entraînés lors des essais par les inoculations artificielles (dont les conditions seraient fort éloignées des conditions réelles). Un essai pluriannuel d'évaluation de 200 variétés pour ces deux paramètres (symptômes et taux DON) a été initié par le CRA-W. Les résultats, qui ne seront divulgués qu'après plusieurs années, devraient permettre d'éclaircir la situation. Sous réserve de confirmation, une quinzaine de variétés seraient intéressantes sur base des deux critères (DON et symptômes observés) (Chandelier et al., 2005).

En France, une caractérisation de la sensibilité des variétés est établie dans la presse agricole. Un classement des variétés en fonction de la teneur en DON observée dans des essais en effet publié (Gatel et al., 2004). Ces essais attestent que des différences de sensibilité variétales sont « clairement établies ». Un test sur 37 variétés utilisées dans les grands pays d'Europe montre également des grandes différences en termes de résistance à la fusariose (Ruckenbauer et al., 2004). Les variétés provenant du Royaume-Uni sont en général plus sensibles aux maladies que celles de France ou d'Allemagne.

La corrélation entre le taux en DON et le pourcentage d'épillets infectés est haute et les résultats indiquent clairement que les taux de DON sont en général plus faibles dans les variétés résistantes que pour les variétés sensibles. Cette corrélation a fait l'objet de controverses, certains travaux soutenant la thèse contraire (faible corrélation) (Miedaner, 1997).

Pour apporter une première réponse, même incomplète, à la question de l'utilisation réelle des variétés sensibles ou résistantes par les agriculteurs, certaines données d'échantillonnage permettant de caractériser la répartition des variétés (Sinnaeve et al., 2004)³² ont été croisées avec les données annuelles caractérisant la résistance des principales variétés aux maladies de l'épi (Vancutsem et al., 2003 ; Couvreur, 2004)³³.

Parmi les vingt-quatre variétés testées en 2004 sur leur sensibilité, seules cinq étaient classées 'comportement moyen à faible' ou 'faible' par rapport à la fusariose (7 sur 25 en 2003), ce qui laisse entrevoir une faible proportion de variétés sensibles. Ces variétés

³² Cette étude annuelle, publiée dans le Livre Blanc, caractérisant la qualité d'échantillons de froment, tient compte de la variété pour chaque échantillon et permet ainsi de caractériser la répartition des variétés. L'étude synthétise l'analyse de plus de 5000 échantillons provenant des négociants-stockeurs (18.000 pour 2004), de 5000 échantillons du réseau Requasud (9600 en 2004) et de données des réseaux d'essais.

³³ Cette étude annuelle paraît dans la version « information avant les semis - septembre » du Livre Blanc. Elle tient compte des données de plusieurs réseaux d'essais : ceux de la plate-forme d'expérimentation de Loncée (Faculté de Gembloux-DGA), ceux effectués pour l'inscription au catalogue des variétés (CRA, Section Obtentions Végétales) et ceux provenant d'un réseau d'essais régionaux (CRA, Dept. Productions végétales et DGA). D'autres essais caractérisent la sensibilité des variétés, avec d'autres normes et dans des conditions différentes : les résultats en sont publiés dans l'édition de février du Livre Blanc. Les cotations de résistance des variétés, obtenues dans les essais non traités, sont publiées chaque année dans les éditions annuelles du Livre Blanc en février. Les données existantes caractérisent la sensibilité aux « maladies de l'épi ». Cela comprend la fusariose de l'épi, la septoriose de l'épi (mais il n'y en a plus depuis 10 ans) et l'oidium (inexistant depuis 20 ans).

sensibles (Meunier, Drifter, Baltimor, Landrel et Napier) représentent néanmoins 20,1 % des échantillons. Si certaines variétés considérées comme résistantes à la fusariose sont largement vendues (Corvus, Centenaire), on peut donc cependant estimer que les variétés sensibles représentent une partie non négligeable des superficies plantées³⁴.

Les variétés résistantes à la fusariose ne sont pas systématiquement résistantes aux autres maladies : seules six variétés qui obtiennent le classement 'bon comportement' à la fusariose ont cette caractéristique pour les quatre principales maladies étudiées (septoriose, rouille jaune et brune et fusariose). Ces six variétés poly-résistantes ne représentent que 10,4% des échantillons. Au niveau général, si l'on considère l'ensemble des maladies, les variétés les plus résistantes sont donc très peu utilisées.

Un travail plus en profondeur devrait néanmoins être mis en œuvre pour affiner ces résultats. [Le travail à partir des données quantitatives sur la répartition des variétés entraîne des biais importants – des données plus précises sont demandées]

Problèmes interférant avec cette stratégie

Les différents éléments qui empêchent directement un choix variétal intégrant mieux la sensibilité aux maladies sont étudiés ici pour la résistance aux maladies en général et non de manière spécifique à la fusariose, car le choix variétal est global.

(i) La prise en compte de la sensibilité aux maladies dans le choix variétal

La gamme de variétés commercialisées est très grande et permet aux producteurs d'adapter le choix variétal à chaque situation, presque à chaque parcelle. Les critères prépondérants de ce choix sont, de l'avis de tous, le rendement, la résistance à la verse (la sécurité de rendement), la précocité, la qualité et enfin la résistance aux maladies. Parmi les critères, le rendement surpasse tous les autres, au point que la recherche des « kilos » ou du nombre maximal de « sacs » domine le choix variétal. Le « potentiel de rendement », souvent maximisé par les toutes dernières variétés est d'ailleurs le « premier critère à prendre en considération » selon les conseils donnés aux producteurs dans le Livre Blanc (CRA et FUSAGx, 2005).

[Quels sont les critères de choix variétal ?] Les kilos. Un peu la qualité, la sensibilité aux maladies : on n'y est pas...la verse quand même(...) Oui, je pense que le premier critère, c'est le rendement, puis la qualité, puis la verse. La maladie a peu d'influence. (les gens se disent :)« C'est sensible à la septoriose, c'est rien, on traitera, si les kilos sont là... ». (Louis D., acteur économique de la filière céréalière)

Une enquête réalisée auprès de producteurs en Belgique sur leurs pratiques et stratégies d'utilisation de produits phytosanitaires confirme les commentaires des acteurs interrogés. Les critères de choix des agriculteurs pour la variété de froment d'hiver sont

³⁴ Il faut noter que deux de ces cinq variétés sont de bonne valeur boulangère (Meunier et Baltimor), ce qui peut avoir une influence en sachant que seules quatre variétés possèdent ce critère parmi les vingt-cinq classées dans le Livre Blanc de février 2004 (six sur vingt-quatre en 2005) (FsaGx and CRA-W, 2004,2005).

le rendement (64%), la valeur commerciale (22%), la résistance aux maladies (14%)(Marot et al., 2005).

La prise en compte du critère de résistance aux maladies dans le choix variétal serait, selon une grande majorité des acteurs rencontrés, en croissance. Trois éléments sont cités pour argumenter en faveur de cette tendance. D'une part, la diminution du prix de vente du blé entraîne une attention plus grande sur les possibilités de compression des coûts de production (les fongicides par exemple). Le choix de variétés plus résistantes permet en effet de minimiser les coûts de traitements phytosanitaires. D'autre part, l'apparition rapide et massive de souches de septoriose résistantes aux strobilurines (des fongicides utilisés pour protéger les cultures contre plusieurs maladies) provoque une remise en question de l'efficacité totale et systématique des fongicides. Si les fongicides restent incontournables, ils ne sont plus pour les acteurs interrogés une stratégie complète et parfaite. Enfin, les problèmes associés aux mycotoxines incitent également à une plus grande attention à la résistance variétale.

Y a t il une réelle évolution du point de vue de la prise en compte de la sensibilité variétale et des traitements fongicides ? Oui, avec la diminution du prix du blé, la rentabilité de la pulvérisation a diminué. Les prix des produits étaient moins chers avant aussi : les strobilurines sont plus chères que les triazoles. On fait des doses plus petites maintenant aussi. (René T., acteur économique de la filière céréalière)

[Pourquoi les agriculteurs ne choisissent pas spécialement les variétés résistantes ?] Ce qui va faire que les agriculteurs choisissent des variétés résistantes c'est l'efficacité des strobilurines qui diminue. Ça va les forcer à réfléchir. Ils vont plus récupérer leur mise : le choix variétal va redevenir plus important. (Thierry L., encadrement public et recherche)

[Ça évolue, l'intérêt pour les variétés résistantes ?] Ça commence à changer. Mais très peu.. Disons sous une pression des produits toxiques, comme les toxines de la fusariose.. (Olivier S., encadrement public et recherche)

Plusieurs problèmes viennent contrebalancer ces éléments favorables aux variétés tolérantes :

(ii) L'efficacité incomplète de la résistance face à un risque imprévisible

L'utilisation de variétés tolérantes ou résistantes n'est **pas une garantie complète** contre le risque et les éventuels dégâts causés par la fusariose. Les conditions climatiques, changeantes d'une année à l'autre sont, ensuite, la donnée prépondérante. Si une année est très favorable à la fusariose, les variétés tolérantes peuvent être affectées également. C'est la dimension **d'incertitude du problème** : on ne sait dire « qu'après-coup » si le choix d'une variété tolérante était une stratégie payante ou pas.

Maintenant une année est pas l'autre. Une variété peut bien se comporter une année et pas du tout la suivante. (...)[Et l'objectif de tolérance variétale ?] Il augmente, oui. On a vu des variétés résistantes qui se débrouillaient bien sans fongicides (dans nos essais). Mais on ne sait jamais le prévoir. La rouille jaune, il faut être préventif : quand on la voit, il est trop tard. (...)[Et vous voyez une augmentation de la vente des variétés résistantes ?] Non ! On ne sait jamais si on peut affirmer qu'une variété est résistante. C'est un peu un problème. Il n'y a jamais de garantie, les conditions sont changeantes,

on sait dire qu'après coup. On n'a pas de variétés qui seraient résistantes à toutes les maladies. (René T., acteur économique de la filière céréalière)

(iii) Pas de résistances efficaces face aux multiples maladies

Un inconvénient supplémentaire provient du fait que les variétés très tolérantes à une maladie -la fusariose par exemple- ne sont pas systématiquement les plus résistantes à d'autres maladies. Il existe bien des variétés qui ont un bon niveau général de résistance à la plupart des maladies (ou au contraire sont très sensibles à toutes), mais la majorité des variétés ont des faiblesses par rapport à l'une ou l'autre maladie. Pour les conseillers, la sensibilité d'une variété est « la probabilité de devoir traiter à un moment donné ». Le choix d'une variété tolérante permet en fait, selon les conseillers publics, d'augmenter la probabilité de ne pas devoir traiter deux fois (ou pas du tout) les parcelles sur lesquelles ces variétés sont plantées. Ils recommandent alors de prendre en compte les éléments suivants lors du choix variétal (Couvreur et Herman, 2002) :

- Une variété sensible à la septoriose risque de devoir être protégée de manière précoce
- Une variété sensible à la rouille brune risque de devoir être protégée de manière tardive
- Pour une variété sensible aux deux, le risque de devoir traiter deux fois est élevé et certain si la septoriose se développe dès un stade précoce (1^{er} -2^{ième} nœud).
- Pour une variété ayant une meilleure résistance aux deux, l'avantage est dans la plus grande tolérance par rapport au moment du traitement, sans exclure toute intervention (aucune variété n'est totalement résistante)

Les variétés tolérantes, on peut moduler le moment du traitement. (...) Les agriculteurs doivent éliminer toutes les variétés sensibles à la septoriose, par facilité et car on sait jamais quand elle arrive, au contraire de la rouille brune, qui arrive toujours fin mai quand il fait chaud (Pierre S., encadrement public et recherche).

Pour les variétés résistantes, les principaux atouts cités sont donc la plus grande facilité de conduite culturale (moment d'intervention, choix de la dose, type de produit) et la sécurité de rendement (résistance des pathogènes aux fongicides). L'accent est donc placé davantage sur des atouts techniques que sur les aspects économiques. L'économie potentielle d'un traitement fongicide n'est pas mise en avant ni mesurée économiquement.

Par ailleurs, l'accent n'est pas systématiquement mis sur la résistance des variétés aux quatre principales maladies en même temps (septoriose, rouilles, fusariose, ...). Si un tableau permet chaque année une comparaison visuelle de toutes les caractéristiques, la résistance est le plus souvent analysée spécifiquement pour chaque maladie, sans attirer l'attention sur l'intérêt des quelques variétés qui ont des bons niveaux de résistance aux maladies les plus courantes.

(iv) Faible durabilité de la résistance des variétés tolérantes ou résistantes

Les variétés tolérantes ou résistantes perdent très régulièrement leur propriété de tolérance/résistance après quatre à cinq ans, ou moins. On dit que la résistance

« s'écroule »³⁵. Cette non durabilité de la résistance est donc un handicap supplémentaire pour que la résistance devienne un critère primordial du choix variétal des producteurs et s'imposer à tous les acteurs de la filière.

La durabilité de la résistance/tolérance variétale est liée au type génétique de résistance, qui peut être monogénique ou polygénique. Les résistances basées sur un seul gène s'écroulent plus facilement et plus rapidement que les résistances polygéniques.

L'utilisation de fongicides

Principe agronomique

Le traitement spécifique contre la fusariose est réalisé durant la période de floraison, éventuellement en mélange avec un produit protégeant contre d'autres maladies foliaires. L'efficacité du traitement sur le développement de la fusariose est très limitée. Les produits actuellement agréés, quand ils sont appliqués dans les meilleures conditions, ne contrôlent pas plus de 50% de la maladie (Chandelier et al., 2004)³⁶. Le traitement doit se faire durant la période très précise de la floraison (soit une marge de manœuvre de 2 jours), étant donné que la sensibilité de l'épi est très haute à ce moment-là.

"Le contrôle fongicide, il faut presque l'oublier. Ça coûte cher pour maximum 50% d'efficacité" (Patrick R. , encadrement public et recherche) "L'opportunité phytosanitaire est fort discutée. La fenêtre est très courte. Déjà c'est difficile dans des tests pour la recherche, alors pour la profession..." (Jean-Marc J., encadrement public et recherche)

Dans certaines conditions, l'application d'un fongicide de type strobilurine seule (une des deux grandes familles de fongicides pour ce problème) peut même stimuler la production de toxines, ce qui a amené les scientifiques à conseiller l'application de mélanges de fongicides strobilurines-triazoles (Chandelier et al., 2004 ; European Mycotoxins Awareness Network, 2005).

Utilisation réelle de la stratégie

Il n'existe pas de données quantitatives disponibles sur les traitements effectués en particulier pour la fusariose. Les acteurs, interrogés sur l'existence de données sur le nombre moyen de traitements fongicides (toutes maladies confondues) en froment, ont systématiquement orienté vers les firmes de produits phytosanitaires, qui feraient régulièrement des enquêtes auprès des producteurs (dans l'objectif de connaître les parts

³⁵ Etant donné la diversité génétique et les mutations au sein des populations de pathogènes (champignons microscopiques), les individus pathogènes qui ont des propriétés qui 'contournent' le mécanisme de résistance se multiplient rapidement car ils continuent à pouvoir infecter les plantes. Une nouvelle population de pathogènes émerge : la variété n'est plus -ou moins- résistante. La résistance s'est 'écroulée'.

³⁶ Les différents champignons du complexe de la fusariose ne sont pas contrôlés par les mêmes fongicides. Les substances actives reconnues comme efficaces sur *Microdochium nivale* sont : l'azoxystrobilurine (produit Amistar), et celles reconnues comme efficace sur les *Fusarium* : le metconazole (Caramba) et le tebuconazole (Horizon), ce dernier étant cité comme le plus efficace actuellement (Champeil et al., 2004a).

de marché de leurs produits). Le dernier rapport disponible, diffusé par la fédération des industries phytopharmaceutiques, date de 2002, est publié par le Ministère de l'Agriculture, et ne concerne que la dose de **matière active appliquée par hectare**. Selon des enquêtes menées par l'industrie auprès d'un large échantillon d'agriculteurs, un total de 3,22 kg de matière active serait appliqué sur le froment d'hiver en 2000 (4,7 kg en 1991), dont 0,68 kg de fongicides (1,65 en 1991). (Ministère des Classes Moyennes et de l'Agriculture, 2002).

Il est difficile de dire si cette nette diminution du volume de matière active n'est pas contrebalancée par le choix de produits plus actifs.

En ce qui concerne le nombre de traitements, les producteurs appliqueraient (selon les acteurs rencontrés) **un ou deux traitements fongicides** sur les froments par saison, en fonction de la situation de chaque champ (niveau de l'épidémie, sensibilité de la variété, décision de l'agriculteur, etc.). La moyenne se situe à 1,5 – 1,6 traitements pour la Région. Cette moyenne se composerait de producteurs traitant systématiquement deux fois (un tiers des céréaliers qui ont une logique très intensive), d'autres une fois (un tiers), et certains pas du tout (zones extensives,...), bien qu'aucune donnée fiable n'existe sur cette répartition. Il faut rajouter à cela, pour être complet, le traitement des semences (enrobage) par un fongicide protégeant la jeune pousse. Cet enrobage est systématique, sauf en agriculture biologique.

Problèmes interférant avec cette stratégie

Les principaux problèmes liés aux fongicides, dans le cas de la fusariose, sont leur faible efficacité et l'absence de souplesse dans leur application. Face à ces problèmes, il y a deux objectifs tacites concernant les fongicides : l'amélioration de l'efficacité du traitement et la réduction de la dépendance aux fongicides (la réduction du nombre de traitements).

L'**amélioration de l'efficacité du traitement**, dans le cas de la fusariose, passe par la mise au point de nouvelles substances actives plus efficaces (Voir p 180). Pour d'autres maladies, elle passe aussi par une meilleure compréhension du cycle de la maladie et la construction de modèles permettant de prédire le meilleur moment d'application du traitement (durant la phase phénologique critique). On parle de bon « positionnement » du traitement, c'est à dire de traiter au moment d'efficacité maximale du traitement. Ce premier objectif ne peut pas être atteint par tous les producteurs. Les contraintes de temps et les priorités dans les travaux agricoles conduisent à des applications à des moments non optimaux.

La surveillance des parcelles (observation du développement des maladies dans les champs), n'est par exemple pas idéale pour plusieurs raisons: manque de temps dû à la taille croissante de l'exploitation à gérer, manque d'intérêt pour cet aspect préventif ou de compétences techniques, confiance dans le délégué commercial et priorités de travail conflictuelles (surveiller les parcelles, nourrir les animaux,...).

[Surveillance des parcelles par les agriculteurs ?] Ils délèguent souvent... Surveiller son champ, c'est souvent en passant dedans en tracteur (Thierry L., encadrement public et recherche)

Il y a beaucoup moins de personnel dans les fermes. Pour des tailles d'exploitation plus grandes. Et un grand côté administratif. Pour eux, c'est pas facile à gérer. [...] D'où l'intérêt pour nous de dire : aujourd'hui, il faut descendre du tracteur pour regarder ce qui se passe. (Jean-Marc J., encadrement public et recherche)

Les éleveurs se déchargent un peu du travail des cultures en demandant aux délégués des firmes de passer dans les parcelles ... Mais il y a un exemple : en patate, les agriculteurs ne savent pas compter les pucerons... Ils ne savent pas si il faut compter sur la feuille, le foliole, ... Les délégués aussi se limitent à regarder les bords de champs au lieu de traverser le champ en diagonale comme le veut les bonnes pratiques. C'est une économie de temps, et parfois l'économie en argent ne vaut pas le coup. (Jacques D., encadrement public et recherche)

Le second objectif est la **réduction du nombre de traitements fongicides**. L'enjeu actuel serait de passer de deux traitements à un traitement unique sur la saison (la culture sans aucune protection fongicide n'est envisagée par presque aucun acteur rencontré) afin d'augmenter la rentabilité de la culture³⁷. Ce deuxième objectif interfère avec plusieurs éléments directs et indirects. Les deux premiers incitent à une réduction de leur utilisation et les deux derniers tendent à maintenir le statu quo.

Le coût des fongicides par rapport aux prix des céréales

L'objectif de réduction des traitements fongicides provient de l'effondrement récent des prix de vente du froment et donc des marges de rentabilité de sa culture. La chute du prix des céréales augmente l'intérêt des producteurs à diminuer le coût des intrants et donc le nombre de traitements. La situation technique en champ est donc directement liée aux conditions du cours des céréales sur les marchés.

La faillibilité des fongicides

Un événement à priori extérieur à la fusariose, le développement de souches de septoriose résistantes au principal fongicide utilisé pour les combattre, a un impact sur les stratégies par rapport à la gestion des maladies en général, y compris la fusariose car les stratégies (fongicides, choix des variétés, etc., ...) sont réfléchies globalement par les producteurs.

En trois ans, des souches de septoriose résistantes aux strobilurines sont en effet apparues progressivement dans toute l'Europe, y compris en Wallonie (Moreau et al., 2005). Les strobilurines ont donc perdu une grande partie de leur efficacité sur la septoriose alors que cette famille était relativement récente. Réputées très efficaces pour cette maladie jusqu'il y a peu, elles ne peuvent plus être utilisées qu'en mélanges avec des triazoles, sous peine d'être inefficaces. Ce rapide échec d'une nouvelle famille de molécules est, selon les observateurs, un « retour à la situation de 1996 » étant donné qu'aucune autre molécule n'a été développée durant la période de succès des strobilurines (Moreau, 2004).

³⁷ La marge de diminution est donc bien plus faible que dans le cas de la lutte fongicide contre la tavelure en pommier, où plus d'une dizaine de traitements sont couramment appliqués (Vanloqueren and Baret, 2004).

La résistance aux strobilurines n'entraîne pas un changement fondamental dans l'application des fongicides destinés spécifiquement à lutter contre les maladies mais uniquement une application de mélanges de produits, de nouveaux produits ou une augmentation des doses. Indirectement, ces résistances entraînent cependant certains agriculteurs à une diminution de leur confiance dans les produits phytosanitaires.

La non durabilité de l'action des fongicides n'est pas une nouveauté scientifique mais elle semble, en 2004-2005, prendre une certaine importance dans la filière céréalière. Selon une enquête auprès des producteurs, l'apparition de résistances aux produits phytosanitaires est le principal problème de ceux-ci. Soixante pour cent des agriculteurs interrogés avaient déjà rencontré ce type de problème (Marot et al., 2005).

Le raisonnement « assurance contre le risque » face à l'imprévisibilité des maladies

Le raisonnement économique intervient à un second niveau : les traitements fongicides sont des assurances contre le risque d'une production complètement ou partiellement détériorée par la maladie. Comme pour tous les risques pour lesquels il existe une assurance, quand le risque est grand et imprévisible, le coût de l'assurance est intégré dans les coûts comme une dépense incontournable. La réduction du nombre de traitements est donc une augmentation du risque. Pour mieux appréhender ce risque, un système d'avertissements sur le développement des maladies et des ravageurs des céréales a été mis sur place. Il est géré par le CADCO (Centre Agricole pour le Développement des cultures Céréalières et Oléo-protéagineuses). Les informations mises en circulation sont de deux types : d'une part des observations factuelles sur le développement des différentes maladies dans les parcelles des différentes régions de Wallonie et d'autre part des conseils en matière de traitements fongicides (ou insecticides) en fonction de ces observations, modulés en fonction des différentes situations (« si vous avez déjà traité », « si vous n'avez pas encore traité mais que vous avez des variétés sensibles »...).

Les effets positifs des fongicides

Certains fongicides auraient des effets positifs dépassant la protection phytosanitaire : on parle d'« effet vert » dans le cas des strobilurines, qui stimuleraient le développement de la plante. Ces aspects, non élucidés, sont une question d'étude à part entière et il y a peu de certitudes scientifiques à leur sujet. Ces éventuels effets positifs contribuent à maintenir un rôle positif aux fongicides.

2) Les stratégies secondaires

Dans les documents de la filière, les quatre stratégies suivantes ne sont pas présentées comme des stratégies de lutte et de prévention contre la fusariose au même titre que les quatre stratégies principales. Elles ont cependant été citées, par plusieurs acteurs. Leur rôle et leur importance dans la prévention du risque de la fusariose (et des maladies en général) sont plus controversés. Nous en analysons donc certains aspects techniques ou agronomiques sous-jacents. L'analyse du degré de mise en œuvre réelle par les producteurs de ces stratégies est encore plus complexe à évaluer que pour les stratégies principales.

Tableau 10 : Principes agronomiques des stratégies secondaires contre la fusariose et la septoriose.

Stratégies secondaires	Principe agronomique
Adopter un niveau de fertilisation adapté (éviter de surfertiliser)	Le niveau de fertilisation de la culture aurait un effet sur la sensibilité des plantes à la fusariose. Cet effet est cependant controversé. Certains affirment que la fertilisation est positive tandis que d'autres parlent d'effets négatifs en cas de forte fertilisation.
Ne pas utiliser de régulateur de croissance (uniquement pour la septoriose)	Des produits régulateurs de croissance (régulateur de tiges) sont utilisés pour éviter que les blés, dont la croissance est dopée par la fertilisation, ne « versent » suite aux effets de la pluie ou de la grêle et du vent. Ces produits permettent de raccourcir la tige, renforçant ainsi la plante. Par contre, en réduisant la hauteur de la tige, le développement de certaines maladies (dispersion des gouttelettes de pluie tombées sur le sol) est favorisé.
Adopter une densité de semis adéquate	La densité du semis a une influence sur la densité de la canopée, la circulation de l'air dans celle-ci (et donc l'humidité) et sur la lumière. Une densité de canopée trop forte est propice au développement de la maladie.
Ne pas semer trop tôt	Le froment d'hiver, demandant une période de vernalisation, est semé en octobre-novembre. Semer tôt dans la saison allonge la période durant laquelle les maladies peuvent se développer avant l'hiver et augmente la biomasse, accentuant ainsi les possibilités de maladies à la reprise de la croissance après l'hiver. Un semis tardif diminue ce risque.

Niveau de fertilisation

La fertilisation organique et minérale des cultures a un effet sur la sensibilité de la culture à différentes maladies. Parmi les acteurs rencontrés, certains affirment que la fertilisation a un effet positif sur les plantes : elle renforce les plantes. D'autres parlent d'effets négatifs : la fertilisation augmente la densité de la végétation, ce qui augmente l'humidité et donc le développement des maladies et rend la plante plus sensible à la maladie. L'effet serait **controversé** en ce qui concerne spécifiquement la fusariose (Champeil et al., 2004a).

La fertilisation : ce n'est pas un moyen de lutte, mais c'est une bonne pratique de donner aux plantes ce qu'elles ont besoin pour exprimer pleinement leur potentiel de rendement. Mais tout en faisant attention aux résidus dans le sol pour la pollution. (Joseph D., encadrement public et recherche)

[Quelles sont les autres stratégies pour les maladies, en dehors des fongicides et du choix variétal ?] (...) j'en reviens à la fumure azotée. On est trop gourmand, on fragilise la plante (Louis D., acteur économique de la filière céréalière)

Le niveau de fertilisation d'une parcelle se décide en fonction de l'optimum de rendement de la culture et non d'un éventuel risque accru de maladies pour les taux élevés de fertilisation. Pour les acteurs rencontrés, les niveaux de fumures des terres wallonnes sont d'ailleurs « bas » ou « normaux ». Faute d'études consistantes sur le lien éventuel entre fertilisation et maladies, il est difficile d'évaluer l'importance de cette stratégie. Dans le Livre Blanc, un seul article y fait référence de manière très explicite : *L'apport modéré d'azote sur base de la méthode « livre blanc » permet de limiter les pertes par lessivage mais aussi de maintenir une végétation saine moins sensible aux accidents de verse et aux maladies cryptogamiques. De plus, cette fertilisation raisonnée garantit un rendement agronomique satisfaisant et une bonne qualité technologique du froment* (Buyze et al., 2003).

La question de la fertilisation doit par ailleurs être reliée à celle de la **composition minérale et organique du sol** et au développement des micro-organismes du sol. Ceux-ci peuvent être favorables ou défavorables au développement des *Fusarium*. Des applications de fertilisants organiques riches en azote peuvent en effet fortement réduire les populations de pathogènes du sol et augmenter celles des antagonistes des *Fusarium* (Champeil et al., 2004a).

Le rôle des micro-organismes du sol n'a jamais été évoqué dans les entretiens avec les acteurs.

Non-utilisation d'un régulateur de croissance

La fertilisation minérale des sols entraîne une forte croissance de la plante qui, dans certains cas, n'est pas complètement armée pour cette croissance accélérée. Les orages, pluies et vents violents ainsi que certaines mauvaises pratiques culturales peuvent en effet causer la verse des cultures. La verse du froment rend la récolte fort complexe, engendre des pertes de rendement et de qualité, diminuant la valeur économique de la production.

Les régulateurs de croissance ont une action qui freine l'élongation cellulaire et épaissit les parois cellulaires, ce qui a pour effet de raccourcir la tige en la renforçant. Ils sont donc utilisés pour protéger les blés du risque de verse.

Le développement de certaines maladies est par contre favorisé par le raccourcissement de la tige et surtout des entre-nœuds : la diminution de la distance entre le feuillage et l'épi pourrait faciliter le transfert de certaines maladies du feuillage à l'épi (Grosjean et al., 1999). La distance sol-épi est aussi réduite, augmentant la probabilité de contact entre spores du sol et épis.

Aucun chercheur n'a évoqué le rôle des régulateurs alors qu'il est clairement cité et expliqué dans la littérature, dans un article qui m'a même été remis par un des chercheurs interviewés (Champeil et al., 2004a). Cette stratégie serait essentiellement importante pour la septoriose, mais pas pour la fusariose.

Le seul acteur à avoir cité le rôle des régulateurs dans le développement des maladies était représentant d'une association environnementale soucieuse d'une diminution de la dépendance aux pesticides. Le régulateur le plus utilisé, le chlorméquat (CCC) est utilisé depuis 1967. C'est un des produits phytosanitaires dont les résidus sont les plus problématiques. L'interdiction du régulateur est d'ailleurs au centre d'une mesure agri-environnementale de la Région Wallonne (MAE « réduction d'intrants en céréales), car cette interdiction participe à mettre en oeuvre une stratégie globale de réduction d'intrants.

L'utilisation de régulateurs est généralisée en grandes cultures conventionnelles : elle fait partie de l'itinéraire technique standard. Seules les terres en agriculture biologique et celles respectant les conditions de la mesure agri-environnementale en sont exemptes : cela ne concerne qu'une infime partie de la surface cultivée.

Densité de semis

Un semis « clair » (aéré) est une stratégie citée par certains acteurs et conseillée dans le Livre Blanc Céréales pour réduire les maladies cryptogamiques de manière générale (sans préciser le rôle particulier pour la fusariose) (FUSA. et CRA-W, 2005). Un trop grand nombre de tiges favorise en effet la sensibilité à la verse et le développement des maladies (Grosjean et al., 1999). Une mesure agri-environnementale a d'ailleurs été proposée pour réduire cette densité (voir p 217). Une canopée trop dense est citée comme facteur aggravant le développement de la fusariose, or celle-ci dépend entre autres de la densité de semis (Champeil et al., 2004a)³⁸.

(La densité du semis) joue beaucoup sur les maladies comme la rouille jaune ou l'oïdium, car la rouille dépend plus de l'humidité et du vent que de la pluie. La septoriose dépend plus de la pluie (du splashing) donc les feuilles pourraient jouer le rôle de barrière (mais la logique scientifique est à prouver). Mais le semis clair est positif en général. L'oïdium est sensible aux UV donc s'installe sur les feuilles basses. (Bruno C., encadrement public et recherche)

Plusieurs raisons amènent cependant certains agriculteurs à semer de manière trop dense, par exemple la volonté de prévenir le risque d'un trop faible taux de germination (suite à des conditions climatiques défavorables par exemple) ou la pratique de semer l'entièreté d'une parcelle à la densité optimale pour l'endroit du champ le plus défavorable (celui pour lequel une densité forte est nécessaire et justifiée), même si ce semis sera donc trop dense dans le reste de la parcelle.

Date de semis

Les agriculteurs tentent de semer le plus tôt possible (début octobre) pour diverses raisons techniques (contraintes de temps et d'organisation de travail, volonté d'éviter le risque de ne pas pouvoir semer dans des champs impraticables en attendant trop longtemps) ou économiques (un semis précoce permet d'augmenter le potentiel de rendement). La contrainte "organisation du travail" est de plus en plus importante étant donné les larges superficies à gérer et l'éventuel manque de main d'œuvre dans des grandes exploitations : plus la superficie à semer est grande, plus il faut semer tôt, dès que les conditions sont bonnes.

Pour la date de semis, les agriculteurs essaient de semer tôt, car quand on a 80 ha, on profite dès le 5 octobre de semer, ça c'est l'aspect social du travail.... (Si on attend trop, on risque de ne plus avoir assez de temps...) (Thierry L., encadrement public et recherche)

Stratégies curatives non prises en compte

Les stratégies présentées ci-dessus sont des **stratégies de prévention ou de lutte** contre le risque de fusariose. Il existe par ailleurs des **mesures curatives** permettant de diminuer le *taux de mycotoxines* présentes dans le grain après récolte, dont la principale est la **mouture du grain**. La majorité des mycotoxines se trouvent dans le son

³⁸ Chaque variété a également une propension à développer des thalles plus ou moins fortement et influence donc directement la canopée.

(Chandelier et al., 2003). L'élimination des différentes enveloppes du grain permet de diminuer les taux de DON jusqu'à 75% dans certains cas (Placinta et al., 1999).

3) Synthèse des obstacles 'directs' à l'utilisation des stratégies

Les obstacles empêchant l'utilisation systématique par les producteurs des stratégies de lutte et de prévention - sont synthétisés dans le Tableau 11.

Tableau 11 : Contraintes liées à l'utilisation des quatre stratégies principales par les producteurs (synthèse).

Stratégies	Contraintes directement liées à ces stratégies
1. Stratégies principales	
Rotation favorable (éviter un précédent maïs)	<ul style="list-style-type: none"> - Contraintes liées à l'élevage amenant à cultiver le maïs en précédent - Contraintes amenant à la pratique de rotations courtes et de monocultures
Travail du sol (éviter le non-labour)	<ul style="list-style-type: none"> - Avantages environnementaux, agronomiques et économiques du non-labour
Choix variétal (éviter les variétés sensibles)	<ul style="list-style-type: none"> - Faible prise en compte de la sensibilité aux maladies dans le choix variétal - Efficacité incomplète de la résistance face à un risque imprévisible - Pas de résistances efficaces face aux multiples maladies - Faible durabilité de la résistance des variétés tolérantes ou résistantes
Utilisation de fongicides	<ul style="list-style-type: none"> - Faible efficacité - Faible souplesse d'application - Coût des fongicides par rapport aux prix des céréales - Faillibilité des fongicides (souches résistantes aux strobilurines) - Le raisonnement « assurance contre le risque » face à l'imprévisibilité des maladies - Les effets positifs des fongicides
2. Stratégies secondaires	
Les stratégies secondaires ne sont pas considérées comme des stratégies par les acteurs de la filière.	

B. Les facteurs 'systémiques' qui expliquent l'écart entre stratégies conseillées et pratiques réelles

Comme l'analyse qui précède le montre, les pratiques préventives -comme l'utilisation de variétés résistantes- ne sont pas mises en œuvre de manière systématique au niveau du producteur.

Nous poursuivons ici notre analyse des raisons de la non application de certaines stratégies conseillées, mais au niveau macro, celui du système étudié dans son entièreté, en tenant compte des interactions entre ses différentes composantes. L'analyse du système large permet en effet d'observer plusieurs **facteurs systémiques** qui expliquent la différence entre stratégies conseillées et stratégies utilisées. Les acteurs ne citent pas ces éléments comme obstacles 'systémiques' à l'utilisation des stratégies. Leur identification découle de l'analyse. Enfin, si les éléments analysés précédemment au niveau des producteurs étaient essentiellement d'ordre technique, les éléments systémiques sont eux principalement d'ordre socio-économique, organisationnel ou institutionnel (Tableau 12).

Le cas de la fusariose est analysé ici de manière large : la maladie est considérée comme une maladie parmi d'autres pour comprendre l'attitude plus générale des acteurs par rapport aux maladies cryptogamiques (pour rappel, les entretiens avec les acteurs se sont d'ailleurs centrés sur deux maladies : la fusariose et la septoriose).

Tableau 12 : Facteurs systémiques expliquant l'écart entre stratégies conseillées et pratiques agricoles

Stratégies	Facteurs systémiques
1. Stratégies principales	
Rotation favorable (éviter un précédent maïs)	<p>L'influence des firmes privées</p> <ul style="list-style-type: none"> - Objectifs concurrents des différents départements des firmes - Influence des délégués commerciaux - Promotion des variétés par les firmes - Firmes semencières et création variétale <p>L'encadrement public des producteurs</p> <ul style="list-style-type: none"> - Omniprésence du calcul du rendement brut et absence de celui de l'optimum économique - Le système cultural dominant privilégié et peu d'intérêts pour les systèmes alternatifs - Quasi-absence de recherches sociales et socio-économiques à l'échelle macro - Faiblesses des données scientifiques sur trois domaines utiles
Travail du sol (éviter le non-labour)	
Choix variétal (éviter les variétés sensibles)	
Utilisation de fongicides	
2. Stratégies secondaires	
Les stratégies secondaires ne sont pas considérées comme des stratégies par les acteurs de la filière	

Dans cette section, nous analysons l'influence directe et indirecte de deux pôles importants de la filière: d'une part les firmes agroalimentaires privées et coopératives agricoles et d'autre part l'encadrement public des producteurs (chercheurs et fonctionnaires des centres de recherches et d'encadrement).

1) L'influence des firmes privées

En Wallonie, deux organisations -une firme et une coopérative- assurent plus de 70% du marché de la collecte des céréales et de la vente des semences. Il s'agit de *Wal.Agri*, filiale wallonne du groupe *Aveve*, et de la Société Coopérative des Agriculteurs de la Meuse (SCAM). Elles assurent toutes les deux un service global au producteur : ventes d'intrants (semences, fertilisants, produits phytosanitaires, aliments pour le bétail), collecte et achat de leur production céréalière, conseils, etc. Dans la suite du texte, le terme « organisations » recouvre les deux structures : firmes et coopératives. Plusieurs négociants indépendants de plus faible taille se partagent le reste du marché.

L'efficacité des deux organisations repose sur des équipes de délégués commerciaux qui sont en contact direct avec les producteurs. Ces délégués assurent le suivi global de l'ensemble des produits et services pour tous les agriculteurs d'une sous-région. Il n'y a donc pas de différenciation des canaux de vente des semences ou produits phytosanitaires.

Trois éléments liés au fonctionnement de ces organisations influencent négativement l'utilisation des stratégies (utilisation des variétés résistantes principalement) : 1) les objectifs concurrents des différents départements des firmes entre eux, 2) l'influence des délégués commerciaux 3) la promotion des variétés par les firmes.

Objectifs concurrents des différents départements des firmes entre eux

Le premier obstacle à une mise en oeuvre optimale des stratégies de prévention provient de la différence d'importance entre les départements « semences » et « produits phytosanitaires » dans les organisations concernées. Le département « semences » est celui qui rapporte le moins, comparativement aux secteurs les plus profitables (la collecte des céréales, la vente des fertilisants et produits phytosanitaires et celle des aliments pour le bétail). Selon les responsables des firmes, la part du département « semences » dans le chiffre d'affaires de *Wal.Agri* est seulement de 6-7%.

Cette différence joue directement en défaveur du développement des variétés résistantes. C'est la vente de produits phytosanitaires qui est la priorité financière. Un commentaire du responsable « semences » d'une des deux organisations à propos des choix des variétés que la firme met en avant est éclairant à ce sujet.

"[Comment faites-vous le choix des variétés pour l'assortiment variétal, la prise de licence sur une variété,... ?] Bon... On est une société commerciale. J'ai des collègues au département phytos... On a une station de screening, on est en contact avec les obtenteurs, ils nous donnent des échantillons de variétés, on a des essais traités 1 fois, 2 fois, non-traités. On cherche l'optimum de rendement dans les essais traités deux fois. Moi j'essaie un peu de chercher les variétés résistantes, mais c'est un peu l'opposé de mes collègues des phytos... (René T., acteur économique de la filière céréalière)"

Influence des délégués commerciaux

Selon la majorité des acteurs rencontrés, l'influence des délégués commerciaux dans les choix des agriculteurs est prépondérante par rapport aux conseils des acteurs ayant une position non intéressée (fonctionnaires et chercheurs des centres publics). Depuis la

disparition des ingénieurs de circonscription (des fonctionnaires publics), les délégués des firmes sont en fait les derniers à avoir un contact direct régulier avec les producteurs.

Le problème, c'est que tu as le délégué de firmes qui passe, qui dit qu'il faut traiter. Ils ont beaucoup de poids. [Vous dites cela de par votre connaissance du secteur, ou bien c'est aussi un des résultats de l'enquête ?] Les deux. La source d'information principale du producteur est le délégué de la firme. Le scientifique n'est pas vu comme quelqu'un du terrain. (Jacques D., encadrement public et recherche)

[Pourquoi y a-t-il un décalage entre conseils des scientifiques et pratiques des agriculteurs] Le décalage est aussi dû au négociant, c'est le dernier à voir l'agriculteur. (David F., encadrement public et recherche)

La plupart des agriculteurs font ce que le vendeur de produits dit. Ils ne veulent pas se mettre en désaccord avec lui. Il y a aussi le côté assurance : on paie peut-être plus en traitant mais c'est mieux que de courir un risque... (Fabrice B., encadrement public et recherche)

Cette importance des délégués commerciaux a un impact direct sur les choix des agriculteurs. Les fonctionnaires et chercheurs publics reconnaissent qu'en plus de la facilité du contact direct avec les agriculteurs, le délégué conseille plus souvent deux traitements fongicides (ce qui rencontre son objectif personnel) car c'est le discours du « traitement de garantie », comparativement à un conseiller public qui doit expliquer que le second traitement n'est pas systématiquement rentable.

C'est plus facile de dire de traiter deux fois qu'une, de pas prendre le risque (par peur de perte de la récolte). (David F., encadrement public et recherche)

[Les producteurs, ils surveillent beaucoup leurs parcelles ?] Les agriculteurs, ils ne savent pas ce que c'est F1 F2 F3... Ils savent pas vraiment distinguer les maladies [Vraiment ?] Non, je crois pas ... L'agriculteur il fait son plan de traitement en octobre. Seulement si tu vas dans ses parcelles il va être intéressé. Si les agriculteurs traitaient « en réponse à la maladie » ce serait bien ! Ils regardent le site Proculture, les avertissements du Cadco, mais suivent-ils les recommandations ? Je crois qu'ils suivent leur plan, et le plan dessiné par la firme. (Bruno C., encadrement public et recherche)

Cette grande influence des délégués commerciaux est analysée de manière très critique par la principale association environnementale active dans le domaine agricole : Inter-Environnement Wallonie (IEW). Pour le responsable agriculture de celui-ci, le fonctionnement interne des firmes induit un biais défavorable à une utilisation minimale de pesticides de synthèse. Les délégués sont en effet payés à l'intéressement (proportionnellement à leurs ventes), ce qui biaise les conseils qu'ils peuvent donner aux producteurs à propos des traitements phytosanitaires.

Des propositions ont été formulées par l'association pour transformer ce système³⁹. Exposées dans un rapport et lors d'interventions orales dans des colloques, elles ne sont

³⁹ « On a aussi proposé d'interdire que les délégués des firmes phytosanitaires soient payés par intéressement. On a proposé qu'il y ait quelqu'un de neutre, pas intéressé par la vente, qui soit prescripteur des phytosanitaires... Comme un médecin : les producteurs feraient appel au prescripteur, un conseiller qui irait dans les champs, analyserait les pucerons, etc, et prescrirait à court terme (le produit)

pas partagées par les acteurs. L'analyse qui sous-tend ces propositions est partagée, cependant, par de nombreux acteurs, y compris les firmes elles-mêmes, qui la confirment à des degrés divers. Ceci sera développé plus en profondeur dans la partie consacrée à l'optimum socio-économique.

Les firmes se défendent d'inciter à la consommation inutile de produits phytosanitaires car pour elles c'est la relation de confiance avec l'agriculteur qui est gagnante à long terme. Celle-ci requiert aussi de conseiller de ne pas traiter lorsque ce n'est pas du tout nécessaire même si l'agriculteur hésite. Les acteurs de l'encadrement public n'hésitent pourtant pas à dénoncer ce problème : « Pour pouvoir établir un diagnostic précis, il faut savoir reconnaître les principales maladies, cela permettrait souvent d'éviter des traitements inutiles ou des conseils abusifs de vendeurs peu scrupuleux. » Le conseil mis en exergue ici est un des conseils officiels pour une « protection fongicide raisonnée » du Livre Blanc Céréales (FUSA. et CRA-W, 2005).

Promotion des variétés par les firmes

Les deux organisations (SCAM et Wal.Agri) vendent deux types de variétés : celles pour lesquelles elles ont des licences ou des exclusivités de vente augmentant leur marge bénéficiaire, et toutes les variétés qui sont des succès commerciaux incontournables. A côté de certains choix stratégiques de la firme qui peuvent être imposés, ce seraient les délégués qui orienteraient le succès des variétés, en fonction de leur perception des propriétés de celles-ci. C'est généralement le mandataire de la variété qui se charge de la promotion commerciale pure (la publicité) : Wal.Agri et la SCAM ne le font donc que pour les variétés pour lesquelles elles sont mandataires.

« On met en avant certaines variétés : ce sont nos délégués qui le font : il suffit qu'un délégué soit convaincu par une variété pour qu'il en vende plein... (René T., acteur économique de la filière céréalière) On a une équipe commerciale, le plus difficile c'est pas les agriculteurs, c'est notre équipe commerciale, ils sont très techniques. [Quels sont les critères ?] 1) le rendement 2) la précocité 3) la verse 4) la résistance aux maladies » (Michel F., acteur économique de la filière céréalière)

La prédominance des deux organisations, ayant chacune leurs objectifs propres, pourrait avoir des impacts sur le développement des variétés résistantes. En effet, certaines variétés créées par le CRA-W n'ont pas été développées commercialement du fait de l'absence de structure de promotion spécifique aux variétés du CRA-W, et de l'apparente impossibilité de créer une structure mixte composée des semenciers privés, des organisations SCAM et Wal.Agri et du CRA-W. (Voir 'Progem' p 188).

Les responsables des départements semences comme ceux des firmes semencières souhaitent limiter au maximum le nombre de variétés qu'ils vendent. Pour eux, le coût de gestion d'un large assortiment variétal est une donnée essentielle : la gestion de

mais aussi à long terme (aménagement de l'espace). [D'où vient cette proposition, elle est appliquée dans d'autres pays ?] En France, une étude l'a montré, il y a des très grandes différences d'efficacité entre les exploitations agricoles. Les agriculteurs ont un grand réseau social dépendant des responsables phytos, qui influencent leurs pratiques.. La marge de manœuvre est de 30% ! En Belgique, en Famenne, on a vu des agriculteurs mettre deux fongicides l'année où il y avait plein de soleil (Jean-François V., acteur hors filière mais lié à l'agriculture)

chaque variété (contrats de multiplication, triage, promotion,...) entraîne des coûts et des risques supplémentaires (produire des semences de variétés qui ne se vendront plus la saison suivante). Tous les gestionnaires semences estiment qu'ils devraient gérer moins de variétés, au maximum une vingtaine. Certaines variétés sont donc abandonnées pour des questions économiques ou stratégiques.

2) L'encadrement public des producteurs (R&D et vulgarisation)

En Wallonie, le principal pôle de la recherche agronomique et de l'encadrement des producteurs est à Gembloux. La Faculté Universitaire de Sciences Agronomiques de Gembloux (FUSAGx) et le Centre de Recherches Agronomiques de Wallonie (CRA-W) sont les principales institutions publiques d'encadrement de la filière céréalière, avec l'unité de Phytopathologie de l'UCL. Ces institutions collaborent à plusieurs niveaux (publication du *Livre Blanc Céréales*, essais variétaux, avertissements du CADCO,...).

Cette partie s'attache à analyser le rôle, direct et indirect, de ces institutions par rapport aux stratégies de lutte contre les maladies en général. C'est donc le type de recherche et de vulgarisation qui est analysé ici. On peut en fait observer quatre facteurs qui influencent négativement les stratégies préventives : 1) l'omniprésence du calcul du rendement brut et l'absence de celui de l'optimum économique 2) les conditions des essais agronomiques privilégiant le système cultural dominant 3) la quasi-absence des recherches sociales et socio-économiques à l'échelle macro.

L'omniprésence du calcul du rendement brut et l'absence de celui de l'optimum économique

Comme expliqué précédemment, le rendement brut a une importance fondamentale dans la prise de décision des producteurs. Il surpasse tous les autres critères lors du choix variétal. Pour les agriculteurs, le calcul de ce rendement brut est direct, facile, visible et standardisé. On parle de tonnes ou de "nombre de sacs" par hectare (antérieurement, on comptabilisait en sacs d'un quintal). Outre la facilité de calculer le rendement et son caractère essentiel dans la rentabilité de la culture, l'obtention du rendement maximum vient aussi d'une culture de prestige du rendement brut.

« Tu vas faire 105 sacs, t'es bien considéré par tes voisins, tandis que si tu fais 95 sacs, c'est moins bien. Alors que les 105 sacs coûtent plus cher que les 95. C'est une des conclusions de l'enquête : les agriculteurs réfléchissent encore en termes de rendement plutôt que de rendement économique ». (Jacques D., encadrement public et recherche)

« Je ne crois pas que ça intéresse les agriculteurs de faire autre chose. Ce qui compte, c'est de faire autant que le voisin, que dans le Sillon, ... » (Fabrice B., encadrement public et recherche)

Cependant cette recherche du rendement maximum d'une variété ou d'un système cultural, chez les agriculteurs, ne vient pas de nulle part. Elle est en fait l'objectif prioritaire de tous les acteurs : les producteurs, fournisseurs mais aussi l'encadrement public. La recherche du rendement brut maximum prend une telle place qu'elle minimise le calcul du rendement économique brut -la marge brute par ha- et donc l'intégration des coûts des intrants. Les blés hybrides, dont les rendements bruts sont très hauts, continueraient à être promus malgré que leurs résultats ne soient pas exceptionnels si on tient compte des coûts de productions. Ce type de vulgarisation, en

collant aux comportements des agriculteurs (la recherche du rendement brut maximal) au lieu de proposer une vision plus complète, est défavorable aux variétés résistantes.

[Pourquoi les variétés résistantes aux maladies ne sont pas les mieux vendues ?] C'est la vulgarisation qui est mal faite. On est encore dans la philosophie « c'est le rendement qui paie ». J'ai été à une séance d'information organisée par le CETA Ciney, le message était « Cultivez Mercury avec deux fongicides et 2 raccourcisseurs ». [Et quels seraient les conseils que vous donneriez aux agriculteurs ?] De cultiver une variété résistante avec des mesures agri-environnementales. (Olivier Q., encadrement public et recherche)

Les produits phytos exploitent la peur que la résistance diminue et s'effondre, et donc les agriculteurs ne font pas attention aux caractères de résistance. Seul le rendement compte. Avec les conditions économiques de production qui se dégradent, tout commence à compter. Donc mentalement on revient un peu. (...) On exploite la peur. On mise tout sur le rendement. Il suffit de regarder les publicités dans les journaux. (...) On ne fait pas le calcul économique. Car la marge économique on ne la fait qu'après-coup. (Olivier S., encadrement public et recherche)

Le calcul de l'optimum économique a une très faible importance dans les activités de la filière. Il est quasi absent du Livre Blanc (cfr pp 133-138) et il apparaît très peu dans les réponses des acteurs sur les maladies. Certaines personnes, interrogées précisément sur d'éventuelles études de la rentabilité économique des différents schémas culturaux, réagissent de manières très diverses. Pour les unes, de telles études n'existent pas à leur connaissance, pour d'autres, de tels calculs sont impossibles et ils se prononcent en défaveur de telles études, pour d'autres encore, de telles études existent bien mais ne donnent des résultats intéressants qu'après la récolte et sont donc inutiles pour les choix à faire avant le semis (choix variétal) ou durant la phase de croissance (application de fongicides).

Un calcul de l'optimum économique, faute de pouvoir être réalisé parfaitement, pourrait même être dangereux selon une autre personne. Le calcul du coût d'un traitement est en effet très variable, étant donné la différence de prix des produits. Un calcul économique pourrait alors faire croire que l'utilisation de produits bon marché est préférable, d'après cette personne. Cet argument est difficilement défendable quand on sait que tous ces produits sont étudiés séparément dans les essais présentés dans le *Livre Blanc*, laissant donc la possibilité d'ajouter un simple calcul économique pour chaque type de traitement et de produit.

Le calcul de l'optimum économique serait entre autres désavantagé car il fait intervenir un grand nombre de variables, comme le coût des intrants phytosanitaires ou la prise en compte (ou non) du coût d'un passage en champ pour traiter (chaque exploitant ayant par exemple son propre calcul pour la rémunération de ses heures de travail). Il serait donc plus difficile de créer une norme acceptable et utilisable par tous. Pour d'autres, ce calcul ne serait pas pertinent car dans une exploitation agricole, les frais variables (intrants) sont très faibles par rapport aux frais fixes (bâtiments, matériel, etc.).

[Est-ce qu'il y a des outils du style de « Proculture » pour calculer la marge brute en fonction des choix de variétés, de phytos, de fertilisation ?] .. Non, chacun a sa formule, sa manière de calculer. Un va compter son travail (un passage en champs), un autre pas. (Jean-Marc J., encadrement public et recherche)

[Les schémas raisonnés - intrants/variétés tolérantes ne seraient pas rentables ?] ... Ce qui coûte à un agriculteur, c'est pas les intrants, c'est l'investissement : le foncier, le matériel. Les agriculteurs voudraient qu'on diminue le prix des intrants...mais il y a plus de luxe dans leur tracteur que dans ma voiture, et des chevaux en trop. Il n'y a jamais eu autant de ventes de machines qu'en 2004. (...) On est des commerciaux, on vend aussi des .. Il faudrait voir X (...) Mais la réflexion n'est pas de vendre pour vendre. (Michel F., acteur économique de la filière céréalière)

Les études calculant l'optimum économique de certains itinéraires techniques à intrants réduits ont pourtant démontré des résultats intéressants pour les producteurs, comme la non-rentabilité d'un second traitement fongicide ou l'intérêt d'adopter des itinéraires techniques moins intensifs en intrants. Ce type d'étude est, par exemple, réalisé par les firmes sans être diffusé dans le Livre Blanc.

Comme expliqué par un acteur d'une organisation de fournitures, le calcul du rendement brut « *arrange tout le commerce* » :

*[Etudes sur la rentabilité économique ?] Oui on le fait. On a parfois des résultats qui montrent que c'est pas rentable de traiter.. Bon en général on ne diffuse pas ce genre de résultats. Mais il y a le côté assurance du traitement, la rouille ça peut causer des pertes de 50% du rendement... [Les schémas moins intensifs en intrants, c'est irréel/trop risqué/pas rentré dans les moeurs ?] C'est pas encore rentré dans les moeurs. Maintenant on va voir, avec la chute des prix. En 2003, on était à 140 euros la tonne, en 2004 c'est 90. Les prix diminuent, les défauts des fongicides augmentent. Le Livre Blanc, ils préconisaient 1 traitement il y a quelques années. Si vous écoutez cette année, on est revenu à 2, en tout cas ils sont plus prudents. Ils sont revenus à « coller à la réalité du terrain ». Luc Couvreur dans les essais CRA c'est deux traitements d'office. **On regarde toujours ce rendement maximum encore, jamais, pas encore assez l'optimum. Entre nous, ça arrange tout le commerce, les médias, la publicité des firmes phytos, et tout ça va dans le sens de la consommation. Tout le monde y trouve son intérêt** (René T., acteur économique de la filière céréalière)*

*On a deux types de commerciaux : ceux qui sont fort dans l'agriculture intensive et ceux qui sont pas dans les zones intensives. En zone céréalière, l'intensification a toujours été payante : deux fongicides et un raccourcisseur. **On choisit les variétés les plus performantes. [C'est un schéma gagnant du point de vue économique ?] Pas toujours je crois, je ne sais pas. On n'a pas toujours les chiffres.** (Michel F., acteur économique de la filière céréalière)*

Dans plusieurs pays, on fait trois traitements. Notre objectif... On voit que plus d'un traitement est injustifié d'un point de vue économique. La question essentielle, c'est à quel moment mettre le seul traitement. C'est l'objectif de Proculture. (Joseph D., encadrement public et recherche)

Cette omniprésence du calcul du rendement brut en défaveur du calcul de l'optimum économique a des impacts sur les stratégies des agriculteurs. En mettant l'accent sur le rendement brut, et en occultant le coût des intrants et des passages, on dévalorise les variétés tolérantes qui sont peut-être moins productives, mais peuvent éventuellement être plus rentables avec un seul ou aucun traitement fongicide.

La réponse à la question de savoir si ce calcul de l'optimum économique est fait par les agriculteurs eux-mêmes est ouverte. Pour certains, il est évident que les agriculteurs le font. Pour beaucoup d'autres, c'est le calcul du rendement brut qui prime, comme le

montrent d'ailleurs les résultats de l'enquête sur les critères de choix variétal. Dans tous les cas, il est improbable et techniquement difficile que le producteur calcule lui-même en termes d'optimum économique les résultats de toutes les variétés disponibles et des différents itinéraires techniques possibles.

Il est néanmoins indéniable que les efforts pour promouvoir un tel calcul de la part des acteurs de l'encadrement public des producteurs sont très faibles, comparativement à ceux faits pour calculer le rendement brut. Les arguments en défaveur du calcul de l'optimum économique provenaient majoritairement d'acteurs proches du secteur des phytos (tant du côté public que privé) tandis que les personnes proches du côté variétés ou maladies y sont plus favorables.

La baisse du prix des céréales stimulerait néanmoins les fonctionnaires et chercheurs à aller dans ce sens.

[Au fond, il y a beaucoup d'efforts qui sont faits pour montrer aux producteurs la différence entre rendement en kilos et rendement économique ?] On vient d'une longue tradition de réflexion sur le rendement grain uniquement. Alors que telle variété produit peut-être moins mais coûte moins cher. C'est un mouvement qui va croissant. Il y a huit ans, on nous prenait pour des gusses, des chercheurs qui sortent de leur labo. Mais avec les prix qui descendent, les contraintes qui augmentent (contrôle des pulvérisateurs, local phytos,...), et les prix des phytos qui augmentent... On est mieux écoutés ! (Jean-Marc J., encadrement public et recherche)

La réduction du prix de vente des céréales est l'élément économique qui influence progressivement les pratiques agricoles depuis des années. Les modifications de la politique agricole commune et l'évolution des cours sur les marchés agricoles internationaux ont en effet provoqué une baisse continue du prix des céréales pour le producteur. Le prix du froment panifiable était soutenu et en hausse jusqu'en 1983 (226 €/T), mais depuis, il a diminué constamment (111 €/T en 2000) pour arriver à des minima (90-95 €/T en 2004-2005). Pour la saison 2004-2005, la différence de prix entre froment panifiable et fourrager est devenue minime ou inexistante (Conseil Supérieur Wallon de l'Agriculture, 2002 ; Synagra, 2005). Le prix de l'escourgeon suit la même tendance. Cette tendance à la baisse n'est pas dénuée d'exception : le prix est remonté à un maximum de 142 €/T lors de la saison 2003-2004 (baisse de l'offre en France et Allemagne, tous deux affectés par la sécheresse). On observe, par ailleurs, une augmentation des charges opérationnelles (coût des semences, engrais, produits phytosanitaires et frais divers) qui passent de 302,4 €/ha durant la campagne 1994/05 à 336,7 €/ha en 2000/01. Cette hausse est principalement due à l'augmentation des charges des produits phytosanitaires (qui passent de 124 € à 162 €/ha) (Groupe de travail de la filière "Céréales" et Unité d'économie et de développement rural, 2003).

En dessous d'un certain prix et en tenant compte des coûts de production élevés, les essais expérimentaux et l'analyse de l'optimum économique démontrent que la maximisation du rendement n'assure plus systématiquement la meilleure marge brute (Dekeyser et al., 2002 ; Felix et al., 2005 ; Rolland et al., 2005). Ce sont des itinéraires techniques moins exigeants en intrants qui atteignent l'optimum économique.

Optimum, risque, et moyenne

Enfin, il faut noter que, bien que la recherche de l'optimum économique semble un objectif rationnel, d'autres critères entrent en jeu, dont celui du risque de perdre complètement la culture. On parle en fait davantage de « sécurité de rendement » (sécurité d'atteindre le rendement) que de risque. Cette sécurité de rendement est un critère traduit dans la filière par la résistance à la verse, principal risque de voir la récolte anéantie.

La littérature économique scientifique a depuis longtemps traité la question du comportement des agriculteurs par rapport au risque. Il a été démontré que les agriculteurs ont des comportements variables vis-à-vis de celui-ci (certains sont plus averses au risque que d'autres) (Gotsch and Regev, 1996). Or, cette question n'est pas prise en compte par les acteurs de la filière. Il est clairement supposé que la stratégie de maximisation du rendement par une double protection fongicide est celle qui maximise le profit et minimise les risques. Or, pour confirmer une telle hypothèse, il faudrait évaluer si ce choix, historiquement, est gagnant du point de vue du producteur. Cette évaluation ex post n'est pas faite.

A contrario, on peut soulever la question suivante : *Pour un agriculteur, est-il économiquement préférable de cultiver des variétés résistantes/tolérantes chaque année pendant 5 à 10 ans, en choisissant, par exemple parmi les dix plus résistantes à toutes les maladies ?* Cette question-là, les nombreuses recherches expérimentales effectuées publiées dans le Livre Blanc, ne se la posent pas, et donnent très peu d'éléments permettant d'y répondre. Y a-t-il perte ou gain de rendement avec un choix systématique de variétés résistantes ? Celles-ci permettent-elles réellement de se passer du deuxième traitement fongicide ? Permettent-elles d'atteindre, en moyenne, l'optimum économique ? Se comportent-elles mieux ou moins bien lors d'épidémies importantes ?

Ces questions sont essentielles, d'autant plus que les principaux conseillers techniques qui mènent les essais variétaux pointent justement la sécurité de rendement comme un des atouts des variétés résistantes. Celles-ci résistent en effet mieux aux niveaux élevés de maladies.

Les conditions des essais de variétés privilégient le système cultural dominant

Il découle du précédent point que le système cultural qui maximise le rendement brut est privilégié par la vulgarisation au sein de la filière. Les conditions techniques des différents essais variétaux mis en place en Wallonie ont elles aussi des effets sur certaines des stratégies, comme celle de l'utilisation de variétés résistantes.

Il y a trois types principaux d'essais variétaux influents sur la filière : les essais d'homologation (essais des nouvelles variétés qui font partie du processus officiel d'homologation), les essais chez les agriculteurs (« essais de Luc Couvreur ») et les essais du site expérimental de Lonzée (essais FUSAGx-CRA). A côté de ceux-ci, il y a aussi les essais menés par l'unité de phytopathologie de l'UCL (particulièrement importants dans le cas de la septoriose, mais rarement publiés dans le Livre Blanc.), les essais des centres agricoles provinciaux et ceux des firmes semencières et des organisations SCAM et Wal.Agri.

Les conditions des trois premiers types d'essais -les plus importants dans la filière- sont décrites ci-dessous avant d'en analyser les effets indirects.

Les essais d'homologation

Les nouvelles variétés doivent passer des essais de "valeur culturale et d'utilisation" dans le cadre du processus d'homologation des variétés. Le protocole de ces essais est resté inchangé depuis sa création alors que les pratiques des agriculteurs ont elles évolué. Ainsi, les essais sont menés sans protection fongicide (on n'en utilisait pas à l'époque) mais à un degré de fertilisation comparable à la pratique agricole. Les variétés sont testées sur les critères de rendement, de résistance à la verse, au froid et aux maladies, de qualité, etc. Une note globale reflétant la performance de la variété est attribuée à chaque variété. Elle résulte d'une pondération des avantages et inconvénients de la variété pour chaque critère. La variété n'est inscrite au catalogue que si le score de la note globale est positif, indiquant une originalité de la variété par rapport aux variétés existantes actuellement. Le Livre Blanc publie chaque année les résultats des essais d'homologation sans toutefois indiquer la note "globale" de la variété, ce qui est étonnant. Ces résultats sont cependant peu consultés par les producteurs étant donné l'éloignement des conditions des essais par rapport à leurs pratiques.

Les essais chez les agriculteurs « de Luc Couvreur » et les essais FUSAGx-CRA

Les essais qui intéressent le plus les agriculteurs et les autres acteurs de la filière sont « les essais de Luc Couvreur ». Luc Couvreur est attaché scientifique à la Section Obtentions Végétales du CRA-W. Il coordonne les résultats d'un réseau d'essais de variétés mis en place chez des agriculteurs.

Deux traitements sont systématiquement appliqués dans ces essais. Cette pratique est en désaccord avec les conseils fréquemment diffusés, qui stipulent que l'application d'un second traitement n'est utile que dans certaines conditions mais n'est pas rentable en moyenne (le second traitement n'est utile que si son coût est inférieur au gain de rendement qu'il entraîne).

Ce double traitement des essais serait cependant doublement justifié. D'une part, il est nécessaire de protéger toutes les variétés présentes dans la parcelle de l'essai : techniquement, il faut donc traiter deux fois pour protéger tant les variétés précoces que les variétés tardives, qui peuvent être sensibles aux maladies à des stades de croissance différents. D'autre part, l'objectif principal de l'essai est d'évaluer le potentiel de rendement des variétés : il faut donc protéger la plante au mieux pour empêcher les éventuelles pertes liées aux maladies. La logique est donc de tester le potentiel maximum de la variété, pas son aptitude dans des conditions moyennes. Enfin, le prestige d'avoir des « beaux champs » joue aussi.

Je ne pourrais pas faire qu'un seul traitement. ... Les agriculteurs veulent aussi montrer de beaux essais . Je demande deux traitements... [Pourquoi je fais deux fongicides ?] J'évalue le potentiel de rendement, donc je dois protéger tout au

cours de la période de végétation. Attention, je fais 4 répétitions, 1 pas traitée. Si j'avais les moyens, je ferais plus comme Maraite avec une dizaine de variétés (ndlr : en comparant avec des schémas culturaux plus ou moins intensifs en intrants) (Luc Couvreur)

Les essais FUSAGx-CRA sont réalisés sur une plate-forme d'essais financée par la Direction du Développement de la DG Agriculture. Ces essais se font en conditions de fertilisation et de protection phytosanitaire comparables à celles des exploitations agricoles intensives.

Influence des conditions expérimentales des essais sur le choix variétal et le développement des variétés résistantes

Les conditions de ces essais variétaux ne sont pas neutres : elles ont des effets indirects sur les pratiques agricoles, notamment l'utilisation des variétés résistantes.

Les effets des conditions des essais d'homologation sont directs et indirects.

Directement, l'absence de traitements favorise les variétés résistantes aux maladies, qui se classent mieux que les variétés sensibles dans ces conditions adverses. Cet effet pourrait cependant être faussé par les conditions de fertilisation des essais. Certaines variétés résistantes, sélectionnées pour être plus rustiques, sont basées sur une résistance polygénique. Leur résistance aux maladies est donc partielle, ce qui signifie que les maladies provoquent bien des dégâts sur ces variétés, mais en dessous d'un seuil économiquement acceptable. Les normes et calculs des essais d'homologation ne tiendraient cependant pas compte de cette donnée et seraient plutôt à l'avantage des résistances complètes (monogéniques). Les variétés rustiques nécessiteraient en fait des conditions de fertilisation faible ou moyenne, et l'acceptation d'un seuil économique de dégâts pour exprimer leur plein potentiel par rapport aux autres variétés. Elles sont donc défavorisées par les conditions de fertilisation qui avantagent des variétés à très fort potentiel de rendement. La conséquence est donc un paradoxe : les variétés résistantes qui pourraient être les plus intéressantes ne sont pas classées parmi les meilleures.

Indirectement, les conditions des essais permettraient à court terme d'éviter que les firmes semencières ne soumettent des variétés trop sensibles aux maladies, et à long terme que les critères de résistance soient progressivement pris en compte à leur juste importance par les firmes semencières.

Les essais de Luc Couvreur ont une importance encore bien plus grande. Selon une majorité d'acteurs rencontrés, ses essais « *font la pluie et le beau temps* ».

Les choix techniques se font en fonction des essais de Luc Couvreur, des essais du CARAH et du CHPTE, des essais Arvalis, de nos essais. (...) Luc Couvreur fait la pluie et le beau temps. Il dit que non, mais c'est vrai. Il a ses essais, il est invité. Tout le monde l'écoute. Même moi ! Les premiers à écouter, c'est la profession, la distribution. J'appelle Luc pour avoir un avis objectif avant d'appeler la société... (Michel F., acteur économique de la filière céréalière) Luc Couvreur il fait deux traitements. On regarde l'optimum de rendement, pas l'optimum économique. (René T., acteur économique de la filière céréalière)

Luc Couvreur diffuse les résultats de ces essais lors de conférences en septembre, avant la période de semis. Un classement des variétés est systématiquement établi et présenté pour le rendement, la stabilité du rendement, la sensibilité aux maladies et la qualité⁴⁰. In fine, le conseil donné par Luc Couvreur aux producteurs lors de ces conférences est de planter la moitié de leurs terres avec les deux variétés qui ont obtenu les meilleurs rendements sur les terres de l'agriculteur, une autre petite moitié avec une variété choisie dans celles qui se classent bien selon ses essais, et le reste (10%) en choisissant dans les toutes nouvelles variétés.

[Qu'est ce qui fait qu'une variété est un succès ou un échec ?] Vous voulez dire comment les agriculteurs choisissent ? ... Je donne 10 conférences en septembre depuis 15 ans, je sais ce qu'ils veulent... Je présente des résultats, mais surtout orientés vers le conseil. Les résultats sont basés sur 2-3 ans pour ne pas réagir juste par rapport à l'année écoulée. Les critères sont 1) le rendement 2) la sécurité de rendement, c'est-à-dire la résistance à la verse 3) et puis après seulement la résistance aux maladies et au gel. Et enfin la qualité. J'ai peur car beaucoup d'agriculteurs se basent sur mes résultats. (...) Ce que je fais comme conseil aux agriculteurs, c'est de planter à 50% les deux variétés qui font les meilleurs rendements chez eux + un peu moins de 50 % avec les variétés qui se classent bien, 10% essayer les toutes nouvelles variétés « un peu de fantaisie » (Luc Couvreur)

En adoptant comme « traitement de référence » un double traitement fongicide et une forte fertilisation, les essais de Luc Couvreur et ceux de la plate-forme FUSA-CRA confirment aux agriculteurs que le double traitement est la méthode à suivre. Ces conditions permettent aussi aux variétés sensibles d'atteindre leur plein potentiel de rendement brut, sans faire le calcul de l'optimum économique, en annulant donc les avantages des variétés résistantes. Il est par conséquent difficile de tester à leur juste valeur des variétés résistantes qui atteignent leur optimum dans des situations différentes de la situation standard, par exemple des systèmes à intrants réduits.

On a fait des essais avec une fumure moindre, des intrants fort/moyens/faibles, un screening de variétés. Il y a eu une controverse (...) autour de ces essais. (...) Adrien Dekeyser, il sent qu'il est très difficile de faire passer ses résultats : les niveaux de fumure ne conviennent pas. Ces variétés sont discréditées alors qu'il faudrait en fait plus d'informations sur les conditions dans lesquelles se font chaque essai (fumure, précédent,...). Si lui ne vulgarisait pas lui-même, il n'y aurait pas de diffusion aux producteurs. [Quelle vulgarisation fait-il ?] Les encarts dans le Sillon Belge. [Il ne publie pas beaucoup dans le Livre Blanc...] Il n'a pas été très content de la censure... Il veut que les niveaux de fumure soient indiqués. Il veut que ce soit présenté dans les travaux des autres essais, c'est un combat... (Jean-Marc J., encadrement public et recherche)

Etant donné que les essais de Luc Couvreur donnent le ton pour les décisions de tous les acteurs de la filière (le choix variétal des producteurs, mais aussi les décisions des semenciers sur les quantités de semences à préparer pour les surfaces de multiplication de semences), il y a un auto-référencement dans l'amélioration variétale, qui contribue à

⁴⁰ Les résultats ne sont pas publiés par écrit : il estime que ses résultats ne sont pas assez solides pour risquer de dévaloriser l'une ou l'autre variété qui se trouverait en bas de classement.

ancrer le principal itinéraire technique au lieu de tester réellement les potentialités des itinéraires à intrants réduits.

Les promoteurs des variétés résistantes expriment d'ailleurs l'impression d'un conservatisme au sein du milieu de la recherche et de l'encadrement par rapport à la question du niveau d'intensivité de l'agriculture en intrants (fertilisants et produits phytosanitaires).

Enfin, l'abondance des essais pourrait être contre-productive. Des essais sont organisés par plusieurs organisations sans adopter un protocole et une communication standard. Ils seraient trop nombreux et trop peu lisibles par les producteurs pour être vraiment efficaces et donner une information claire au producteur. (L'analyse du Livre Blanc confirme cet avis). Celui-ci serait « noyé » par le nombre de résultats dans le *Livre Blanc* et se tournerait donc vers son délégué commercial, interlocuteur privilégié comme cela a été mentionné plus haut.

L'agriculteur est complètement noyé d'informations, il n'a pas le temps de décrypter(...) Dans le Livre Blanc, tous les éléments ne sont pas toujours là pour qu'on puisse interpréter les résultats. Déjà on trouve ça en tant que scientifique, alors en tant que producteur (Jean-Marc J., encadrement public et recherche)

Enfin, les acteurs de l'encadrement public escomptent également que les résultats publiés dans le Livre Blanc soient diffusés par les délégués commerciaux des firmes. Il y a évidemment fort à parier que cette diffusion ne sera pas neutre (ce qui est presque normal).

La SCAM, Brichart, ils conseillent aussi les variétés, oui, .. L'agriculteur moyen est moins attentif au Livre Blanc qu'à leurs conseils. Mais le délégué des firmes est au courant du Livre Blanc, donc il ne va pas dire l'opposé non plus... (Jacques D., encadrement public et recherche)

Quasi-absence des recherches sociales et socio-économiques à l'échelle macro

La recherche publique sur les céréales est, à de très rares exceptions près, uniquement de la recherche agronomique expérimentale (expériences en laboratoire, en champs d'essais, modélisations, etc.). La réaction d'un des responsables au Centre de Recherches Agronomiques de Gembloux à une question à propos de l'existence d'enquêtes similaires à celle menée dans cette thèse, ou de recherches socio-économiques approfondissant le décalage entre conseils des scientifiques et pratiques des agriculteurs est éclairante à ce sujet :

[Y a-t-il des enquêtes sur les types de rotations actuellement menés ?] Pour les enquêtes, il faut aller voir les sociétés phytos, elles sont très bien renseignées, elles ont beaucoup d'enquêtes... (Patrick R., encadrement public et recherche)

Cette réponse est symptomatique d'un problème : on valorise peu les recherches sociales et socio-économiques en agronomie. Les seules enquêtes seraient donc celles que les firmes font, avec leurs objectifs propres. De la même manière qu'une attention plus grande à l'optimum économique peut contribuer à donner au producteur les informations utiles au meilleur choix variétal par exemple, les recherches en sciences sociales (enquêtes, focus group, entretiens approfondis,...), pourraient contribuer à une meilleure compréhension de certains aspects au niveau micro (comportements

individuels) et macro (fonctionnement de la filière) pour, in fine, mieux orienter l'action publique.

Par ailleurs, les questions sociales ou socio-économiques, comme la compréhension du décalage entre conseils des scientifiques et stratégies réellement appliquées par les agriculteurs, relèvent pour certains chercheurs de "la réalité agricole", comme si elles étaient des données intangibles.

[Quel est le suivi de ces recommandations sur les stratégies à adopter ?] Pour l'utilisation des variétés résistantes à la septoriose, les agriculteurs ne suivent pas vraiment. (...) Mais les agriculteurs ont encore des emblavements en Corvus, Biscay, des variétés meunières, qui exigent des fongicides. C'est la réalité agricole. (Joseph D., encadrement public et recherche)

Les recherches non expérimentales sont pratiquement inexistantes. L'adoption des mesures agri-environnementales a, par exemple, fait l'objet d'une seule étude, non pas strictement agronomique, et relativement classique et restreinte (Grosjean et al., 1999)⁴¹. A l'UCL, une enquête sur les pratiques des agriculteurs en matière de traitements phytosanitaires a été effectuée en 2002 auprès de 100 agriculteurs dans le Brabant Wallon (Marot et al., 2005). L'étude précédente du même type datait de 1980 (Duveiller, 1985). Aucune littérature n'a pu être trouvée sur la seule filière de qualité différenciée en froment (le Pain Bayard).

Faiblesse des données scientifiques sur trois domaines

Outre le manque d'intérêt pour les approches sociales et socio-économiques, on peut aussi relever une absence de données sur certains éléments qui semblent pourtant fondamentaux par rapport aux maladies : la généalogie des variétés, le type de rotation pratiquée et le niveau réel d'applications de fongicides par les producteurs.

Inexistence de données sur la généalogie des variétés

Le premier point sur lequel les connaissances scientifiques semblent très limitées est la généalogie des variétés cultivées en Belgique et en Europe. On sait que pour certaines maladies, l'homogénéité des cultures plantées dans une même région peut être un facteur aggravant les épidémies. En Wallonie, le nombre de variétés plantées est actuellement relativement grand, bien plus que par le passé d'ailleurs. Pourtant, rien ne permet à priori d'affirmer que cette diversité des variétés commercialisées repose sur une diversité des patrimoines génétiques de ces variétés.

Aucune des personnes rencontrées n'a pu me donner une référence sur la généalogie des variétés en Wallonie. Certaines personnes m'ont orienté vers d'autres personnes, qui infirmaient ensuite leur connaissance sur le sujet. La seule personne qui pouvait avoir des connaissances à ce propos, un ancien fonctionnaire du Ministère de l'Agriculture passionné par le sujet, expliquait qu'il n'y avait aucune publication sur ce sujet en Belgique.

⁴¹ L'étude en question est basée sur une enquête classique par questionnaires.

Faute de données explicites sur ce thème, les commentaires des personnes les plus au fait (améliorateurs, etc.) convergent vers une forte proximité génétique des variétés plantées.

Il y a quelques différences mais pas trop : l'arrière-fond génétique est très commun. Il y a très peu de sources de résistances pour introgresser. (Olivier S., encadrement public et recherche)

[Proximité génétique des variétés utilisées ?] Elle est extrêmement grande en céréales ! Les variétés de PBI sont proches... [Evolution des variétés plantées ?] On va vers une plus grande étroitesse, et oui, ça a un impact sur le risque de maladies. Il y a un article sur la rouille jaune qui montre que quand un gène (une variété) est plantée à plus de 5%, elle introduit une pression de sélection sur le parasite (Olivier Q., encadrement public et recherche) Non, nous on y a pas accès. Dekeyser dit que le background est faible et qu'au niveau de la résistance, il y a deux- trois sources de résistance. (Isabelle M., encadrement public et recherche)

[Patrimoine génétique pour septoriose ?] La base génétique est étroite en Europe : on croise entre cousins. Si on croise avec plus d'éloignement, on perd du rendement. (Grégoire B., encadrement public et recherche)

Enfin, il faut noter que si la généalogie des variétés n'est pas connue, la répartition des variétés plantées en Wallonie n'a également fait l'objet d'aucune publication ou rapport. On connaît le nombre de variétés inscrites au catalogue belge. On sait aussi que des variétés sont commercialisées par le catalogue européen (connaître le nombre de ces variétés demanderait un travail intensif sur la base de données de celui-ci), mais on ne connaît pas l'importance relative des différentes variétés commercialisées en termes de surface. Seul Luc Couvreur (CRA/Département Production Végétales) a compilé ces données par intérêt personnel jusqu'en 2001, sans avoir publié celles-ci.

Les données sont donc rares sur toute cette question de généalogie, de proximité génétique des variétés et d'utilisation des variétés. Or, la connaissance de la généalogie des variétés pourrait nous aider à savoir si les variétés plantées sont proches ou distantes sur le plan génétique (diversité des gènes de résistance,...) et en conséquence, d'évaluer l'ampleur des possibilités de progrès dans ce domaine. Cet enjeu semble d'autant plus important que les variétés sont commercialisées à l'échelle européenne. Les grandes firmes développent des variétés qui sont plantées dans les grands bassins céréaliers européens.

Biscay et Robigus ce sont des variétés internationales, les grandes variétés sont généralement plantées en Angleterre, Allemagne, France (Nord), Belgique, et même Hollande. [Ca a toujours été comme ça, que les variétés soient les mêmes partout ?] Oui... les variétés anglaises dominent le marché, elles sont bonnes pour la production, les allemandes sont plus pour la qualité. Les anglais, ils s'en foutent un peu de la qualité, ils font des blés fourragers... (René T., acteur économique de la filière céréalière)

Inexistence des données sur rotations (courtes, longues, favorables ou défavorables)

Certains schémas de rotation, on l'a vu, sont clairement favorables aux maladies (les précédents maïs et blé pour les mycotoxines, les blés sur blés pour les piétins, les rotations courtes en général). Pour évaluer et comprendre l'ampleur du problème des

rotations défavorables, il semble donc important de pouvoir disposer de données quantitatives sur ces pratiques : la proportion de précédents maïs et froment, la proportion de rotations courtes et l'impact de celles-ci sur l'incidence de différentes maladies, l'analyse des contraintes des agriculteurs en termes de rotations, etc. Or, la faiblesse des données quantitatives sur les rotations est réelle.

Interrogés sur ce type de données, aucun des chercheurs interviewés n'a par exemple pu donner des références d'études à ce sujet, hormis celle citée pour le cas spécifique de la fusariose (Chandelier et al., 2003, 2005). L'absence de telles données est expliquée par la complexité d'étudier ces phénomènes suite aux modifications rapides dans les pratiques de rotations (augmentation des cultures industrielles sur contrats) ainsi qu'aux modifications dans les politiques agricoles (quotas, ..). En fait, il n'y a pas de réelle motivation pour disposer de telles données. L'exemple du précédent maïs défavorable à la fusariose l'a montré : certains agriculteurs sont contraints de ne pas appliquer les pratiques préventives de diminution du risque de maladies et les scientifiques considèrent qu'il est impossible de les influencer sur ce plan là. Comme la réalité agricole est prise comme donnée intrinsèque, la récolte de ces données est de moindre importance.

Une meilleure connaissance de toutes les interactions entre rotations (courtes, longues, etc.) et incidences des maladies (fusariose, septoriose,...) permettrait pourtant peut-être de mieux orienter les conseils aux agriculteurs en connaissant l'ensemble des schémas les moins risqués.

Inexistence des données sur les stratégies d'applications de fongicides

Comme pour le cas des rotations, on remarque également une faiblesse des données quantitatives sur les stratégies d'application de fongicides par les producteurs. Les chercheurs des centres de recherche publics interrogés orientent vers les firmes des produits phytosanitaires pour ce type d'enquête. Or, celles-ci ne possèdent que des données sur la quantité de matière active utilisée. D'autres données pourraient pourtant être intéressantes pour analyser et comprendre le problème afin d'orienter mieux les producteurs. Par exemple : le nombre de traitements est-il une donnée constante pour un producteur (une stratégie socio-économique délibérée) ou bien le producteur adapte-t-il sa stratégie chaque année et pour chaque parcelle (stratégie changeante) ? Les producteurs qui traitent deux fois produisent-ils dans un objectif de production différent de ceux qui traitent une seule fois ?

Des données sur ces trois points (variétés, rotations et fongicides) existent peut-être sans avoir été citées par aucun acteur, ou sont publiées pour d'autres régions d'Europe. L'expérience modeste de cette étude atteste au moins de la faiblesse de la recherche, au sein des communautés scientifiques encadrant la filière céréale, sur ces aspects et, de manière plus générale, sur l'explication des causes de non utilisation des stratégies de lutte et prévention contre les maladies.

3) Décalages entre enquête et analyse du Livre Blanc

L'analyse du contenu du Livre Blanc et l'enquête auprès des acteurs aboutit aux mêmes conclusions, à quelques importantes exceptions près.

Dans la majorité des cas, la similitude entre les discours des acteurs lors des entretiens et le contenu du Livre Blanc est presque parfaite en ce qui concerne les stratégies conseillées aux agriculteurs. Ceci est vrai tant pour les stratégies conseillées par rapport au risque de fusariose que pour les conseils préventifs en matière de maladies en général.

Concernant l'importance du problème posé par la fusariose et ses conséquences, quelques différences ont été observées. Certaines personnes rencontrées ont laissé entendre que les problèmes de mycotoxines étaient fort importants en Wallonie, en citant par exemple le risque de ne plus pouvoir produire des blés valorisés dans les filières « babyfood ». Les deux derniers articles de la spécialiste de la fusariose en Wallonie contredisent ces propos alarmants : *les froments d'hiver ne sont pas à l'abri d'une contamination mais, dans la grande majorité des cas, les taux de contamination restent inférieurs aux seuils d'action proposés par l'UE*. (Chandelier, 2005).

Dans le cas des mesures agri-environnementales (MAE), la différence est bien plus nette. Les résultats des MAE sur les quatre dernières années montrent que le schéma cultural MAE est économiquement plus intéressant que le schéma cultural intensif. Ce résultat est exprimé très clairement dans la bibliographie (uniquement dans les sections consacrées au MAE) mais n'a pu être approfondi que lors d'un seul entretien et avec un acteur extérieur à la filière céréalière (le responsable agriculture d'IEW).

Enfin, des différences ont aussi été constatées en ce qui concerne le rôle de la fertilisation azotée dans les épidémies. Très peu d'acteurs ont cité une fertilisation excessive comme facteur aggravant les épidémies, ce qui contraste avec l'analyse qui en est faite dans le Livre Blanc (dans un article) : *L'apport modéré d'azote sur base de la méthode « livre blanc » permet de limiter les pertes par lessivage mais aussi de maintenir une végétation saine moins sensible aux accidents de verse et aux maladies cryptogamiques. De plus, cette fertilisation raisonnée garantit un rendement agronomique satisfaisant et une bonne qualité technologique du froment* (Buyze et al., 2003).

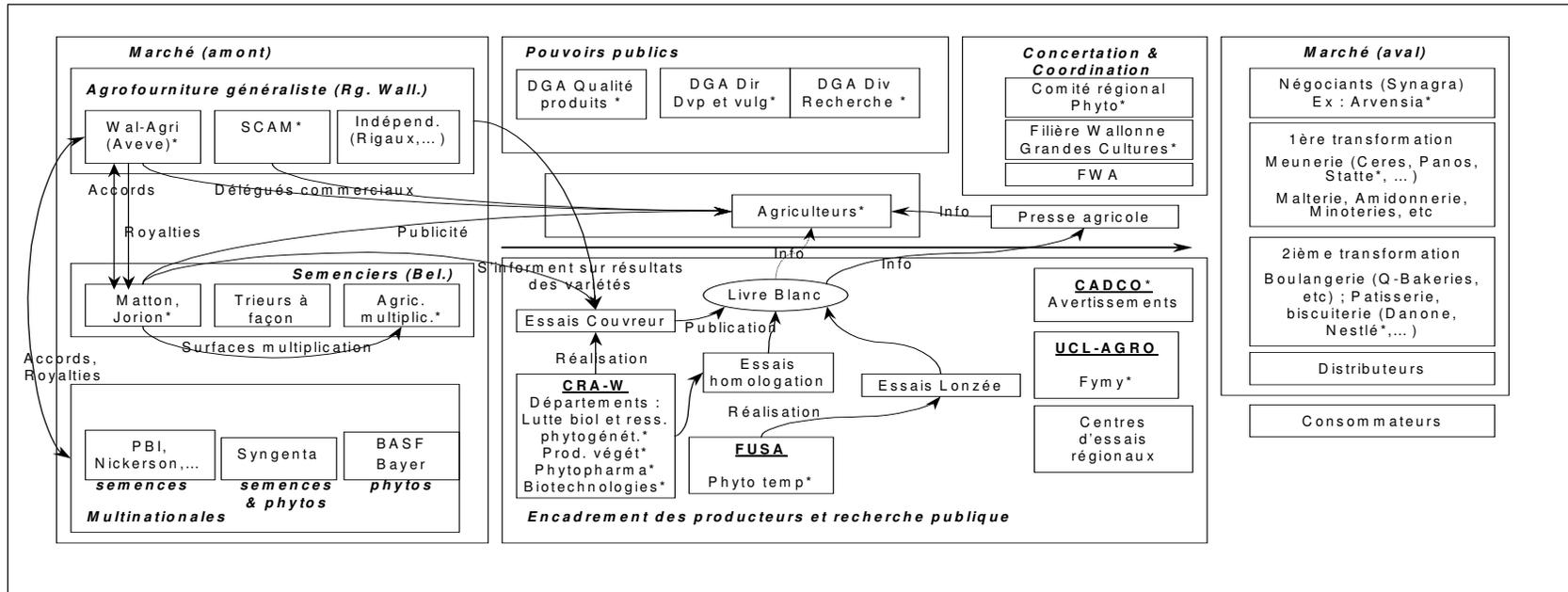
On peut donc se poser la question de savoir si l'approche proposée dans le Livre Blanc par rapport à la gestion des maladies est 'systémique'.

La réponse est 'oui' si l'on considère les stratégies de lutte et de prévention conseillées. Une approche intégrée est clairement conseillée, par exemple dans la présentation des facteurs à considérer pour le choix variétal, les stratégies contre la fusariose, etc. Certains articles, comme ceux consacrés à la fusariose, font le tour du sujet d'une manière que l'on pourrait qualifier d'intégrée, en considérant les aspects techniques, socio-économiques, réglementaires, etc. En revanche, la réponse est 'non' si l'on analyse les résultats des recherches expérimentales présentées en estimant que les résultats chiffrés de celles-ci sont probablement les informations réellement utilisées par les lecteurs. L'accent principal reste mis sur le rendement brut et met de côté une approche basée sur l'optimum économique alors que les conclusions de ces deux approches diffèrent. La prise en compte des atouts variétaux en termes de résistance est partielle et la comparaison avec des systèmes agraires moins intensifs en intrants est minoritaire.

Cette analyse du rôle de l'encadrement public n'est pas anodine. Elle peut être reliée à une des plus importantes théories de la communication. Cohen (1963) a fait une

observation largement acceptée sur les médias : *“the press is significantly more than a purveyor of information and opinion. It may not be successful much of the time in telling people what to think, but it is stunningly successful in telling its readers what to think about”*. Les différents éléments qui caractérisent les activités de l’encadrement public –principalement le calcul systématique du rendement brut et non de l’optimum économique, et une recherche appliquée effectuée principalement sur un itinéraire technique intensif en intrants -, lorsqu’ils sont mis ensemble, aboutissent en effet à attirer l’attention sur certains paramètres plutôt que sur d’autres. La conséquence en est un faible signal positif sur l’intérêt des variétés résistantes.

Figure 10 : Flux d'informations sur les essais des variétés (Non-exhaustif)



C. Synthèse : Les obstacles à l'utilisation des stratégies préventives

L'analyse démontre que la fusariose pose des questions d'ordre agronomique, économique, environnemental et de santé publique. Les conséquences néfastes sont limitées la plupart du temps mais existent réellement lors des années à risque et dans le cas de pratiques agricoles risquées. Individuellement, la fusariose peut être gérée en Wallonie par chaque producteur la plupart du temps. La gamme des stratégies de lutte et de prévention est en effet suffisamment large pour prévenir le risque dans une majorité des cas, mais sans garantie de non contamination lors des années à risque. Au plan global et en considérant la possibilité de fortes contaminations lors des années à risque, le problème est cependant bien réel.

Alors que la seule stratégie d'intervention directe (l'utilisation de fongicides) n'est pas dénuée de problèmes (efficacité faible, voire effets néfastes), plusieurs stratégies préventives ne sont pas mises en œuvres (rotations, variétés résistantes). La non utilisation de ces stratégies peut être expliquée par plusieurs éléments et l'analyse doit dépasser les arguments évidents au niveau micro pour pouvoir englober également les causes plus fondamentales.

Les facteurs de non utilisation des stratégies préventives sont d'ordre technique mais aussi socio-économique. Ils agissent soit au niveau micro (l'exploitation agricole) soit au niveau macro ou systémique (la filière en elle-même). Ces éléments ont été abordés précédemment (synthèse voir *Tableau 11 : Contraintes liées à l'utilisation des quatre stratégies principales par les producteurs (synthèse)*. p 156 et *Tableau 12 : Facteurs systémiques expliquant l'écart entre stratégies conseillées et pratiques agricoles* p 157).

Le Tableau 13 synthétise l'efficacité des différentes stratégies de lutte et de prévention, leur utilisation par les agriculteurs et le rôle des différents acteurs (privés et publics) par rapport à l'utilisation de ces stratégies. Certains facteurs agissant de manière négative sur les stratégies (ou sur le développement des innovations) proviennent en effet parfois de certains acteurs de la filière eux-mêmes, de manière directe ou indirecte, volontaire ou involontaire.

Tableau 13 : Synthèse du rôle des différents acteurs dans l'utilisation des stratégies par rapport à la fusariose et aux maladies cryptogamiques en général

Stratégies	Efficacité (selon les acteurs et la littérature)	Utilisation par les producteurs	Rôle des acteurs économiques privés (agro-fourniture généraliste : vente intrants et variétés)	Action des pouvoirs publics à l'échelon régional (encadrement des producteurs, recherche, réglementation, ...)
Stratégies principales				
Rotation non risquée	Forte	Moyenne [30% de non respect de la stratégie (de précédent maïs) selon Chandelier et al. (2005)]	-	Recherche sur l'impact de ces pratiques sur la fusariose et la contamination en mycotoxines Promotion de l'utilisation de ces stratégies [Voir Section 3.B] Action générale va <u>dans</u> le sens de l'utilisation des stratégies mais avec des nuances, voir analyse [Section 3.B]
Travail du sol	Forte	Forte [9 % de non utilisation (de non-labour) selon Chandelier et al. (2005)]	-	
Choix variétal	Forte	Moyenne [7 variétés 'moyennement ou faiblement résistantes' sur 24 évaluées en 2004, représentant 20 % des échantillons (Section 3.A.3.)]	Action générale va à l'encontre de l'utilisation de la stratégie [Section 3.B]	
Utilisation de fongicides	Moyenne à faible	Données quantitatives inconnues. Utilisation forte si météo favorable à la maladie [Traitement systématique à l'épiaison]	Action générale va <u>dans</u> le sens de l'utilisation de la stratégie [Section 3.B]	
Stratégies secondaires				
Niveau de fertilisation adapté	Nulle à faible	Données quantitatives inconnues. Fertilisation 'raisonnée' prépondérante (basée sur un calcul de la dose optimale pour la culture)	Action générale va à l'encontre de l'utilisation de la stratégie [Promotion de l'utilisation des fertilisants]	<u>Pas de recherche</u> spécifique sur l'importance de ces stratégies/facteurs de risque <u>Pas de promotion</u> de ces stratégies car elles ne sont pas considérées comme des stratégies
Non utilisation d'un régulateur	Nulle à faible	Nulle à faible [utilisation quasi systématique d'un régulateur sauf 0,5% des superficies dans le cadre des MAE]	Action générale va à l'encontre de l'utilisation de la stratégie [Promotion de l'utilisation des régulateurs]	
Densité de semis adéquate	Nulle à faible	?	-	
Date de semis	Nulle à faible	?	-	

Remarque : l'importance 'nulle ou faible' des quatre stratégies secondaires ne doit pas être mal comprise : il s'agit de l'efficacité 'selon les acteurs de la filière', qui peuvent sous-estimer celle-ci. Par ailleurs, il faut toujours tenir compte du fait que l'efficacité générale est une combinaison de différentes stratégies et choix.

4. La filière face aux maladies cryptogamiques demain : les voies d'innovations (2005-2020)

Comment la fusariose sera-t-elle maîtrisée demain, étant donné que celle-ci prend une ampleur croissante dans les soucis et activités des acteurs de la filière céréalière suite à l'attention grandissante portée sur les effets néfastes des mycotoxines ? Le risque alimentaire pour les consommateurs, les contraintes réglementaires, les risques socio-économiques pour les acteurs de la filière entraînent une pression pour innover face à ce problème.

De manière plus large, quelles sont les différentes *voies d'innovations* pour résoudre demain le problème des maladies cryptogamiques (fusariose, septoriose, rouilles, etc) dans les champs de froment ? L'incertitude sur les prix des céréales, l'augmentation des charges et d'autres facteurs comme l'opposition des consommateurs à l'utilisation de fongicides conduisent à des nécessités et des opportunités d'innovation en matière de gestion des maladies.

C'est à ces deux questions que s'intéresse cette section, ainsi qu'à deux questions plus spécifiques :

- Comment les auteurs scientifiques et les acteurs de la filière évaluent-ils le potentiel des différentes voies d'innovations ? En fonction de quels arguments, de quel référentiel ?
- Comment ces voies d'innovations s'insère(ro)nt-elles dans la filière ? Quels acteurs portent quelles innovations ? Quels sont les facteurs qui agissent positivement ou négativement sur le développement de chaque voie d'innovations ?

Les différentes voies d'innovations sont analysées en commençant par les innovations technologiques principales et secondaires et en poursuivant avec les innovations institutionnelles et politiques.

A. Gamme des voies d'innovations technologiques

La revue de la littérature et l'enquête auprès des acteurs –ainsi que l'expérience de la première étude de cas d'une autre maladie cryptogamique- ont permis de distinguer les six voies d'innovations qui permettraient d'améliorer la gestion des maladies cryptogamiques dans le futur.

Les acteurs ont été interrogés de la manière suivante : « *A côté des blés transgéniques, quelles sont les autres voies d'innovations, si on se situe à un horizon de 15 ou 20 ans, pour résoudre le problème de la fusariose, de la septoriose, des maladies en général ?* »⁴². Ce sont principalement les chercheurs et les fonctionnaires du CRA-W qui ont donné des réponses à ces questions, mais pas uniquement.

⁴² Cette question reflète l'objectif initial de la recherche (évaluer la pertinence de blés transgéniques), qui avait structuré en partie le guide d'entretien. Les entretiens démarraient systématiquement par une introduction sur le contexte de la recherche. Il était expliqué que celle-ci se centrait sur la fusariose mais

Le Tableau 14 présente ces six voies d'innovations.

Les acteurs ont systématiquement discuté de deux voies d'innovations en plus de l'ingénierie génétique, abordée automatiquement dans les entretiens. Il s'agit de la phytopharmacie (les nouveaux fongicides) et de l'amélioration variétale classique (nouvelles variétés plus résistantes). Ces trois premières voies d'innovations sont appelées voies d'innovations technologiques principales. Les acteurs ont ensuite été interrogés sur trois autres voies d'innovations : les mélanges variétaux, la lutte biologique et les produits éliciteurs de résistance induite. Ces trois voies sont appelées voies d'innovations technologiques secondaires.

Cette classification s'est faite de manière similaire à celle qui avait établi deux catégories dans les stratégies actuelles de lutte et de prévention contre les maladies (Voir p 140). Les différents facteurs qui ont influencé la catégorisation sont : le nombre d'acteurs à les avoir citées durant l'entretien et les commentaires faits sur l'importance de cette voie d'innovations (pour la partie enquête), ainsi que la présence ou l'absence de description de chaque voie dans les articles de review scientifique et les commentaires des auteurs sur celles-ci (pour la partie bibliographique).

Tableau 14 : Gamme des voies d'innovations technologiques par rapport à la fusariose et aux autres maladies cryptogamiques

Voies d'innovations	Principe agronomique
Voies principales	
1. Phytopharmacie	Obtention de nouveaux fongicides de synthèse, basés sur de nouvelles substances actives (nouvelles familles de molécules)
2. Amélioration variétale classique et moderne	Poursuite du processus de création de nouvelles variétés tolérantes ou résistantes par croisements classiques et avec l'aide de méthodes modernes (sélection assistée par marqueurs)
3. Génie génétique	Création de nouvelles variétés par transgenèse végétale
Voies secondaires	
4. Mélanges variétaux	La culture de mélanges de variétés dans une même parcelle permet de réduire l'importance des épidémies, par différents effets (diminution de l'inoculum, effet de barrière et de fréquence, résistance induite)
5. Lutte biologique (champignons antagon.)	Les principes de la lutte biologique (favoriser ou introduire les prédateurs des organismes pathogènes pour en limiter les populations) peuvent-ils être adaptés aux cas des maladies cryptogamiques en céréales ?
6. Eliciteurs de résistance induite	Les plantes possèdent leurs propres mécanismes de résistances, qui sont déclenchés par l'attaque du pathogène. Ces mécanismes peuvent être déclenchés par des produits d'origine végétale ou synthétique.

portait également sur la septoriose. Cet intérêt pour les deux maladies était rappelé à différents moments de l'entretien. En ce qui concerne particulièrement les innovations, la question portait sur « la fusariose, la septoriose et les maladies en général »

Chaque innovation est étudiée de la manière suivante :

- 1) description du principe biologique ou agronomique qui sous-tend la voie d'innovations
- 2) analyse de l'état de développement scientifique et commercial de cette voie d'innovations pour la fusariose et les autres maladies (principaux résultats expérimentaux, acteurs innovateurs, développements commerciaux, obstacles techniques) et
- 3) évaluation par les acteurs interrogés du potentiel de la voie d'innovations pour résoudre les problèmes de maladies, des avantages et inconvénients de l'innovation, et des facteurs de développement agissant en faveur ou défaveur de la voie d'innovations (stimulants et obstacles).

L'analyse approfondit particulièrement trois des six voies d'innovations : l'amélioration classique, le génie génétique et les mélanges variétaux. Ceci n'est pas un choix délibéré fait durant l'enquête (sauf pour le cas des fongicides), mais un résultat de la présence ou de l'absence d'informations sur ces voies dans les entretiens avec les acteurs. Ces trois voies concernent en fait toutes trois la semence, tandis que les trois autres concernent des interventions externes : application de fongicides, de champignons antagonistes ou d'éliciteurs de résistance induite.

B. Voies d'innovations technologiques principales

Les deux premières de ces voies d'innovations (nouveaux fongicides et nouvelles variétés) sont en continuité avec les stratégies de lutte actuelles. Ce sont néanmoins des voies d'innovations à part entière, et même les plus importantes. Dans cette partie-ci, les éléments abordés dans la Section 3 (stratégies de lutte et de prévention) ne sont plus repris : seuls les éléments neufs, spécifiquement liés aux aspects « voie d'innovations » sont étudiés.

1) Phytopharmacie (Nouveaux fongicides)

Les fongicides de synthèse ne sont pas efficaces éternellement. Leur durée de vie dépend des importantes capacités d'évolution des micro-organismes pathogènes, dont certaines souches deviennent plus ou moins rapidement résistantes aux substances actives des traitements fongicides. De nouveaux types de substances actives doivent donc être découverts.

Niveau de développement de la voie d'innovations

Dans les deux familles de fongicides concernées (les triazoles et les strobilurines), de nouvelles molécules sont en développement. Une nouvelle strobilurine développée par BASF est en phase d'homologation (elle serait efficace sur l'ensemble des fusarioses de l'épi) et un nouveau triazole est développé par Bayer : le prothioconazole, actif sur les *Fusarium* et sur *Microdochium nivale* (Gatel et al., 2004).

Dans le cas des fongicides, une revue de la littérature scientifique a peu d'intérêt. D'une part, la bibliographie scientifique est en retard par rapport aux données récoltées auprès des acteurs. D'autre part, les firmes privées ont des stratégies privilégiant le brevetage et

la commercialisation de leurs produits par rapport à la publication scientifique. Il y a peu de doute sur le fait que les firmes soient effectivement en train de développer de tels produits. La discussion technique sur ceux-ci est impossible pour les raisons évoquées ci-dessus.

Evaluation du potentiel selon les acteurs

Les acteurs de la filière évaluent le potentiel des futurs fongicides (pour résoudre à long terme la fusariose et les autres maladies) de manière très hétérogène. Certains font confiance à l'industrie phytopharmaceutique pour produire de nouveaux produits. D'autres s'interrogent sur la place des fongicides par rapport au problème particulier de la fusariose et dans le cadre d'une future agriculture moins intensive en intrants. Est également lié à cette appréciation le jugement de chaque acteur sur les risques de toxicité des fongicides de synthèse. Ceux-ci sont abordés de manière prudente, mais claire.

[A propos des conséquences de l'apparition de souches résistantes au strobilurine] A long terme les firmes phytos vont trouver une autre famille de fongicides. (...)(David F., encadrement public et recherche)

En fongicides, on traite depuis trente ans, c'est considéré comme indispensable, mais cela ne le sera peut-être plus. Cela ne fait jamais que trente ans... (Joseph D., encadrement public et recherche) [On attend des nouvelles molécules ?] Il y a quelques molécules qui arrivent, des bruits de couloir sur de nouvelles familles (mais cela voudrait dire pour 2010-2012). (Patrick R., encadrement public et recherche)

[En réponse à la question sur les innovations] Une autre voie serait de trouver des molécules, des biomolécules qui auraient une activité antifongique et des caractéristiques positives : efficacité, dégradation en molécules sans risques, qui n'ont pas de toxicité pour l'homme et le milieu, et considérer ces molécules comme une aide... [Les molécules d'aujourd'hui n'ont pas ces propriétés positives aujourd'hui ?] Elles n'ont pas que des caractéristiques positives... Même s'il est démontré, dans les études pour l'homologation, qu'il n'y a pas de risques métaboliques, il reste un doute... (Paul H., encadrement public et recherche)

La capacité des firmes à produire de nouveaux fongicides est controversée : selon certains, les firmes désinvestiraient de la recherche sur les fongicides suite aux difficultés croissantes pour l'agrégation des produits. D'autres évoquent une possible réorientation des budgets de recherche et développement des firmes phytopharmaceutiques en faveur des fongicides. Etant donné que les plantes transgéniques se substituant aux insecticides sont développées avec succès (plantes Bt) et que les herbicides totaux (glyphosate et glufosinate) utilisés en conjonction avec des plantes transgéniques résistantes semblent efficaces, l'investissement dans les insecticides et les herbicides devient moins rentable. L'investissement dans les fongicides aurait davantage d'avenir étant donné qu'aucune plante transgénique n'est commercialisée à ce jour et que le développement de celles-ci semble complexe.

Il faut cependant noter que deux éléments contextuels (l'échec des strobilurines et la faible rentabilité des cultures céréalières) et la spécificité de la fusariose (faible efficacité des fongicides contre cette maladie) ont entraîné, durant les interviews, des discours plus défavorables aux fongicides que les pratiques actuelles des acteurs de la filière. Les acteurs n'ont peut-être, de manière générale, plus confiance dans les

fongicides autant qu'avant mais le recours à ceux-ci pour traiter les maladies n'est pas remis en question.

2) Amélioration variétale conventionnelle et moderne

1) Niveau de développement de la voie d'innovations

La création de variétés résistantes à la fusariose est aujourd'hui une priorité, mais la résistance aux maladies (en général) n'a pas toujours été un objectif prioritaire.

L'objectif de résistance variétale dans leurs programmes d'amélioration a, selon un expert des variétés ayant plusieurs dizaines d'années d'expérience, perdu son importance depuis le recours systématique aux traitements fongicides (soit depuis 20-30 ans).

D'autant plus que les traitements fongicides n'ont pas rendu très rentable la recherche de résistances. Les 20-30 dernières années, on a payé peu d'intérêt aux variétés résistantes, c'est en opposition avec l'histoire de l'amélioration des plantes depuis 100 ans. (carie, charbons, rouilles, ...) (Olivier S., encadrement public et recherche)

Des **sources de résistance** de trois origines distinctes ont été décelées : des blés d'hiver provenant de l'Europe de l'Est, des variétés de printemps du Japon et de Chine ainsi que des variétés du Brésil. Aucune résistance complète n'a été trouvée. C'est la variété Sumai 3 et ses descendantes qui ont le plus haut degré de résistance à la fusariose. Elles ont donc été intégrées dans les programmes internationaux depuis des années, utilisées dans des croisements avec des variétés adaptées aux conditions agro-climatiques des différentes régions du monde (Miedaner, 1997 ; Bai and Shaner, 2004).

On sait que la résistance à la fusariose est horizontale (non spécifique à chaque souche de *Fusarium* spp.), qu'elle a un assez haut degré d'héritabilité et est un caractère quantitatif, contrôlé par quelques gènes qui ont un effet majeur. Un QTL explique 60% de la variation (Snijders, 2004). Cinq types de résistance variétale sont connus⁴³ mais toutes les variétés n'ont pas encore été analysées pour connaître les types de résistance présents. Certains cultivars peuvent combiner plusieurs d'entre eux (Champeil et al., 2004a). Les nombreux mécanismes biochimiques et moléculaires de résistances ne sont pas entièrement compris (Bai and Shaner, 2004).

Un atout de cette voie d'innovations pour le cas particulier de la fusariose est la **stabilité de la résistance** variétale des meilleurs cultivars, contrairement à d'autres maladies pour lesquelles les résistances sont souvent susceptibles d'être peu durables. Sumai 3 a en effet été utilisée depuis plus de trente ans et reste la meilleure source de résistance en Chine (Bai and Shaner, 2004). Plusieurs arguments théoriques, soutenus par des expérimentations, permettent d'ailleurs d'affirmer qu'il y a peu de risque d'adaptation de *F. culmorum* ou *F. graminearum* à des variétés hôtes (Miedaner, 1997).

⁴³ Type I : résistance à l'infection initiale ; type II : résistance à la propagation de l'agent pathogène dans les tissus ; type III : résistance impliquant la capacité de dégrader le DON ; type IV : résistance impliquant une tolérance à des hautes concentration de DON (insensibilité apparente aux trichothécènes) et type V : résistance à l'infection du grain.

L'amélioration variétale est aujourd'hui beaucoup plus efficace que par le passé grâce aux **nouveaux outils liés aux biotechnologies modernes** en amont ou durant les programmes d'amélioration variétale. La connaissance cartographique du génome permet de mieux sélectionner les variétés à inclure dans un programme d'amélioration. La sélection assistée par marqueurs (utilisation de marqueurs moléculaires dans les programmes d'amélioration⁴⁴) a de nombreux avantages : elle permet notamment d'augmenter la rapidité de détection des caractéristiques intéressantes dans une variété et d'améliorer le processus d'intégration de variétés résistantes dans un programme d'amélioration (Miedaner, 1997 ; Patnaik and Khurana, 2001; Scholten et al., 2002; Najimi et al., 2004). Dans le cas précis de la fusariose, une technique rapide de reconnaissance de la résistance doit encore être développée pour pouvoir screener un grand nombre de populations (Bai and Shaner, 2004).

La création de variétés résistantes à la fusariose est devenu un objectif majeur dans tous les programmes d'amélioration du blé du monde. **En Région Wallonne**, un projet d'amélioration variétale a comme objectif spécifique la résistance à la fusariose. Les partenaires du projet sont la firme Jorion et le Centre de Recherche Agronomique de Wallonie (départements Biotechnologie, Ressources Phytogénétiques, cellule Mycotoxines). Des variétés résistantes japonaises mais aussi wallonnes (Centenaire, Fourmi) sont étudiées. Le département Biotechnologie du CRA-W, expérimenté dans les outils liés aux biotechnologies, analyse le génome de ces variétés afin de déterminer si les gènes de résistance des variétés wallonnes sont différents de ceux des sources japonaises. La firme Jorion n'est en effet ni compétente ni équipée dans ce domaine : ses programmes d'amélioration de la firme sont basés sur la sélection généalogique (croisements traditionnels). L'objectif final du projet commun est la création de variétés à résistance polygénique par pyramidage de gènes de résistance.

Les principaux **obstacles techniques** à l'obtention de variétés commerciales intégrant les sources de résistances spécifiques à la fusariose sont les suivants : l'association de nombreux caractères agronomiques indésirables dans certaines sources de résistances, le contrôle polygénique des résistances aux maladies, la complexité des procédures d'évaluation de la maladie et l'effet de l'environnement sur le phénotype de résistance (Bai and Shaner, 2004; Champeil et al., 2004a). L'énorme taille du génome du blé, non encore décodé, impose également de travailler à partir de comparaisons/déductions avec d'autres génomes, par exemple celui du riz qui a déjà été décodé et avec lequel des similitudes peuvent être faites (Patnaik and Khurana, 2001).

La majorité des auteurs s'accorde pour conclure que cette voie d'innovations est la principale voie pour résoudre le problème de la fusariose à terme car les traitements fongicides et les pratiques agricoles de précaution ne font que réduire le risque.

Enfin, il faut noter que si les nouvelles méthodes de sélection (sélection assistée par marqueurs) entraînent un regain d'intérêt pour l'amélioration variétale et donnent à la sélection classique de nouvelles possibilités, l'opposé se passe dans certains cas. Aux USA, des programmes publics d'amélioration classique du blé sont désavantagés en faveur des programmes de transformation génétique (Knight, 2003).

⁴⁴ Marker-assisted selection (MAS). La recherche de marqueurs moléculaires peut se faire grâce à plusieurs méthodes : RFLPs, AFLPs, DNA-based PCR primers).

Evaluation du potentiel selon les acteurs

La grande majorité des acteurs rencontrés cible aussi cette voie comme la principale voie de progrès pour résoudre ou diminuer le problème des maladies (toutes confondues) à l'avenir. Les raisons de cet optimisme sont multiples. Premièrement, on dispose d'une longue expérience de création de variétés adaptées aux conditions particulières de chaque région agro-climatique (sol, climat, maladies, pratiques, ...). Maintenant que la fusariose est devenu un **objectif prioritaire** et que les sources de résistances sont intégrées dans les programmes d'amélioration, le **processus est en route** et donnera bientôt systématiquement des variétés résistantes.

[Quelle serait la stratégie la plus pertinente si les plantes génétiquement modifiées ne semblent pas la bonne solution ...] Celle d'Adrien, continuer la sélection, sortir des variétés chaque année, des variétés sélectionnées sur les différents critères qui comptent, à faible coût, ça lui coûte douze ans mais une fois que le programme est lancé... chaque année il en sort d'autres. (Isabelle M., encadrement public et recherche)

Deuxièmement, les acteurs rencontrés confirment l'avis des auteurs, à savoir une **augmentation considérable de l'efficacité de l'amélioration** classique suite à l'utilisation des outils et méthodes liés aux biotechnologies modernes. Les acteurs estiment que ceux-ci permettront de **diminuer le risque d'erreur** dans les programmes d'amélioration. Dans le passé, des programmes d'amélioration importants ont en effet été basés sur une variété possédant un gène d'intérêt agronomique intéressant (haut potentiel de rendement par exemple) et ont abouti à la commercialisation d'un grand nombre de variétés provenant de ces croisements. Des inconvénients majeurs de ces variétés ne sont apparus que bien plus tard, à cause du lien entre le gène d'intérêt et d'autres gènes conférant à la variété des inconvénients majeurs avec le temps ou dans certaines conditions.

Un exemple pour la septoriose : dans les blés à haut rendement des années 80, de PBI, il y a des gènes de sensibilité qui sont passés sans que l'on s'en rende compte. Moi je l'ai appris l'année dernière à un congrès à Tunis. (...) On a appris à la fin des années 80 pour la sensibilité des variétés au temps couvert. Les variétés Moulin, Pernel étaient des variétés à 10T/ha qui se sont cassé la gueule parce qu'ils avaient un problème d'anthères qui s'ouvraient pas : si on avait du temps couvert fin mai : l'anthèse ne se faisait pas, la dispersion du pollen était entravée (...) on est passé de 10 à 2T/ha ! (Joseph D., encadrement public et recherche)

Ces nouveaux outils permettront également de mettre en œuvre une voie d'amélioration plus durable à long terme : la recherche de **résistances partielles**, une voie devenue prépondérante sur la recherche de variétés à **résistance totale** au sein même des programmes d'amélioration. La recherche de résistances totales était en effet privilégiée dans le passé : on sélectionnait les plantes qui résistaient entièrement à la maladie. Or ce type de résistance s'est avéré peu durable face à la grande diversité des champignons pathogènes existants. Les populations de champignons capables de contourner cette résistance totale devenaient rapidement dominantes, anéantissant l'avantage de la variété résistante. L'amélioration de nos connaissances en génétique et l'accumulation d'"effondrements de résistance" ont réorienté les chercheurs vers la recherche de variétés à résistances partielles. La résistance de ces variétés, basée sur plusieurs gènes de résistance (= résistance polygénique) n'est pas complète. Le niveau de résistance permet cependant de protéger suffisamment la plante pour que la maladie ne soit plus un

problème. L'obtention de variétés à résistance polygénique serait donc un gage de durabilité de la résistance obtenue.

La stratégie de base c'est de chercher des résistances partielles : ne pas sélectionner les plantes indemnes de maladies, mais celles dont le niveau de symptômes soit non dommageable. Cela veut dire sélectionner les variétés qui ne dépassent pas 3 sur une échelle de sensibilité internationale (9 très sensible) (Olivier Q., encadrement public et recherche)

[En troisième élément de réponse à la question sur les innovations] Poursuivre l'amélioration des variétés tolérantes si pas résistantes. On a souvent été déçu par les résistances, qui s'effondrent. Il faut axer sur des sources de résistances (partielles) multiples. [Il y a une modification de l'amélioration] : Oui, on sait ça depuis 20 ans. [On ciblait les résistances, aujourd'hui les tolérances ?] Comme on ne savait pas comment ça marchait, on misait sur ce qui était tout résistant. (Paul H., encadrement public et recherche)

Le deuxième avantage pour l'amélioration, l'apport des outils des biotechnologies modernes, est à tempérer. En Région Wallonne, certaines variétés sont produites par des firmes semencières belges qui n'ont pas les capacités et l'expertise des outils liés aux biotechnologies. Leurs programmes d'amélioration sont basés sur les observations en champs et elles n'ont recours aux outils de biotechnologie que ponctuellement pour certains programmes spécifiques, dans le cadre de partenariats avec le CRA-W par exemple.

[Vous connaissez les sources de résistance de vos variétés?] Pas moi, la science peut-être... On se base sur les observations en champs. [Pas d'analyse avec marqueurs, etc. ?] Non. On l'a fait pour le piétin, on n'avait pas le gène, mais c'est ponctuel. Jorion n'a pas son propre labo, on n'a pas investi là-dedans. (...) Pour résumer, je dirais que nous on fait de la sélection généalogique. On utilise les biotechnologies ponctuellement, comme outil complémentaire. Le programme de croisement est empirique. (François R., acteur économique de la filière céréalière)

Le troisième argument pour estimer que l'amélioration classique est la principale voie d'innovations est **l'importance croissante du critère de résistance aux maladies dans les choix des agriculteurs**. On sait en effet que l'actuel critère principal est le rendement et que la résistance aux maladies ne vient que bien après dans les priorités des agriculteurs (et donc des améliorateurs). La prise en compte du critère de résistance serait décuplée après chaque problème lié à l'utilisation des fongicides, telle l'apparition de souches de septoriose résistantes aux strobilurines.

L'amélioration classique va continuer. On a fait des gros progrès en rendement et stabilité de rendement. Il va y avoir une plus grande attention aux maladies dans les programmes de sélection. La résistance aux strobilurines va booster ça. On n'arrivera plus à contrôler totalement les maladies avec les fongicides. Si on a une année à forte pression de septoriose en UE, le marché va arriver à des variétés plus résistantes. (David F., encadrement public et recherche)

Ce **troisième argument est aussi à modérer**. La résistance aux maladies n'est pas devenue soudainement « la » priorité des sélectionneurs. Un des deux principaux sélectionneurs des firmes privées en Belgique affirme que la résistance aux maladies a fait l'objet de beaucoup d'attention dans leur firme et que la priorité actuelle était la qualité.

[Objectifs en terme d'amélioration ?] Les critères principaux sont le rendement... Quoiqu'on en dise, il est incontournable... Mon prédécesseur a fait de gros efforts sur la résistance aux maladies, ce qui a abouti à un résultat, avec Centenaire par exemple. Depuis trois ans, on accentue le critère qualité (boulangère surtout mais aussi les qualités. Cet axe fait défaut. (...)) (François R., acteur économique de la filière céréalière).

Il faut finalement noter une déception de certains acteurs face à l'**abandon de la voie des blés hybrides**. Selon certains, ceux-ci constituaient une voie porteuse pour créer plus facilement des variétés résistantes aux maladies. La question des **blés hybrides** est très controversée dans la filière. Des blés hybrides ont été développés et mis en vente depuis une dizaine d'années. Ils n'ont jamais percé réellement le marché, contrairement aux maïs hybrides qui se sont imposés dans le monde entier. Le gain obtenu ne serait en effet pas suffisant pour équilibrer les coûts (des semences) plus élevés par rapport aux blés classiques.

L'ensemble des acteurs estime in fine que si l'amélioration variétale (classique et assistée par marqueurs) est **la voie la plus porteuse** dans le cas de la fusariose, elle n'est cependant pas la panacée : des variétés « résistantes à toutes les maladies » sont une utopie.

[On a des raisons d'espérer que les variétés seront plus résistantes à l'avenir ?] Oui. Un : on a encore des gènes de résistance pas utilisés. Deux : la génétique du blé est très complexe, il y a des variétés d'herbes (comme les agropyrum : chiendent) où on peut chercher des sources de résistances, le CIMMYT fait des croisements et c'est spectaculaire. (Joseph D., encadrement public et recherche)

Non, il n'y a rien qui nous permet de dire que dans la génétique classique on puisse produire un jour des variétés tolérantes à toutes les maladies (René T., acteur économique de la filière céréalière).

L'objectif principal est donc d'améliorer la résistance des variétés aux différentes grandes maladies et de veiller à ce que cette résistance soit la plus forte possible pour chaque maladie.

Les programmes d'amélioration non spécifiques à la fusariose

A côté des projets spécifiques à la fusariose et impliquant les outils des biotechnologies modernes, d'autres programmes d'amélioration ont pour objectif la résistance aux maladies en général. En Belgique, il y a trois programmes d'amélioration du froment : deux privés (les firmes Jorion et Matton) et un public (CRA-W par A. Dekeyser).

i) Les programmes d'amélioration des firmes semencières

Selon le responsable de l'amélioration d'une firme semencière⁴⁵, l'objectif de résistance aux maladies est davantage porté par les centres d'amélioration publics que par les

⁴⁵ A côté des firmes qui assurent aux producteurs un suivi « complet » (vente des semences, collecte des céréales, vente des produits phytosanitaires,...), il y a également des firmes semencières, comme Jorion et Clovis Matton, dont l'activité est uniquement basée sur les semences. Elles travaillent soit directement avec les producteurs soit comme fournisseur pour les deux organisations complètes ou les négociants indépendants (SCAM et Wal.Agri). Leur activité consiste à créer des variétés (programmes

firmes privées, mues par des objectifs de rentabilité immédiate incompatibles avec le travail d'obtention de variétés résistantes.

[Il y a une différence entre un programme de recherche public et privé, au niveau de l'amélioration ?] L'intérêt d'un programme public est de faire avancer des variétés plus résistantes, ce que le privé ne se permet pas parce qu'il y a pas d'intérêt immédiat. La dimension sensibilité est plus forte dans un programme public. La pression commerciale est plus forte chez nous. Une variété résistante n'est pas vendue à un meilleur prix. (François R., acteur économique de la filière céréalière)

Il est évidemment difficile d'évaluer à quel point les firmes intègrent le critère de résistance dans leurs priorités. Une analyse quantitative des caractères des variétés sorties depuis une dizaine d'années de chaque programme devrait donner une réponse plus claire à la question.

ii) Le programme d'amélioration de la recherche agronomique publique

Le programme de création variétale d'Adrien Dekeyser, améliorateur en céréales au CRA-W a un statut particulier parce que la résistance aux maladies est une de ses principales priorités et qu'elle s'intègre dans un objectif général d'obtenir des variétés plus rustiques, adaptées à des systèmes culturels moins intensifs en intrants (fertilisants et phytosanitaires).

Ce programme, sans contrainte de rentabilité commerciale directe, a démarré à la fin des années 80 et a commencé à produire les premières nouvelles variétés (épeautre et froment) fin des années 90. Parmi celles-ci, la variété *Tourmalin* se classe parmi les six variétés les plus résistantes aux quatre grandes maladies (variétés qui n'ont que des scores « moyen à bon » ou « bon » pour chaque maladie) Deux autres variétés seulement ont, comme elle, des scores « bon comportement » pour ces quatre maladies. (FUSA. et CRA-W, 2005).

Ici, des aspects interpersonnels jouent. Tant la personnalité (Adrien Dekeyser) que ses résultats sont hautement controversés. Les différents acteurs se positionnent très différemment par rapport à lui : certains acteurs se rallient à son analyse de la situation (le CRA-W produira bientôt des variétés résistantes qui restreindront drastiquement le besoin en fongicides) mais d'autres estiment qu'il est impossible de travailler avec lui car il ne tient pas compte de certaines contraintes des producteurs.

Dekeyser, il n'y a pas moyen de parler avec lui. Soit on est des cons et il est en avance, soit il se trompe. Tourmalin, Fourmi, et les variétés qui arrivent. Mais certaines ont une paille trop haute, donc sont sensibles à la verse. Il ne veut pas reconnaître les inconvénients. On a de tels rendements (>10T) que les blés versent. L'obteneur, c'est son bébé sa variété, leurs variétés qui sont dans le pipeline sont toujours les meilleures...c'est lors du processus d'obtention qu'on voit les vraies bonnes variétés. (Michel F., acteur économique de la filière céréalière)

En fait, les deux parties ont chacune raison. La variété *Tourmalin* n'a en effet pas une bonne résistance à la verse dans les essais menés actuellement : elle est classée comme « résistance à la verse faible » (Couvreur, 2004) et comme « cultivar moyen » pour ce

d'amélioration variétale), à choisir de prendre les licences pour la Belgique pour certaines variétés créées par des groupes internationaux, et à multiplier, certifier et vendre celles-ci.

caractère, soit le deuxième niveau le plus bas sur une échelle qui compte quatre niveaux (FUSA. et CRA-W, 2005). Etant donné que ce caractère est prépondérant dans un schéma intensif, il semble normal que les acteurs ayant ce schéma comme référence estiment ne pas devoir collaborer à la promotion de cette variété. Pourtant, du point de vue adverse, la variété *Tourmalin* atteindrait la plus forte marge brute selon des calculs intégrant les coûts de production et comparant 17 variétés en 2003 et 2004 (Dekeyser et al., 2003, 2005). Plus résistante aux maladies, elle se comporte bien dans des systèmes moins intensifs. Les différences peuvent aussi provenir des choix d'itinéraires techniques.

Une tentative de collaboration entre le CRA-W et les vendeurs de semences (entreprises semencières et organisations de fourniture comme la SCAM et Wal.Agri) a été faite en 1989, par la création d'une structure commune, Progem. Celle-ci a pour objectif de commercialiser les variétés créées par le CRA-W, grâce à un droit de préemption sur celles-ci. Les premières variétés qui ont été proposées à Progem étaient cependant soit mauvaises soit d'importance économique mineure, ce qui n'a pas entraîné une bonne collaboration entre les entités. Ce n'est que bien plus tard que des variétés intéressantes (selon le CRA-W) seront proposées, avec par exemple la variété *Tourmalin* en 2000 et Fourmi en 2001. Entre incompatibilité des objectifs (chaque entreprise ayant aussi ses propres variétés à vendre), incompatibilité des tempéraments des personnes, et difficulté de vendre des variétés rustiques dans un environnement dominé par des systèmes agricoles à haut niveau d'intensité en intrants, l'enquête réalisée pour cette étude de cas n'a pu déterminer les causes de cet échec.

3) Génie génétique

1) Niveau de développement de la voie d'innovations

La transgénèse végétale ouvre de nouvelles possibilités pour créer des blés transgéniques résistants à la fusariose. Les **possibilités de transformation** génétique sont multiples : trois approches principales sont possibles : (i) l'expression ou la surexpression de différentes classes de protéines liée à la pathogenèse (protéines P-R⁴⁶) ou l'augmentation des systèmes de défenses propres à la plante ; (ii) l'empêchement de la biosynthèse de mycotoxines ou la détoxification des mycotoxines dans les plantes et (iii) le développement de plantes produisant la toxine *Bt* (Champeil et al., 2004a).

Les **protéines antifongiques** potentiellement intéressantes sont des chitinases, des glucanases, des thionines, des protéines du type thaumatine, des protéines inactivant les ribosomes (RIPs), des flavonoïdes, etc. L'activité scientifique de découverte des protéines efficaces sur les *Fusarium* est intense et les projets de transformation génétique en cours sont nombreux (Dahleen et al., 2001). Malgré une activité antifongique prouvée *in vitro*, la résistance des plantes obtenues est limitée (Mayer, 2002 ; Sahrawat et al., 2003). L'introduction d'un gène ou de combinaisons de gènes codant pour des protéines P-R dans des variétés sensibles n'a pas abouti à une plus forte résistance (Anand et al.in (Snijders, 2004). Jusqu'ici, aucune plante transgénique ne surpasserait le niveau de résistance des cultivars de blé déjà identifiés (Bai and Shaner, 2004). Le succès pourrait provenir, dans le futur, de variétés combinant des sources de

⁴⁶ Les protéines P-R (pathogenesis-related) sont des protéines synthétisées par les plantes durant l'infection par différents pathogènes. Certaines ont une activité antifongique directe.

résistances obtenues par croisements traditionnels dans lesquelles seraient introduits des gènes codant pour des protéines antifongiques (effets synergétiques).

Pour étudier l'importance de la recherche sur ces blés transgéniques, les données des **champs d'essais expérimentaux** ont été étudiées. Avec les banques de données sur les brevets, c'est en effet le seul niveau pour lequel existent des données officielles, en dehors des publications scientifiques.

L'activité de développement des blés transgéniques est principalement l'œuvre de firmes multinationales dont les activités de recherche sont mondialisées⁴⁷ et d'universités américaines, souvent financées par les premières. Certaines firmes investissent en effet des budgets considérables dans la recherche et le développement de blés transgéniques résistants⁴⁸. Pour le blé, les principaux centres d'innovation sont les Etats-Unis, le Canada et l'Europe.

En Europe, bien que les blés transgéniques fassent l'objet de bien moins d'attention que d'autres cultures comme le maïs, le soja ou le colza, 26 demandes réglementaires ont déjà été effectués, dont un quart depuis 2002 (Joint Research Centre, 2004)^{49,50,51}. Les demandes concernent principalement la résistance aux herbicides, souvent en combinaison avec d'autres propriétés (11), la résistance aux maladies fongiques (7 essais), des modifications de la synthèse de l'amidon (5) et la modification de qualité boulangère (5). Parmi ces récentes notifications figurent quatre essais de blé résistant au *Fusarium* de la firme Syngenta Seeds. C'est la principale firme active sur ce projet, avec cinq essais en Allemagne et en Angleterre. Le projet de blé résistant au *Fusarium* est donc un des principaux projets dans le secteur du développement des blés transgéniques. Les essais ont eu lieu principalement au Royaume-Uni (11), en Espagne (9), en Allemagne (3) et en France (3). Les demandes ont été déposées entre 1993 et 2004. Six autres firmes ont effectué en tout onze essais et huit instituts de recherches ont mené dix essais, principalement des instituts espagnols.

Aux Etats-Unis, il y a déjà eu 413 essais de blé transgénique. Les essais ont démarré dès 1994, avec un important développement depuis 1999 (pointes en 2000 et 2001). La moitié de ces essais concerne le projet de blé résistant à l'herbicide Roundup de Monsanto (201 essais). La résistance aux maladies fongiques vient en seconde place (84

⁴⁷ Cela signifie que pour étudier les plantes transgéniques commercialisables en Belgique, où la culture de froment est d'une grande importance, il y a lieu de prendre en compte les projets de blés transgéniques en développement en Europe et ailleurs. Les firmes de biotechnologies ont en effet rationalisé leurs activités de recherche, en concentrant celles-ci dans quelques centres de recherches. La localisation de ceux-ci dépend des plantes transgéniques qu'ils y développent, de critères agro-climatiques, mais aussi de la réglementation et du climat général relatif aux plantes transgéniques (par ex : facilité de procéder à des essais, minimisation du risque de destruction de leurs champs).

⁴⁸ Ils font donc un pari sur les avantages des blés transgéniques par rapport aux variétés conventionnelles (ou des avantages financiers obtenus par des plantes dont les gènes sont brevetés) ainsi que sur l'insuffisance des pratiques actuelles pour résoudre le problème. En blé, il n'y a d'ailleurs aucune plante transgénique commercialisée à ce jour. Le projet le plus abouti est le blé résistant au Roundup, bien que sa commercialisation annoncée pour 2004 ait été retardée ((Mayer, 2002)).

⁴⁹ Source : EU Commission Joint Research Center, Biotechnology and Information Website. Deliberate releases and placing on the EU market of Genetically Modified Organisms (GMOs) <http://gmoinfo.jrc.it/>. Il existe deux bases de données, une pour les demandes soumises avec la directive 90/220 (avant le 17 octobre 2002) et une pour les demandes soumises avec la directive 2001/18 (après le 17 octobre 2002).

⁵⁰ Les demandes concernant des essais dans plusieurs pays sont reprises plusieurs fois dans les bases de données, elles ont été couplées (aux Etats-Unis, une demande concerne souvent plusieurs Etats).

⁵¹ Recherche effectuée en octobre 2004 et actualisée le 4 mai 2006.

essais dont 55 pour la résistance au *Fusarium*). La modification du métabolisme et du contenu du grain concerne 52 essais (modification du contenu en amidon, amélioration de la digestibilité,...). Viennent ensuite l'augmentation du rendement (31), les résistances au virus (28 essais), la résistance à la sécheresse (11), l'amélioration du métabolisme de l'azote (7) et du processus de la photosynthèse (1), etc.

Le développement de blés résistants aux maladies cryptogamiques prend une importance croissante dans les projets de blés transgéniques. En effet, une grande partie des essais récents (2004-2006) concerne ce phénotype. Un de ces essais est réalisé à grande échelle (40 acres, soit 17 hectare), ce qui atteste d'une phase de développement avancée. Dans les blés transgéniques, seul un autre projet a fait d'ailleurs l'objet d'essais à grande échelle (> 10 acres): la tolérance à l'herbicide glyphosate (RoundUp). La résistance aux maladies est d'ailleurs parfois développée en combinaison avec la tolérance à un herbicide.

Les **principaux acteurs** pour les blés transgéniques sont la firme Monsanto (loin devant tous les autres projets, avec 220 essais), les universités du Nebraska (41), du Montana (31) et d'Idaho (23) et le Service de recherche du département de l'Agriculture (USDA) (30), et deux autres firmes (Syngenta et Novartis, 21 essais). En tout, les instituts publics effectuent 150 essais sur un total de 413.

Le développement spécifique du blé résistant aux maladies fongiques est surtout réalisé par l'Université du Nebraska/Lincoln (30 essais), Syngenta et ex-Novartis (18 essais) et Monsanto (12 essais). Depuis fin 2004, ce sont essentiellement les universités qui déposent des demandes d'essais (seules 3 demandes de Syngenta et 3 de Biogemma)⁵².

Le développement du blé résistant au *Fusarium* est également important au **Canada** : vingt-huit essais de blé résistant aux maladies fongiques y ont été approuvés depuis 2000, tous par Syngenta (Canadian Food Inspection Agency, 2004)⁵³.

Avec des essais au Canada, aux Etats-Unis et en Europe, Syngenta semble donc le principal moteur du projet. En 2004, la firme prévoyait d'ailleurs la **commercialisation** de ce blé pour 2010 (Syngenta, 2004).

Les blés transgéniques des essais européens de Syngenta sont des variétés de printemps alors que la majorité des variétés plantées en Wallonie sont des variétés d'hiver. La transformation des variétés de printemps est en fait techniquement plus facile que celle d'hiver. Travailler expérimentalement sur une variété de printemps est un choix stratégique qui permet de travailler plus rapidement en laboratoire ou en serre : les variétés d'hiver doivent en effet vernaliser avant de germer, ce qui entraîne une perte de temps. La première variété à avoir été transformée génétiquement avec succès est d'ailleurs une variété de printemps (la variété américaine Bobwhite).

Les **types et sources des résistances** obtenues ne sont que très incomplètement détaillés dans les dossiers réglementaires de champs d'essais. Pour les dossiers européens de Syngenta, le « notification report » ne reprend qu'une dénomination générale « gène d'origine cryptogamique conférant une tolérance aux *Fusarium* pathogènes »^{54,55}. Aux Etats-Unis par contre, la base de données publiques est encore

⁵² Remarque : les universités travaillent étroitement avec les firmes.

⁵³ Recherches effectuées en octobre 2004

⁵⁴ FRG : gene of fungal origin conferring tolerance to *Fusarium* pathogens.

plus lacunaire. Si les notifications provenant des universités donnent quelques informations sur le transgène utilisé et l'organisme donneur, les dossiers des firmes privés comportent la plupart du temps un bref « *confidential business information* ». Le dossier pour les essais de Syngenta en Allemagne signale également que la plante testée est une variété de blé de printemps, la ligne UC 703⁵⁶.

Les **obstacles techniques** au développement commercial de blés transgéniques sont multiples : faible efficacité des méthodes de transformation (régénération des plantes, variation somaclonale,...), problème d'héritabilité du transgène (*gene silencing*), problème de stabilité d'expression du transgène, enlèvement du gène marqueur peu acceptable pour le public (résistance à un antibiotique ou à un herbicide) ou encore le choix de la protéine à propriété antifongique et d'un promoteur efficace (Dahleen et al., 2001 ; Sahrawat et al., 2003). Deux autres inconvénients de l'utilisation des principes de la résistance induite en ingénierie génétique sont (i) les possibles interactions négatives entre les différents mécanismes de défense (celui dont le médiateur est l'acide salicylique et celui de l'acide jasmonique, par exemple pourraient également être un inconvénient) et (ii) les dangers associés avec l'expression continue de certaines protéines PR ayant des propriétés allergéniques (Gozzo, 2003).

Enfin, il faut noter qu'il existe des doutes sur un éventuel effet du blé transgénique résistant au Roundup (développé par Monsanto) sur les épidémies de fusariose. Des études tendent à démontrer que des champs traités précédemment au glyphosate sont plus sensibles à la fusariose et que l'application de glyphosate durant la croissance de la plante favoriserait le développement de l'épidémie (National Farmers Union (Canada), 2003).

L'évaluation faite par les **auteurs** des blés transgéniques résistants à la fusariose est soit positive ou enthousiaste (Dahleen et al., 2001 ; Patnaik and Khurana, 2001 ; Stuiver and Custers, 2001; Sahrawat et al., 2003), soit neutre (Champeil et al., 2004a), soit franchement sceptique. Bai et al.(2004) estiment que les problèmes techniques et sociaux associés aux plantes transgéniques, ainsi que notre faible connaissance des bases de la résistance aux *Fusarium* qui rend l'identification des transgènes utiles difficile, limitent, dans ce cas précis, l'utilité de la transgénèse.

2) Evaluation du potentiel selon les acteurs

Il n'y a pas de projets de développement de blés transgéniques résistants aux maladies en Région Wallonne. Le département biotechnologie du CRA-W, qui travaille sur la transgénèse à titre expérimental depuis au moins 1988, a entamé par contre un projet de recherche depuis 7-8 ans sur la transformation génétique du blé, avec pour objectif d'améliorer sa qualité panifiable (C.R.A.-W, 2003). En Belgique, un grand nombre d'entreprises actives dans la transformation et la distribution des produits céréaliers se sont déjà engagées par ailleurs à ne pas utiliser de farines issues de blés transgéniques (Greenpeace, 2004).

⁵⁵ Les « notification report » sont accessibles pour chaque dossier depuis la directive 2001/18. L'accès aux dossiers antérieurs à cette date est plus difficile.

⁵⁶ Cela ne signifie aucunement que le projet ne vise que les blés de printemps (en Wallonie, on plante essentiellement des froments d'hiver). La transformation du blé de printemps est stratégique : en évitant de devoir passer par une phase de vernalisation, on gagne du temps. En cas de succès, la transformation devrait cependant être répétée sur une variété d'hiver.

Une majorité d'acteurs rencontrés durant l'enquête ont manifesté leur scepticisme devant la perspective de résoudre par la voie transgénique le problème de la fusariose ou des maladies. Bien qu'ils annoncent ne pas connaître les détails des projets de blés transgéniques, les chercheurs ont été les plus sévères. Ils estiment que la création de variétés résistantes transgéniques est peu crédible face à la diversité des champignons et leurs grandes capacités d'adaptation.

Un des inconvénients majeurs est l'incertitude concernant **la durabilité de la résistance** obtenue. Face à la grande diversité des pathogènes, à la grande variabilité existant au sein de ces populations (diversité des souches pour chaque variété) et à leur haut potentiel d'adaptation aux mécanismes de résistances des plantes hôtes, les résistances peuvent être contournées par de nouvelles souches. Cet aspect est celui qui inquiète le plus les chercheurs : ils émettent de sérieux doutes sur la durabilité des mécanismes de résistance obtenus par transgénèse, étant donné que celle-ci ne concerne généralement qu'un gène ou quelques-uns.

[Vous êtes sceptiques sur les possibilités en transgénèse ?] Je suis relativement pessimiste sur la facilité de résoudre ça facilement. On progresse, mais des chercheurs disaient en 98 qu'on aurait des variétés transgéniques résistantes en 5 ans. Ils disent la même chose aujourd'hui. Chercher un gène de tolérance à un herbicide est une chose, une résistance à une maladie c'est autre chose. Même si on a une variété résistante, si on n'a que ça, ça va vite être contaminé. (Joseph D., encadrement public et recherche)

[Vous êtes au courant des blés GM ?] Au courant, oui, j'ai vu qu'il y avait un colloque là-dessus aux USA, mais je n'ai pas de connaissances de ce qui se fait en pratique. Mais théoriquement, est-ce faisable? Vu qu'il y a 5-6 variétés qui se battent pour être sur l'épi ... La résistance va s'écrouler tout de suite. Sauf si la résistance est pour toutes les variétés en même temps... (...) Je suis plutôt une défenseuse des OGM, mais pas pour cette application-là. Comme dit Lepoivre, la technologie est fantastique mais tout dépend des ses applications. (Isabelle M., encadrement public et recherche)

Si les plantes transgéniques solutionnent le problème, c'est terminé. Ce serait la meilleure solution. Mais la diversité des microorganismes est énorme : il faut être sûr que les plantes transgéniques ne craqueront pas, et que la diversité suivra. On va mettre une pression de sélection. Je ne vois pas pourquoi il n'y aurait pas les mêmes problèmes. Avec la sélection classique, les variétés résistantes ne le sont que pour quelques années... Bon, il y a les variétés à résistances partielles et résistances totales... (Patrick R., encadrement public des producteurs et recherche)

Pour assurer la durabilité des blés transgéniques résistants, selon ceux qui y sont favorables, la seule stratégie viable serait de créer des variétés avec plusieurs transgènes et d'assurer la diversité de ceux-ci (la culture de différentes blés transgéniques possédant chacun des mécanismes de résistance différents.)

A côté de ces aspects techniques, le problème majeur pour les acteurs est la question de la **brevetabilité des variétés** et son impact sur la situation actuelle où le « privilège de l'agriculteur » est défendu. Actuellement, les producteurs ont en effet la liberté de réutiliser les semences de leur récolte, moyennant certaines conditions lors des premières années, et bien que ce principe commence à être entamé notamment par des directives européennes. Les plantes transgéniques sont protégées par un brevet dans de nombreux pays, ce qui diffère fondamentalement du certificat d'obtention végétale (COV) protégeant actuellement les variétés commercialisées. Les acteurs prévoient tous un important problème si les plantes transgéniques sont brevetées car cela empêcherait

les producteurs de réutiliser leurs semences (semences fermières). Cette pratique est en effet fort répandue en céréales, une des dernières cultures pour lesquelles les producteurs peuvent en effet se passer de l'achat systématique de nouvelles semences.

[Et le fait que ce seraient des plantes brevetées ?] Ca ce serait un très gros problème. Déjà la France voulait augmenter la taxe sur les semences fermières... C'est une des seules plantes qu'ils savent multiplier eux-mêmes... Ca a fait beaucoup de bruit. (Jacques D., encadrement public et recherche)

Parmi les **avantages** cités pour la voie transgénique, les plus significatifs concernent l'amélioration du processus de création de variétés résistantes en lui-même : le gain de temps par rapport aux méthodes classiques et l'accès à de nouvelles sources de résistances.

Gain de temps par rapport aux méthodes conventionnelles. Il est connu que l'amélioration de variétés est une longue entreprise : une dizaine d'années depuis le début d'un programme visant des objectifs précis jusqu'à la commercialisation de la variété. La transgénèse permettrait selon ses promoteurs de créer des variétés résistantes plus rapidement que par les méthodes traditionnelles, en intégrant directement les meilleurs transgènes dans les meilleures variétés initiales. Tous les chercheurs ne sont pas unanimes sur la question. Ils discutent du surcoût des méthodes utilisées pour modifier génétiquement une plante et estiment qu'une étape de croisement avec des variétés locales devra de toute façon être effectuée. Enfin, la transgénèse permettrait de produire une variété transgénique résistante à une période donnée, tandis qu'un programme d'amélioration, une fois lancé en fonction d'objectifs précis et à partir de certains géniteurs sélectionnés, produit régulièrement des nouvelles variétés.

Accès à de nouvelles sources de résistance. La transgénèse permet de transférer au blé des gènes provenant d'autres espèces végétales ou animales, tandis que l'amélioration classique ne peut qu'intégrer des gènes de résistance dans des variétés de blés, proches ou lointaines. La gamme des possibilités est donc augmentée grâce à la méthode, multipliant les chances d'obtenir des variétés résistantes. Il serait également possible d'ajouter des transgènes de résistance provenant de ces espèces éloignées à une variété de froment possédant elle des gènes de résistance provenant des meilleures variétés de froment.

4) Analyse des facteurs de développement des voies d'innovations principales

Les facteurs de développement, obstacles ou incitants au développement des voies d'innovations, sont synthétisés en deux tableaux dans cette section. Le premier reprend les facteurs d'ordre technique et scientifique et le second les facteurs socio-économiques.

1. Facteurs techniques agissant sur le développement des innovations

Les facteurs techniques entravant ou stimulant le développement scientifique et technique des différentes voies d'innovation, présentés individuellement dans les parties « *Etat de développement* » de chaque voie d'innovations, sont synthétisés dans le Tableau 15.

Remarque : Les facteurs de développement sont ici présentés sous formes de tableaux, dont le contenu n'est pas repris en texte séparé. Les sigles indiqués indiquent le type de sources qui signalent ce facteur : littérature (litt), entretiens (ent) et approche systémique (syst).

Tableau 15 : Facteurs techniques et scientifiques agissant sur le développement scientifique des innovations (voies principales)

Voies principales	Facteurs techniques positifs (stimulants)	Facteurs techniques négatifs (obstacles)
Phytopharmacie (nouveaux fongicides)		<ul style="list-style-type: none"> - contrainte de devoir traiter à une période précise et très courte ^{litt, ent} - inefficacité des fongicides contre les <i>Fusarium</i> ^{litt, ent}
Amélioration variétale	<ul style="list-style-type: none"> + existence de nouvelles sources de résistances dans des variétés étrangères, qui sont en cours d'intégration dans les programmes d'amélioration variétale + stabilité de la résistance variétale des meilleurs cultivars résistants (contrairement aux autres maladies pour lesquelles les résistances risquent souvent d'être peu durables) ^{litt} + avantages techniques des outils liés aux biotechnologies (augmentation de la précision, diminution du risque d'erreur) 	<ul style="list-style-type: none"> - le contrôle des résistances aux maladies est polygénique ^{litt} (mais existence de QTL majeurs dans le cas de la fusariose ce qui rend l'obtention de variétés résistantes plus complexe) - de nombreux caractères agronomiques indésirables dans les sources de résistances de FHB ^{litt} - la taille du génome : le génome du blé est beaucoup plus grand que celui du riz, qui a été décodé, ce qui rend plus complexe son décodage ^{litt} - effet de l'environnement sur le phénotype de résistance ^{litt}
Ingénierie génétique	<ul style="list-style-type: none"> + Extension du domaine de recherche de sources de protéines anti-Fusarium à des plantes autres que les céréales, aux insectes, aux bactéries, champignons, etc ^{litt} + Possibilité de combiner des résistances provenant des cultivars issus de l'amélioration conventionnelle à celles obtenues par transgénèse ^{litt} 	<ul style="list-style-type: none"> - faible efficacité des méthodes de transformation (régénération des plantes, variation somaclonale,...) ^{litt} - problème d'héritabilité du transgène ^{litt} - problème de stabilité d'expression du transgène ^{litt} - choix de la protéine à propriété antifongique et du promoteur ^{litt} - interactions négatives entre différents mécanismes de défense ^{litt} - doutes sur la durabilité de la résistance obtenue ^{ent, litt}

2. Les facteurs de développement socio-économiques des différentes voies d'innovations (obstacles et stimulants)

Cette partie synthétise les facteurs qui agissent positivement ou négativement sur le développement des différentes voies d'innovation. Les obstacles aux voies d'innovations ne sont en effet pas seulement d'ordre technique et scientifique. Le fonctionnement de la filière impose des contraintes et des nécessités d'adaptation à chaque voie d'innovations. Le tableau ci-dessous synthétise les éléments analysés dans les parties « *Evaluation du potentiel de cette voie par les acteurs* » de chaque innovation et y ajoute les facteurs qui découlent de l'analyse complète des entretiens et de la bibliographie.

Tableau 16 : Facteurs socio-économiques agissant sur le développement des innovations (voies principales)

Voies principales	Facteurs positifs (<i>stimulant le développement de la voie d'innovations</i>)	Facteurs négatifs (<i>obstacles au développement de la voie d'innovations</i>)
Phytopharmacie (nouveaux fongicides)	<ul style="list-style-type: none"> + processus d'innovation rodé depuis des dizaines d'années ^{sys} + acteurs habitués à cette méthode de lutte par rapport aux maladies ^{ent, sys} +/- (?) : (Dés)investissement des firmes dans production de fongicides ? ^{litt, ent} 	<ul style="list-style-type: none"> - inefficacité des fongicides actuels - contre-productivité de certains traitements par rapport à la production de mycotoxines ^{litt} - Apparition de phénomènes de résistances (pour d'autres maladies que la fusariose) - Réglementation publique contraignante (phytotoxicité)
Amélioration variétale	<ul style="list-style-type: none"> + processus d'innovation rodé depuis des dizaines d'années ^{sys} + importance croissante du choix variétal chez les producteurs (critère de sensibilité) ^{ent} + intérêt de la communauté scientifique pour les nouvelles méthodes (sélection assistée par marqueurs) ^{ent, litt, sys} + seuil de résistance minimal dans les procédures d'agrément de certains pays ^{litt} * Nécessite la conservation des ressources phylogénétiques (effort public et privé) ^{sys} 	<ul style="list-style-type: none"> - faible prise en compte actuelle du critère de résistance dans le choix variétal par les producteurs ^{ent} - l'amélioration variétale n'est rentable qu'à long terme ce qui est peu compatible avec les contraintes des entreprises ^{sys} - les programmes publics peuvent gérer la création de variétés résistantes mais sont faiblement financés ^{ent} - absence de structures de promotion des variétés créées par les centres publics (CRA-W) - aux USA, diminution de l'intérêt pour les programmes publics d'amélioration classique en faveur des programmes de transformations génétiques ^{litt}
Ingénierie génétique	<ul style="list-style-type: none"> + importants investissements des firmes (prise de brevets, etc) qui devraient les inciter à investir également dans le développement pour rentabiliser leurs activités ^{sys} 	<ul style="list-style-type: none"> - réglementation publique contraignante ^{litt, sys} - opposition des consommateurs ^{litt, sys} - engagements d'entreprises de transformation à ne pas acheter du blé transgénique ^{litt}

Remarque sur la voie spécifique « ingénierie génétique »

La question des blés transgéniques a souvent dépassé le cadre de la fusariose. Plusieurs acteurs et chercheurs estiment en effet que **les avantages des blés transgéniques pour notre agriculture concernent surtout des caractères non agronomiques**, comme l'amélioration ou la modification de la qualité du blé. Pour eux, la transgénèse pourrait permettre d'améliorer la qualité panifiable (pour que les blés wallons soient mieux valorisés), d'améliorer le contenu en amidon des blés dans le cadre de développement des céréales pour les filières énergétiques (énergies vertes), voire de faire produire par le blé diverses molécules (bioplastiques).

C. Voies d'innovations technologiques secondaires

Les trois pistes d'innovation analysées dans cette section-ci n'ont presque jamais été citées directement par les acteurs interrogés. Elles n'ont été abordées que lors de sous-questions.

Une importante partie des chercheurs a déclaré son ignorance sur les concepts cités et leurs éventuelles applications à la culture du froment pour diminuer ou résoudre les problèmes de maladies. Quelques-uns se sont basés sur leur connaissance générale du problème et de la filière et ont alors approfondi et discuté du potentiel de l'une ou l'autre de ces trois voies, (parfois après présentation du principe des voies d'innovations concernées). Seul un chercheur a basé son jugement sur des recherches qu'il avait directement faites sur la voie d'innovations concernée.

Le niveau de développement de chacune de ces trois voies d'innovations est essentiellement analysé à partir d'une recherche bibliographique centrée sur des articles de revue.

1) Mélanges variétaux

1. Principe agronomique

Le **concept de mélange variétal** (ou association variétale) consiste à mélanger plusieurs variétés dans un champ au lieu de planter un champ d'une seule variété. Le mélange est composé de variétés qui sont susceptibles à certaines souches présentes dans la population de pathogènes et résistantes à d'autres. Le mélange de variétés augmente donc la diversité génétique des plantes par rapport à une parcelle pure, ce qui aboutit à une réduction de l'incidence des maladies. Plusieurs mécanismes expliquent cette réduction : l'effet de la dilution de l'inoculum par la plus grande distance entre plantes du même génotype serait le plus grand, avec celui de la résistance induite (Mundt, 2002).

Il existe en réalité **plusieurs approches** augmentant la diversité génétique d'un champ : les multi-lignées (multiline cultivars) et les mélanges variétaux (*cultivar mixtures*)⁵⁷. Les mélanges variétaux peuvent être intraspécifiques (plusieurs variétés de froment) ou interspécifiques (blé-orge-avoine ou blé-légumineuses). Les mélanges considérés ici sont uniquement de type intraspécifiques : les associations entre différentes espèces (céréales-légumineuses) font partie des voies d'innovations non prises en compte (voir p 210). Ils permettent de diminuer l'ampleur de différentes maladies, parmi d'autres avantages, tels un accroissement de la stabilité des rendements (Vallavieille-Pope, 2004).

⁵⁷ Les multi-lignées sont des mélanges de lignées sélectionnées pour une uniformité phénotypique de caractères agronomiques. Les mélanges variétaux sont des mélanges de variétés agronomiquement compatibles sans effort additionnel de sélection en vue d'une uniformité phénotypique ((Mundt, 2002). Le concept est également identifié par les appellations suivantes : *crop heterogeneity*, *multiline planting* ou *intraspecific crop diversification*.

2. Niveau de développement de la voie d'innovations

Le concept a surtout été testé dans le cas de maladies causées par des pathogènes spécialisés et polycycliques (les *Fusarium* ne sont pas spécialisés). Les **recherches expérimentales** ont démontré une diminution de l'incidence de plusieurs maladies telles que des rouilles ou l'oïdium (*Erysiphe graminis*) lorsque des mélanges étaient plantés (Vilichmeller, 1992; Manthey and Fehrmann, 1993 ; Mundt, 2002 ; Cox et al., 2004). La réduction de la sévérité des maladies peut atteindre 40 à 80% pour les rouilles ou pour le mildiou (Vallavieille-Pope, 2004). Cette réduction atteint même de 4 à 89% par rapport aux essais de champs 'mono-variété' (Smithson and Lenne, 1996).

L'augmentation du rendement est de 1 à 5% en l'absence de maladies et davantage en cas d'épidémies significatives (Mundt, 2002). Les effets varient notamment en fonction de la maladie concernée et de la composition du mélange.

En ce qui concerne spécifiquement la **fusariose**, des recherches allemandes ont démontré une diminution de l'incidence de la maladie, un retardement du développement du mildiou et des rouilles (Manthey and Fehrmann, 1993). Les mélanges avaient un meilleur rendement (5.1% en moyenne et 5.7% pour le meilleur mélange, sans traitement fongicide) et donnaient une plus grande rentabilité. D'autres études indiquent également un contrôle de *Fusarium* spp. par les mélanges variétaux (Vallavieille-Pope et al. in David et al., 2004).

Il faut noter que la recherche sur les mélanges reste relativement **marginale**, toutes cultures confondues. Le « Web of Science » ne recense que 100 publications pour les mélanges variétaux, contre plus de 16.000 pour les plantes transgéniques⁵⁸. Si la recherche est restreinte au blé, on compte 57 publications pour les mélanges variétaux et 937 pour les blés transgéniques⁵⁹. Ces données semblent coïncider avec le faible intérêt des chercheurs **en Wallonie** pour ce concept. Un seul travail de recherche à ce sujet est recensé à la Bibliothèque de la Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux (Bronfort, 1993)⁶⁰.

Les mélanges sont **utilisés commercialement** pour plusieurs types de cultures et dans différents systèmes socio-économiques. Ils sont utilisés pour des céréales fourragères (Pologne, Canada) mais aussi pour la production de pain et de malt (mélanges orge/blé au Danemark)(Vallavieille-Pope, 2004). En **ex-Allemagne de l'Est**, des mélanges ont progressivement été utilisés sur 360.000 hectares d'orge de printemps en réaction au développement du mildiou à des niveaux critiques dans 50% des champs dès 1984, jusqu'à représenter 92% des champs cultivés en 1990. Cette transformation s'est accompagnée d'une diminution des champs infestés (retombés à 10%) et d'une diminution de 300% des champs traités avec des fongicides (Mundt, 2002). Dans le **Pacific Northwest** américain, ils représentent 13% et 18 % des cultures de blé (Mundt, 2002). Les mélanges sont adaptés aux systèmes de céréaliculture hautement mécanisés

⁵⁸ Recherche effectuée le 8 février 2005, actualisée le 8 août 2005 (ISI Web of Knowledge). Topic search TS=(multiline cultivars OR cultivar mixtures) et TS=(transgenic OR genetically modified) AND TS=(plant OR crop OR plants OR crops). Ceci n'est qu'une approximation : le concept d'ingénierie génétique (et de mélange variétal dans une moindre mesure) peut être décrit par bien d'autres mots-clés.

⁵⁹ [TS=(multiline cultivars OR cultivar mixtures) AND TS=(wheat) ; TS=(transgenic OR genetically modified) AND TS=(wheat)].

⁶⁰ Recherche effectuée le 8 février 2005, pour « mélanges variétés » (Catalogue général MIDAS, Recherche ciblée sur les systèmes agraires de nos pays).

et les variétés ont été choisies pour être similaires en taille, maturité et qualité commerciale. Les variétés sont commercialisées en mélange. Les mélanges sont aussi utilisés pour le riz en Chine ou le café dans certaines régions du monde (Zhu et al., 2000; Wolfe, 2000).

En **France**, une expérimentation à large échelle a par ailleurs montré que, si les mélanges n'étaient actuellement pas acceptés, les contraintes socio-économiques (acceptation par les meuniers, objection à la traçabilité de mélanges plutôt que de variétés, qualité, ...) pouvaient être surmontées (Vallavieille-Pope, 2004).

En **Région Wallonne**, les mélanges sont quasi-inexistants. Quelques agriculteurs continuent à planter du **méteil**, un mélange de froment et de seigle, mais de manière marginale. Seule la coopérative d'agriculture biologique Agribio a pour projet de développer le méteil comme diversification car le seigle aurait une tige plus dure, augmentant donc la résistance du champ mixte à la verse (Parizel et Pierreux, 2004).

La plupart des **auteurs** estiment que le concept a un rôle important à jouer dans l'agriculture moderne (Smithson and Lenne, 1996 ; Mundt, 2002), notamment pour diminuer le niveau de l'inoculum des pathogènes dans certains cas (si les mélanges sont utilisés à large échelle), retarder le développement des épidémies (Matson et al., 1997), pour réduire le risque d'effondrement des résistances et pour pouvoir continuer à utiliser des gènes de résistances contournés partiellement (Garrett and Mundt, 1999 ; Finckh et al., 2000). Lorsqu'il est impossible de créer une variété suffisamment résistante à toutes les maladies présentes dans une région, il serait également utile de combiner dans un mélange des variétés ayant différentes résistances aux plus importantes d'entre elles (Cox et al., 2004). Les avantages ne concernent pas seulement les aspects liés aux maladies : la stabilité des rendements est améliorée avec les mélanges, une caractéristique particulièrement importante pour les agriculteurs (Vallavieille-Pope, 2004).

Les mélanges variétaux ne sont pas adaptés à toutes les situations (maladies, régions, ...). Pour les situations favorables, les **obstacles techniques** sont les suivants : le choix de la composition du mélange ; la nécessité de faire des essais de grande taille (pour diminuer l'effet de l'inoculum extérieur) et les spécificités de chaque maladie (Mundt, 2002).

3. *Evaluation du potentiel selon les acteurs*

Des trois voies d'innovations secondaires, les mélanges variétaux sont celle qui a suscité le plus de réactions⁶¹. Selon une majorité des acteurs qui se sont exprimés sur le sujet, les mélanges ont bien un **potentiel théorique** de réduction du risque de maladies pathogènes. Néanmoins, selon les chercheurs, ce potentiel théorique n'aurait pas été confirmé lors **d'essais expérimentaux** en grandes cultures céréalières en Belgique ou en Europe. Face à l'intérêt du concept, il semble en fait qu'un **nombre très restreint d'essais expérimentaux** aient été mis en œuvre.

⁶¹ Il faut cependant faire remarquer qu'un plus grand nombre d'acteurs a été interrogé spécifiquement, ou avec insistance, sur cette voie car il était connu que leur domaine de compétence spécifique était le choix variétal ou les essais de variétés. Cette insistance est donc un biais mais il est un fait qu'un plus grand nombre d'acteurs a pu répondre et discuter des mélanges variétaux par rapport aux deux autres voies d'innovations secondaires.

[Vous avez déjà essayé des mélanges de variétés ?] Ah non, je dis que je devrais le faire mais je ne sais pas quelles variétés mettre ensemble. C'est la question qui revient chaque année. Mais on n'en fait pas. On en parle dans la littérature. (Thierry L., encadrement public et recherche)

Les mélanges variétaux ne sont pas impossibles mais... on a essayé quand même ! [Quand ?] Il y a bien vingt-cinq ans... Globalement il y a une moindre sensibilité, des pertes de rendement moins importantes par rapport à une maladie bien particulière. Mais ça ne facilite pas la gestion de la culture. (Paul H., encadrement public et recherche)

C'est probable qu'il y ait eu des essais, mais c'est complexe à gérer, point de vue maturités différentes, ... Certainement qu'en Suisse ça a été fait. Si les céréales sont ensilées, ça peut être fait, elles sont battues vertes. Techniquement, c'est difficile. Une des variétés va demander une intervention que l'autre demande pas... [Travaux en Suisse ?] Oui, ... Peut-être que du côté bio, pour répartir le risque, ou qu'on peut pas traiter... (Jean-Marc J., encadrement public et recherche)

Seul un chercheur cite l'unique recherche faite en Wallonie sur les mélanges (le mémoire d'un étudiant en 1993). Ce travail semble conjoncturel et ne faisait pas partie d'un programme de recherche soutenu. Le chercheur qui supervisait ce mémoire se souvient d'absence d'effets sur l'incidence de maladies :

Je l'ai fait il y a quelques années. Il y a très peu d'impacts... On a eu un mémoire (Bronfort) là-dessus. On a fait des essais pendant deux ans avec une variété résistante de l'INRA et une sensible ; avec des densités de semis différentes, des proportions différentes, Il y a eu des essais par INRA-PG, encore récemment, j'y crois pas trop, les infections viennent quand même. (David F., encadrement public et recherche)

Quatre **obstacles importants** expliquent en réalité la non utilisation de ce principe en grandes cultures céréalières. Les acteurs font référence à quatre arguments pour attester de l'impossibilité d'appliquer le principe théorique des mélanges aux conditions de grandes cultures. Ce sont essentiellement des arguments de **faisabilité pratique et socio-économique** (micro- et macro-économiques) mais aussi des arguments en termes d'efficacité agronomique et de compatibilité avec la réglementation.

Le premier obstacle qui joue contre les mélanges variétaux serait une **incompatibilité avec l'ensemble des contraintes techniques de chaque variété**. Chaque variété a des propriétés particulières (date de maturité, etc) et exigences précises en termes de traitements phytosanitaires et de récolte. Un champ composé de deux voire davantage de variétés ne pourrait donc pas être géré efficacement par l'agriculteur.

La grande limitation est la difficulté à gérer. (...) Il ne faut pas qu'une variété soit mûre avant l'autre, ou qu'elle ait besoin d'une conduite différente... (...) Théoriquement c'est très valable... mais il faut les lignes... (...) Dans les agricultures de subsistance, les agriculteurs récoltent à la main en plusieurs fois, mais chez nous il faut choisir le moment optimal, et encore on ne sait pas toujours choisir le moment optimal quand on fait appel à un entrepreneur. (Joseph D., encadrement public et recherche)

Oui mais ça se fait très peu... Il y a les contraintes technologiques (récolte, qualités du blé, comportement lors du processing) (Paul H., encadrement public et recherche)

Ca donne des problèmes de maturité, de récolte, de valorisation du lot. Il faudrait que les gènes de résistance des deux variétés soient différents pour que ce soit efficace. Les

mélanges posent des problèmes de qualité, c'est dangereux. Si une variété va mal et fait un mauvais Hagberg une certaine année, elle fout tout le lot en l'air. (Olivier Q., encadrement public et recherche)

Une de ces contraintes, la récolte, est liée à des aspects agro-météorologiques et à des facteurs humains. Nos régions subissent des climats chauds et humides en été, avec risques d'averses : les possibilités de récolte sont donc rendues plus difficiles. Un chercheur a cité le problème de la germination des épis sur pied, qui survient une fois tous les cinq ans et affecte certaines variétés et pas d'autres. Cette germination diminue complètement la qualité de la récolte : un mélange de variétés accentuerait ce risque de diminution importante de la qualité de la récolte (alors qu'il réduit d'autres risques, comme celui de la résistance aux maladies ou à des extrêmes climatiques).

Enfin, une importante partie des agriculteurs a recours à des entreprises de travaux agricoles pour les récoltes : celles-ci ne récolteraient pas toujours au moment exact de maturité. Ces deux aspects, en restreignant la souplesse de la récolte, seraient plus défavorables aux mélanges dans notre région que dans d'autres régions du monde.

Le second obstacle est l'**aspect 'à contre-courant'** du mélange de variétés. Mélanger des variétés dans le champ irait à l'encontre de la **recherche croissante d'homogénéité**, une tendance très forte dans toute la filière, que les acteurs lient à l'accroissement des exigences de traçabilité. Les mélanges variétaux seraient donc incompatibles avec la demande des acheteurs de lots homogènes.

*D'un point de vue théorique, oui, d'un point de vue pratique, on cherche de plus en plus l'homogénéité [De plus en plus ?] Ce qui est sûr c'est qu'on va de plus en plus vers plus de traçabilité. C'est ce qu'on cherche de plus en plus, pour faire des lots à hautes protéines. Chaque benne va avoir son code-barre, son échantillon scellé. Ce genre de techniques, par rapport aux exigences actuelles, va passer difficilement, en grandes cultures en tout cas, peut-être en bio... **Les mélanges, ça semble aller à contre-sens.** (Patrick R., encadrement public et recherche)*

Cette **contrainte d'homogénéité** imposée par l'aval est en fait **relative voire discutable** pour deux raisons. D'abord parce que des possibilités de valorisation de mélanges dans l'industrie agroalimentaire existent. Il est un fait indéniable que les exigences de certains secteurs céréaliers sont très contraignantes. La biscuiterie est par exemple régie par le respect de valeurs particulières en termes de qualité technologique. La meunerie impose également son mode de fonctionnement : comme rapidement synthétisé par un acteur : « *les meuniers préfèrent acheter des variétés pures et faire les mélanges eux-mêmes* ». Même pour ces acheteurs, la résistance aux mélanges est plus culturelle que technique. Le mémoire effectué en 1993 concluait, de manière cohérente avec la littérature sur les mélanges, à la possibilité d'obtenir une récolte rencontrant les critères de qualité souhaités en composant un mélange à partir de variétés qui atteignent, ensemble, les critères souhaités : « *Il semblerait, au vu des résultats que nous possédons, que la valeur des teneurs en protéines, des indices de Zélény et des poids à l'hectolitre soient directement liés à la proportion en poids des deux variétés dans les récoltes.* » (Bronfort, 1993).

Même en tenant compte de l'opposition d'acheteurs majoritaires, la valorisation de mélanges est possible. Il faut en effet souligner que la filière est constituée d'acteurs multiples et que certains acheteurs ont des contraintes moins exigeantes, compatibles avec les mélanges. C'est par exemple le cas de la filière babyfood de Nestlé, dont les

exigences sont maximales en termes de sécurité alimentaire, mais minimales en termes de qualité technologique du grain.

Le critère principal, c'est la fusariose, un peu les protéines (11,5 minimum), pas de critères pour la qualité boulangère (...) Pour nous ce serait bon (des mélanges variétaux), on fait une pâte à crêpe basique... mais je comprends que d'autres aient besoin d'homogénéité. En biscuiterie, c'est beaucoup plus précis par exemple, tout doit être très précis : alvéogramme, farinogramme, etc. Les Moulins préfèrent mélanger les farines eux-mêmes... (Philippe V., acteur économique de la filière céréalière)

Or, en ce qui concerne l'homogénéité, les acheteurs n'ont que quelques caractères... si le mélange a ces caractères de manière homogène (c'est possible). (Olivier S., encadrement public et recherche)

Enfin, il faut souligner qu'en Wallonie, une importante partie du froment est valorisée en **blé fourrager**, transformé en farines/concentrés à la ferme ou par un fabricant externe afin de servir comme aliment au bétail ou à l'élevage de volaille de l'exploitation. Pour ces utilisations, les contraintes d'homogénéité jouent beaucoup moins et les acteurs admettent que la marge de manœuvre du producteur serait plus grande.

[Mais pour les usages fourragers, cela pourrait être utilisé ?] Pour une utilisation fourragère, ça peut être une voie. Il y a quand même les contraintes de récolte... (Paul H., encadrement public et recherche)

Le troisième obstacle serait le non intérêt des mélanges à cause des **conditions spécifiques de la fusariose et de la Région Wallonne**. Un seul acteur interrogé évoque cette piste. C'est un fonctionnaire retraité de l'ex-Ministère fédéral de l'Agriculture. A son avis, les mélanges variétaux seraient surtout intéressants lorsque deux conditions sont satisfaites : 1) des maladies dont les agents pathogènes sont transportés par l'air 2) des régions où la diversité des variétés plantées est très faible, ce qui n'est pas le cas de la Région Wallonne. Le concept aurait d'ailleurs été testé il y a quarante ans, mais surtout dans d'autres pays car il ne conviendrait pas à notre agriculture :

[Mélanges variétaux ?] Ça a été un truc, on a fait des mélanges, des variétés multilines... [Essais en Belgique ?] Non, très peu, car fondamentalement, la Belgique a peu de régionsensemencées avec une variété, sauf dans les années 50, où 80% de la superficie était plantée d'une même variété. Il y a eu une grosse épidémie de rouille jaune en 1957. Il y a eu des essais dans les années 60. [Effet positif sur maladies ?] Oui, ça a diminué la disponibilité d'inoculum, pour les maladies qui se transportent par l'air. Cette piste a été explorée. [Cette voie n'est donc pas une piste d'avenir ?] Ce n'est pas une voie d'avenir. Il faut avoir des résistances très exprimées, des rendements, pour que ce soit intéressant. Les variétés multilines ont surtout été développées aux Pays-Bas. (...). Cela ne donne des résultats que là où une variété dominante est plantée fortement dans une région. Surtout pour l'oidium, pour lequel il y a eu beaucoup d'essais anglais. (Olivier S., encadrement public et recherche)

L'explication semble convaincante, et pourrait expliquer le fait que cette voie d'innovations ne soit plus envisagée dans notre région. L'explication est toutefois partielle : aucun autre acteur n'a cité cet argument (alors qu'il semble le plus convaincant). Par ailleurs, des recherches prouvent des effets même dans le cas de maladies portées par des pathogènes du sol. Enfin, la question de la diversité des variétés plantées en Région Wallonne a été difficile à approfondir. S'il est un fait que les surfaces céréalières sont plantées de plusieurs variétés (au contraire de certaines

régions françaises ou même en Région Wallonne à certaines époques), très peu de données sur le réel degré de diversité génétique des variétés plantées ont pu être trouvées.

L'ex-fonctionnaire interrogé laisse lui-même sous-entendre que la piste pourrait être mieux explorée une fois que nous approfondissons. Il revient alors aux arguments développés par la majorité des acteurs : le fait que les mélanges vont à l'encontre de l'homogénéité.

[Est-il possible que la piste des mélanges soit sous-évaluée?] Probablement...Mais qui fait les mélanges ? Les agriculteurs : ils n'ont jamais voulu le faire. Ca va contre la recherche de l'homogénéité variétale. Or, en ce qui concerne l'homogénéité, les acheteurs n'ont que quelques caractères...si le mélange a ces caractères de manière homogène (c'est possible). [Des essais ont été concluants sur le riz en Chine] Oui mais en Chine, ils ont une agriculture dirigée ! ... Depuis 91, on vit le marché unique pour les semences, ce qui a ouvert les contraintes du catalogue. (Olivier S., encadrement public et recherche)

Enfin, un quatrième obstacle est cité, également par un seul acteur rencontré. Il s'agit des obstacles liés aux **réglementations publiques contraignantes**. La vente de semences est par exemple réglementée, et des normes de pureté variétale doivent être respectées.

Sur papier, ça a l'air très bien mais il y a des problèmes pratiques. On ne peut pas livrer de mélanges. Il y a des normes du ministère pour la pureté variétale... .Le fermier devrait mélanger avant de semer. (René T., acteur économique de la filière céréalière)

Les acteurs rencontrés n'ont pas cité le **méteil**, le seul mélange très faiblement connu en Wallonie, même lorsqu'ils étaient interrogés sur les mélanges variétaux. Celui-ci n'a pas non plus été reconnu dans le cadre de la prime agri-environnementale liée à la conservation des anciennes variétés, au grand dam de certains acteurs promouvant celles-ci et alors que l'on compte, parmi les variétés de céréales belges, très peu de variétés ayant une valeur en termes de patrimoine culturel ou d'agrobiodiversité.

Cette MAE a été très mal faite. Le sarrasin, l'épeautre sont rentrés. Mais il n'y a pas de variétés de céréales qui soient patrimoniales en région Wallonne. Donc il n'y a pas de raison de préserver des variétés. Cette MAE est tombée (arrêtée) dans le nouveau projet. [Vous parliez du méteil tantôt, il n'était pas dedans ?] Non, je suis même pas arrivé à le faire rentrer dedans ! (Fabrice B., encadrement public et recherche)

Pour ces raisons, la piste "mélange variétal" serait, selon les acteurs, surtout utile soit pour les systèmes agraires des pays en voie de développement (récolte non-mécanisée) soit à l'**agriculture biologique** (les traitements phytosanitaires y sont de toute façon interdits). (Voir p 224).

2) Eliciteurs de résistance induite

1. Principe

Les plantes ont des mécanismes internes de résistance aux agressions externes, qui sont induits par l'agression elle-même. La **résistance systémique induite** (*systemic acquired resistance, SAR*) est la résistance qui se développe localement ou dans les parties

distales de la plante en réponse à un pathogène causant une lésion nécrotique, ceci étant le résultat soit d'une infection soit d'une réaction hypersensitive (Hammerschmidt dans Gozzo, 2003). Le principe des produits **éliciteurs de résistance systémique induite** consiste à appliquer à la plante des molécules qui induisent, accélèrent ou augmentent ces phénomènes de résistance systémique, afin de la protéger avant une éventuelle agression.

A côté de cette approche, le principe de la SAR peut aussi être utilisée dans le cadre de l'amélioration variétale (pour sélectionner des variétés qui ont des mécanismes de SAR très efficaces) ou de l'ingénierie génétique (pour créer des plantes qui expriment ces caractères de résistances de manière constitutive). La résistance induite est également une des explications de la diminution de l'incidence des épidémies dans les mélanges variétaux. Ces approches sont étudiées dans les voies d'innovations concernées.

2. Niveau de développement de la voie d'innovations

La recherche sur les activateurs de SAR est considérée comme à ses **débuts**. Une grande partie des recherches sont d'ailleurs fondamentales : les recherches expérimentales se font essentiellement sur les plantes modèles comme *Arabidopsis thaliana* et le tabac, mais aussi sur des haricots, le concombre ou le riz (Gozzo, 2003). Une importante partie de ces recherches est consacrée à la compréhension des **mécanismes physiologiques fondamentaux** impliqués (p.ex. le rôle des phytohormones comme l'acide salicylique, l'acide jasmonique et l'éthylène) et aux produits qui sont **activateurs** de la SAR (Sticher et al., 1997 ; Dong, 2001; Durrant and Dong, 2004). Les éliciteurs de SAR peuvent être minéraux, biologiques ou chimiques. Si ces produits sont très nombreux (Sticher et al., 1997), les produits les plus étudiés sont les composés synthétiques BTH et INA⁶² (Vallad and Goodman, 2004). On peut s'interroger sur cette concentration des publications sur les composés synthétiques⁶³.

La recherche sur la résistance induite est plus développée que celle sur les mélanges variétaux. On peut également comparer les recherches sur cette voie d'innovations et sur le génie génétique. Le « Web of science » recense plus de 2.000 publications sur ce sujet contre plus de 14.000 pour les plantes transgéniques⁶⁴. Si la recherche est restreinte au blé, on compte 125 publications pour la résistance induite contre 937 pour les blés transgéniques, à titre de comparaison⁶⁵.

Le BTH a été **distribué commercialement** par Syngenta Crop Protection, sous le nom commercial Bion en Europe, et promu pour le contrôle de l'oïdium en culture de blé. Les résultats expérimentaux en champs d'essais étaient positifs pour le contrôle de l'oïdium, de la septoriose et des rouilles (Vallad and Goodman, 2004). Un traitement de

⁶² BTH = Benzo-(1, 2, 3)-thiadiazole-7-carbothioic acid S-methyl ester ; INA = 2,6-dichloroisonicotinic acid

⁶³ Dans leur review, Vallad et Goodman synthétisent 37 recherches expérimentales : 32 testent le BTH et 5 l'INA. Les auteurs centrent leur revue bibliographique sur ces deux molécules « car les mécanismes de résistance ont été bien établis dans des études de laboratoires » (Vallad and Goodman, 2004).

⁶⁴ Recherche effectuée le 8 février 2005, actualisée le 8 août 2005 (ISI Web of Knowledge). Topic search TS=(systemic acquired resistance OR induced resistance) AND TS=(plant OR plants).

⁶⁵ [TS=(systemic acquired resistance OR induced resistance) AND TS=(wheat) ; TS=(transgenic OR genetically modified) AND TS=(wheat)].

30g de BTH/hectare protégeait le blé contre le mildiou (Gozzo, 2003). Néanmoins, il existait des fongicides plus efficaces pour contrôler les deux maladies (oïdium et septoriose) et augmenter les rendements. Les recherches effectuées n'ont pas permis de trouver de publications scientifiques sur les résultats observés lors de l'utilisation commerciale de ce produit.

Depuis quelques années, d'autres produits ont été **commercialisés** pour les cultures céréalières, par exemple en France par Goemar, mais pas en Wallonie (voir p 205). L'effort de recherche est bien réel : la firme Syngenta s'y implique par exemple activement⁶⁶. Par ailleurs, le CRA-W a démarré un programme de recherche sur la résistance induite qui s'intéressera aux molécules efficaces en cultures céréalières dans une seconde phase (dans deux ans) après une première phase concentrée sur le secteur fruitier.

Les **avantages** des traitements avec des éliciteurs de SAR seraient les suivants : (i) une limitation de l'utilisation de pesticides traditionnels en faveur de produits non-biocides et vraisemblablement non-toxiques (Osinski et al., 2003), (ii) une facilitation des procédures réglementaires d'autorisation de ces produits, (iii) une meilleure acceptation par le public et les agriculteurs, et (iv) une plus faible propension à générer des populations de pathogènes résistants que les fongicides systémiques ou les gènes spécifiques dans le cas de résistances verticales (Gozzo, 2003 ; Vallad and Goodman, 2004).

Les **obstacles** sont liés aux inconvénients techniques à éviter : (i) les coûts d'adaptation (fitness costs) de la plante, qui doit allouer ses ressources à la SAR⁶⁷, (ii) les conflits dans les voies de défense signalées par l'acide jasmonique et par l'acide salicylique, (iii) une érosion progressive de l'efficacité (adaptation des pathogènes comme dans le cas d'une résistance horizontale), et (iv) certaines familles de protéines PR ont des propriétés allergéniques (allergènes alimentaires) : s'ils sont exprimés de manière constitutive par la plante, ce problème serait important mais il semble que ce soit le cas essentiellement dans des plantes transgéniques exprimant ces protéines de manière constitutive, et non dans les plantes exprimant cette protéine uniquement après un contact avec un pathogène (Gozzo, 2003 ; Durrant and Dong, 2004).

Les auteurs estiment que cette voie a un bon potentiel pour être appliquée à l'agriculture conventionnelle dans l'avenir (Gozzo, 2003), bien qu'elle ne soit pas effective contre tous les pathogènes. De nouveaux éliciteurs, ou cocktails d'éliciteurs, devraient être développés et utilisés au meilleur moment grâce à des systèmes d'avertissements des maladies. L'application concrète de cette voie en agriculture conventionnelle requiert cependant un *« tournant de l'agriculture conventionnelle pour se distancier de la totale dépendance aux seuls pesticides pour résoudre les problèmes, et un effort concerté pour gérer les maladies au lieu de les éliminer »* (Vallad and Goodman, 2004).

⁶⁶ La SAR semble être un des champs de recherche dans lequel Syngenta publie activement (Syngenta, 2005).

⁶⁷ Ces coûts, tels qu'une croissance réduite ou retardée, ne seraient significatifs que lorsque la plante est en condition de ressources limitées, par exemple une faible fertilisation (Gozzo, 2003).

3. Evaluation du potentiel selon les acteurs

La majorité des acteurs rencontrés avaient des avis négatifs sur les éliciteurs de RSI. Ils ont systématiquement renseigné, pour discuter de la résistance systémique induite, le responsable du département Phytopharmacie du CRA-W, qui a mené des essais pour certains produits éliciteurs de résistance systémique induite. Celui-ci évalue le potentiel de ces produits comme nul. Intéressé par le concept de résistance systémique induite et sensible aux critiques généralement faites aux phytopathologistes (qui ne s'occuperaient que de produits phytosanitaires classiques), il estime avoir testé les différents produits proposés par l'industrie dans un large ensemble de conditions culturales, sans **aucun résultat probant**.

La recherche en RSI, c'est un vieux sujet (...) Ce qui est plus neuf, c'est qu'on en sorte des produits (...) Je n'ai jamais observé d'effets en grandes cultures, avec tous les produits testés : laminarine, harpine, silicates de potassium. A ce jour, l'avenir n'est pas là. J'essaie en carottes, effet zéro. La laminarine, un polysaccharide d'algues, est agréée en France, vendue sur plus de 20000 ha. Je dis valeur zéro. Je voudrais dire 5% je ne pourrais pas, mais non je ne dis rien. (...) J'ai tout fait pour trouver un effet. (Jean-Marc Moreau)

Les produits, dans le cadre d'un accord avec Goemar, ont pourtant été testés dans plusieurs modalités de cultures. Seules les conditions complètes de l'agriculture biologiques (au plan de la fertilisation minérale notamment) n'ont pas été étudiées. Le scientifique fait aussi remarquer que les laboratoires de recherche de l'entreprise lançant ces produits sont très petits : « *Le labo Goemar est minuscule, il n'est pas plus grand que la pièce ici à côté !* ».

L'enquête n'a pas permis d'approfondir davantage l'analyse. Seul un inconvénient a été discuté : l'effet environnemental d'une éventuelle surexploitation des fonds marins pour récolter l'algue (8kg d'algues par hectare seraient épandus)

3) Lutte biologique (champignons antagonistes)

1. Principe

Pour rappel, la lutte biologique consiste à favoriser le développement -ou effectuer des lâchers- des prédateurs des organismes pathogènes de la culture. Elle a surtout été appliquée aux insectes destructeurs : les pratiques consistent alors à favoriser les insectes et oiseaux prédateurs des insectes ravageurs pour créer un équilibre bénéfique à la production agricole.

Il existe **plusieurs approches** pour appliquer le concept de lutte biologique au problème lié à la fusariose : (i) l'aspersion d'agents antagonistes à la floraison, (ii) le traitement des semences infectées avec des agents antagonistes et (iii) le traitement des résidus de cultures avec des organismes spécialisés dans la dégradation ou ayant un haut potentiel de colonisation ((Snijders, 2004)).

2. Niveau de développement de la voie d'innovations

En 1995, le faible nombre de travaux scientifiques sur la lutte biologique de la fusariose était remarqué (Parry et al., 1995). Depuis, cette voie d'innovations a été bien explorée. Le « Web of Science » recense presque 5000 publications concernant le contrôle

biologique, attestant d'un intérêt marqué de la communauté scientifique⁶⁸. Si la recherche est restreinte au blé, on compte 722 publications pour la lutte biologique et 937 pour les blés transgéniques⁶⁹.

L'inoculation de champs de froment par des antagonistes dans le cadre de la lutte contre la fusariose a fait l'objet de plusieurs recherches expérimentales. Champeil (2004) passe en revue les différentes études qui ont obtenu des succès à des degrés divers. Les résultats positifs proviennent soit de la résistance induite déclenchée par les pathogènes de différents degrés de virulence (permettant à la plante de se défendre lors de l'éventuelle agression ultérieure par *Fusarium* spp.) soit d'un rééquilibrage des populations de micro-organismes en faveur des non-pathogènes. Dawson et al. (2004) notent par exemple que des souches de *F. equiseti* diminuent le taux de DON de plus de 70 % (dans le cas de graines infectées par *F. culmorum*, 94 % pour *F. graminearum*) soit une efficacité comparable à celle du tébuconazole dans les conditions de l'expérience. Par contre, une faible production de nivalénol était enregistrée.

Il n'existe pas, à notre connaissance, d'applications commerciales à ce jour mais cette voie d'innovations semble relativement importante pour plusieurs maladies. Les acteurs impliqués anticipent en effet déjà le développement de cette voie : un workshop sur l'évaluation des risques des agents de contrôle biologique antifongiques a déjà été organisé en 2004 (RAFBCA, 2004).

Les promoteurs citent comme obstacle au développement et à la commercialisation de cette voie d'innovations la lourdeur des procédures d'agrément des agents de contrôle biologiques, adaptées aux produits chimiques et non aux agents biologiques alors que des méthodes plus simples existeraient (RAFBCA, 2004).

3. Evaluation du potentiel par les acteurs interrogés

Les principes de la lutte biologique pourraient-ils aboutir à des applications pour lutter contre les maladies cryptogamiques en froment ? Pour les chercheurs rencontrés, il s'agit, comme pour les mélanges variétaux, d'un "vieux sujet", dont les résultats en laboratoires laissent entrevoir des applications intéressantes mais sont contredits par les tentatives d'essais en conditions réelles. Aux yeux des chercheurs, cette voie d'innovations semble rassembler contre elle les résultats peu probants d'expérimentations passées mais également un principe théorique qui expliquerait une plus grande difficulté à appliquer la lutte biologique à des champignons phytopathogènes qu'à des insectes ravageurs : l'absence de mobilité du champignon antagoniste. Le scepticisme de certains est relativement net par rapport à cette voie qui ne semble pas avoir d'atouts supplantant les fongicides ou les autres voies.

[Quel est le potentiel de champignons antagonistes pour les maladies ?] (silence) peu de réactions probantes... il y a eu plein de recherches (...) Il y a des résultats prometteurs, statistiquement significatifs, mais pas pertinentes pour être appliqués. [Pourquoi ?] Pour des raisons intrinsèques à la pathogénèse. Le pathogène arrive à un endroit de la feuille : il faudrait que l'antagoniste arrive au même endroit. Cela n'est pas

⁶⁸ Recherches effectuées le 8 février 2005 et actualisées le 8 août 2005 (ISI Web of Knowledge). 4888 résultats pour la recherche [TS=(biological control) AND TS=(plant OR crop OR plants OR crops)].

⁶⁹ [TS=(biological control) AND TS=(wheat) ; TS=(transgenic OR genetically modified) AND TS=(wheat)].

adapté à la septoriose. Peut-être à la fusariose en traitant l'épi à l'antagoniste car la fenêtre durant laquelle il doit agir est plus courte, l'épi à protéger est fermé ? C'est différent avec la septoriose. (Joseph D., encadrement public et recherche)

Les champignons antagonistes c'est un peu comme en malherbologie, il existe des produits (suspension de spores) qui induisent des maladies sur une mauvaise herbe en particulier. Mais il faut les conditions climatiques de développement ! (...) Ce sont des technologies difficiles à mettre en œuvre et à durabilité faible. (David F., encadrement public et recherche) Je ne suis pas sûr que l'efficacité soit bonne. On en a parlé pour le piétin-verse il y a 20 ans. On avait détecté des champignons antagonistes. Les résultats en dehors du labo ont déçu... (Paul H., encadrement public et recherche)

Par contre, certains des chercheurs voient un rôle pour les champignons antagonistes dans le traitement des résidus de cultures avec des solutions contenant des champignons antagonistes dans un objectif de diminuer la dose initiale d'inoculum avant le semis. Cette piste semble néanmoins très complexe techniquement et nécessiterait des efforts concertés (car le bénéfice d'une réduction de l'inoculum ne peut être sensible que si un certain nombre de producteurs la mettent en œuvre dans une région : le bénéfice n'est donc pas privé), ce qui est difficile comme tout effort collectif de prévention.

On pourrait traiter les résidus des cultures avec des bactéries pour combattre la septoriose. Mais un problème est aussi que si les spores vont loin, l'agriculteur qui traite n'est pas le bénéficiaire. (Joseph D., encadrement public et recherche)

4) Analyse des facteurs de développement des voies d'innovations secondaires

1. Facteurs techniques agissant sur le développement des innovations

Les facteurs techniques entravant ou stimulant le développement technique des différentes voies d'innovations secondaires ont été présentés dans les parties « *Etat de développement* » de chaque voie d'innovations. Ils sont ici synthétisés dans le

Tableau 17.

Tableau 17 : Facteurs techniques et scientifiques agissant sur le développement des innovations (voies secondaires)

Voies secondaires	Facteurs techniques positifs (stimulants)	Facteurs techniques négatifs (obstacles)
Mélanges variétaux	<ul style="list-style-type: none"> + potentiel théorique de réduction du risque de maladies^{ent, litt} + augmentation de la stabilité des rendements 	<ul style="list-style-type: none"> - choix de la composition du mélange^{litt} - nécessité de faire des essais de grande taille pour diminuer l'effet de l'inoculum extérieur^{litt} - spécificités de chaque maladie^{litt}
Champignons antagonistes	<ul style="list-style-type: none"> + existence d'agents antagonistes des <i>Fusarium spp.</i> (bactéries, champignons, ...) 	<ul style="list-style-type: none"> - difficultés techniques pour l'application de ces principes aux maladies cryptogamiques^{ent} - lourdeur des procédures d'accréditation^{litt}
Eliciteurs de résistance induite	<ul style="list-style-type: none"> + potentiel théorique de réduction du risque de maladies^{ent} + plus faible propension à générer des populations de pathogènes résistants que les fongicides systémiques^{litt} 	<ul style="list-style-type: none"> - mauvais résultats des produits récemment mis en vente^{ent} - coûts d'adaptation de la plante (fitness costs)^{litt} - conflits dans les voies de défense signalées par l'acide jasmonique et l'acide salicylique^{litt} - érosion progressive de l'efficacité (adaptation des pathogènes comme dans le cas d'une résistance horizontale)^{litt}

2. Les facteurs de développement des différentes voies d'innovations (obstacles et stimulants)

Cette partie synthétise les facteurs qui agissent positivement ou négativement sur le développement des différentes voies d'innovation. Les obstacles aux voies d'innovations ne sont en effet pas que d'ordre technique et scientifique. Le fonctionnement de la filière impose des contraintes et des nécessités d'adaptation à chaque voie d'innovations.

Le Tableau 18 synthétise les éléments analysés dans les parties « *Evaluation du potentiel de cette voie par les acteurs* » de chaque innovation et y ajoute les facteurs qui découlent de l'analyse complète des entretiens et de la bibliographie.

Tableau 18 : Facteurs socio-économiques agissant sur le développement des innovations (voies secondaires)

Voies secondaires	Facteurs positifs (<i>stimulant le développement de la voie d'innovations</i>)	Facteurs négatifs (<i>obstacles au développement de la voie d'innovations</i>)
Mélanges variétaux		<ul style="list-style-type: none"> - contraintes techniques pour adaptation du concept aux pratiques agricoles (variétés compatibles en termes de récolte, maturité, etc) - remise en question du modèle « monoculture-monovariété » (va à l'encontre des pratiques et stratégies des producteurs, sélectionneurs, firmes semencières, etc)^{ent, syst} - exigence croissante d'homogénéité (secteur agroalimentaires)^{ent} - aspect « contre-tendance »^{ent} - normes de pureté variétale empêchant les sociétés de livrer des mélanges^{ent} - faibles efforts de recherche appliqués^{litt, syst}
Champignons antagonistes		<ul style="list-style-type: none"> - faibles connaissances sur l'effet précis de l'inoculation des débris végétaux^{litt} - difficultés des procédures d'autorisations des agents de contrôle biologique^{litt}
Eliciteurs de résistance systémique induite	<ul style="list-style-type: none"> + facilitation des procédures réglementaires d'autorisation de ces produits^{litt} + meilleure acceptation par le public et les agriculteurs^{litt} 	<ul style="list-style-type: none"> - produits actuels non-concurrentiels par rapport aux fongicides de synthèse - recherche à un stade fondamental - faibles efforts de recherche appliquée^{syst}

5) Voies d'innovations non prises en compte

Une innovation est actuellement interdite par la loi : la **détoxification** (chimique ou physique). Elle n'agit qu'en aval de la production (détoxification du grain avant le process alimentaire) et n'agit pas sur le développement de la maladie. Elle n'est pas étudiée ici.

Plusieurs autres importantes voies d'innovations n'ont pas pu être prises en compte ici car elles étaient trop indirectement liées au problème initial (la fusariose ou les maladies cryptogamiques en général).

Il s'agit des **associations culturales** (céréales-légumineuses), de **l'agroforesterie** (association blé-noyer, blé-peuplier, ...) (Anonyme, 2005a) et des cultures-pièges (engrais verts) ainsi que d'une voie plus hypothétique, **l'agriculture de céréales pérennes** (Pimm, 1997).

Aucune de ces voies d'innovations n'a été évoquée même par un seul des acteurs interrogés. Certaines d'entre elles sont pourtant essentielles et pourraient se développer du fait de leurs avantages par rapport à d'autres problèmes techniques ou d'objectifs prioritaires (réduction des intrants énergétiques (fuel et fertilisants), fixation de carbone (changements climatiques)...).

Ces voies d'innovations sont étudiées au Chapitre 7.

D. Innovations institutionnelles ou politiques

Au cours des entretiens, les acteurs ont parlé d'un certain nombre de possibilités en termes d'information, de gestion du marché ou de politiques agricoles, qui permettraient aussi d'améliorer la gestion des maladies cryptogamiques. Ces innovations ont été regroupées sous le terme **d'innovations institutionnelles ou politiques**, pour les distinguer des innovations techniques et technologiques.

En tout, huit innovations de ce type ont pu être dénombrées dans les domaines de l'amélioration de l'information, du marché (innovations commerciales et réglementations publiques) et de la politique agricole (Tableau 19).

Ces différentes innovations permettraient de diminuer le problème de la fusariose ou des maladies en général en agissant soit sur une des stratégies actuelles (par exemple en rendant celles-ci plus efficaces ou en rendant leur utilisation plus intéressante ou contraignante) soit sur une des voies d'innovations technologiques (en favorisant son développement). Ces innovations sont étudiées dans le contexte de la diminution générale des problèmes de maladies et de l'utilisation de fongicides. Seules les innovations 3a et 3b concernent spécifiquement et uniquement la fusariose.

Ces innovations institutionnelles démontrent aussi la marge de manoeuvre des autorités publiques en matière de gestion des problèmes et des innovations. L'Etat est loin de ne pouvoir que stimuler l'innovation, il peut aussi innover en matière institutionnelle pour accélérer le développement de certaines innovations technologiques, et d'orienter l'innovation par rapport à certains problèmes.

L'analyse de ces innovations est naturelle dans le cadre de l'approche systémique. Toutefois, l'analyse n'a pas été aussi approfondie que pour les innovations technologiques. Le premier intérêt de cette partie est de les recenser, le second d'établir les liens entre celles-ci et les différentes innovations technologiques, quand ils existent. Les voies d'innovations analysées dans cette partie n'ont pas été nommées comme telles par les acteurs interviewés (ni automatiquement, ni en réaction à une question citant ce terme précis). Certaines n'ont pas été identifiées par les acteurs interrogés mais émergent de l'approche systémique.

Tableau 19 : Innovations institutionnelles ou politiques pour la gestion des maladies

Domaines	Innovations institutionnelles	Principe
Amélioration de l'information	1) Systèmes de modélisation du risque de maladies *	Amélioration des réseaux d'avertissements pour les maladies ; systèmes d'informations géographiques (SIG) de prédiction du risque par parcelle.
	2) Promotion du calcul de l'optimum économique	Calculs systématiques de la rentabilité économique des variétés intégrant les coûts de protection phytosanitaires et comparaison de la rentabilité de différents systèmes agraires
Marché : réglementations publiques	3a) Système HACCP *	Système intégré de gestion du risque aux points critiques de la filière et déclassement des lots contaminés
	3b) Valorisation non alimentaire des lots à risque ou contaminés *	Utilisation des lots dépassant les normes maximales pour l'alimentation dans les filières « énergies vertes »,...
	4) Introduction de normes de résistance minimales pour l'inscription des variétés	Politique d'acceptation des variétés sur base de seuils minimaux de résistance
	5) Création d'un cadre réglementaire adapté aux mélanges variétaux	Réglementations adaptées aux mélanges variétaux, avec modification des normes de pureté variétales notamment.
Marché : Innovations commerciales	6) Filières de qualité différenciées	Intégration, dans des cahiers de charges, de listes positives de variétés résistantes et du respect des stratégies préventives
Politique agricole	7) Mesures agri-environnementales (MAE) (échelon local)	Intégration, dans des cahiers de charges de nouvelles MAE, de listes positives de variétés résistantes et du respect des stratégies préventives
	8) Promotion d'une diversification des cultures (échelon régional)	Diversification des variétés, des espèces de céréales et des cultures pour diminuer la pression des pathogènes.

Légende : * : Les innovations marquées d'une astérisque sont considérées comme 'principales', les autres étant 'secondaires', en fonction des mêmes critères que pour les innovations technologiques.

1) Amélioration de la circulation de l'information

Systèmes de prévision du risque de maladies

Face au caractère cyclique et aléatoire du risque de contamination par la fusariose, une des pistes de gestion du risque sur lesquelles certains acteurs travaillent est la création de systèmes de prévision et modélisation du risque. Ce type de modèle est basé sur la technologie des systèmes géographiques d'information (SIG) dont la précision peut atteindre l'échelle de la parcelle, couplée à l'utilisation des données agrométéorologiques, qui permettent de diagnostiquer et prédire le risque de développement de la maladie. Des recherches sont en cours pour utiliser les données agrométéorologiques de la région afin de caractériser le risque d'infection de fusariose, par estimation de la durée d'humidité des feuilles de céréales (Detrixhe et al., 2003). Un tel système est en développement par le CRA-W (Chandelier et al., 2005).

Le système de modélisation du risque par parcelle a pour objectif de permettre la séparation des lots à risque, qui seraient détournés vers des utilisations non alimentaires (voir p 213). Le risque est donc redistribué vers les agriculteurs qui subissent des conditions agro-météorologiques défavorables ou qui n'utilisent pas les stratégies préventives. Il permet de réduire le nombre d'analyses du contenu en mycotoxines.

Le système de modélisation est l'innovation institutionnelle qui a été la plus citée lors des entretiens. Ce serait, selon certains, l'innovation la plus utile pour que la filière puisse gérer le problème de la fusariose.

La modélisation reste l'outil que tout le monde attend. [Il y a une vraie attente ?] Ce serait parfait pour le consommateur, évidemment ce serait à posteriori, au détriment de l'agriculteur. Il y a évidemment la question de qu'est ce qu'on fait l'année où les taux de mycotoxines sont très forts. Tout déclasser ? (Isabelle M., encadrement public et recherche)

Le système de modélisation est proche et complémentaire au réseau d'avertissement. Ces innovations se situent dans le cadre de ce qu'on appelle l'agriculture de précision, permettant de mieux prédire le moment où un traitement fongicide est le plus efficace, grâce à l'accumulation des connaissances sur le pathosystème et sur le risque.

Les progrès en matière de diagnostic du développement des maladies sont en fait importants. Un système d'avertissement des risques de maladies est aujourd'hui coordonné par une association gérée par les différents acteurs de la filière : le CADCO (Centre Agricole pour le Développement des cultures Céréalières et Oléo-protéagineuses). L'innovation considérée consiste donc ici à améliorer ces systèmes -en intégrant de nouveaux paramètres par exemple- et à le coupler à un système de modélisation du risque par parcelle pour la fusariose.

Promotion du calcul de l'optimum économique

L'encadrement public des producteurs a été analysé précédemment (cfr p 161). Il a été montré que l'importance du choix de variétés résistantes est bien soulignée dans la vulgarisation et les conseils. Pourtant l'analyse des recherches expérimentales présentées démontre, d'une part, que le calcul du rendement brut prime nettement sur celui de l'optimum économique, et d'autre part que lorsque ce dernier est réalisé, il est démontré que le choix de variétés résistantes et des systèmes culturaux à utilisation réduite d'intrants aboutissait à l'optimum économique.

La promotion systématique de ce calcul dans les publications, les conseils et via la création d'un outil pratique (logiciel de choix variétal intégrant le calcul de l'optimum économique à partir des données expérimentales des différentes années précédentes) constituerait donc une innovation intéressante.

2) Réglementation publique du marché

Gestion du risque et déclassement des lots contaminés

Etant donné que le problème principal de la fusariose est la contamination des grains plus que les baisses de rendement au champ, une possibilité d'innovation est de ne gérer que les problèmes de la contamination, en séparant les lots à risque ou contaminés et en les utilisant dans des filières non alimentaires, où la présence de mycotoxines n'est pas

un problème. Cette voie pourrait se concrétiser plus facilement avec la création d'un système de modélisation du risque et avec le développement des filières « énergies vertes ». Elle peut être considérée dans le cadre des systèmes de gestion du risque tout au long de la filière, comme le système HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) (European Mycotoxin Awareness Network, 2005).

Introduction de normes de résistance minimales pour l'inscription des variétés

Un autre levier d'action se situe au niveau des procédures d'inscription des variétés aux catalogues nationaux. La résistance des variétés à la fusariose est évaluée dans les procédures réglementaires en Allemagne, aux Pays-bas et en Angleterre. En Allemagne, un niveau minimal de résistance est requis (niveau 5 sur une échelle de 1 à 9) et les variétés dépassant un seuil minimal sont exclues des essais des coopératives agricoles, ce qui limite les possibilités de marketing et de développement commercial (Snijders, 2004). La combinaison de ces deux normes est un puissant levier pour exclure les variétés sensibles à la fusariose.

En Belgique, la procédure est sensiblement différente. Les nouvelles variétés sont évaluées sur une batterie de critères (rendement, résistance à la verse, résistance aux maladies, qualité technologique, etc.). Pour chaque critère, une moyenne est calculée sur base des résultats des nouvelles variétés et de variétés témoins. La différence entre le résultat d'une nouvelle variété pour ce critère et la moyenne pour ce critère donne ensuite une note (négative si la variété a sous-performé, positive dans le cas contraire), qui est multipliée par un indice servant à pondérer l'importance des critères entre eux (les pondérations sont de 1 pour le rendement, 0,9 pour la résistance à la verse, 0,2 à 0,3 pour les résistances aux différentes maladies, etc.). Cette méthode handicape donc les variétés sur leurs faiblesses et les renforce sur leurs atouts. L'addition des notes positives et négatives donne une note globale qui détermine l'admission des nouvelles variétés. Seules les variétés ayant un résultat globalement positif par rapport à la moyenne sont acceptées (elles ont une valeur ajoutée par rapport aux variétés existantes). Les autres sont refusées. Les variétés sensibles aux maladies sont donc en effet défavorisées dans le système actuel, d'autant plus que les tests se font sans aucun fongicide. Cependant, une variété sensible à la fusariose mais ayant un très bon rendement et de bonnes caractéristiques pour les autres paramètres, peut être acceptée. Il n'y a en effet pas de seuils minimaux exigés.

Il faut également noter qu'il n'existe pas de procédure pour retirer l'homologation d'une variété qui deviendrait, avec le temps, trop sensible à une maladie (la fusariose par exemple), ce qui modifie les résultats grâce auxquels elle avait été initialement homologuée. C'est le cas de la variété Meunier qui, malgré le fait qu'elle est devenue sensible aux maladies, reste fort utilisée car elle est adaptée à certains objectifs des agriculteurs.

Ces seuils minimaux devraient être fixés au niveau européen pour être efficaces et induire de réels changements directement (sur l'utilisation des variétés) et indirectement (sur les objectifs prioritaires des firmes semencières). Ils pourraient être fixés dans un cahier de charges établissant des normes minimales pour les procédures nationales. S'ils étaient établis pour plusieurs maladies, ils représenteraient donc un réel stimulant à l'utilisation de variétés plus résistantes.

Création d'un cadre réglementaire adapté aux mélanges variétaux

Des innovations en terme de réglementations sur l'homologation des variétés permettraient un meilleur développement des mélanges variétaux. L'analyse des obstacles à ce développement avait en effet démontré que les normes de pureté variétales empêchaient un développement commercial des mélanges. Il faudrait donc créer un cadre spécifique pour les mélanges, comme cela a été fait dans d'autres pays (Vanloqueren and Baret, 2006), et développer des essais variétaux pour ces mélanges, dont les résultats seraient diffusés dans le Livre Blanc comme pour les autres variétés.

3) Innovations commerciales (Filières de qualité différenciée)

Les innovations commerciales peuvent être des leviers pour promouvoir les stratégies préventives dans le cadre d'une gestion intégrée des maladies, mais également une agriculture moins intensive en intrants.

Actuellement, en céréales, il existe deux **filières de qualité différenciée** qui peuvent être reliées au problème de la fusariose et des maladies. Il s'agit de la filière babyfood de Nestlé et de celle du « Pain Bayard » des Moulins de Statte. Les deux filières, bien qu'ayant des objectifs différents, encouragent voire obligent les agriculteurs à mettre en place plusieurs des stratégies préventives, en recommandant par exemple une liste de variétés tolérantes ou résistantes à la fusariose dans le cadre de contrats avec les agriculteurs.

Filière babyfood

La filière babyfood est celle qui correspond aux normes européennes en vigueur pour l'alimentation des enfants en bas âge, des normes qui sont spécifiquement contraignantes en matière de mycotoxines (norme minimale de 200 ppb de DON)⁷⁰. La directive est amplement discutée en Wallonie du fait de sa spécificité par rapport à la question de la fusariose et de la présence à Hamoir d'une des sept usines européennes « babyfood » de Nestlé. L'importance réelle de cette filière spécifique est plus relative : l'usine traite 8000 tonnes par an, dont la moitié ou les trois-quarts proviendraient de Wallonie. Le cahier de charges interdit le précédent maïs et recommande certaines variétés (résistantes à la fusariose) en fonction des caractéristiques des variétés publiées dans le Livre Blanc⁷¹. La prime pour l'agriculteur atteint 1,25-1,5 euros la tonne, (en plus du prix de 90 euros/T sur les marchés en 2004). Des analyses de DON sont faites à plusieurs niveaux, ce qui entraîne un coût très élevé pour Nestlé.

⁷⁰ La directive impose des normes en matière de résidus de pesticides mais cela ne pose pas de problèmes essentiels en céréales si ce n'est l'interdiction du chlorméquat (un régulateur de croissance qui laisse beaucoup de résidus).

⁷¹ La personne interrogée n'a pas souhaité mettre ce cahier de charges à ma disposition, bien que nous l'ayons parcouru visuellement durant l'entretien, de peur que Nestlé soit associé d'une quelconque manière à un document initialement centré sur les blés transgéniques, ce qui pourrait aboutir à des malentendus (Nestlé n'utilise pas d'OGM). Ceci est un exemple supplémentaire de l'exposition extrême des groupes multinationaux à la controverse sur les OGM et de la difficulté d'étudier leurs pratiques.

Pain Bayard :

Le Pain Bayard est une initiative privée des Moulins de Statte, la plus grande meunerie industrielle en Wallonie (mais de taille moyenne : 25000 tonnes de céréales/an) et de ses partenaires, négociants et agriculteurs. L'origine de la création de cette filière tient à la volonté de mieux valoriser les céréales wallonnes (seulement 4% des céréales produites en Wallonie y sont transformées, dans six Moulins, la majorité partant dans une cinquantaine de meuneries en Flandre) et à celle de construire une filière de qualité dans le contexte de l'après-crise de la dioxine. Les deux objectifs principaux sont la traçabilité du produit (depuis l'agriculteur jusqu'à la boulangerie en passant par le meunier) et la production d'un produit du terroir ayant du goût, grâce à une recette ancienne imposant des temps de pétrissage et de fermentation longs (Moulins de Statte, 2001).

Des contrats « froment Bayard » sont faits avec des agriculteurs spécifiquement pour cette filière. Le cahier de charges interdit la culture sur une parcelle avec un précédent ou anté-précédent maïs, le labour simplifié après une culture sensible, l'usage de régulateur de croissance autre qu'un produit spécifique (le Moddus⁷²), et l'usage d'insecticide. Au niveau des fongicides, l'utilisation de strobilurines seules est interdite (Ndlr : elle n'est que déconseillée dans la filière classique). Le choix de variétés résistantes aux *Fusarium* et les rotations de deux ans seulement sont par ailleurs conseillées si possible (Moulins de Statte, 2004). Une prime de presque 10 €/T récompense les efforts liés à ce cahier de charges.

Les boulangeries doivent elles aussi respecter un cahier de charges précis pour respecter la recette originale (pétrissage lent, temps de repos prolongé, etc.). Entre 150 et 200 boulangeries (ou points de vente) distribuent le produit mais les volumes vendus sont faibles (2 à 5000 T/an). Le Pain Bayard est donc une filière impliquant agriculteurs, négociants, meunerie, boulangerie et consommateur. Il pourrait devenir un des produits de la marque wallonne Eqwalis.

Ces deux filières ont donc des objectifs totalement différents mais promeuvent les stratégies préventives par rapport à la fusariose, dont l'utilisation de variétés résistantes. Dans les deux cas, des acteurs ont composé un nouvel agencement des relations entre les acteurs de la filière *de la fourche à la fourchette*.

On peut facilement imaginer qu'en cas d'amplification du problème de la fusariose (ou de normes plus contraignantes en DON), les listes de variétés « recommandées » puissent devenir contraignantes ou être assorties d'une liste de variétés interdites.

4) Politique agricole

Deux types de politiques agricoles sont ici discutées : d'abord les mesures agri-environnementales et ensuite une politique de diversification des cultures.

⁷² A la place du chlorméquat (CCC) qui pose des problèmes de résidus.

Mesures agri-environnementales

Deux mesures agri-environnementales (MAE) concernent directement les céréales : la mesure « réduction de la densité de semis en céréales » et la mesure « culture régionale traditionnelle ». La première vise à la diminution des intrants et la seconde à la préservation des anciennes variétés. Bien que mises en place depuis plusieurs années, nous les considérons comme des innovations tant leur importance actuelle est anecdotique. Seulement un demi pour cent des surfaces de céréales (moins de 1000 hectares) faisaient l'objet de la mesure agri-environnementale « densité de semis » en 2000 (GIREA, 2002).

Le cahier de charges de cette MAE impose trois conditions (la seconde a été effacée dans la nouvelle définition de cette mesure en 2005) : la réduction de la densité de semis (semencier à moins de 200 grains par mètre carré), l'application d'un fongicide au maximum (alors que les producteurs en appliquent souvent deux) et l'interdiction d'utiliser un régulateur de croissance (utilisé systématiquement en conditions normales). En plus de ces conditions, le raisonnement de la fumure azotée est conseillé et promu. Une prime de 90 €/ha/an permet de combler la prise de risque par rapport à d'éventuels différentiels de rentabilité. Un engagement sur cinq ans est requis pour bénéficier des primes.

Cette MAE est celle pour laquelle les agriculteurs ont le plus d'intérêt, après la couverture hivernale avant une culture de printemps, selon une enquête auprès de plus de 200 agriculteurs. La mesure s'est surtout développée auprès des agriculteurs qui pratiquaient déjà un système proche du cahier de charges MAE : la plupart de ces adhérents n'ont pas modifié notablement leurs pratiques antérieures (Grosjean et al., 1999).

L'évaluation agronomique est positive : le schéma MAE, en plus de limiter les pertes d'azote par lessivage, maintient une végétation moins sensible aux accidents de verse et aux maladies cryptogamiques (Buyze et al., 2003). Sur le plan de la qualité, des essais concluent à un taux de protéines quasi égal en MAE (en moyenne 11,8) qu'en schéma conventionnel (en moyenne 11,9) (Buyze et al., 2003).

Les premières évaluations agro-économiques ont, elles, abouti à des résultats contrastés : les schémas culturels « MAE » étaient aussi ou plus avantageux lors d'années où la pression des maladies était peu prononcée et en absence de verse (1997) mais procuraient une marge brute inférieure dans un contexte plus défavorable (1998) (Grosjean et al., 1999). Les derniers résultats, couvrant quatre années (2000-2003), donnent par contre des résultats nettement en faveur du schéma culturel « MAE » : *« sur les quatre dernières années, l'optimum économique est atteint dans les modalités MAE. Les réductions d'intrants cumulés à la prime justifient l'engagement sur cinq années de MAE »* (Soete et al., 2003). Les conclusions des articles parus dans le Livre Blanc étaient déjà comparables à celle-ci depuis septembre 2000 : *« dans ces conditions, pour tous les essais présentés, l'optimum économique a été atteint dans les conditions des mesures agri-environnementales, que ce soit en froment classique, en hybride ou en orge de brasserie »* (Wouez et Falisse, 2000).

L'évaluation environnementale est plus complexe pour des questions d'échelle et de durée : des effets mesurables ne pourraient être enregistrés que si une large partie des terres étaient cultivées en MAE. L'avantage principal, selon plusieurs acteurs, est *« d'inciter l'agriculteur à réfléchir ses interventions en fonction de l'évolution de sa*

culture et de sortir des 'recettes sans risques' d'une conduite intensive à outrance ». La mesure est donc considérée comme environnementalement positive à moyen ou à long terme (Grosjean et al., 1999).

C'est devenu un outil de raisonnement, et c'est pour cela qu'on a poussé à la garder dans le nouveau plan des MAE. Donc même si les céréales ne sont pas des cultures à risque, si cela aide à ce que l'agriculteur commence à raisonner la diminution d'intrants, il va le réfléchir dans d'autres cultures. (Fabrice B., encadrement public et recherche)

L'avantage était un contrôle visuel facile et que cela induit chez l'agriculteur une réflexion sur les herbicides et fongicides. En effet, si les entrenoeuds sont plus grands, les maladies remontent moins sur la tige (dispersion des gouttelettes). Cette MAE avait été bien pensée (...) Indirectement, cette première MAE, en interdisant le raccourcisseur, facilite la gestion des adventices et donc l'application de la MAE « suppression des herbicides » (Jean-François V., acteur hors-filière mais lié à l'agriculture)

L'importance du choix variétal dans le schéma cultural MAE est soulignée par tous. Les variétés choisies doivent être les plus résistantes possibles à la verse (du fait de l'interdiction du régulateur) et aux maladies (un seul fongicide autorisé). En conséquence, le manque d'expérimentations appliquant l'ensemble des contraintes MAE pour rassembler davantage de résultats et d'informations sur ceux-ci était souligné en 1999 (Grosjean et al., 1999). De plus larges essais étaient nécessaires pour tester toutes les variétés dans les conditions MAE afin de permettre le meilleur choix variétal possible. Depuis, les recherches consacrées au MAE ont testé, au gré des années, entre cinq et dix-sept variétés : un progrès qui reste donc limité, au vu des essais variétaux conventionnels portant sur quarante à septante variétés. Le commentaire de 1999 reste donc certainement valable.

Les résultats positifs laisseraient supposer que cette mesure est en plein développement. Ce n'est pas le cas. Elle a été peu utilisée par les agriculteurs. Le principal inconvénient est l'obligation d'engagement sur cinq années, un risque qui reste considéré comme trop grand au vu de la situation chaque année différente au plan des maladies et de l'instabilité du prix des céréales. L'optimum économique du schéma dépend en effet très fort du prix du froment. Un autre facteur est la difficulté de promouvoir une mesure qui exige des changements de pratiques agricoles relativement importants (réduire les intrants). Une des réactions de producteurs est explicite sur la difficulté de modifier ce raisonnement. Les instances de promotion, elles-mêmes évaluées sur leur performance en termes de nombre de dossiers conclus, n'auraient pas été encouragés à promouvoir les mesures de ce type.

[Promotion] Il y a eu peu de promotion de cette mesure par Agrenwal. [Pourquoi ?] C'est pas une mesure facile à vendre. Agrenwal, on leur demandait de faire du chiffre, des nombres de dossiers... Les mesures les plus difficiles, qui nécessitaient des changements importants, ne sont pas toujours passées... (Fabrice B., encadrement public et recherche)

A propos des MAE ? le Livre Blanc donne des résultats comme quoi c'est parfois le plus intéressant économiquement, c'est pas intéressant pour vous?] Je regarde ces résultats : si une variété est bonne en MAE, elle est bonne aussi quand on l'intensifie (Louis D., acteur économique de la filière céréalière)

Comme cela a été présenté pour les initiatives privées (Filières de qualité différenciée), on pourrait imaginer d'autres mesures agri-environnementales, ayant des objectifs plus larges face aux maladies et à la réduction d'intrants. L'utilisation des variétés résistantes et des autres stratégies préventives pourrait être certains des points à respecter pour obtenir les subsides publics.

Promotion d'une diversification des variétés et des cultures

La dernière innovation par rapport au problème de la fusariose vise l'échelon régional : la répartition des cultures dans l'espace et leur répétition dans le temps. Il est en effet acquis, pour les chercheurs, que l'homogénéité des cultures est favorable aux épidémies dans les cultures de manière générale.

Un autre effet négatif de cette homogénéité est de contribuer à la faible durabilité des variétés résistantes pour certaines maladies. Cette faible durabilité n'est pas en effet complètement intrinsèque. Les champignons ont des grandes capacités d'adaptation mais celles-ci n'expliquent pas entièrement le problème. En réalité, ce ne sont pas les champignons qui contournent progressivement le mécanisme de résistance de la variété de froment, mais des populations de souches de champignons contournant le mécanisme de défense qui apparaissent (par mutation, reproduction sexuée, etc.) et se développent très rapidement. L'apparition et le développement de ces souches sont en partie dépendants des conditions dans lesquelles la variété est cultivée. Les systèmes agricoles contemporains sont basés sur la monoculture, l'utilisation d'une seule variété dans chaque parcelle (homogénéité génétique dans l'espace) et une faible différenciation génétique des variétés entre elles. Dans ces conditions, la pression de sélection contre un gène de résistance est forte, d'autant plus que l'inoculum n'est pas minimisé systématiquement par la mise en œuvre des quatre stratégies principales (pas de précédent maïs, pas de monoculture de froment, etc).

Pour la rouille jaune, quand une variété est plantée à plus de 5%, elle introduit une pression de sélection sur le parasite. (Olivier Q., encadrement public et recherche)

On peut donc estimer qu'une diversification des variétés de froment, des espèces de céréales cultivées et des cultures présentes en Wallonie contribuerait à diminuer ces deux inconvénients.

a) Diversification des variétés plantées

Comme expliqué précédemment, il est complexe de se prononcer avec certitude sur la diversité génétique des variétés plantées en Belgique (diversité des variétés et généalogie de celles-ci) mais l'avis général est que la diversité des variétés actuellement plantées ne reflète pas une grande diversité génétique.

Pour diversifier, il ne faudrait donc pas seulement une plus grande diversité des variétés vendues et plantées, mais une plus grande diversité des backgrounds génétiques de ces variétés.

Pour la fusariose spécifiquement, une diversification des variétés n'engendrerait pas une diminution de la pression phytopathogène des *Fusarium* sur les froments. On n'a en effet jamais observé de souches de *F. culmorum* et *F. graminearum* spécifiquement adaptés aux différentes variétés (Snijders, 2004), ce qui est inhabituel pour les

pathogènes en général. La diversification est donc utile de manière générale par rapport aux maladies bien qu'inefficace sur la fusariose.

b) Diversification des céréales cultivées

Une seconde diversification possible est celle des céréales, étant donné que certains pathogènes sont spécifiques à un type de céréales seulement (d'autres maladies attaquent plusieurs céréales) alors que plusieurs céréales peuvent parfois être utilisées aux mêmes fins. L'épeautre est par exemple une alternative intéressante au froment pour l'alimentation du bétail. La culture de celui-ci entraînerait moins d'externalités environnementales négatives que celle du froment.

Les différentes céréales à paille cultivées en Wallonie sont le froment, l'orge, l'escourgeon, le triticale, l'avoine, l'épeautre et le mélange méteil.

Une plus grande diversification est cependant très improbable vu le nombre d'obstacles à surmonter. La meilleure rentabilité économique actuelle du froment (par rapport à l'orge d'hiver par exemple) et son rendement élevé sont les principales raisons de sa supériorité.

D'autres obstacles plus indirects sont tout aussi fondamentaux : une diversification des céréales ne pourrait par exemple pas être réalisée sans une nécessaire adaptation (coûteuse) de la filière (meunière par exemple) à d'autres céréales que le froment. La filière céréalière est en effet actuellement spécifiquement adaptée au froment. Les moulins industriels, utilisant un cylindre et pas une meule comme les moulins artisanaux, ne peuvent par exemple pas traiter l'épeautre car les machines ne peuvent pas décortiquer le grain de ses enveloppes (un outillage spécifique est requis).

De même, si à terme les autres céréales pourraient être aussi profitables à l'agriculteur et au transformateur que le froment, des efforts soutenus de recherches sur ces autres céréales seront nécessaires. Le succès actuel du froment s'explique en effet notamment par la concentration des efforts de recherche et de sélection sur cette culture (Groupe de travail de la filière "Céréales" et Unité d'économie et de développement rural, 2003). Les choix d'aujourd'hui détermineront donc également la situation de demain. Les récents efforts d'amélioration variétale du CRA-W sur l'épeautre –le CRA-W a sorti plusieurs nouvelles variétés d'épeautre depuis 1998 après une longue phase de désintérêt pour cette culture- contribuent à améliorer l'attractivité de cette céréale (et donc la diversification des champs).

c) Diversification des cultures présentes en Wallonie

Les chercheurs s'accordent sur le fait que les risques d'épidémies phytopathogènes sont plus élevés dans les régions où les céréales sont les principales cultures.

[Peut-on vraiment dire qu'une forte proportion de terres plantées par la même culture entraîne une forte intensité de la maladie ?] Oui, très vraisemblablement, le risque d'épidémie, d'extension d'épidémie de septoriose est accru dans les écosystèmes où il y a une forte présence de céréales, surtout si elles sont cultivées de manière assez standardisée ». (Paul H., encadrement public et recherche)

Une diversification des cultures au niveau régional permettrait donc de diminuer les épidémies. Cette diversification se fait intrinsèquement en introduisant de nouvelles cultures dans les assolements actuels, ce qui a donc un impact à deux niveaux : (i) sur la

proportion de terres emblavées par la même culture à un moment donné (et donc sur l'inoculum présent dans l'air, mais aussi sur la proportion de terres qui peuvent être atteintes par une maladie donnée à un moment donné) (ii) sur les rotations (et donc sur l'inoculum présent dans le sol, en fonction des précédents favorables ou défavorables). Une diversification des rotations réduit les risques de fusariose (i) en allongeant la durée de la rotation, augmentant donc le nombre d'années entre deux cultures de froment au même endroit, ou entre le maïs et le froment (permettant donc une meilleure dégradation des résidus) (ii) en introduisant des cultures qui ne sont pas hôtes des *Fusarium* (Champeil et al., 2004a). Le développement de la culture du lin, par exemple, serait favorable car le lin est un précédent qui limite très fort le développement de la fusariose.

Une diversification des cultures est essentiellement dépendante des possibilités de valorisation de celles-ci dans les filières (l'agriculteur ne plante que ce qui est valorisable sur les marchés).

La superficie totale des céréales en région Wallonne a diminué suite aux évolutions de la PAC : de 234 300 hectares en 1980 (son maximum), elle est passée à son minimum en 1999 (172 300 hectares) et est aujourd'hui de 174 400 hectares (Conseil Supérieur Wallon de l'Agriculture, 2002 ; Institut National de Statistiques, 2005). Cette diminution pourrait donc être favorable en ce qui concerne le niveau des épidémies. Il faut en fait noter qu'elle s'accompagne, au sein des céréales, d'une concentration sur le froment d'hiver et surtout d'une augmentation de la superficie de maïs, ce qui entraîne une hausse des risques de fusariose.

En fait, l'assolement wallon est fondamentalement déséquilibré : les légumineuses (pois, vesces, etc.) sont tout à fait sous-représentées. Selon une enquête auprès de 258 agriculteurs, la part moyenne des légumineuses dans l'assolement est de 0,9% (Grosjean et al., 1999). L'alimentation de base du bétail est composée d'énergie (maïs, céréales,...) et de protéines (légumineuses, herbe, ...). Une grande partie des protéines données au bétail n'est plus aujourd'hui produite en Belgique mais en Amérique du Sud par exemple car, pour un éleveur wallon, l'achat de tourteaux de soja argentins ou américains est meilleur marché que l'équivalent nutritionnel produit avec des légumineuses sur ses terres. Le déséquilibre dépend donc de faits économiques globaux mais aussi d'accords agricoles internationaux (Accords de Blair House). Une réelle diversification des cultures suppose donc une –improbable– modification de ces déséquilibres économiques et accords internationaux.

Si on amenait une légumineuse tous les quatre ans dans les champs en Région Wallonne, cela permettrait une diversification.... (Jean-François V., acteur hors-filière mais lié à l'agriculture)

5) Influence des innovations institutionnelles sur les innovations technologiques

Les conséquences des innovations institutionnelles ou politiques sur le problème des maladies et sur les innovations technologiques développées dans le point précédent sont détaillées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 20 : Conséquences des innovations institutionnelles et politiques sur le problème initial de la gestion des maladies et sur les innovations technologiques

Innovations institutionnelles	Conséquences sur le problème	Conséquences sur les innovations technologiques				
		Génie génétique	Fongicides	Amélioration classique	Mélanges variétaux	
	Gestion des maladies (dont fusariose)					
1) Systèmes de modélisation du risque de maladies	Restriction du contrôle du risque aux parcelles les plus susceptibles d'être affectées. Redistribution du risque vers les agriculteurs qui ont des problèmes de fusariose		(-) Promotion de l'usage des fongicides seulement dans cas risques (+) meilleure infor sur période d'efficac. des fongicides			
2) Promotion du calcul de l'optimum économique	Possibilité de meilleures décisions par les producteurs en mettant les maladies dans leur contexte écon.	(++) Promotion des variétés résistantes	(- -) Promotion indirecte d'une réduction de l'usage des fongicides	(++) Promotion des variétés résistantes	+ Promotion des systèmes qui permettent d'atteindre l'optimum	
3a) Système HACCP 3b) Valorisation non-alimentaire des lots à risque ou contaminés	Gestion du problème des lots contaminés Redistribution du risque (voir 1)	Diminution de l'incitation à l'innovation sur le problème spécifique de la fusariose				
4) Introduction de normes de résistance minimales pour l'inscription des variétés	L'utilisation contrainte de variétés plus résistantes diminue indirectement la gravité du problème	(++) Promotion des meilleures variétés résistantes	(- -) Promotion indirecte d'une réduction de l'usage des fongicides	(++) Promotion des meilleures variétés résistantes		
5) Création d'un cadre réglementaire adapté aux mélanges variétaux	Diminution de la pression pathogène au niveau des parcelles concernées				Création de nouvelles opportunités de sélection de variétés 'pour mélanges'	(++) Promotion de l'utilisation des mélanges
6) Filières de qualité différenciée		(++) Promotion des variétés résistantes			(++) Promotion des variétés résistantes	(++) Promotion des systèmes qui permettent une réduction de l'utilisation des fongicides
7) Mesures agri-environnementales (MAE) (échelon local)						
8) Promotion d'une diversification des cultures (échelon régional)	Diminution de la pression pathogène au niveau régional			(+)Amélioration indir. de l'attracti. des vari résist par dimi. des effondr. des résist.		

6) Analyse des facteurs de développement des innovations institutionnelles

Le Tableau 21 synthétise les facteurs qui agissent -ou pourraient agir- positivement ou négativement sur le développement de ces innovations institutionnelles. Cette analyse devrait cependant être approfondie : étant donné que ces possibilités ont été peu abordées dans les entretiens, leur analyse reste partielle.

Tableau 21 : Facteurs socio-économiques agissant sur le développement des innovations institutionnelles

Voies d'innovations Innovations institutionnelles		Facteurs de développement positifs (+) et négatifs (-)
Amélioration de l'information	1) Systèmes de modélisation du risque de maladies	+ Attrait des chercheurs et de la filière pour le développement de ces systèmes, dans le cadre d'une transition vers une agriculture de précision (amélioration du "positionnement" du traitement) ^{ent, syst} - coût des investissements ^{syst}
	2) Promotion du calcul de l'optimum économique	+ diminution du prix des céréales et augmentation de l'intérêt pour la réduction des coûts ^{ent} - habitudes et culture des chercheurs et acteurs de l'encadrement public ^{ent, syst}
Marché : réglementation s publiques	3a) Système HACCP 3b) Valorisation non alimentaire des lots à risque ou contaminés	+ pari d'un certain nombre d'acteurs sur ces usages industriels des cultures +/- filière en construction ; incertitudes sur les usages futurs des céréales
	4) Normes de résistance minimales pour l'inscription des variétés	Européanisation du catalogue (plus faible importance des procédures nationales, difficulté d'adopter des procédures communes)
	5) Création d'un cadre réglementaire adapté aux mélanges variétaux	
Marché : Innovations commerciales	6) Filières de qualité différenciée	1) les filières de qualité différenciées sont considérées comme des marchés de niche par les acteurs, non comme des innovations permettant des progrès (en termes d'usage de fongicides par exemple) ^{ent, syst}
Politique agricole	7) Mesures agri-environnementales (MAE) (échelon local)	+ existence de procédure de subsidiation ^{syst} - remise en question des pratiques agricoles actuelles ^{syst} - difficulté de la promotion de cette MAE difficile à mettre en oeuvre ^{syst} - faible intérêt des chercheurs ^{syst}
	8) Promotion d'une diversification des cultures (échelon régional)	- R&D a été focalisée sur le blé, délaissant les autres cultures ^{lit} - Transition difficile, longue existence de (dés)équilibres économiques mondiaux et accord agricoles internationaux ^{syst}

7) Innovations non prises en compte

Plusieurs possibilités de réduction du risque de contamination par les mycotoxines n'ont pas été prises en compte, essentiellement parce qu'elles ne concernent que la partie « mycotoxines » de la fusariose, et non la partie en champ (dans notre volonté d'étudier

la fusariose comme maladie, afin de pouvoir discuter des résultats de l'approche systémique dans le contexte d'autres maladies).

Il s'agit de la **dilution des lots contaminés** dans des lots sains (cette mesure est actuellement interdite) alors que cette possibilité est perçue comme une solution –très partielle- par certains (Placinta et al., 1999) et de la **détoxification chimique ou physique des grains**, elle aussi actuellement interdite.

5. La sous-filière de l'agriculture biologique

L'approche systémique de la gestion des problèmes de maladies, de l'utilisation des différentes stratégies et du développement des différentes voies d'innovations spécifiquement au sein de la filière biologique serait très utile. Nous n'avons malheureusement pas pu enquêter sur cette filière au niveau souhaitable pour cela. C'est donc via les entretiens avec les acteurs de la filière conventionnelle que nous abordons la filière biologique.

La filière conventionnelle et l'agriculture biologique

"[Vous travaillez aussi sur ce qui est fait en bio ?] Non, pas nous. C'est toujours la question qu'on nous pose. (...) Le problème aussi, c'est que c'est pas significatif... si t'as trois parcelles. [Pourquoi vous ne comparez pas avec le bio, si justement tout le monde vous pose la question ?] On n'a pas le temps, et c'est un petit marché... (Isabelle M., encadrement public et recherche)

Le commentaire ci-dessus illustre très bien un fait en Région Wallonne : les acteurs de la filière céréalière « conventionnelle », chercheurs compris, ne s'occupent pas du tout de la filière agriculture biologique. Ils prennent l'agriculture biologique pour ce qu'elle représente quantitativement dans les statistiques agricoles : un système cultural marginal, non digne d'intérêt intellectuel, commercial ou scientifique. L'agriculture biologique ne représente en effet qu'une infime partie de la superficie agricole et reste un marché de niche au niveau commercial.

Les acteurs commerciaux n'y voient pas non plus d'intérêt, étant donné la faible taille du marché, les différences de produits utilisés (variétés, etc.) et les exigences spécifiques. Un meunier a par exemple arrêté sa production de farine bio suite à l'exigence de séparer les silos, de nettoyer les machines avant de traiter les céréales bio, de gérer les contraintes administratives. Les deux organisations d'agro-fourriture (SCAM et Wal.Agri) ne vendent pas de variétés et de produits spécifiques pour ce secteur. La firme semencière Jorion a elle démarré des essais variétaux spécifiques à l'agriculture biologique depuis deux ans. Des essais variétaux sont également mis en œuvre par le CRA-W et la DGA. La majorité des chercheurs concentre cependant ses activités sur les grandes cultures céréalières conventionnelles étant donné la faible taille de la filière bio et la faiblesse de moyens publics pour la recherche. Certains sont mêmes explicitement sceptiques sur le système cultural biologique, expliquant une autre raison du désintérêt des scientifiques pour ces pratiques agricoles différentes :

Le bio est en régression partout. Il faut voir les articles... il n'y a pas d'avantages point de vue qualité et il y a des risques sanitaires parfois plus importants. Il faut voir les purins d'orties et de prêle... Les risques, avec les bactéries toxiques... C'est pas parce que c'est naturel que c'est pas toxique. Si on fait une analyse du risque comme pour les

phytos, ça ne serait pas permis... Dans les firmes phytos ils ont essayé de chercher les molécules dans les purins mais ils ont trouvé des toxines de bactéries (David F., encadrement public et recherche)

Même l'améliorateur du CRA-W, qui s'est donné pour objectif de créer des variétés résistantes aux maladies et moins exigeantes en fertilisants, n'a pas de collaborations actives avec les acteurs de la filière bio, ce qui est surprenant. Les contraintes techniques du travail en bio se mêlent au faible intérêt pour cette filière :

Je ne peux pas dire que je fais de la sélection pour le bio. Il faut des terres certifiées en bio, etc. Mais on peut extrapoler les résultats pour le bio. [Partenariats ?] Non mais certaines lignées sont testées dans des essais bio. Tourmalin (variété fourragère) va bien en bio (Adrien Dekeyser)

Ce faible intérêt des chercheurs et de l'encadrement public des producteurs pour les blés biologiques se retrouve dans l'analyse du Livre Blanc : seuls deux articles, de deux pages chacun, ont été consacrés à ce type de production entre 2000 et 2005 et l'ont été au moment d'un engouement pour cette filière (Bodson et al., 2001 ; Couvreur et al., 2002). Les acteurs interrogés nous renvoyaient vers le Centre d'essais en agriculture biologique (doté d'un chercheur pour toutes les cultures et toute la Région Wallonne) ou vers un fonctionnaire de la Région Wallonne responsable d'essais en bio.

Fusariose et mycotoxines en agriculture biologique

Si les acteurs de la filière ont peu d'intérêt pour l'agriculture biologique, ceux –rares– qui s'y sont intéressés insistent sur la plus faible incidence des maladies dans les terres cultivées en bio. La fusariose, en particulier, est présente dans des proportions bien moindres.

[Comment fonctionnent vos essais variétaux en bio ?] Il y a des maladies mais c'est pas catastrophique. La pression des maladies est bien moindre [Pourquoi ?] La végétation est moins luxuriante, les plantes sont plus aérées. On observe moins de maladies. J'ai presque jamais vu de fusariose. (Il va chercher le travail de mémoire d'un étudiant, Samuel RASE, qui a comparé les taux de DON dans des grains conventionnels et bio, et les résultats sont nets : dans le bio, le taux de DON va de 0,02 à 0,32 et dans le conventionnel de 0,2 à 1,6 (la variété Folio étant la plus mauvaise dans les deux cas)) (Pierre S., encadrement public et recherche)

Les risques de contamination des produits en agriculture biologique seraient eux, selon certains, plus élevés étant donné l'absence de traitements pesticides. Les récentes études comparatives sur des échantillons de céréales conventionnelles et bio, en Région Wallonne, ont démontré le contraire en ce qui concerne deux des principales mycotoxines liées aux *Fusarium* : le DON et la ZEA. Pour les années 2002 (humide) et 2003 (sèche), aucun des échantillons bios ne dépassait la norme maximale sur les deux années et la moyenne du niveau de contamination des échantillons bios était systématiquement moins élevée que celle des échantillons conventionnels, dans des proportions très significatives (Larondelle et al., 2005).

Les études récentes de comparaison de contamination entre les systèmes conventionnels et bios, en conditions expérimentales de champs d'essais, aboutissent en fait à des résultats contradictoires : contaminations plus faibles dans les blés bios que dans les blés conventionnels (David et al., 2004 ; Pussemier et al., 2006) ou impossibilité de distinguer quel système est le moins sensible à la contamination (Champeil et al.,

2004b). Il est cependant infondé de dire que l'absence de traitements phytosanitaires aboutit systématiquement à une plus forte contamination.

Utilisation des stratégies de lutte et de prévention

Le plus faible niveau d'infection des céréales en culture biologique et la moindre pression des maladies seraient expliqués par l'attention portée au choix de variétés résistantes et à longues tiges (induisant une plus faible infection des organes supérieures par les pathogènes du sol), au travail du sol, à la rotation des cultures, à la plus faible fertilisation, à la densité du semis et à l'absence de raccourcisseur (Paulsen and Weissman, 2002).

Les stratégies appliquées dépendent cependant des types d'exploitation. En France, le blé bio était traditionnellement produit dans des exploitations mixtes où les céréales étaient associées à des cultures fourragères dans des rotations longues (8-10 ans), mais les exploitations reconverties au bio plus récemment sont des exploitations céréalières plus classiques, sans élevage et avec des rotations plus courtes (4-5 ans) (David et al., 2004).

Les études scientifiques sur l'effet des systèmes agraires en entier plutôt que l'étude d'aspects particuliers de la gestion des cultures sur les maladies sont rares (Champeil et al., 2004b). Une enquête plus approfondie serait nécessaire pour évaluer l'utilisation réelle des différentes stratégies de lutte et de prévention des maladies.

On peut aussi noter que, depuis des décennies, la sélection variétale n'a pas été faite pour des systèmes biologiques mais, au contraire, pour des systèmes intensifs en intrants de synthèses (fertilisants et phytosanitaires), à quelques exceptions près. Il existe aussi une réelle lacune de références techniques pour la culture de céréales en agriculture biologique (maîtrise de la nutrition azotée, adaptation des processus de fabrication, ...) (David et al., 2004).

Développement des voies d'innovation

Très peu d'éléments concernant les voies d'innovations et leurs interactions avec la filière bio peuvent être déduits de l'enquête. On peut cependant en noter deux intéressants à ce stade :

Amélioration variétale : Les acteurs des filières bio ont un réel intérêt à avoir des variétés adaptées à leurs pratiques agricoles. Ces variétés sont, aujourd'hui, trop peu nombreuses et les promoteurs de l'agriculture bio ont généralement trop peu de moyens pour démarrer des programmes d'amélioration spécifiques. En Suisse, un tel programme a pourtant pu voir le jour depuis des années grâce à des contributions privées. Le fondateur de ce projet, Peter Kunz, a trouvé le moyen de pérenniser des ressources pour l'amélioration variétale bio : créer un système de rémunération du travail de l'obteneur qui impliquerait toute la filière et pas seulement les producteurs (qui paient un tantième en achetant leurs semences sur lesquelles des droits et royalties sont perçus). En déplaçant cette rétribution sur le pain, via une taxe perçue chez les distributeurs ou les boulangers, des moyens structurels pour financer l'amélioration peuvent être trouvés (Schädeli, 2005).

Cet exemple montre que la filière biologique, forcée de reconstruire un système entièrement neuf à côté des circuits parallèles, peut proposer des innovations –ici institutionnelles– qui pourraient aussi être utiles à la filière conventionnelle, si celle-ci

estime que de plus amples moyens publics pour la recherche et l'amélioration sont souhaitables.

Mélanges variétaux : Une des voies d'innovations quasi inexplorée, les mélanges variétaux, a systématiquement amené les acteurs interrogés à parler d'agriculture biologique. Il s'agit des mélanges variétaux, que les acteurs estiment surtout utiles pour ce mode de culture qui s'interdit d'utiliser des fongicides. La pratique de mélanger des variétés serait d'ailleurs utilisée actuellement par les producteurs en agriculture biologique et Agribio, une coopérative bio, a pour projet de redévelopper le méteil (Parizel et Pierreux, 2004).

6. La gestion de l'innovation dans la filière

La gestion du problème de la fusariose et des maladies cryptogamiques en général a été analysée point par point dans les deux sections précédentes.

Plusieurs axes de conclusions transversaux aux différentes stratégies et voies d'innovations sont analysées dans cette section. Le terme '*axe de conclusion*' est utilisé car ces éléments seront comparés dans le chapitre suivant avec les autres études de cas avant d'être assimilés à des conclusions.

- un **développement inégal des voies d'innovations** qui n'est pas uniquement déterminé par le potentiel agronomique de chacune d'entre elles.
- l'**absence de politique d'innovation forte** par rapport à la gestion des maladies et l'utilisation de fongicides.
- un **manque de réflexivité de la filière** -prise comme système- sur ses activités et son fonctionnement, ici en matière de gestion des maladies et d'innovations pour les résoudre.
- la **particularité de la fusariose**, pour laquelle existe une politique d'innovation spécifique, qui donne des enseignements utiles pour analyser la gestion des autres maladies.

Ces quatre axes de conclusions permettent de mieux caractériser la gestion de l'innovation par la filière.

A. Développement inégal des voies d'innovations

Le développement des différentes voies d'innovations est très inégal. Alors que notre approche dénombre six voies d'innovations technologique, seules deux d'entre elles sont réellement présentes à tous les niveaux de développement (depuis le laboratoire jusqu'au champ) : l'amélioration variétale et les fongicides de synthèse.

Le Tableau 22 synthétise les aspects élémentaires du développement scientifique et commercial des différentes voies d'innovations étudiées.

Le Tableau 23 montre que les différentes voies d'innovations sont portées par des acteurs différents, privés et/ou publics, dont les ressources et les objectifs sont très différents.

Tableau 22 : Niveaux de développement des différentes voies d'innovation

Innovations	Validité du principe théorique selon acteurs	Essais expérimentaux		Essais larges échelle	Efficacité sur fusariose (données peu comparables)	Commercialisation
		plante modèle	blé			
1) Phytopharma	***	oui	oui	oui	Sur les symptômes visuels : Maximum 50% pour les meilleurs produits. Sur la teneur en DON : 36 % pour un produit mais contre-efficacité dans certains cas (augmentation de l'incidence de la maladie) (Chandelier et al, 2003)	oui
2) Amélioration variétale classique et moderne	***	oui	oui	oui	Variable (teneur en DON varie de 100 à 2500 µg/kg en fonction des variétés pour (Chandelier et al, 2005),	oui
3) Ingénierie génétique	*	oui	oui	oui (peu, 40 acr.)	Oui, ?	non
4) Mélanges variétaux	***	oui	oui	oui (peu)	Oui, ?	Non en Belgique (anecdotiquement à l'échelle mondiale)
5) Lutte biologique (champignons antagon.)	**	oui	oui	?	Oui, jusqu'à 70% en essais expérimentaux ((Dawson et al, 2004))	Non (pas pour la fusariose)
6) Eliciteurs de résistance induite	**	oui	oui	oui (peu)	Non, ? (controverse sur efficacité sur d'autres maladies)	oui mais pas pour fusariose (rares produits et à faible échelle)

Légende : Les chiffres donnés ici sont difficilement comparables : plusieurs essais sont conduits en conditions artificielles (contamination artificielle, serres, ...), d'autres en essais en champs,...

Tableau 23 : Investissement des acteurs dans les différentes voies d'innovation

Voies d'innovations	Action des acteurs privés qui investissent dans cette voie (recherche, promotion commerciale)	Action des pouvoirs publics à l'échelon régional (encadrement des producteurs recherche, réglementation, ...)
1) Phytopharmacie	<u>Recherche</u> : Firmes phytopharmaceutiques (Bayer, BASF, Syngenta, ...) <u>Promotion</u> : Firmes généralistes (SCAM, Wal.Agri, négociants indépendants)	<u>Recherche</u> : - <u>Réglementation</u> : Procédures d'homologation <u>Accompagnement et vulgarisation</u> : Tests d'efficacité des produits des firmes
2) Amélioration variétale	<u>Recherche</u> : Firmes semencières internationales (Plant Breeding International, Nickerson, Lockoff-Patten) ; Firmes semencières belges (Matton, Jorion) <u>Promotion</u> : Firmes semencières belges et firmes généralistes belges	<u>Recherche</u> : programme de création variétale (CRA-W), programme d'amélioration de la résistance à la fusariose (CRA-W et Jorion) <u>Réglementation</u> : Procédures d'homologation (catalogue des variétés) <u>Accompagnement et vulgarisation</u> : Essais variétaux des variétés commercialisées
3) Ingénierie génétique	<u>Recherche</u> : Firmes biotechnologiques (Syngenta, Monsanto)	<u>Recherche</u> : - <u>Réglementation</u> : application de la directive 2001/18
4) Mélanges variétaux	<u>Recherche</u> : - <u>Promotion</u> : -	<u>Recherche</u> : - <u>Accompagnement et vulgarisation</u> : -
5) Lutte biologique	<u>Recherche</u> : ? <u>Promotion</u> : -	<u>Recherche</u> : - <u>Accompagnement et vulgarisation</u> : -
6) Eliciteurs de résistance induite	<u>Recherche</u> : Firmes (Syngenta, Goemar) <u>Promotion</u> : Syngenta (Usa et Europe), Goemar (en France) mais pas de produits spécifiques pour la fusariose	<u>Recherche</u> : - <u>Accompagnement et vulgarisation</u> : tests ponctuels d'efficacité des produits de la firme Goemar

Légende : Un trait (-) signifie : « pas d'action connue » ; Un point d'interrogation (?) signifie qu'il n'y a pas de données disponibles sur ce point dans la bibliographie consultée

La voie « fongicides » est développée entièrement par des multinationales. En Région Wallonne, les pouvoirs publics ne jouent qu'un rôle de réglementation et d'accompagnement, en informant les producteurs des résultats expérimentaux de chaque produit dans plusieurs situations agricoles. La voie « amélioration variétale » est elle aussi principalement développée par des acteurs privés, des groupes actifs au niveau international ou des firmes belges, même si les pouvoirs publics ont maintenu une activité de recherche restreinte dans ce domaine.

La voie « ingénierie génétique » est portée par deux multinationales : Syngenta et Monsanto. Aucun acteur privé n'investit par contre dans la voie « mélange variétal ». Pour la voie « lutte biologique », nous n'avons pas connaissance d'éventuels acteurs actifs au niveau de la recherche mais aucun acteur ne promeut de tels produits au niveau de la filière étudiée. Pour la voie « résistance induite », certains acteurs privés comme Syngenta font de la recherche fondamentale et des firmes de taille beaucoup plus faible (Goemar) ont développé des produits qu'ils commercialisent ou ont commercialisé.

Les centres de recherche publics n'ont pas investi dans quatre des six voies d'innovations pour les problèmes spécifiques des maladies cryptogamiques (voies 3 à 6). Des laboratoires explorent cependant la voie « ingénierie génétique » pour d'autres caractéristiques (modification de la qualité du blé) et investissent dans la voie « lutte

biologique » pour d'autres cultures. Il faut évidemment rappeler l'existence de multiples problèmes techniques pour lesquels des innovations doivent être développées (maladies, qualité, valorisation technologique des produits agricoles, etc.) et la faiblesse des moyens publics pour la recherche ou la spécialisation internationale de celle-ci.

Il est intéressant de **souligner les contrastes dans les réactions des acteurs par rapport à deux des autres voies d'innovations** : les blés transgéniques et les mélanges variétaux.

Les blés transgéniques résistants aux maladies sont accueillis avec beaucoup de scepticisme. Pour une majorité de chercheurs, de telles variétés ne seront pas une solution efficace et durable par rapport aux maladies tant la complexité du contrôle génétique des résistances et des phénomènes d'adaptation des champignons est grande. Ils invalident partiellement l'idée largement répandue qui voudrait que les plantes transgéniques de « seconde génération », dotées de caractéristiques comme la résistance aux maladies, soient plus intéressantes que les cultures transgéniques actuellement commercialisées. Ces mêmes chercheurs estiment que la technologie en elle-même –la transgenèse végétale- a un important potentiel pour la filière céréalière. Ils estiment que d'autres applications de cette technologie seraient hautement intéressantes, telles que la modification de la teneur en gluténines (amélioration de la qualité panifiable du pain), la modification de la structure de l'amidon, la production de bioplastiques, etc (Voir à ce sujet *Discussion du choix des études de cas* p 296)

Les mélanges variétaux rencontrent également peu d'enthousiasme de la part des acteurs interrogés. Il s'agit de la voie d'innovations pour laquelle les différences entre les avis des acteurs interrogés et les résultats trouvés dans la littérature scientifique ont été les plus significatives et contradictoires. Au contraire des blés transgéniques, les chercheurs estiment que le concept théorique des mélanges a prouvé sa validité par rapport à la diminution de l'ampleur des épidémies. Ce sont des arguments socio-économiques qui sont essentiellement invoqués pour invalider la possibilité d'appliquer ce concept aux systèmes agraires wallons ou européens : recherche de l'homogénéité, aspect « contre-tendance », les normes réglementaires, etc. La plupart des arguments invoqués contre cette voie d'innovations, tels que le caractère impraticable des mélanges face aux exigences de la récolte mécanique, sont pourtant invalidés par les différentes expériences existantes dans des pays voisins dont l'agriculture est proche de la nôtre.

Les avantages de cette voie d'innovations ne provoquent pas un intérêt suffisant de la part des chercheurs. Malgré leur confiance dans le potentiel du concept général de mélange variétal, les acteurs ignorent en conséquence cette voie d'innovations, qui est donc inexplorée. Les avantages des mélanges dépassent pourtant le cadre de la prévention des dégâts des maladies : les mélanges assurent une meilleure stabilité de rendement et une meilleure résistance aux stress environnementaux.

Les obstacles techniques et socio-économiques au développement des plantes transgéniques sont pourtant tout aussi importants et complexes que ceux qui jouent contre les mélanges variétaux. Les résistances des citoyens, les exigences réglementaires (autorisations en champs, responsabilité civile bientôt, etc.) et les difficultés techniques intrinsèques à la transgenèse pourraient en effet aussi décourager les chercheurs et les orienter vers d'autres voies d'innovations. Pourtant, les chercheurs n'adoptent pas la même attitude défaitiste par rapport aux différentes possibilités du génie génétique que par rapport aux mélanges variétaux.

B. Absence de politique et de gestion forte de l'innovation face aux maladies

Notre analyse sur la gestion des innovations au sein de la filière tend à démontrer l'inexistence d'une politique et d'une gestion forte, au niveau des stratégies à utiliser aujourd'hui et des voies d'innovations pour demain, par rapport aux problèmes de maladies dans les champs. La fusariose est une exception (Voir p 240).

Au niveau des stratégies actuelles, l'approche systémique des causes de non application par les producteurs des stratégies conseillées par les scientifiques par exemple n'a pas été menée scientifiquement jusqu'ici, même si chaque acteur dispose d'une partie plus ou moins grande des connaissances informelles en ce domaine. Le décalage entre les conseils donnés et l'utilisation de ces conseils par les agriculteurs, est considéré par un grand nombre d'acteurs comme « la réalité agricole » et ne semble pas digne d'intérêt scientifique. Une approche scientifique devrait au contraire analyser systématiquement ce décalage pour pouvoir mieux comprendre les facteurs qui empêchent les agriculteurs d'appliquer certaines pratiques et innovations, afin d'agir sur les facteurs qui sont influençables.

Au niveau des innovations, il n'y a pas non plus de politique d'innovation particulière de la part de la filière. En matière de gestion de l'innovation par les acteurs de la filière, on peut en fait parler de **confiance** et **délégation**. Les acteurs de la filière font confiance aux chercheurs pour trouver les solutions de demain. Certains chercheurs font eux, à leur tour, confiance aux firmes privées pour développer les innovations. Les deux commentaires ci-dessous illustrent cet état d'esprit.

[A côté des blés transgéniques, quelles sont les autres voies d'innovations, si on se situe à un horizon de 15 ou 20 ans, pour résoudre le problème de la fusariose, de la septoriose, des maladies en général ?] Je pense que les chercheurs sont là. (...) C'est comme en betteraves, les chénopodiacées, demain on trouvera. (Louis D., acteur économique de la filière céréalière)

[Il y a d'autres conséquences à l'apparition de souches résistantes aux fongicides ?] La recherche est mal placée, on n'a pas d'alternatives à très court terme [Et à long terme?] Oui, à long terme les firmes phytos vont trouver une autre famille de fongicides... (David F., encadrement public et recherche)

Il n'y a pas non plus de politique d'innovation provenant des responsables publics régionaux ou fédéraux. Les acteurs n'ont, dans les entretiens, presque pas parlé d'orientations ou d'injonctions politiques en ce qui concernait les stratégies et les voies d'innovation.

C. Faible réflexivité de la filière sur ses activités

L'enquête auprès des acteurs a souvent recueilli leur intérêt : ils n'avaient pas l'habitude de voir une personne externe à la filière céréalière s'intéresser à leurs activités. Ce qui est sous-jacent à l'absence de politique d'innovation et à la gestion de l'innovation par 'double délégation', c'est une faible capacité de réflexivité de la filière en matière d'innovation. Rarement les acteurs interrogés ont semblé se remettre en question par rapport à la gestion actuelle des maladies dans la filière. Le non-développement des

variétés résistantes n'est pas une source d'interrogation, comme celui des mélanges variétaux.

Trois éléments sont ici avancés pour expliquer cette situation : l'importance d'enjeux prioritaires par rapport à la gestion des maladies, l'intérêt majoritaire des acteurs pour les aspects techniques par rapport aux aspects socio-économiques et la prise en compte privilégiée d'un système agricole, le système dominant.

1) Les trois enjeux majeurs pour les acteurs et l'enjeu absent

La promotion d'une gestion intégrée et systémique des problèmes liés aux maladies (aujourd'hui par rapport aux stratégies et demain avec de nouvelles innovations) n'est pas pour les acteurs de la filière un objectif primordial. Ils sont occupés par des **enjeux prioritaires** bien différents, imposés par des niveaux de pouvoirs supérieurs mais acceptés de plein gré.

La filière est en fait mobilisée par trois enjeux majeurs qui interviennent chacun à plusieurs échelons de la filière. Il s'agit de la traçabilité et de la sécurité alimentaire, y compris les normes maximales de mycotoxines, des conséquences de la réduction du prix des céréales, et de l'utilisation des fongicides de synthèse. Ces enjeux mobilisent l'attention et les moyens des acteurs de manière prioritaire.

La traçabilité et la sécurité alimentaire

Ces deux problèmes sont actuellement les deux principaux défis de la filière. Ils sont couplés car l'exigence de traçabilité des produits agricoles et alimentaires est liée à celle de sécurité alimentaire, en croissance depuis les crises alimentaires. Ces deux problèmes occupent une place importante dans les discours de tous les acteurs. La mise en place de procédures de traçabilité et de contrôle de la sécurité alimentaire, tels que les systèmes GIQF ou HACCP, est une des deux principales missions du Conseil de Filière. Ces nouvelles procédures mobilisent les énergies des acteurs de la filière à tous les niveaux pour la mise en œuvre de ces systèmes, l'adaptation des procédures actuelles et la prévision des contraintes futures. Cette adaptation a également un coût important (coût de l'organisation des contrôles et des analyses).

Chaque benne va avoir son code-barre, son échantillon scellé (Patrick R., encadrement public et recherche)

Maintenant dans ce que vous me dites, ce qui est intéressant dans la fusariose pour la filière, c'est l'aspect mycotoxines, la traçabilité, la responsabilité civile... Il n'y a pas encore l'analyse en live : l'analyse ça coûte 120-125 euros et ça prend 4-5 jours donc c'est pas possible. Ça influence les choix variétaux depuis deux ans. Si on a un lot de 200 T refusé, c'est important... (Thibaut S., acteur économique de la filière)

Il est important de faire remarquer que cette exigence de traçabilité et de procédures draconiennes en matière de sécurité alimentaire provient en partie de la structure du système agroalimentaire actuel lui-même. La confiance des consommateurs dans la qualité et la sécurité des produits est en effet maintenue sur le marché agroalimentaire contemporain par des normes strictes, faute de pouvoir établir une confiance dans les opérateurs de production eux-mêmes (producteurs, transformateurs et distributeurs). L'anonymisation des producteurs et l'exposition extrême des grands groupes aux médias se focalisant sur la moindre erreur renforce cette nécessité de procédures strictes

de sécurité alimentaire et de traçabilité. D'autres facteurs augmentent également ce besoin : la taille du marché agroalimentaire, l'éloignement entre les lieux (et moments) de production et de consommation. Le système agroalimentaire, fragile face aux crises alimentaires, repose donc sur ces procédures sécuritaires pour son bon fonctionnement. Celles-ci imposent des coûts à tous les acteurs.

Une exigence en matière de sécurité alimentaire est spécifique au problème étudié ici : les normes maximales en matière de mycotoxines. Si les problèmes sont restreints en Belgique par rapport à la situation prévalent aux Etats-Unis (utilisation de variétés plus sensibles, blé sur blé,...), amenant certains à dire qu'on parle d'un faux problème, la discussion des futures normes européennes représente un enjeu majeur et mobilise l'attention de tous les acteurs qui anticipent tous les adaptations nécessaires à leur échelon.

Pour les céréales, la présence de résidus de pesticides n'est pas problématique, contrairement aux fruits. C'est pendant le stockage que se pose le problème (insecticides de stockage sont de vieilles molécules). Au champ, à part le chlorméquat, pas de problèmes. C'est surtout au niveau des mycotoxines (fusariotoxines) qu'est le problème. Les taux maximums de DON sont en discussion. On ne sait pas encore de quel taux il s'agit : il y a une grosse différence entre le taux sur farine livrée à l'usine et le taux sur le produit tel que consommé par le bébé (car la farine est diluée avec du lait, on parle d'un facteur de 1 à 4). On parle aussi de doser la fumosine, la ZEA, mais on se concentre sur la DON. (Philippe V., acteur économique de la filière céréalière) (...) [Pourquoi est-ce qu'on parle beaucoup plus des mycotoxines ?] Nous on essaie qu'on en parle plus. Quand on voit des gens des pouvoirs publics... L'aflatoxine c'est quand même le cancérigène le plus puissant ! (Philippe V., acteur économique de la filière céréalière)

[Quels sont les enjeux majeurs pour la filière, techniques ou économiques ?] Les gros enjeux c'est les normes mycotoxines. Le problème, c'est comment analyser rapidement pour connaître le risque. On ne sait pas stocker à l'infini de manière différenciée. On pourrait stocker à part les parcelles à risque... (Thibaut V., encadrement public et recherche)

Le vif intérêt porté à la fusariose est récent et correspond à la découverte des mycotoxines associées à cette maladie. L'amélioration de nos connaissances scientifiques en toxicologie et le développement de procédures d'analyse adaptées sont, en fait, à la base de l'importance du problème aujourd'hui (interaction entre connaissances scientifiques, normes publiques et pratiques agricoles). Sans connaissances et outils de mesure, le problème ne peut être pris en compte à sa juste valeur.

« Le fait qu'on en parle beaucoup plus qu'avant, c'est dû aux crises alimentaires. Les mycotoxines peuvent contaminer. Beaucoup d'études ont été lancées en toxico. La problématique agronomique est devenue une problématique de santé publique. (...) Il y a une focalisation sur le développement d'outils pour analyser les mycotoxines. » (Isabelle M., encadrement public et recherche)

Les conséquences de la réduction du prix de vente des céréales

Face à la réduction du prix de vente des céréales, la recherche du rendement brut maximal reste la stratégie la plus encouragée. La réduction des coûts de production est une stratégie qui gagne en importance dans les réflexions des acteurs, qui influence déjà

certaines catégories de producteurs mais n'est pas encore la priorité des acteurs de la filière et des chercheurs.

Cette ambiguïté entre poursuite de la maximisation du rendement brut et recherche de l'optimum économique par des itinéraires techniques moins intensifs en (coûteux) intrants est d'autant plus étonnante, face à la baisse structurelle des prix qui peut modifier fondamentalement les revenus des producteurs. Selon certains, le point de basculement (en matière d'itinéraire technique à adopter) se situe autour de 100 €/T. Or, le prix du froment a baissé depuis 1957 jusqu'en 2005 (Groupe de travail de la filière "Céréales" et Unité d'économie et de développement rural, 2003).

Les quelques recherches effectuées en Région Wallonne sur l'optimum économique de divers itinéraires techniques concluent à la supériorité des itinéraires techniques à intrants réduits lorsque le prix des céréales est bas (Dekeyser et al., 2002, 2003 ; Buyze et al., 2003; Soete et al., 2003 ; Dekeyser et al., 2005). Ces résultats sont confirmés par des études françaises effectuées sur de plus larges réseaux d'essais en 2000-2002 et en 2003-2005 (Meynard et al., 2003 ; Felix et al., 2005 ; Rolland et al., 2005).

Il est donc anormal que le raisonnement « optimum économique » n'ait pas pris une plus grande place dans les projets de recherche et les publications de la filière. Les analyses économiques comparant les marges brutes des différentes cultures entre elles (comparaison entre froment et orge), faites par la DAEA⁷³ ne sont donc pas suffisantes par rapport à cet objectif précis, car c'est une comparaison d'itinéraires techniques qui est nécessaire. Une prise en compte cohérente de la question de l'optimum économique devrait aboutir à des publications annuelles de la marge brute standard. Etant donné qu'un élément-clé dans les systèmes moins intensifs est le choix de variétés résistantes aux maladies, il y aurait également lieu de tester systématiquement l'ensemble des variétés dans ces systèmes, comme préconisé par certains (Felix et al., 2005).

L'utilisation des fongicides : un enjeu plus technico-économique qu'agro-environnemental

*[La volonté de diminuer les intrants, c'est pour un objectif environnemental aussi ?]
Non, pas du tout, c'est juste le portefeuille. (Patrick R., encadrement public et recherche)*

Pour un producteur, l'application de la stratégie « fongicides » pose essentiellement des questions de coûts, de technicité et de temps. Il est donc normal qu'il l'utilise lorsqu'il l'estime profitable. Si l'on déplace le point de vue pour englober la société au sens large, on peut par contre considérer que cette stratégie a des inconvénients importants à cause de ses effets négatifs sur la santé et l'environnement (cfr p 74).

Globalement, la question des risques environnementaux et de santé publique des fongicides (pas des mycotoxines) n'est pas du tout reliée au problème de la fusariose et des maladies. La diminution de traitements phytosanitaires n'est recherchée, en production céréalière, que pour réduire les coûts de production. La question de l'éventuelle nocivité des fongicides pour l'agriculteur, l'ouvrier agricole, les riverains ou l'environnement au sens large est peu présente dans les interviews. Certains acteurs

⁷³ DAEA = Direction de l'analyse économique agricole, Direction générale de l'Agriculture), Région Wallonne. Ex-Centre d'Economie Agricole (CEA)

se réfèrent aux exigences de l'homologation des produits : si le produit est homologué, il ne représente pas de risques. D'autres sont plus dubitatifs sur la validité des procédures pour détecter les effets néfastes potentiels à long terme ou en cas de "mauvaise utilisation". La question des impacts sur l'environnement n'est intervenue de manière non anecdotique que dans un seul entretien, avec le représentant d' Inter-Environnement Wallonie (IEW).

Ceci ne signifie pas que la question des risques des pesticides n'est pas réellement présente dans l'agriculture wallonne et dans la filière. Quelques indices permettent d'évaluer l'importance du problème : communications dans la presse sur le Plan Fédéral de réduction des pesticides et réactions des syndicats agricoles à celui-ci, présence importante des acteurs des filières aux activités du « Comité régional Phyto » comme la journée « Sensibilisation à un usage durable des pesticides », intérêt des acteurs pour les travaux de recherche sur les indicateurs de risque des pesticides (POCER), etc.

Cet objectif n'est cependant pas prioritaire et structurant. A titre d'exemple, le président du Conseil de Filière, l'organisme de coordination de la filière céréalière, n'est pas au courant du Plan Fédéral de réduction des pesticides, une initiative pourtant importante. Le Plan fédéral de réduction des pesticides est discuté au niveau fédéral et n'implique pas les filières agricoles régionales. Les acteurs des filières ne se sont pas non plus approprié cet objectif, pourtant directement lié à la gestion des maladies, problème pour lequel elles sont en première ligne.

Non, notre objectif n'est pas la diminution des pesticides mais de concilier rentabilité et protection de l'environnement. (...) La profession est consciente, mais au niveau de la recherche, c'est pas évident de se remettre en question. (Jean-Marc J., encadrement public et recherche)

Pour les insecticides ou les herbicides, on sait que la question des problèmes environnementaux intègre le champ de décision par le biais des problèmes de résidus sur les aliments, de pollution des nappes phréatiques ou des cours d'eau, et des effets négatifs sur la biodiversité ou sur les insectes utiles. Les fongicides sembleraient moins problématiques que d'autres classes de pesticides, en ce qui concerne les risques environnementaux. Dans cette étude de cas, ces dimensions n'étaient qu'indirectement liées aux fongicides lorsqu'ils étaient évoqués comme stratégie ou comme voie d'innovations.

Enfin, il faut faire remarquer que plusieurs acteurs ont des objectifs contradictoires par rapport à l'utilisation des fongicides. Pour deux acteurs, l'objectif explicite est la réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires : Adrien Dekeyser, responsable du programme d'amélioration des céréales au CRA-W et Inter Environnement Wallonie (IEW). A l'opposé, les firmes phytosanitaires (Bayer, ...) ont pour intérêt de poursuivre leur activité de vente de produits phytosanitaires, tout comme les firmes/coopératives de fourniture (Wal.Agri et SCAM). Ces objectifs contradictoires engendrent des tensions, en défaveur des premiers : leur objectif de réduction de l'utilisation des fongicides est en inadéquation avec les contraintes et habitudes des producteurs et des acteurs qui les entourent. On a fait remarquer que des objectifs contradictoires existent également au sein même des différents départements de ces firmes/coopératives, et influençaient le choix variétal, en défaveur des variétés résistantes.

Le but d'autres acteurs (Comité Phyto, chercheurs et services de conseil) est la promotion des bonnes pratiques, ce qui diffère de la diminution en soi des volumes ou du nombre de traitements. Les études publiées dans ce cadre mentionnent tout de même

nettement les problèmes des pesticides, utilisés à grande échelle en Belgique (entre 9000 et 10000 T de substance active pour les usages agricoles et non agricoles) : « *effets secondaires (...): toxicité pour l'utilisateur, risque de résidus dans les denrées alimentaires, risque de développement de résistances chez les pathogènes (strobilurines), des effets indésirables sur l'environnement (accumulation de matières actives dans les eaux de distribution, ...)* » (Marot et al., 2005).

La filière est donc déconnectée de l'enjeu environnemental qui pourrait donner des perspectives plus globales par rapport à ces enjeux de gestion des maladies et aux innovations qui y répondent.

2) Prévalence des aspects techniques dans la recherche par rapport aux aspects socio-économiques

L'approche systémique a permis de démontrer l'existence, par rapport au problème des dégâts des maladies cryptogamiques, de six voies d'innovations technologiques et de sept innovations institutionnelles ou politiques. Ces deux types d'innovations sont tout à fait différents pour les acteurs. Les acteurs privilégient essentiellement les innovations techniques et technologiques. Les voies d'innovations institutionnelles ou politiques sont sous-valorisées, à l'exception des systèmes de prévision et de gestion du risque de maladies (réseau d'avertissements et système HACCP).

Un exemple de cet intérêt marqué pour les innovations technologiques se trouve dans un rapport européen sur la gestion du problème des mycotoxines dans les céréales (Scholten et al., 2005). Les auteurs, en fin de document, préconisent « *le développement de procédures de traitement des sols, le développement de bio-pesticides, le développement de variétés à résistance multiple et durable grâce à l'application de la génomique, le développement de plantes transgéniques avec des gènes détoxifiants, l'amélioration de la détection de pathogènes dans le sol et les plantes et le développement d'une agriculture de précision, grâce au GPS, pour un monitoring en temps réel des épidémies* ». Les aspects non techniques, tels que les causes de non utilisation des stratégies actuellement disponibles (rotations, variétés résistantes) ou les obstacles au développement de certaines voies d'innovations pertinentes ne sont pas prises en compte. Les acteurs connaissent chacun une partie de ces facteurs socio-économiques mais ces aspects sont considérés comme « *la réalité agricole* », sur laquelle personne n'a aucune prise. Les chercheurs, unanimes sur les problèmes liés aux rotations courtes, intègrent par exemple les pratiques défavorables des agriculteurs (telles ces rotations courtes ou les rotations risquées) comme des données externes impondérables, comme une fatalité.

Ca a certainement un effet sur les maladies du pied. (piétin-verse, piétin-échaudage) : les rotations courtes ont des effets. En rotation biennale, on a des problèmes, même si c'est pas prouvé qu'en triennale, c'est mieux. (Patrick R., encadrement public et recherche) [Influence des rotations courtes sur les maladies ?] Oui, c'est néfaste sur les maladies. Dans chaque exploitation, il y a des contraintes économiques et techniques liées à la rotation, qui font que celle-ci n'est pas toujours idéale. (Paul H., encadrement public et recherche). [Recherches sur l'impact des rotations sur les maladies ?] Il y a des essais à long terme à Gembloux mais ils ont surtout regardé le rendement. (Joseph D., encadrement public et recherche)

En conséquence, aucune recherche sur les rotations les plus favorables ou sur l'impact positif des rotations longues sur la pression des maladies (en général, pas uniquement

sur le cas de la fusariose) n'a été menée. On peut pourtant présupposer que ce type de recherche contribuerait à promouvoir les rotations favorables auprès des producteurs en crédibilisant leur intérêt (comme cela est fait dans le cas de la fusariose pour le précédent maïs).

Deuxième exemple : le précédent maïs est un facteur majeur pour le développement d'épidémies de fusariose. Les acteurs de l'encadrement public conseillent d'éviter ce précédent et les résultats empiriques attestant du problème sont diffusés. Mais plusieurs chercheurs et conseillers estiment que certains exploitants continueront toujours à adopter ce type de rotation étant donné les contraintes socio-économiques plus importantes (telles l'élevage). L'accent est donc mis sur le développement de -coûteux-systèmes de prévision et gestion du risque. D'autres options (comme la modulation des primes publiques pour privilégier les rotations longues et les rotations favorables) ne semblent pas envisagées. Il n'est pas question de dire ici que cette option est souhaitable ou devrait être mise en œuvre mais seulement de constater une certaine fatalité par rapport à la situation actuelle de l'agriculture.

Le dernier exemple est l'influence des délégués commerciaux sur les choix des agriculteurs. De nombreux acteurs estiment que cette influence contribue à une utilisation trop fréquente de fongicides. Pourtant, aucune recherche n'a testé la véracité de cette idée répandue : les choix proposés par les délégués sont-ils systématiquement biaisés par l'objectif de vente de produits phytosanitaires ? S'il est observé que cette influence est réelle, une discussion des pistes propres à modifier ce système est nécessaire. Celles proposées par des acteurs extérieurs à la filière comme IEW sont actuellement rejetées du revers de la main (interdire l'intéressement des délégués, voire créer des conseillers publics reprenant le rôle de ceux-ci). Les solutions envisagées par les acteurs en charge de la surveillance des fongicides (sensibiliser les délégués aux inconvénients des fongicides) sont, elles, insuffisantes pour modifier la situation.

3) Prise en compte privilégiée d'un seul système

Les scientifiques des centres de recherches publics ont un rôle central dans la filière céréalière. Ils participent à tous les échelons de l'encadrement des producteurs : recherche appliquée sur les différentes pratiques agricoles ; essais variétaux ; communications sur les recherches en cours (Journée Livre Blanc,...) ; supervision et rédaction des avis d'avertissements lancés en saison ; propositions de décisions publiques ; orientation de la filière (Conseil de Filière) ; formation des agronomes, etc. Leur rôle, leurs jugements de valeurs et leurs décisions sont donc essentiels.

La principale mission, implicite, des acteurs de l'encadrement public et des chercheurs en recherche appliquée pour les céréales est le « *service à la profession* », comme exprimé clairement par l'un d'entre eux. L'objectif est donc de servir les agriculteurs et parallèlement de mettre en œuvre les politiques publiques décidées aux échelons régionaux, fédéraux ou européens. Cet objectif, dans le cadre de notre approche systémique de la gestion des problèmes de maladies, peut être explicité de la manière suivante. Leur objectif est d'améliorer le système agricole actuel vers une plus grande efficacité -en termes de rendement, de compétitivité et de respect des normes publiques- en fonction des contraintes socio-économiques et socio-politiques actuelles, tout en respectant les souhaits, objectifs et modes de fonctionnement majeurs des acteurs principaux du système actuel.

Les chercheurs adoptent en fait les conditions actuelles de travail des producteurs (leurs pratiques, leurs contraintes) comme **cadre de leur travail**. La recherche, notamment la recherche agronomique appliquée et ciblée sur une culture, doit être proche des pratiques des agriculteurs. Cependant, ce cadre de travail n'est pas systématiquement restreint à ces pratiques. L'analyse du cas de la fusariose a montré que les chercheurs peuvent dépasser ce cadre pour conseiller par exemple des stratégies préventives qui ne sont pas mises en œuvre aujourd'hui. Les recherches plus réflexives, qui analyseraient profondément les facteurs socio-économiques et socio-politiques qui interagissent avec les problèmes techniques agronomiques, sont cependant rares.

L'objectif implicite des acteurs de l'encadrement public contribue à ne travailler qu'à l'amélioration d'un seul système, le système majoritaire. Des systèmes marginaux, comme l'agriculture biologique ou les systèmes promus par les mesures agri-environnementales, sont étudiés seulement à la marge.

Les acteurs de l'encadrement public démontrent un très faible intérêt pour les filières minoritaires et/ou alternatives. On peut distinguer deux schémas cultureux qui se distinguent nettement du schéma culturel conventionnel : le système agricole à intrants réduits des mesures agri-environnementales et l'agriculture biologique. Ces deux systèmes sont très peu pris en compte par la filière.

Les mesures agri-environnementales -subsidiant un schéma culturel tout à fait différent du schéma conventionnel- sont très peu présentes dans toute l'enquête, alors qu'elle touche à la question de la limitation du nombre de fongicides.

L'agriculture biologique est elle aussi quasi absente de l'enquête. On peut dire que les acteurs s'y intéressent à hauteur de son importance quantitative en termes de superficie agricole (2-3%). Elle n'est pas du tout perçue et prise en compte comme un système culturel différent qui représente une opportunité d'étudier des problèmes techniques comme la fusariose ou les maladies cryptogamiques dans des conditions très différentes

du système conventionnel. Le programme d'analyse de la contamination des champs wallons en DON n'a, par exemple, intégré ni parcelles en agriculture bio, ni parcelle en mesure agri-environnementale (Chandelier et al., 2005). La plus faible incidence des maladies (fusariose entre autres) dans les champs cultivés en agriculture bio a pourtant été démontrée par des études à plus faible échelle (Rase, 2005) ou extérieures à la filière proprement dite (Pussemier et al., 2006). La plus faible contamination constatée pourrait justement inciter les chercheurs à étudier davantage les raisons de ce fait. Plus qu'un marché de niche, l'agriculture biologique pourrait alors dans certains cas jouer un rôle de terrain d'expérimentation (de laboratoire) pour des voies d'innovations aux fongicides, par exemple, pas encore concurrentielles actuellement dans les systèmes conventionnels mais qui seront peut-être utilisées plus tard ou sous une autre forme dans ceux-ci.

Les acteurs réfléchissent à améliorer à la marge et progressivement le système actuel, anticipant la poursuite de ce modèle agricole industriel. Les contraintes d'aujourd'hui sont projetées dans l'avenir, ce qui a pour effet direct de ne pas s'investir dans certaines voies d'innovation, comme par exemple dans le cas des mélanges variétaux (y compris les associations culturales). L'analyse avait en effet montré que c'est l'incompatibilité présumée de ce concept avec les contraintes socio-économiques et socio-techniques du système actuel qui expliquaient le manque d'intérêt des chercheurs pour cette voie d'innovations (cfr facteurs de non-développement des innovations).

D. La fusariose : une exception en matière de gestion des stratégies et des innovations

La fusariose fait exception par rapport aux autres maladies en raison de l'attention spécifique qui lui est donnée du fait de la dangerosité des mycotoxines. La perspective d'une directive européenne a été anticipée par la filière. Celle-ci a réagi à tous les niveaux : instauration de seuils maximaux au niveau de la commercialisation des céréales par l'acteur privé à cet échelon (barème Synagra), instauration de listes de variétés recommandées dans des filières spécifiques (babyfood, pain Bayard), création d'une cellule « mycotoxines » au niveau des institutions de recherche agronomique (Chandelier et al., 2005), initiation de projets de recherches spécifiques au niveau wallon (modèle de prévision du risque, systèmes bon marché de détection des contaminations, etc.), lancement de projets de recherche et discussion d'une stratégie « tout au long de la filière » au niveau européen (Scholten et al., 2002).

Les mycotoxines sont en fait un facteur de développement d'innovations technologiques par rapport au problème spécifique de la fusariose, peut-être au détriment de la sélection de résistances à d'autres maladies. L'importance du développement des blés transgéniques résistants aux *Fusarium* est incomparable avec celle des blés résistants aux autres maladies cryptogamiques (APHIS, 2004; Canadian Food Inspection Agency, 2004)⁷⁴. Plusieurs pays modifient également leur cadre réglementaire, en introduisant par exemple des seuils minimaux de résistance pour l'inscription des nouvelles variétés à leur catalogue national (Snijders, 2004).

⁷⁴ Pour les Etats-Unis et Canada rassemblés, on compte 53 essais pour des blés résistants aux maladies cryptogamiques (« fungal resistance »), dont 31 sont spécifiquement signalés être pour la résistance au *Fusarium* contre 4 pour la septoriose.

Cette politique publique spécifique, qui débouche sur des conseils de pratiques agricoles (stratégies) et des projets de recherche (innovations) est exceptionnelle et n'existe pas à une telle ampleur pour les autres maladies (rouilles, septoriose) ou pour la gestion des maladies en général. C'est la spécificité des mycotoxines qui rend cela possible. Deux autres dimensions du problème des maladies ne parviennent pas à un tel effet : d'une part les problèmes économiques des dégâts des maladies en général et le coût des intrants et d'autre part les problèmes associés aux fongicides de synthèse. Les problèmes associés aux dégâts des autres maladies (pertes de rendement et de qualité) donnent comme on le sait des objectifs contradictoires (recherche du rendement brut maximum et recherche de l'optimum économique). Les problèmes liés à l'utilisation des pesticides sont eux plus complexes à analyser (voir *Les problèmes sanitaires et environnementaux des fongicides* p 74)

Plus les normes sont contraignantes, plus les acteurs de la filière sont encouragés à agir de manière prospective par rapport à celles-ci. Les acteurs privés, qui sont les meilleurs leviers d'action, y sont très réactifs.

Tant que les normes (NDLR : pour les mycotoxines) adultes seront élevées, l'intérêt économique de développer des variétés résistantes à la fusariose sera faible. (Philippe V., acteur économique de la filière céréalière)

* * *

Ces quatre axes de conclusion seront repris dans le Chapitre 5 pour être enrichis et comparés avec les conclusions faites dans l'étude de cas sur les pommiers transgéniques.

7. Références bibliographiques

- Annales Sénat de Belgique (2002) Question orale de M. Jean-Marie Happart à la Ministre de la protection de la consommation, de la Santé publique et de l'Environnement sur la "fusariose de l'épi". Jeudi 4 juillet 2002, séance de l'après-midi.
- Anonyme (2005a) Des cultures et des arbres (projet SAFE : Silvoarable Agroforestry For Europe). *RDT info*, 43, 4.
- APHIS (2004) Field Test Releases in the U.S. Animal and Plant Health Inspection Service (APHIS) of the U.S. Department of Agriculture (USDA). Accessed 3 October 2004. <http://www.nbiap.vt.edu/cfdocs/fieldtests1.cfm>
- Arvalis - Institut du végétal (2003) *Grille de décision fusariose sur blé tendre*.
- Association Royale des Meuniers Belges (2004) *Conditions types d'achat et de vente pour froments indigènes destinés à l'industrie belge transformatrice de froment Récolte 2004*.
- Bai, G.H. and Shaner, G. (2004) Management and resistance in wheat and barley to Fusarium head blight. *Annual Review of Phytopathology*, 42 135-161.
- Bodson, B., Couvreur, L., Poelaert, J., Monfort, B. et Falisse, A. (2001) Variétés de froment en agriculture biologique. In FUSAGx et CRA, *Livre Blanc "Céréales" Gembloux* (Septembre 2001).
- Bronfort, O. (1993) *Comportement et rendement de la culture du mélange de deux variétés de froment d'hiver*. Mémoire présenté en vue de l'obtention du titre d'ingénieur agronome. Faculté Universitaire de Sciences Agronomiques de Gembloux.
- Burny, P. (2005) La réforme de la PAC de juin 2003 : quels impacts sur les céréales ? In FUSAGx et CRA, *Livre Blanc "Céréales" Gembloux* (Février 2005).
- Buyze, O., Doguet, M-P., Bontemps, P-Y., Vancutsem, F., Herman, J. L., Couvreur, L., Monfort, B., Bodson, B. et Falisse, A. (2003) Les mesures agri-environnementales. In FUSAGx et CRA Gembloux, *Livre Blanc "Céréales" Gembloux* (Février 2003).
- CRA-W (2003) Rapport d'activités 2001-2002. Disponible sur http://www.cragx.fgov.be/rap_acti/index.htm
- Canadian Food Inspection Agency (2004) Summary of Confined Research Field Trials. Plant Products Directorate, Plant Biosafety Office Available on <http://www.inspection.gc.ca/english/plaveg/bio/triesse.shtml>
- Champeil, A., Dore, T. and Fourbet, J.F. (2004a) Fusarium head blight: epidemiological origin of the effects of cultural practices on head blight attacks and the production of mycotoxins by Fusarium in wheat grains. *Plant Science*, 166 (6), 1389-1415.

- Champeil, A., Fourbet, J.F., Dore, T. and Rossignol, L. (2004b) Influence of cropping system on Fusarium head blight and mycotoxin levels in winter wheat. *Crop Protection*, 23 (6), 531-537.
- Chandelier, A., Detrixhe, P., Oger, R., Sinnaeve, G., Romnée, J. M., Ciza, A., Dekeyser, A. et Cavelier, M. (2005) La fusariose de l'épi en froment d'hiver et la contamination des épis par le DON : bilan des travaux menés depuis quatre ans au CRA-W. In FUSAGx et CRA, *Livre Blanc "Céréales" Gembloux* (Février 2005).
- Chandelier, A. et al.(2004) Le problème de la fusariose de l'épi et des mycotoxines en froment d'hiver: état de connaissances. In FUSAGx et CRA, *Livre Blanc "Céréales" Gembloux* (Février 2003).
- Chandelier, A., Moreau, J.-M., Kestemont, M. H., Couvreur, L., Herman, J. and Oger, R. (2003) Le problème de la fusariose de l'épi et des mycotoxines en froment d'hiver: état de connaissances. In FUSAGx et CRA, *Livre Blanc "Céréales" Gembloux* (Février 2003).
- Cohen, B.C. (1963) *The Press and Foreign Policy*. Princeton University Press, Princeton.
- Conseil Supérieur Wallon de l'Agriculture, de l'Agro-alimentaire et de l'alimentation. (2002) *Evolution de l'économie agricole et horticole de la Région Wallonne 2001*.
- Couvreur, L. (2004) Le froment d'hiver. In FUSAGx et CRA, *Livre Blanc "Céréales" Gembloux* (Septembre 2004).
- Couvreur, L. et Herman, J. L. (2002) Pour une prise en compte des atouts variétaux dans la protection fongicide du froment d'hiver. In FUSAGx et CRA, *Livre Blanc "Céréales" Gembloux* (Février 2002).
- Couvreur, L., Nihoul, P., Jamart, D, Convie, B., Vancutsem, F. et Falisse, A. (2002) Variétés de froment en agriculture biologique. In FUSAGx et CRA, *Livre Blanc "Céréales" Gembloux* (Septembre 2002).
- Cox, C.M., Garrett, K.A., Bowden, R.L., Fritz, A.K. and others (2004) Cultivar mixtures for the simultaneous management of multiple diseases: Tan spot band leaf rust of wheat. *Phytopathology*, 94 (9), 961-969.
- CRA et FUSAGx (2005) Phytotechnie des céréales : Froment. In FUSAGx et CRA, *Livre Blanc "Céréales" Gembloux* (Février 2005).
- Dahleen, L.S., Okubara, P.A. and Blechl, A.E. (2001) Transgenic approaches to combat fusarium head blight in wheat and barley. *Crop Science*, 41 (3), 628-637.
- David, C., Viaux, P. et Maynard, J.-M. (2004) Les enjeux de la production de blé tendre biologique en France. *Le Courrier de l'Environnement de l'INRA*, 51 (Février 2004), 43-53.
- Dawson, W.A.J.M., Jestoi, M., Rizzo, A., Nicholson, P. and others (2004) Field evaluation of fungal competitors of *Fusarium culmorum* and *F. graminearum*, causal agents of ear blight of winter wheat, for the control of mycotoxin production in grain. *Biocontrol Science and Technology*, 14 (8), 783-799.

- Dekeyser, A., Herman, J. L., Nihoul, P. et Cordy, F. (2003) Des itinéraires techniques et un choix variétal adaptés, comparaison de divers itinéraires et de la réponse variétale selon les niveaux d'intensification. *In FUSAGx et CRA, Livre Blanc "Céréales" Gembloux* (Septembre 2003).
- Dekeyser, A., Herman, J.L., Nihoul, P. et Schollaert, C. (2002) Des itinéraires techniques et un choix variétal adaptés. *Le Sillon Belge*, 4 octobre 8-11.
- Dekeyser, A., Sinnaeve, G., Herman, J. et Nihoul, P. (2005) *Modalités culturelles et choix variétal adapté: les éléments de la réussite économique en production de froment d'hiver et maximalisation de la marge brute*. Rapport de recherche.
- Detrixhe, P., Chandelier, A., Cavelier, M., Buffet, D. Oger, R. (2003) Development of an agrometeorological model integrating leaf wetness duration estimation to assess the risk of head blight infection in wheat. *Aspects of Applied Biology*, 68 199-204.
- Detrixhe, P., Chandelier, A., Sinnaeve, G. et Cavelier, M. (2004) Mycotoxines en culture de froment d'hiver : Coup d'œil sur la saison 2003 P. Detrixhe, A. Chandelier, G. Sinnaeve et M. Cavelier *In FUSAGx et CRA, Livre Blanc "Céréales" Gembloux* (Février 2004).
- Detroux, L. (1992) Depuis 25 ans... *In FUSAGx et CRA, Livre Blanc "Céréales" Gembloux. Edition Spéciale 25 ans* (Février 1992).
- Dong, X.N. (2001) Genetic dissection of systemic acquired resistance. *Current Opinion in Plant Biology*, 4 (4), 309-314.
- Durrant, W.E. and Dong, X. (2004) Systemic acquired resistance. *Annual Review of Phytopathology*, 42 185-209.
- Duveiller, E. (1985) *Phytotechnie et mécanismes décisionnels en Grandes Cultures*. Editions Ciaco.
- European Mycotoxin Awareness Network (2005) Fact Sheets on HACCP - Prevention and Control - Fact Sheet 5. Wheat production in Europe 1 - pre-harvest. Available on http://www.lfra.co.uk/eman2/fsheet3_5.asp
- FUSAGx et CRA-W (2005) Phytotechnie des céréales : Le froment. *In FUSAGx et CRA, Livre Blanc "Céréales" Gembloux* (Février 2005).
- Felix, I., Bernicot, M.-H., Rolland, B., Loyce, C. and others (2005) Jouer la carte des variétés tendres. *In Dossier Les variétés de blé tendre. Perspectives Agricoles*, 312, Mai 2005.
- Finckh, M.R., Gacek, E.S., Goyeau, H., Lannou, C. and others (2000) Cereal variety and species mixtures in practice, with emphasis on disease resistance. *Agronomie*, 20 (7), 813-837.
- FUSAGx et CRA-W (2004) Phytotechnie des céréales : Froment. *In FUSAGx et CRA-W, Livre Blanc "Céréales" Gembloux* (Février 2004).
- Garrett, K.A. and Mundt, C.C. (1999) Epidemiology in mixed host populations. *Phytopathology*, 89 (11), 984-990.
- Gatel, F. et al.(2004) Dossier mycotoxines : avancées des connaissances et réglementation en vue. *Perspectives Agricoles*, 300 (Avril 2004), 23-35.

- GIREA (2002) Evaluation des MAE de la RW EVAGRI II 2000-2001. Tableau de bord et premier atlas de l'agri-environnement, décembre 2002.
- Gotsch, N. and Regev, U. (1996) Fungicide use under risk in Swiss wheat production. *Agricultural Economics*, 14 (1), 1-9.
- Gozzo, F. (2003) Systemic acquired resistance in crop protection: From nature to a chemical approach. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51 (16), 4487-4503.
- Greenpeace (2004) *Positions des entreprises belges en matière de blé transgénique*. Rapport.
- Grosjean, E. et EVAGRI (1999) Evaluation agronomique des mesures agri-environnementales. Aspects relatifs aux cultures. Rapport scientifique final. Septembre 1999.
- Groupe de travail de la filière "Céréales" et Unité d'économie et de développement rural (FUSAG.) (2003) Caractérisation de la filière en Région wallonne. Rapport.
- Institut National de Statistiques (2005) Superficie des prairies, céréales, cultures industrielles et jachères en mai 2004. (Recensement agricole 2004 - Résultats définitifs) Accessed 17 August 2005. http://statbel.fgov.be/downloads/cah2004m_fr.xls
- Joint Research Centre (2004) *Biotechnology and GMOs : Information Website*. European Commission Directorate General, Joint Research Centre. Accessed 3 October 2004. <http://gmoinfo.jrc.it/>
- Larondelle, Y., Motte, J.-C., Peeters, J., Van peteghem, C., Schneider, Y.J. (2005) Mycotoxin contamination of regular and "organic" foodstuffs (CP-30) *Belgian Science Policy. Scientific support plan for a sustainable development policy (SPSD II)*.
- Manthey, R. and Fehrmann, H. (1993) Effect of Cultivar Mixtures in Wheat on Fungal Diseases, Yield and Profitability. *Crop Protection*, 12 (1), 63-68.
- Marot, J., Godfriaux, J., Maraite, H. et al.(2005) *Agriculteurs et pesticides : connaissances, attitudes et pratiques. Résultats d'une enquête menée en fruiticulture, maraîchage et grandes cultures (2002-2003)*.
- Matson, P.A., Parton, W.J., Power, A.G. and Swift, M.J. (1997) Agricultural Intensification and Ecosystem Properties. *Science*, 277 (25 July), 504-508.
- Mayer, S. (2002) Genetically Engineered Wheat - Whanging our daily bread. A report for Greenpeace International by Sue Mayer, GeneWatch UK, May 2002.
- Meekes, E.T.M. and Köhl, J. (2002) Risk factors in Fusarium head blight epidemics. In Scholten, O.E., Ruckenbauer, P., van Osenbruggen, A., Visconti, W. A. and den Nijs, A. P. M. *Food safety of cereals : A chain-wide approach to reduce Fusarium Mycotoxins. Document prepared under EU project FAIR-CT98-4094*.
- Meynard, J.M., Dore, T. and Lucas, P. (2003) Agronomic approach: cropping systems and plant diseases. *Comptes Rendus Biologies*, 326 (1), 37-46.

- Miedaner, T. (1997) Breeding wheat and rye for resistance to Fusarium diseases (updated version for the 1491 report "A chain-wide approach". *Plant Breeding*, 116 (3), 201-220.
- Ministère de l'Agriculture (2005) Catalogue national des espèces et variétés de plantes agricoles (Arrêté ministériel du 9 octobre 2002 établissant le catalogue national des variétés des espèces de plantes agricoles en exécution de l'arrêté royal du 8 juillet 2001) ; Mise à jour du 12/10/2004 reçue de la Direction de la Qualité des Produits du Ministère de la Région wallonne).
- Ministère des Classes Moyennes et de l'Agriculture (2002) Utilisation des produits phytopharmaceutiques dans les principales cultures en Belgique durant la décennie 1991- 2000.
- Moreau, J.-M. (2004) La soudaine résistance de la septoriose aux strobilurines. *In FUSAGx et CRA, Livre Blanc "Céréales" Gembloux* (Février 2004).
- Moreau, J.-M., Bodson, B., et Vancutsem, F. (2005) La septoriose est résistante aux strobilurines. *In FUSAGx et CRA-W, Livre Blanc "Céréales" Gembloux* (Février 2005).
- Moulins de Statte (2004) Cahier de charges Froment Bayard.
- Moulins de Statte (2001) Dossiers de presse Pain Bayard.
- Mundt, C.C. (2002) Use of multiline cultivars and cultivar mixtures for disease management. *Annual Review of Phytopathology*, 40, 381-410.
- Najimi, B., El Jaafari, S., Jlibène, M. et Jacquemin, J.-M. (2004) Applications des marqueurs moléculaires dans l'amélioration du blé tendre pour la résistance aux maladies et aux insectes. *Biotechnologies, Agronomie, Société et Environnement* 7(1), 17-35.
- National Farmers Union (Canada) (2003) Genetically-modified wheat. A Report by the National Farmers Union to the House of Commons Standing Committee on Agriculture and Agri-Food, 1-6.
- Osinski, E., Meier, U., Buchs, W., Weickel, J. and others (2003) Application of biotic indicators for evaluation of sustainable land use--current procedures and future developments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 98 (1-3), 407-421.
- Parizel, D. and Pierreux, F. (2004) Agribio: wallon, du grain à la tartine. Accessed 28 October 2004. Site web de Nature et Progrès <http://natpro.be/boulangier>
- Parry, D.W., Jenkinson, P. and Mcleod, L. (1995) Fusarium Ear Blight (Scab) in Small-Grain Cereals - A Review. *Plant Pathology*, 44 (2), 207-238.
- Patnaik, D. and Khurana, P. (2001) Wheat biotechnology : a minireview. *Electronic Journal of Biotechnology*, 4 (2), 74-102.
- Paulsen, H.M. and Weissman, F. (2002) Relevance of mycotoxins to product quality and animal health in organic farming. 14th IFOAM Organic World Congress, Cultivation communities, Victoria BC, Canada, 21-24 Aug. 2002. Available on <http://orgprints.org/00002023/>
- Pimm, S.L. (1997) In search of perennial solutions. *Nature*, 389 126-127.

- Placinta, C.M., D'Mello, J.P.F. and Macdonald, A.M.C. (1999) A review of worldwide contamination of cereal grains and animal feed with *Fusarium* mycotoxins. *Animal Feed Science and Technology*, 78 (1-2), 21-37.
- Pussemier, L., Larondelle, Y., Van Peteghem, C. and Huyghebaert, A. (2006) Chemical safety of conventionally and organically produced foodstuffs : a tentative comparison under Belgian conditions. *Food Control*, 17 (1), 14-21.
- RAFBCA (2004) New insights into risk assessment and registration of fungal biological control agents in Europe (RAFBCA Summary Statement). http://www.ibma.ch/pdf/20040930_summary.pdf
- Rase, S. (2005) *Maladies de l'épi et mycotoxines en froment d'hiver*. Mémoire ISI.
- Rolland, B., Felix, I., Lonnet, P., Blondel, R. and others (2005) Un exemple d'agriculture profitable avec des intrants réduits : la culture de blés multiresistants aux maladies. Académie d'Agriculture de France. Séance du 1 juin 2005 « Amélioration des plantes et agriculture durable ».
- Ruckenbauer, P., Hollins, T. W., de Jong, H. C. and Scholten, O. E. (2002) Ring test with selected European winter wheat varieties. In Scholten, O.E., Ruckenbauer, P., van Osenbruggen, A., Visconti, W. A. and den Nijs, A. P. M. *Food safety of cereals : A chain-wide approach to reduce Fusarium Mycotoxins. Document prepared under EU project FAIR-CT98-4094*
- Sahrawat, A.K., Becker, D., Lutticke, S., and Lorz, H. (2003) Genetic improvement of wheat via alien gene transfer, an assessment. *Plant Science*, 165 (5), 1147-1168.
- Schädeli, A. (2005) Peter Kunz : Enfin le temps de la moisson. *Bioactualités*, 4/04
- Scholten, O. E., Ruckenbauer, P., Visconti, A., van Osenbruggen, W. A., and den Nijs, A. P. M. (2002) The chain-wide approach : Final conclusions and needs for further research. In Scholten, O.E., Ruckenbauer, P., van Osenbruggen, A., Visconti, W. A. and den Nijs, A. P. M. *Food safety of cereals : A chain-wide approach to reduce Fusarium Mycotoxins. Document prepared under EU project FAIR-CT98-4094*.
- Scientific Committee on Food (European Commission) (1999) Opinion on *Fusarium* Toxins. Part 1: Deoxynivalenol (DON) (expressed on 2 December 1999).
- Sinnaeve, G. et al. (2004) La qualité des froments d'hiver en 2004. In FUSAGx et CRA, *Livre Blanc "Céréales" Gembloux* (Septembre 2004).
- Smithson, J.B. and Lenne, J.M. (1996) Varietal mixtures: A viable strategy for sustainable productivity in subsistence agriculture. *Annals of Applied Biology*, 128 (1), 127-158.
- Snijders, C.H.A. (2004) Resistance in wheat to *Fusarium* infection and trichothecene formation. *Toxicology Letters*, 153, 37-46.
- Soete, A., Vancutsem, F., Bodson, B., and Falisse, A. (2003) Mesures agri-environnementales (MAE) en froment d'hiver. In FUSAGx et CRA, *Livre Blanc "Céréales" Gembloux* (Septembre 2003).
- Sticher, L., MauchMani, B. and Metraux, J.P. (1997) Systemic acquired resistance. *Annual Review of Phytopathology*, 35, 235-270.

- Stuiver, M.H. and Custers, J.H.H. (2001) Engineering disease resistance in plants. *Nature*, 411 (14 June 2001), 865-868.
- Synagra (2005) Syndicat National du Commerce des Céréales et Autres Produits Agricoles. Site internet - Cotations cultures. <http://www.synagra.be>
- Syngenta (2005) Site web Syngenta (liste de publications online) Accédé le 22 décembre 2004.
- Syngenta (2004) Tomorrow's Products. http://www.syngenta.com/en/products_services/tomprod.aspx
- Vallad, G.E. and Goodman, R.M. (2004) Systemic acquired resistance and induced systemic resistance in conventional agriculture. *Crop Science*, 44 (6), 1920-1934.
- Vallavieille-Pope, C. (2004) Management of disease resistance diversity of cultivars of a species in single fields: controlling epidemics. *Comptes Rendus Biologies*, 327 (7), 611-620.
- Vallavieille-Pope, C., Goyeau, H., Lannou, C., Mille, B., Mille, B., Bel Haj Fradj, M. (2001) Intérêts épidémiologiques des associations variétales de blé tendre : combinaison des résistances. *Rencontre INRA ressources génétiques et agriculture biologique : cas du blé tendre et triticale*.
- Vancutsem, F. et al.(2003) Le froment d'hiver. In FUSAGx et CRA, *Livre Blanc "Céréales" Gembloux* (Septembre 2003).
- Vanloqueren, G. and Baret, P.V. (2004) Les pommiers transgéniques résistants à la tavelure. Un OGM de seconde génération à la loupe d'une analyse systémique : enjeux pour le secteur fruitier, la recherche et l'action publique. (*soumis*),
- Vanloqueren, G. and Baret, P.V. (2006) Innovation to reduce fungal diseases in wheat : Are all innovation pathways playing in the same field ? *58th International Symposium on Crop Protection*. May 23rd 2006, Ghent.
- Vilichmeller, V. (1992) Pseudocercospora-Herpotrichoides, Fusarium Spp and Rhizoctonia-Cerealis Stem Rot in Pure Stands and Interspecific Mixtures of Cereals. *Crop Protection*, 11 (1), 45-50.
- Wolfe, M.S. (2000) Crop strength through diversity. *Nature*, 406, 681-682.
- Wouez, D. and Falisse, A. (2000) Mesures agri-environnementales (MAE) et Céréales. In FUSAGx et CRA, *Livre Blanc "Céréales" Gembloux* (Septembre 2000).
- Zhu, Y.Y., Chen, H.R., Fan, J.H., Wang, Y.Y. and others (2000) Genetic diversity and disease control in rice. *Nature*, 406 (6797), 718-722.

Chapitre 5 : Comparaison des études de cas

Dans ce chapitre, les deux études de cas sont comparées afin d'en analyser les similitudes et les différences, de discuter, dans la mesure du possible, les causes potentielles de ces différences, et de pouvoir progresser vers la généralisation de l'analyse.

La comparaison porte d'abord sur le contexte des deux études de cas (les deux filières et les deux problèmes étudiés) (**Section 1**), ensuite sur les stratégies de lutte existantes (**Section 2**) et enfin sur les voies d'innovations (**Section 3**). Le chapitre se clôture sur une analyse de la gestion de l'innovation dans les filières (**Section 4**).

Voici les questions qui fondent l'intérêt de la comparaison :

- La gamme des innovations existantes pour résoudre un problème est-elle différente dans les deux cas ?
- L'état de développement de chaque type d'innovation est-il similaire ou différent ?
- Les acteurs privilégient-ils le même type d'innovation dans les deux filières ?
- Les mêmes voies d'innovations sont-elles systématiquement perçues comme principales, secondaires ou nulles pour les acteurs des filières ? En particulier, comment sont évaluées les possibilités du génie génétique ?
- Quelles sont les similitudes et différences majeures en matière de gestion de l'innovation et comment les expliquer ?
- Quelles sont les premières conclusions qu'il est possible de tirer quant à la gestion de l'innovation dans des filières agricoles ?

Le Tableau 24 synthétise tous les points de comparaison, rédigés sous forme de questions et inspirés du canevas d'analyse des études de cas.

Tableau 24 : Grille de comparaison des études de cas

Domaine	Point de comparaison sous forme de questions
Le problème initial	1) Quelles sont les différences entre les deux problèmes initiaux -tavelure, fusariose et septoriose-, notamment en termes économiques, agronomiques et environnementaux ?
Les stratégies de lutte actuelles	2) Les stratégies de lutte et de prévention disponibles et conseillées sont-elles similaires ? Sont-elles utilisées par les producteurs dans les mêmes proportions ? 3) Dans le cas contraire, les obstacles techniques et socio-économiques limitant l'utilisation des stratégies de prévention sont-ils les mêmes dans les deux filières ?
Les voies d'innovations	4) La gamme des voies d'innovations (2005-2020) est-elle la même dans les deux cas ? 5) Le niveau de développement des différentes voies d'innovations est-il le même dans les deux cas (recherche fondamentale, appliquée et applications commerciales,...)?
L'insertion des voies d'innovations dans les filières	6) Le type d'innovation privilégié par les acteurs est-il le même dans les deux cas (voies d'innovations perçues comme principales, secondaires ou nulles ; investissement des acteurs dans les différentes voies d'innovation) ? En particulier, les plantes transgéniques ont-elles le même statut dans les deux cas ? 7) Comment les innovations organisationnelles / institutionnelles sont-elles prises en compte ? 8) Les obstacles limitant le développement des voies d'innovations sont ils les mêmes dans les deux cas (stimulants ou obstacles ; techniques ou socio-économiques)?

Remarques :

Trois études de cas menées par des étudiants pour leur mémoire de fin d'études ont été centrées sur d'autres problèmes et dans d'autres filières : rhizomanie de la betterave, gestion des mauvaises herbes en maïs et en soja) (Braibant, 2004 ; Fiasse, 2005 ; Goret, 2005). Ces travaux ont été inspirés par l'approche étudiée au cours de cette thèse et supervisés par l'auteur. Les résultats ne sont cependant pas intégrés à cette thèse de manière formelle, sauf à quelques points précis de cette comparaison (Pour plus de détails sur les études de cas supervisées, voir p 297). L'expérience gagnée grâce à ces études de cas complémentaires a essentiellement contribué à la construction de l'approche proposée dans le Chapitre 7.

Pour rappel, les deux études de cas n'ont pas été réalisées de la même manière⁷⁵. Ce contexte a été présenté dans le second chapitre.

⁷⁵L'objectif initial de la thèse était de construire une méthodologie qui permette d'appréhender la complexité des questions posées par le développement potentiel de plantes transgéniques dans notre pays. La première étude de cas répondait à cet objectif : il s'agissait de tester une méthode sur un cas réel de plante transgénique pour comprendre les dimensions du problème à analyser. La seconde étude de cas avait, elle, pour objectif, d'une part de répéter l'exercice afin de pouvoir vérifier si les résultats obtenus dans le cas du pommier étaient uniques ou non, et d'autre part d'approfondir le travail de construction méthodologique en approfondissant les questions suscitées par la première étude de cas. La méthodologie utilisée pour la seconde étude de cas était donc plus développée que la première (Pour une comparaison circonstanciée des différences méthodologiques entre les études de cas, voir la Section 4 du Chapitre 6).

1. Les filières et les problèmes étudiés

A. Les deux filières agricoles

Les deux filières ont des structures globalement similaires, à quelques exceptions près. Dans chaque filière, les producteurs sont membres d'organisations de producteurs qui sont des structures de type coopératif (cristées commerciales pour les pommes ; SCAM en céréales), de type capitaliste (Brichart-Aveve en céréales) ou des entrepreneurs (négociants) indépendants.

La grande différence à ce niveau est que le degré d'intégration de la filière fruitière n'est pas aussi profonde que celle de la filière céréalière. En cultures céréalières, les structures nommées ci-dessus sont des intermédiaires généralistes entre le producteur et les marchés. Ils vendent aux producteurs l'ensemble des intrants nécessaires à la production (engrais, produits phytosanitaires, semences et services, dont le conseil) et lui rachètent sa production (collecte de céréales). En arboriculture fruitière, le marché des fruits est, par contre, majoritairement séparé de celui des intrants. Les pépiniéristes vendent des plants des différentes variétés de pommiers, les firmes de produits phytosanitaires vendent les fongicides et les cristées commercialisent les fruits.

Les producteurs des deux filières sont encadrés par des structures de conseils techniques et des centres de recherche appliquée (Centre Fruitier Wallon, Station de Gorseme et Jardins d'essais de Velm en arboriculture fruitière ; Centre de Recherches Agronomiques de Wallonie et Facultés de Gembloux en cultures céréalières). Il faut noter ici que la filière fruitière wallonne, étant de faible taille et géographiquement proche de la Flandre, est fortement connectée à la filière flamande, de taille plus importante. Les structures publiques flamandes de cette filière sont également plus importantes que leurs équivalents wallons. Elles sont citées comme source de conseils et d'informations, comme interlocuteurs importants. La filière céréalière wallonne est, elle, géographiquement centrée sur Gembloux et autonome en matière d'encadrement des producteurs. L'aval du secteur n'en est pas moins partiellement dépendant de groupes flamands. L'entreprise Brichart est propriété du groupe flamand Aveve et 90% de l'activité de transformation du froment en farines s'effectuerait dans des meuneries situées en Flandre.

Des différences plus fondamentales existent en aval de la production. En arboriculture fruitière, le produit vendu au consommateur est la pomme de table, un produit qui ne subit aucune étape de transformation. Les fruits qui sont transformés (pour la compote par exemple) sont essentiellement les fruits ne satisfaisant pas aux critères de qualité de la pomme de table. Ce sont donc les mêmes variétés et les mêmes vergers que celles de la pomme de table. C'est ce produit, la pomme de table, qui oriente tous les acteurs de la filière. En grandes cultures céréalières par contre, le grain n'est jamais le produit final. Les types de transformation sont multiples (meunerie, biscuiterie, amidonnerie, minoterie) et la céréale n'est souvent qu'une partie de la composition du produit final.

Il en résulte que le type de consommateurs finaux est tout à fait distinct dans les deux cas. Pour la pomme, les acheteurs principaux sont la grande distribution et les exportateurs. Pour le froment, les acheteurs principaux sont multiples, depuis les meuneries jusqu'à l'industrie de l'amidonnerie en passant par les entreprises de fabrication d'aliments pour bétail (minoteries). Le consommateur final (humain) est

complètement inexistant dans la filière céréalière à quelques exceptions près, dans les filières de qualité différenciée (babyfood de Nestlé, pain Bayard des Moulins Statte, coopérative Agribio, etc). En froment, la question du consommateur est réduite à celle de la sécurité alimentaire. Les valeurs écologiques du consommateur-citoyen, qui sont par exemple traduites dans les mesures agro-environnementales, sont prises en compte de manière marginale.

Le consommateur influence par contre la filière fruitière. Il intervient directement comme acheteur de pomme (ce qui influence le choix variétal) et ses goûts font l'objet de paramétrisations (tests de goûts, critères de qualité gustative et même projets scientifiques de caractérisation des bases génétiques (QTL) de la qualité gustative). Il est aussi une cible d'opérations de marketing (exemple de la variété *Pink Lady*). Il est finalement un acteur direct, mais marginal, dans les cas de ventes directes au consommateur mises en place par plusieurs producteurs.

B. Les deux systèmes agricoles

Un verger de pommiers et un champ de froment ont peu de points communs. La différence entre la stabilité du verger basses tiges (arbres plantés pour 10-15 ans) et la rotation du champ de froment avec d'autres cultures engendre des différences notables en matière de pratiques agricoles. Dans le verger, il n'y a pas de rotations de cultures chaque année mais des rénovations de verger tous les dix à quinze ans. Le choix variétal se pose donc chaque année pour le céréaliculteur et seulement à chaque rénovation de verger pour l'arboriculteur fruitier. Mais il a pourtant une importance semblable dans les deux filières. Les rénovations de verger sont en effet généralement partielles : seule une partie du verger est arrachée et replantée à chaque rénovation, comme dans les vignes. L'arboriculteur fait donc régulièrement des choix variétaux. De même, le céréaliculteur ne choisit de nouvelles variétés de froment que pour une partie de la superficie qu'il affecte au froment. Il utilise en effet le produit de sa dernière récolte pour une importante partie de ses semis (semences fermières).

L' 'enracinement' des pommiers dans le verger, en imposant des rythmes de changement plus lents entraîne des décisions plus lourdes de conséquences. Le choix de la variété plantée est, par exemple, plus risqué : on ne connaîtra la valeur (agronomique et commerciale) d'une variété seulement trois à cinq ans après sa plantation, tandis que la durée de vie de production (et donc de risque) est bien plus longue (10-15 ans). Ce risque accru joue au désavantage des nouvelles variétés qui ne sont pas promues par des groupes commerciaux assurant leur succès commercial. On a vu que c'était le cas de certaines variétés résistantes aux maladies (*Topaz* par exemple).

Cet enracinement a également permis une meilleure conservation des systèmes agricoles préindustriels. Des vergers hautes tiges et des vergers de conservation d'espèces anciennes subsistent dans plusieurs régions du pays, tout comme les traditions liées au verger (ligue de pomiculture, ...). Il n'en est rien pour le froment, culture annuelle plus sensible au changement et plus importante économiquement pour les producteurs depuis le début du siècle. Aucune variété de froment « ancienne » ou « de patrimoine » n'est par exemple recensée dans les variétés utilisées actuellement par les producteurs. La conservation d'anciennes variétés ne s'est fait que ex-situ, malgré un attrait renouvelé pour les anciennes variétés (Réseaux Semences Paysannes en France par exemple).

C. Les deux problèmes initiaux

Les maladies étudiées -tavelure du pommier, fusariose et septoriose en froment- sont toutes des maladies cryptogamiques mais leurs **conséquences agro-économiques** sont fort différentes. La tavelure est « l'ennemi public n°1 » des vergers. La lutte contre cette maladie exige plus d'une dizaine de traitements fongicides par saison (jusqu'à vingt), ce qui signifie une gestion hebdomadaire, influencée par le climat, et centrée essentiellement sur cette seule maladie. La lutte contre les maladies du froment est différente, basée sur les risques liés principalement à plusieurs maladies (septoriose, fusariose, rouille jaune et brune, oïdium). Le nombre actuel de traitements fongicides est bien plus restreint : en moyenne deux, un seul lorsque le risque est limité et la variété plantée peu sensible aux maladies, zéro dans certains cas exceptionnels.

La conséquence de cette différence est que la marge de manœuvre en termes de réduction du **nombre de traitements** est très différente. En pommier, les meilleures variétés résistantes permettent une réduction des traitements allant jusqu'à 70% (ce qui signifie ne traiter que lors de « pics d'infection »). Les variétés résistantes de froment utilisées dans des systèmes à intrants réduits peuvent elles, au maximum, éliminer un des deux traitements. Les cas où elles permettent d'atteindre l'optimum économique sans aucun traitement sont quasi-inexistants. Cette différence n'est peut-être pas majeure en termes économiques, étant donné les différences de marge brute économique entre les deux cultures. En froment, celle-ci est faible et rend donc le coût des traitements peut-être aussi important qu'en arboriculture. Des analyses coûts-bénéfices seraient utiles pour donner des réponses claires à ces questions mais les études de cas ont démontré la rareté de celles-ci.

Il y a également des différences au niveau de la **probabilité d'incidence de ces maladies**. La fusariose ne provoque des contaminations importantes que dans des conditions climatiques particulières au moment de la floraison, au contraire de la tavelure qui est « endémique » dans nos climats humides. C'est entre autres pour cette raison que l'étude de cas sur le froment était centrée sur deux maladies, la fusariose et la septoriose, pour élargir la question et analyser la gestion des maladies cryptogamiques en général.

Malgré ces différences, la gestion des maladies est un problème important et semblable dans les deux cultures : en présence d'incertitudes (climatiques et épidémiologiques), les producteurs doivent faire face à toutes les maladies et cela à chaque saison. La nécessité de stratégies de gestion des maladies est donc essentielle dans les deux cas.

Il faut rappeler que la fusariose est devenu un problème public du fait des fusariotoxines qui posent un risque de santé public. La tavelure n'est elle qu'un problème technico-économique pour les producteurs. Les conséquences de cette différence seront discutées plus tard.

Les problèmes sont par contre similaires dans leurs conséquences directes. En pommier, l'enjeu majeur derrière la tavelure est de produire des pommes sans taches (ou plus précisément un maximum de pommes sans taches). Pour le froment, il s'agit d'avoir une récolte non contaminée par les fusariotoxines (plus précisément, la plus grande récolte possible et non contaminée). Dans les deux cas, ce problème entraîne un besoin essentiel de traitement par des fongicides.

Enfin, le **risque** associé au choix de ne pas traiter est aussi grand dans les deux cas. Le risque d'avoir des pommes « tavelées » est immense et sévèrement sanctionné commercialement (les pommes tavelées sont invendables en pommes de table). De même, le risque d'avoir une récolte de froment contaminée par des fusariotoxines est trop grand pour être pris (risque de sanction commerciale), tout comme le risque d'avoir une récolte diminuée de 10 à 50% par la septoriose ou par une rouille est difficile à prendre pour un agriculteur dans le contexte économique actuel. D'où l'importance accrue de réaliser des analyses économiques de la culture de variétés résistantes ou rustiques dans des systèmes à intrants réduits, sur des périodes de cinq ans par exemple. Il faut pouvoir répondre à la question suivante, non posée aujourd'hui : *Pour un agriculteur, pour un arboriculteur, l'optimum économique est-il de cultiver des variétés résistantes/tolérantes chaque année pendant 5 à 10 ans, en choisissant, par exemple parmi les dix plus résistantes à toutes les maladies ?*

Finalement, on peut considérer que le problème est composé de deux éléments dans les deux cas. Le premier élément est la (ou les) maladie(s), qui cause des dégâts agronomiques d'importance économique. Le second est l'ensemble des problèmes secondaires des fongicides de synthèse actuellement utilisés, qu'ils soient techniques, économiques, environnementaux ou de santé publique (cfr p 74).

2. Les stratégies de lutte et de prévention existantes (2003-2005)

Dans les deux études de cas, il existe plusieurs stratégies de lutte ou de prévention par rapport aux différentes maladies concernées. Celles-ci diffèrent sur certains points (Tableau 25).

L'utilisation de fongicides de synthèse est un instrument essentiel de la lutte contre chacune des maladies. Dans le cas de la tavelure, c'est la seule stratégie réellement utilisée tandis que dans le cas particulier de la fusariose, cette stratégie reste essentielle mais n'est qu'une des quatre stratégies principales conseillées car elle est peu efficace. Pour le cas de la septoriose, les fongicides de synthèse sont la stratégie principale, avec le choix de variétés résistantes.

Le choix de variétés résistantes n'intervient pas comme stratégie principale dans le cas de la tavelure du pommier. Le choix variétal est en effet tellement dépendant de la réussite commerciale -attendue- de la variété et des informations provenant des criées que le critère de résistance aux maladies est seulement « *un plus* », comme l'indiquait clairement un conseiller technique des structures d'encadrement des producteurs. Il est donc classé comme stratégie secondaire, alors qu'il est classé dans les stratégies principales pour les deux maladies du froment.

Le principal intérêt d'une comparaison des stratégies de lutte et de prévention réside dans la **comparaison des facteurs de non-utilisation (non-adoption) des stratégies préventives**, en particulier la (faible) utilisation de variétés résistantes aux maladies (aussi appelée « lutte génétique »), c'est-à-dire la stratégie qui est la plus proche de l'éventuelle utilisation de variétés transgéniques résistantes, le point de départ initial de la thèse.

Tableau 25 : Comparaison des stratégies de lutte et de prévention

	Pommiers	Froment	
	Tavelure	Fusariose	Septoriose
Stratégies principales	Traitement avec des fongicides de synthèse		
		Choix variétal (choix de variétés résistantes)	
		Travail du sol (éviter le non-labour)	
		Rotation favorable (éviter un précédent maïs ou froment)	
Stratégies secondaires	Choix variétal (choix de variétés résistantes)	Densité de semis adéquate	
	Diminution de l'inoculum (broyage des feuilles en automne et application d'urée)	Date de semis (semis pas trop précoce)	
	Meilleure aération naturelle du verger (espace inter-lignes et inter-arbres)	Non-utilisation de régulateur de croissance	
	Niveau de fertilisation adapté (éviter de surfertiliser)		
	Utilisation de fongicides minéraux et organiques		
	Haies inter-lignes		

Légende : Les stratégies principales sont celles qui sont principalement utilisées par les agriculteurs et arboriculteurs. Elles font l'objet d'un consensus parmi les scientifiques et sont connues de tous les acteurs interrogés au cours des enquêtes. Les stratégies secondaires sont celles qui sont peu utilisées par les producteurs, elles ont été peu mises en avant par les acteurs. Ce sont essentiellement des stratégies de prévention des maladies en général, non spécifiques à la maladie concernée.

Les variétés résistantes aux maladies sont en effet minoritaires dans les deux filières. On peut estimer qu'il y a 1% des vergers belges et européens plantés de variétés résistantes (les variétés *Vf*) et que 15 à 30% des variétés de froment ont un haut niveau de résistance aux maladies cryptogamiques les plus courantes⁷⁶, bien que ces variétés puissent aussi être utilisées dans des systèmes à haut niveau d'intensité en intrants, ce qui est un peu contradictoire avec leur objectif initial.

L'analyse démontre l'existence, dans les deux études de cas, d'une quinzaine de facteurs expliquant la faible utilisation des variétés les plus résistantes aux maladies. Les résultats synthétisés ici ont fait l'objet de communications séparées (Vanloqueren et Baret, 2005b, 2007). Les facteurs sont, dans les deux cas, des facteurs techniques aussi bien que des facteurs socio-économiques et socio-politiques. Ils interviennent, dans les deux cas, à tous les niveaux de la filière agricole, depuis celui des producteurs jusqu'à celui des acheteurs principaux. Ceux-ci sont synthétisés dans le tableau suivant et ensuite analysés un par un.

⁷⁶ 1% = Estimation d'un pépiniériste (voir Chapitre 3) ; 15% : enquête officielle française, 30% : estimation personnelle, voir Vanloqueren et Baret (2007) en Annexe IX.

Tableau 26 : Comparaison des facteurs de non-utilisation des variétés résistantes aux maladies

	Tavelure du pommier	Fusariose du froment
Variétés résistantes	<p>1) L'<u>efficacité</u> des variétés résistantes n'est pas complète (Tavelure : des traitements aux pics d'infection sont encore nécessaires ; Fusariose : l'importance du risque est imprévisible : on ne connaît l'utilité de la variété résistante qu'après-coup).</p> <p>2) Les variétés résistantes ne sont pas automatiquement <u>résistantes à toutes les maladies</u> (généralement, il y a une faiblesse par rapport à une maladie au moins, des traitements sont donc nécessaires pour ces autres maladies).</p> <p>3) La <u>faible durabilité de la résistance</u> des variétés aux maladies amoindrit la confiance que les producteurs leur témoignent.</p> <p>4) Faiblesses des variétés sur d'autres critères de qualité.</p>	
Producteurs	<p>5) L'utilisation intensive de <u>fungicides</u> de synthèse est la principale stratégie de gestion des maladies, elle rend les autres stratégies moins concurrentielles.</p> <p>6) La sensibilité des variétés n'est pas un des critères principaux du <u>choix variétal</u>.</p>	
Encadrement public - Conseil technique		<p>7) <u>Omniprésence du calcul du rendement brut</u> et absence du calcul d'optimum économique.</p> <p>8) <u>Concentration des intérêts et des efforts de R&D sur un système cultural intensif</u>.</p> <p>9) <u>Conditions d'essais défavorables à certaines variétés résistantes</u>.</p>
Histoire de l'amélioration	<p>7) <u>Concentration des efforts d'amélioration variétale sur d'autres critères que la résistance</u> aux maladies (voire sélection en défaveur de la résistance).</p> <p>8) <u>Concentration des projets de sélection de variétés résistantes sur la résistance monogénique</u> (non-durable) et trop faible investissement sur les programmes d'amélioration de la résistance polygénique.</p>	
Marché	<p>9) (<i>Criées et grande distribution</i>) La rationalisation des variétés vendues est un <u>frein à la diversité</u> et un obstacle aux nouvelles variétés.</p> <p>10) (<i>Clubs</i>) Les clubs actuellement importants font la <u>promotion de variétés très sensibles</u> (<i>Pink Lady</i>)</p>	<p>12) Biais en défaveur des variétés résistantes au sein des organisations de fourniture (firmes et coopératives) : <u>prépondérance du département « phytosanitaires »</u> par rapport au département « semences ».</p> <p>13) Biais en défaveur des variétés résistantes au sein des organisations de fourniture (firmes et coopératives) : <u>promotion de systèmes intensifs en intrants par les délégués commerciaux</u>.</p> <p>14) Choix stratégiques des firmes semencières : <u>faible investissement dans l'obtention de variétés multirésistantes</u>.</p> <p>15) Les <u>priorités des acteurs de toute la filière</u> ne sont pas la réduction de l'utilisation de fongicides mais l'intégration des nouvelles exigences (traçabilité, mycotoxines), etc.</p>
Critères de qualité	<p>11) Ambiguïté sur l'adéquation des variétés résistantes par rapport aux critères de qualité (gustatifs, techniques, commerciaux).</p> <p>12) Construction des critères de qualité par le marché lui-même et les quelques variétés commerciales à succès (<i>Jonagold, Golden</i>).</p>	<p>16) Construction des critères de qualité par le marché lui-même (taux protéines pour panification industrielle).</p>
Consommateurs	<p>13) Goût formaté par quelques variétés présentes toute l'année</p>	
	<p>14) Faible connaissance des conditions de production et faible traduction des valeurs écologiques dans les actes d'achats</p>	

Caractéristiques des variétés résistantes

Les quatre premiers obstacles sont liés aux caractéristiques intrinsèques des variétés résistantes. Les deux premiers concernent le **degré d'efficacité des résistances variétales**. Celles-ci sont en effet rarement complètement résistantes aux maladies. Les résistances aux maladies sont en effet des caractères quantitatifs, mesurés par un degré plus ou moins fort de résistance ou de sensibilité à la maladie. Les variétés de pommier résistantes à la tavelure permettent d'obtenir une résistance suffisante en période normale mais incomplète lors des pics d'infection, pour lesquels des traitements sont encore nécessaires. De même, les variétés résistantes à la fusariose ne sont pas suffisantes comme stratégie pour garantir un risque zéro de contamination. Le risque d'avoir une récolte ravagée par la maladie en question est trop grand pour être pris.

De même, les variétés ne sont pas résistantes à toutes les maladies présentes dans le verger ou le champ. La plupart des variétés ont une « faiblesse » par rapport à l'une ou l'autre maladie, sauf dans le cas de variétés multirésistantes. Or, la perspective « traitement zéro », c'est à dire une élimination complète du besoin de traiter (et donc de devoir acheter produits, pulvérisateur, etc) n'est pas compatible avec l'intolérance complète du marché à toute trace de tavelure sur les fruits ou avec le risque de perte économique lié à une récolte de froment contaminée ou ravagée par une maladie. Les variétés résistantes ne sont donc pas des solutions 'totales'.

Un autre obstacle direct est **l'incertitude sur la durabilité de la résistance variétale** (le nombre de saisons avant que des populations de pathogènes contournant le mécanisme de résistance variétale n'apparaissent à un niveau important). Cette incertitude existe dans les deux filières mais est nettement plus présente dans la filière céréalière. Pour le pommier, l'apparition de souches de *Venturia inaequalis* ayant 'contourné' la résistance des variétés résistantes basées sur le gène *Vf* a d'ailleurs porté un coup d'arrêt à l'espoir de créer des variétés uniquement basées sur ce gène. Les résistances variétales en froment, souvent monogéniques, sont également plus instables, ne durant parfois que quelques années.

Finalement, un certain nombre de variétés résistantes ne sont pas compétitives par rapport à des variétés plus sensibles sur d'autres critères de choix variétal, tels que la qualité gustative en pommes ou la résistance à la verse en froment (les nuances sur ce point sont analysées dans les deux études de cas).

Dans les deux cas, plusieurs variétés résistantes relativement satisfaisantes à tous égards sont tout de même commercialisées.

Au niveau des producteurs

Il y a deux obstacles similaires dans les deux filières qui se situent au niveau des producteurs, c'est à dire au niveau de l'utilisation directe des variétés de pommiers et de froment. Dans les deux cas, le principal obstacle au développement de l'utilisation de variétés résistantes est la **suprématie de l'utilisation de fongicides** de synthèse comme méthode de gestion des maladies. La technique est inégalable en arboriculture malgré son coût (achats des produits et coût de la main d'œuvre). En céréaliculture, elle a des défauts pour la fusariose (efficacité de 50% seulement) et des risques de défauts pour la septoriose (perte d'efficacité suite à l'apparition de populations de champignons résistants aux strobilurines). Dans les deux cas, l'utilisation de fongicides est cependant la norme et ses inconvénients ne justifient pas de changer de technique.

L'absence du critère de résistance aux maladies dans les principaux **critères de choix variétal** des producteurs est l'indicateur le plus évident de sa faible importance. Dans les deux filières, ce sont en effet d'autres critères qui orientent principalement le choix : les perspectives commerciales de la variété et la qualité technologique en arboriculture, le rendement, la résistance à la verse et la qualité technologique pour le froment. La résistance n'est qu'un « plus ». Le producteur ne se risquera à choisir des variétés résistantes que si elles ne laissent planer aucun doute sur ces autres critères.

Structures publiques d'encadrement des producteurs

Le rôle de l'encadrement public des producteurs est fort différent. En arboriculture fruitière, les structures publiques d'encadrement ne contribuent pas au faible développement des variétés résistantes. Les centres ont inclus ces variétés dans leurs essais et ont démarré des essais spécifiques pour ces variétés (programmes de traitements fongicides minimalistes). Ils diffusent les résultats techniques encourageants de ces essais mais ne conseillent pas aux producteurs de planter ces variétés étant donné leurs faibles perspectives commerciales. L'encadrement technique est donc soumis aux règles du marché.

En froment, l'encadrement technique participe par contre au non développement des variétés les plus résistantes aux maladies, c'est-à-dire les variétés ayant les plus hauts niveaux de résistance par rapport aux quatre ou cinq maladies les plus courantes dans les champs de froment en Wallonie). Trois obstacles sont analysés à leur niveau. Le premier est **l'omniprésence du calcul du rendement brut** (tonnes/hectare) et l'absence du calcul de l'optimum économique (alors que les variétés résistantes prouvent leur intérêt uniquement dans des analyses coûts-bénéfices qui comparent des systèmes intensifs utilisant des variétés sensibles à des systèmes à intrants réduits utilisant des variétés résistantes). Le second obstacle est la **concentration des efforts sur le système cultural intensif**, entraînant l'absence d'efforts de recherche et de promotion des systèmes alternatifs pour lesquelles l'importance des variétés résistantes est essentielle (mesure agri-environnementale de limitation des apports d'intrants, agriculture biologique,...). Les **conditions des essais d'homologation** des variétés sont le dernier obstacle : elles sont ambiguës par rapport aux variétés résistantes (les tests avantagent les variétés résistantes en étant conduits sans traitements fongicides mais les désavantagent en même temps car ils sont conduits en conditions de fertilisation intensive, alors que des variétés rustiques font leurs preuves économiques dans des conditions de faibles intrants).

Histoire de l'amélioration variétale

Les deux facteurs liés à l'histoire de l'amélioration variétale, similaires dans les deux cas, ne sont pas des « obstacles » aux variétés résistantes à proprement parler. Ils contribuent pourtant à expliquer pourquoi les variétés résistantes actuelles ne sont pas développées, du fait des faiblesses qu'elles ont sur le plan agronomique (résistances incomplètes, faible durabilité, etc). Le premier facteur est **l'absence d'investissements importants** dans la recherche de résistances durant plusieurs dizaines d'années. En arboriculture, la sélection s'est concentrée sur l'amélioration de la qualité et du rendement depuis les années 1930-1940 au détriment des critères tels que la résistance aux maladies (et donc au détriment de l'introduction des sources génétiques de résistance dans les programmes d'amélioration). Le second facteur est, à l'intérieur des quelques programmes poursuivant spécifiquement cet objectif d'amélioration de la

résistance, le **choix de l'obtention de variétés à résistance verticale**, monogénique, au lieu d'une résistance horizontale, polygénique. Le second choix, plus durable, était plus difficile car mobilisant des compétences techniques complexes et prenant plus de temps que la concentration des efforts sur les variétés *Vf* par exemple. En froment, certains chercheurs suspectent même que la recherche de résistances polygéniques serait également moins prisee dans les programmes des firmes privées, qui ont intérêt à vendre des nouvelles variétés chaque année au lieu d'avoir une bonne variété résistante aux maladies une fois pour toutes, étant donné que les producteurs multiplient leurs semences. Ces deux facteurs expliquent en partie les limites des variétés résistantes actuelles expliquées ci-dessus.

Marché

Les obstacles au niveau du marché divergent beaucoup plus entre les deux cas, étant donné les grandes différences entre les deux filières agroalimentaires.

En arboriculture, les obstacles sont essentiellement des obstacles à une plus grande diversité de variétés ou aux nouvelles variétés : masse critique importante pour pouvoir travailler avec la grande distribution, « **freins à la diversité** » au sein des supermarchés tels que la standardisation de la gamme de variétés vendues⁷⁷. Ces « freins à la diversité » se répercutent sur le choix des criées, qui favorisent la gestion de seulement six ou sept variétés et non une vingtaine (la diversité complexifierait les opérations de vente, de marketing, de stockage, etc). Ces freins sont un obstacle majeur aux variétés résistantes qui sont toutes des nouvelles variétés.

La conséquence de cette rationalisation des variétés vendues a été la concentration des vergers belges sur quelques variétés (*Golden* puis *Jonagold*) ce qui a eu pour conséquence une adaptation des pathogènes à ces variétés, et donc une plus grande sensibilité de celles-ci. Il est difficile de faire des parallèles avec la culture du froment à ce niveau. Celle-ci s'est aussi concentrée sur quelques variétés à certaines périodes. Elle est néanmoins très diversifiée aujourd'hui si l'on prend en compte le nombre de variétés plantées en Wallonie. Il est cependant probable que la diversité commerciale des variétés vendues ne corresponde pas à une diversité génétique. La base génétique de l'assortiment variétal serait en effet relativement faible, sans que des données précises existent sur ce point.

Dans le marché du froment, plusieurs autres obstacles ont été observés. Il s'agit d'abord des **biais qui facilitent les systèmes intensifs en intrants**. Il y a d'une part la prépondérance du département « phytosanitaires » par rapport au département « semences » au sein des firmes d'agrofouritures (SCAM et Aveve) alors que les objectifs de ces départements sont contradictoires (vendre des phytosanitaires ou vendre des variétés intéressantes pour le producteur). Il y a d'autre part l'influence des délégués commerciaux, payés à l'intéressement (ils pousseraient à la consommation de produits phytosanitaires). Il y a également, au sein des firmes semencières, des choix stratégiques d'investir dans d'autres axes que la résistance aux maladies (le rendement, la qualité technologique, ...).

⁷⁷ La grande distribution ne laisse par exemple la possibilité de vente que pour une demi-douzaine de variétés en paquets (toujours les mêmes dans tous les magasins et tout au long de l'année) et pour la vente en vrac de trois variétés de pommes (les balances ont trois boutons pour les pommes : un bouton pour les rouges, un pour les vertes, un pour les jaunes).

Enfin, toute la filière est tournée vers les priorités dominantes actuelles - traçabilité, sécurité alimentaire, normes mycotoxines. La diminution de l'utilisation des pesticides reste un objectif public marginal par rapport à ces autres enjeux.

Critères de qualité

Entre le marché et le consommateur, il y a les critères de qualité. Les critères de qualité incluent des critères liés au marché (taux de protéines du froment, durée de conservation pour la pomme) ainsi que, en arboriculture fruitière uniquement, des critères liés aux consommateurs (les critères de qualité gustative, par exemple).

En pommier, de nombreuses variétés résistantes ont des **faiblesses** par rapport à ces critères de qualité (critères techniques, gustatifs et commerciaux) mais ces faiblesses se combinent à une **ambiguïté** constante, dans le chef des acteurs des filières, sur la réelle valeur de ces critères. Les critères gustatifs doivent donc être séparés des critères industriels et commerciaux. Les critères industriels et commerciaux sont directement construits par les filières agroalimentaires industrialisées, standardisées et mondialisées et reflètent certains modes de fonctionnement de ce marché (calibre des pommes, durée de conservation par exemple). Les critères gustatifs sont également influencés par ces filières agroalimentaires (les goûts sont influencés par les aliments que nous connaissons, c'est à dire ceux qui sont disponibles : la *Golden*, la *Jonagold*, la *Granny Smith*)

En froment, la grande distribution et les consommateurs n'ont pas d'influence directe. Les entreprises de transformation, par contre ont une influence déterminante. Elles fixent les critères technologiques qui régulent le marché et le choix des variétés. Un de ces critères est le taux de protéines, qui doit être relativement élevé pour garantir au producteur un prix de vente intéressant, lorsque le grain est valorisé dans une filière meunière. Or, la nécessité de froments à haut **taux de protéines** est liée à l'industrialisation de la panification (le malaxage industriel nécessite une pâte solide, et un haut taux de protéines permet de faire gonfler au maximum le pain). Des filières artisanales (moulins artisanaux) ont démontré la possibilité de valoriser des lots de grains à faible taux de protéines qui ne sont pas valorisables dans des meuneries industrielles⁷⁸.

Consommateurs

Au niveau des consommateurs, un des obstacles est la faible connaissance des conditions de production en agriculture et la **faible traduction des valeurs écologiques des citoyens** dans leurs actes de consommation. En effet, si la connaissance des conditions de production des pommes (par exemple les 10 à 20 traitements fongicides par saison dans les vergers) était plus large et que les citoyens posaient davantage de gestes cohérents avec leurs valeurs écologiques, les filières qui traduisent ces valeurs dans des cahiers de charges contraignants seraient plus importantes, et les variétés résistantes seraient en conséquences mieux développées et davantage utilisées.

⁷⁸ L'industrialisation de la meunerie a également eu des conséquences. Les meuneries industrielles utilisent également, depuis le début du siècle, des cylindres en acier pour moudre le grain plutôt que des meules en pierre, ce qui engendre également des préférences techniques pour un grain d'une certaine qualité.

Un obstacle supplémentaire joue dans la filière fruitière. Il s'agit de la **standardisation des goûts**. Celle-ci est un obstacle pour les variétés dont le goût est distant de celui des variétés qui dominent le marché depuis trente ans comme la *Golden* ou la *Jonagold*.

L'étude de cas sur les variétés de betteraves résistantes à la rhizomanie a également analysé les facteurs d'adoption et de non-développement des variétés résistantes. Bien que la situation soit différente, étant donné que la rhizomanie est une maladie émergente et non historique dans nos régions, l'analyse démontre également l'influence d'une dizaine de facteurs techniques, sociaux et économiques dans le non-développement de ces variétés de 1994 jusqu'à 2001, période où leur diffusion a commencé à s'amplifier significativement (Braibant, 2004).

3. Les voies d'innovations (2005-2020)

Dans cette section, la comparaison porte sur les voies d'innovations qui pourraient améliorer la gestion des maladies à l'horizon 2020.

La comparaison porte sur trois axes : d'une part le **niveau de développement** de chaque voie d'innovations et **l'évaluation du potentiel** de celles-ci pour l'agriculture wallonne par les acteurs, et d'autre part **les facteurs de non-développement** de chaque voie d'innovations. Cette section compare ces trois axes d'abord pour les voies principales et ensuite pour les voies secondaires.

La gamme des voies d'innovations est relativement similaire dans les deux études de cas (Tableau 27).

Tableau 27 : Comparaison des voies d'innovations technologiques

Voies d'innovation		Pommier (tavelure)	Froment (fusariose et septoriose)
Voies principales	1. Phytopharmacie	Nouvelles molécules actives et amélioration des pulvérisateurs	
	2. Amélioration variétale classique et moderne	Variétés résistantes conventionnelles	
	3. Génie génétique	Variétés résistantes transgéniques	
Voies secondaires	4. Hétérogénéité génétique de la culture	Vergers diversifiés (multi-variétés, multi-espèces, systèmes sylvo-pastoraux)	Mélanges variétaux et associations de cultures
	5. Lutte biologique	Agents antagonistes	
	6. Eliciteurs de résistance induite	Eliciteurs de résistance induite	

Légende : Les voies d'innovations principales sont celles qui ont été systématiquement abordées comme voies d'innovations par les acteurs et dont le développement est déjà important. Les voies d'innovations secondaires sont celles qui sont minoritaires, en faible développement et quasi-absentes dans le discours des acteurs.

Dans l'analyse et la comparaison, l'accent est essentiellement mis sur les trois voies d'innovations en lien avec les variétés et la semence, qui sont trois **voies de prévention**. L'amélioration variétale, le génie génétique et la diversité génétique de la culture (mélanges variétaux) ont en effet en commun de viser des solutions au niveau de la semence.

La phytopharmacie, la lutte biologique et les éliciteurs de résistance induite sont elles trois **voies d'intervention**. Ces trois voies d'innovations produisent donc des améliorations en termes de techniques d'intervention : des applications de fongicides de synthèse, des aspersion d'agents antagonistes et des aspersion de solutions contenant des éliciteurs de résistance induite. Cette clé de classification est différente de celle des voies principales ou secondaires. La différence entre voies de prévention et d'intervention est aussi économique : les voies d'intervention sont coûteuses (le coût des traitements est important) alors que les différences de coût entre différentes variétés (résistantes ou sensibles) sont mineures ou inexistantes.

A. Synthèse des niveaux de développement des voies d'innovation

Deux tableaux synthétisent le niveau de développement actuel des différentes voies d'innovations et le troisième synthétise les facteurs socio-économiques qui expliquent ce niveau de développement.

Le Tableau 28 synthétise l'implication des acteurs privés et des pouvoirs publics (administration et recherche publique) dans les six voies d'innovation.

Le Tableau 29 synthétise le niveau de développement scientifique et commercial de chaque voie d'innovations à l'aide de quatre paramètres (photographie de la situation actuelle):

- 1) la validité du principe théorique sur lequel la voie d'innovations est basée : il s'agit d'une estimation personnelle de la validité théorique de la voie d'innovations, en fonction des commentaires des acteurs interrogés et de la bibliographie consultée
- 2) l'évaluation du potentiel de la voie d'innovations pour la gestion des maladies selon les acteurs interrogés (synthèse des commentaires des acteurs interrogés)
- 3) le niveau de développement scientifique, évalué par le type d'essais agronomiques réalisés sur cette voie (du laboratoire jusqu'au champs d'essais de 10 hectares). Les différents types d'essais sont **(a)** des essais en labo sur une plante modèle, **(b)** des essais sur d'autres cultures que celles concernées, **(c)** des essais sur la culture concernée en labo ou serre, **(d)** des essais sur la culture concernée dans des champs d'essais à faible échelle et **(e)**, des essais sur la culture concernée en champs d'essais à large échelle.
- 4) le niveau de développement commercial de la voie d'innovations, en ne retenant que les applications en lien avec le problème de gestion des maladies. Le nombre d'étoiles illustre l'importance de l'utilisation : une étoile signifie un développement commercial marginal, deux un développement moyen, trois un développement très marqué. La date est celle du début d'utilisation organisée. Le pourcentage est une estimation du taux d'adoption des innovations actuelles de cette voie.

Tableau 28 : Comparaison de l'investissement des acteurs dans les différentes voies d'innovation

Voies d'innovations	Action des acteurs privés qui investissent dans cette voie (recherche, promotion commerciale)	Action des pouvoirs publics à l'échelon régional (encadrement des producteurs, recherche et réglementation)
1) Phytopharmacie	<p><u>Recherche</u> : Firmes phytopharmaceutiques (Bayer, BASF, Syngenta, ...)</p> <p><u>Promotion</u> : Firmes généralistes (SCAM, Wal.Agri, négociants indépendants)</p>	<p><u>Recherche</u> : -</p> <p><u>Réglementation</u> : Procédures d'homologation</p> <p><u>Accompagnement et vulgarisation</u> : Tests d'efficacité des produits des firmes (meilleurs produits, meilleurs dosages et mélanges, meilleur moment d'application).</p>
2) Amélioration variétale	<p><u>Recherche</u> : Pour le pommier : pépiniéristes belges (Nikolai, ...) et leurs groupes internationaux respectifs (AGN,...). Pour le froment, firmes semencières belges (Matton, Jorion) et internationales (Plant Breeding International, Nickerson, Lockoff-Patten)</p> <p><u>Promotion</u> : Firmes semencières belges et firmes généralistes belges</p>	<p><u>Recherche</u> : Pour le pommier, programme de création variétale notamment à partir d'anciennes variétés (CRA-W). Pour le froment, programme de création variétale (CRA-W). Programme spécifique pour la résistance à la fusariose (CRA-W et Jorion)</p> <p><u>Réglementation</u> : Procédures d'homologation (catalogue des variétés)</p> <p><u>Accompagnement et vulgarisation</u> : Essais variétaux des variétés commercialisées</p>
3) Ingénierie génétique	<p><u>Recherche</u> : Pour le pommier : - (projets à l'échelon international : UE et USA)</p> <p>Froment : Syngenta, Monsanto, etc.</p>	<p><u>Recherche</u> : En arboriculture, pas de projets (sauf un, avorté, à la KUL). Pas de projets de génie génétique en céréaliculture pour ce qui concerne la résistance aux maladies mais projets de froment transgénique à qualité boulangère améliorée. (implications d'institutions publiques UE et USA).</p> <p><u>Réglementation</u> : application de la directive 2001/18</p>
4) Hétérogénéité de la culture (vergers diversifiés /mélanges variétaux)	<p><u>Recherche</u> : -</p> <p><u>Promotion</u> : -</p>	<p><u>Recherche</u> : -</p> <p><u>Réglementation</u> : -</p> <p><u>Accompagnement et vulgarisation</u> : -</p>
5) Lutte biologique	<p><u>Recherche</u> : ?</p> <p><u>Promotion</u> : -</p>	<p><u>Recherche</u> : - (CRA pour post-récolte)</p> <p><u>Réglementation</u> : ?</p> <p><u>Accompagnement et vulgarisation</u> : -</p>
6) Eliciteurs de résistance induite	<p><u>Recherche</u> : Firmes (Syngenta, Goemar)</p> <p><u>Promotion</u> : Syngenta (Usa et Europe), Goemar (en France) mais pas de produits spécifiques pour la fusariose</p>	<p><u>Recherche</u> : recherche au CRA en arboriculture (et prévu en céréaliculture pour l'avenir)</p> <p><u>Accompagnement et vulgarisation</u> : tests ponctuels d'efficacité des produits de certaines firmes</p>

Légende : (-) signifie l'absence d'activités pour le point concerné ; (?) signifie l'absence de données sur le point concerné.

Tableau 29 : Comparaison des niveaux de développement des différentes voies d'innovation

Voie d'innovations	Validité du principe théorique (1)	Evaluation du potentiel (2)	Niveau de développement scientifique (3)	Niveau de développement commercial - Utilisation réelle de la voie d'innovation (4)
1) Phytopharmacie	Pommier :*** Froment : *** ^(*)	Pommier :**** Froment : *** ^(*)	Pommier : bcde Froment : bcde	Pommier : oui (***, >95%, 1930-..) Froment : oui (***, >90 %, 1970-..)
2) Amélioration variétale (i)	Pommier :*** Froment : ***	Pommier :*** Froment : ***	Pommier : abcde Froment : abcde	Pommier : oui (*, <1%, 1990-..) (k) Froment : oui (**, <30%, -) (l)
3) Ingénierie génétique	Pommier :* Froment : *	Pommier :** Froment : **	Pommier : abcd Froment : abcde	Pommier : annoncé pour 2015 (m) Froment : annoncé pour 2010 (n)
4) Hétérogénéité de la culture (vergers diversifiés/mélanges variétaux)	Pommier :*** Froment : ***	Pommier : * Froment : *	Pommier : abc Froment : abcde (?)	Pommier : non Froment : non (Bel), oui (Danemark, Suisse Allemagne) (*, 10-50%, 1980)
5) Lutte biologique	Pommier :* Froment : *	Pommier :* Froment : *	Pommier : abc (d ?) Froment : a (bcd ?)	Pommier : non Froment : non
6) Eliciteurs de résistance induite	Pommier :*** Froment : ***	Pommier :* Froment : *	Pommier : abcd (?) Froment : abcb (?)	Pommier : non Froment : non (Bel, fusariose), oui (France, USA, autres maladies) (*, < 10%, 2000-..) (j)

Légende :

(1) à (4) et (a à e) : voir explications page 263.

(i) Pour les pommiers, cette voie est ici restreinte aux variétés Vf ou aux variétés à résistance polygénique moderne. Pour le froment, cette voie représente les efforts plus diffus d'obtention de variétés résistantes.

(j) Pas en Belgique, pas spécifiquement pour les maladies étudiées et à faible échelle

(k) Le niveau de résistance des variétés préindustrielles était bien plus élevé que celui des variétés commercialisées depuis les années après-guerre. L'année citée ici se réfère au développement commercial des variétés Vf de bonne qualité gustative.

(l) Il est difficile d'établir une date de développement commercial de variétés résistantes. Les variétés développées ont toujours eu un certain degré de résistance. Certaines études existent sur l'évolution historique de ce niveau de résistance mais l'auteur n'a pas trouvé de résultats réellement conclusifs sur ce point.

(m) Selon l'Union Européenne

(n) Selon Syngenta

Il n'y a pas de **relation linéaire** entre le niveau de développement, la validité théorique et l'évaluation du potentiel des différentes voies d'innovations par les acteurs. Le niveau de développement des voies d'innovations (deux dernières colonnes) est peu lié à l'évaluation faite par les acteurs de la validité du principe théorique sous-jacent à chacune d'elle (deux premières colonnes). Seule une voie d'innovations est à la fois très bien évaluée, fort développée et très utilisée : la phytopharmacie (les fongicides de synthèse).

Le cas de l'amélioration variétale illustre cette absence de relation linéaire. La validité du principe théorique à la base de cette voie d'innovations est forte. Les acteurs des deux filières estiment que l'obtention de résistances variétales est la meilleure voie d'innovations pour gérer les problèmes de maladies. Dans les deux filières, la confiance est forte dans le développement futur de variétés plus résistantes ou 'mieux' résistantes (par l'obtention de résistances polygéniques). Pourtant, l'utilisation des variétés résistantes par les agriculteurs est actuellement faible : 1% en pommiers, de 15 à 30% en céréaliculture (cfr p 255). Ce paradoxe est également vrai pour les mélanges variétaux et les éliciteurs de résistance systémique induite. Seul le développement des

fongicides de synthèse « colle » avec leur efficacité, qui est prouvée sauf dans le cas de la fusariose.

Dans les voies d'innovations secondaires, les trois voies sont explorées au niveau scientifique à des niveaux divers et incomparables avec ceux qui caractérisent les voies principales, mais aucune des trois n'est réellement développée au niveau commercial. En Wallonie, leur utilisation est nulle. Elle est également extrêmement restreinte au niveau européen ou mondial. Les applications à large échelle de ces voies d'innovations pour les problèmes étudiés sont limitées à quelques régions⁷⁹.

B. Synthèse des déterminants d'innovations

L'analyse des facteurs qui influencent positivement ou négativement chaque voie d'innovations permet d'expliquer le niveau de développement des différentes voies d'innovation, et entre autres les relations non linéaires entre potentiel 'théorique' de chacune d'entre elles et leur utilisation réelle par les agriculteurs (cfr Tableau 29 p 264).

Le terme *déterminants d'innovation* est parfois utilisé dans la littérature en économie de l'innovation pour définir ces facteurs accélérant ou limitant le développement des voies d'innovations. Les déterminants d'innovation sont « *des facteurs sociaux, culturels, économiques ou politiques qui agissent sur le développement des trajectoires technologiques (voies d'innovation)* » (Edquist, 2001).

Les facteurs techniques (les obstacles à résoudre dans le processus de développement scientifique de l'innovation) ne sont pas analysés ici. Chaque voie d'innovations rencontre en effet de nombreux obstacles techniques qui doivent être surmontés avant d'atteindre une phase de développement commercial. Ceux-ci sont synthétisés dans plusieurs tableaux en annexe (Voir Tableaux de l'Annexe V)⁸⁰.

C'est l'analyse des facteurs socio-économiques et socio-politiques, elle, qui est intéressante. Les deux tableaux ci-dessous synthétisent les déterminants d'innovations des voies d'innovations principales et secondaires. L'analyse des déterminants d'innovation des trois voies secondaires a été hétérogène. Pour la lutte biologique et les éliciteurs de résistance systémique, les études de cas n'ont pas permis de récolter suffisamment de données pour une comparaison. L'analyse des déterminants des mélanges variétaux et vergers diversifiés est par contre réalisée en profondeur.

⁷⁹ Cela ne signifie pas qu'elles n'ont pas déjà produit d'autres solutions innovantes pour d'autres problèmes (c'est le cas de la lutte biologique par exemple), ou qu'elles ne pourraient pas le faire dans l'avenir.

⁸⁰ Le Tableau VI, en Annexe, synthétise par ailleurs les différents éléments du contexte macro-économique, environnemental et politique actuel et ceux susceptibles de changer dans le futur proche. Sa lecture n'est cependant pas nécessaire à la compréhension de cette section.

Tableau 30 : Comparaison des déterminants d'innovation des voies d'innovations principales

	Pommier (tavelure)	Froment (fusariose et septoriose)
Phytopharmacie (nouveaux fongicides)	<ul style="list-style-type: none"> + processus d'innovation rôdé depuis des dizaines d'années + importants investissements de R&D de plusieurs multinationales + confiance des chercheurs et des acteurs de la filière +/- réglementations publiques contraignantes (homologation, cfr toxicité) 	
		<ul style="list-style-type: none"> +/- inefficacité des fongicides actuels dans le cas de la fusariose (contre-productivité dans certains cas) +/- apparition de phénomènes de résistance aux fongicides
Amélioration variétale	<ul style="list-style-type: none"> + processus d'innovation rôdé depuis des dizaines d'années + acteurs importants impliqués (niveau national et international) + confiance des chercheurs et des acteurs de la filière + nouvelles possibilités technologiques liées aux outils récents de la biotechnologie + intérêt de la communauté scientifique pour les nouvelles méthodes (sélection assistée par marqueurs) + importance croissante du critère de sensibilité dans le choix variétal chez les producteurs + identification et conservation de la diversité génétique des espèces et intégration des sources de résistance dans des grands projets d'amélioration internationaux - faibles efforts d'obtention de résistances durables dans une grande partie des programmes de recherche privés → les firmes produiront encore des variétés à résistances peu durables) - faible financement des recherches publiques - faible importance actuelle du critère de résistance dans le choix variétal par les producteurs - absence de structures de promotion des variétés créées par les centres publics 	
	<ul style="list-style-type: none"> + Possibilité de réduire les coûts des traitements fongicides +/- Paradoxe : difficulté de promouvoir les variétés résistantes sur leurs avantages écologiques 	<ul style="list-style-type: none"> + seuil de résistance minimal dans les procédures d'agrément de certains pays + diminution des prix des céréales - faible intérêt des variétés résistantes dans des systèmes intensifs et faible promotion des systèmes à faibles intrants - aux USA, diminution de l'intérêt pour les programmes publics d'amélioration classique en faveur des programmes de transformation génétique
Ingénierie génétique	<ul style="list-style-type: none"> + producteurs à priori favorables + confiance dans la technologie de la part des acteurs, confiance 'prudente' dans le cas spécifique des résistances aux maladies + exploration de la biodiversité de l'espèce et intégration de sources de résistance dans des grands projets d'amélioration internationaux - réglementation publique contraignante - opposition des consommateurs - arrêt des financements européens de recherche sur recherche appliquée 	
	<ul style="list-style-type: none"> + efforts de recherche dans des instituts de recherche publics et privés + possibilité de transformer une variété déjà établie sur le marché 	<ul style="list-style-type: none"> + importants investissements passés des firmes (prise de brevets, etc) = incitant à poursuivre le développement pour rentabiliser leurs activités - engagements d'entreprises de transformation à ne pas acheter du blé transgénique

Légende :

(+) signale les **facteurs positifs** (*stimulant le développement de la voie d'innovations*)

(-) signale les **facteurs négatifs** (*obstacles au développement de la voie d'innovations*)

Tableau 31 : Comparaison des déterminants d'innovation des mélanges variétaux

	Pommier (tavelure)	Froment (fusariose et septoriose)
Diversité génétique de la culture (vergers diversifiés ou mélanges variétaux)	<ul style="list-style-type: none"> + Diminution potentielle du risque de maladie et de la nécessité de traitements fongicides - faible motivation des acteurs : les mélanges diminuent le problème sans le résoudre complètement - le principe va à l'encontre des pratiques et stratégies des producteurs, sélectionneurs, firmes semencières, etc: remise en question du modèle « monoculture-monovariété-traitements fongicides » - rareté des efforts de recherche appliqués - conviction des acteurs que des contraintes techniques de 'réalisme agricole' rendent le concept inutilisable dans des systèmes agricoles modernes (compatibilité des variétés en termes de récolte, maturité, etc) 	
	<ul style="list-style-type: none"> - coût de la main-d'œuvre (la récolte de deux variétés à différents moments prend plus de temps) 	<ul style="list-style-type: none"> + Résultats encourageants d'applications à large échelle dans plusieurs régions du monde - aspect « contre-tendance » : exigence croissante d'homogénéité (secteur agroalimentaires) - normes de pureté variétale empêchant les sociétés de livrer des mélanges

Légende :

(+) signale les **facteurs positifs** (*stimulant le développement de la voie d'innovations*)

(-) signale les **facteurs négatifs** (*obstacles au développement de la voie d'innovations*)

Dans les deux sections suivantes, la comparaison tente d'expliquer les causes du développement médiocre ou important des voies d'innovations principales et secondaires.

C. Comparaison en détails pour les voies principales

Les trois voies d'innovations principales sont la phytopharmacie, l'amélioration variétale et le génie génétique.

1) La phytopharmacie

Niveau de développement

La phytopharmacie est la voie la plus présente et la plus importante pour la gestion des maladies cryptogamiques dans les deux filières. Dans le cas de la tavelure, l'innovation qui a surtout été discutée au sein de cette voie d'innovations est l'amélioration technique des pulvérisateurs, dans un souci de réduire à la fois les quantités de fongicides qui sont emportées par le vent, celles qui atteignent le sol et la quantité totale utilisée⁸¹. Dans le cas de la fusariose et de la septoriose, les innovations se tournent davantage vers la création de nouvelles familles de molécules qui auraient un meilleur pouvoir fongicide sur ces deux maladies. Les deux facteurs qui expliquent la plus

⁸¹ Cette amélioration se fait au moyen de l'ajout, au pulvérisateur, d'un bras qui récupère la quantité de fongicides qui coule de l'arbre, en temps réel, et le réinjecte dans la cuve du pulvérisateur.

grande nécessité de trouver de « nouvelles molécules » dans la filière céréale sont l'apparition de populations de pathogènes résistants aux fongicides existants pour la septoriose et la faible efficacité des produits actuels contre la fusariose.

Dans les deux filières, les innovateurs actifs dans cette voie d'innovations sont des groupes industriels actifs à l'échelle internationale. Ceux-ci effectuent leurs propres programmes de R&D. Le développement de cette voie d'innovations est réglementé par les pouvoirs publics, au niveau des procédures d'homologation de nouveaux produits. Les pouvoirs publics « accompagnent » également le développement de cette voie d'innovations en effectuant un très grand nombre de tests d'efficacité des produits proposés par les firmes et en diffusant ces informations aux producteurs. L'analyse du *Livre Blanc Céréales* a démontré qu'une grande partie des recherches appliquées effectuées par les institutions publiques concernait les tests des meilleurs produits, des meilleurs dosages, des meilleurs mélanges de produits, du meilleur moment d'application, etc. Il en est de même dans les publications de la filière fruitière.

Cet 'accompagnement' des fongicides est essentiel : il permet de construire une confiance des acteurs dans les produits développés, de faire circuler l'information, de faire jouer la concurrence entre les filières et de permettre un processus d'innovation continue avec des innovations incrémentales (choix des bons mélanges, etc).

Déterminants d'innovation

L'innovation en phytopharmacie est d'abord influencée par trois facteurs positifs qui sont similaires dans les deux filières. La voie d'innovations suit un **processus bien rôdé** (existence de réseaux de connaissances, de compétences, de ressources techniques, de régime de protection de l'innovation, commercialisation des innovations passées, etc). Les acteurs innovateurs pour cette voie d'innovations sont des **multinationales** qui ont d'importants budgets de recherche et développement. Cette voie d'innovations a la **confiance** des acteurs des filières : ceux-ci affirment que « *les firmes viendront avec des nouvelles familles de molécules actives* ».

Un autre facteur est le fait que les **réglementations publiques** sur l'homologation des produits devient plus rigoureuse en intégrant davantage les préoccupations environnementales notamment (par exemple, interdiction en Allemagne du captane, principal fongicide utilisé en Belgique pour lutter contre la tavelure). Ce facteur n'est pas qualifié de positif ou négatif car il peut avoir des effets négatifs (surcoût administratif et baisse de la rentabilité pour les firmes innovatrices) ou positifs (l'incitation à l'utilisation de produits moins polluants est aussi une incitation à l'innovation au sein de cette branche d'activités).

Les différences entre les deux cas sont davantage liées aux différences entre les maladies étudiées qu'entre les cultures ou filières concernées. Plusieurs déterminants sont spécifiques à la situation particulière de la fusariose. L'inefficacité des fongicides actuels à limiter la fusariose, voire la contre productivité dans certains cas, est un facteur dont l'influence peut être ambiguë. D'un côté, la faible efficacité des produits actuels diminue la confiance des producteurs dans cette innovation, ce qui explique que les acteurs privilégient l'amélioration variétale par rapport à ce problème. D'un autre côté, l'absence de produits efficaces pourrait être une incitation au développement de tels produits. En céréaliculture, le cas de l'apparition de souches de septoriose résistantes aux strobilurines entraîne des effets similaires : perte de confiance mais attente de nouveaux produits.

2) L'amélioration variétale

Niveau de développement

L'importance de l'amélioration variétale *pour la gestion des maladies cryptogamiques* est actuellement moindre en arboriculture fruitière qu'en céréaliculture, dans le sens où cette voie d'innovations a produit des variétés résistantes qui sont marginales, alors qu'en céréaliculture, les variétés les plus résistantes sont utilisées et que le critère de résistance importe, même s'il intervient après d'autres critères.

Il faut cependant noter que la comparaison entre les variétés résistantes des deux filières est peu évidente, et donc les affirmations plus instables. En arboriculture, le terme de variétés résistantes se réfère principalement aux variétés *Vf*, dont le degré de résistance à la tavelure est relativement distinct des variétés non résistantes. Dans le cas de la fusariose et des maladies du froment, le degré de résistance est davantage une variable continue : les variétés ne sont pas résistantes ou non résistantes, mais peu, moyennement ou fortement résistantes (ou tolérantes) aux différentes maladies. C'est pour cette raison que la définition de variétés multirésistantes ou, encore mieux, de variétés rustiques (aptées à être productives dans des systèmes à intrants réduits), est plus pertinente.

Le facteur qui explique la différence d'importance des variétés résistantes dans les deux filières est plus fondamental. Dans les deux filières, le critère de résistance ne fait pas partie des trois premiers critères de choix variétal. Il intervient cependant davantage en froment qu'en arboriculture, où les perspectives commerciales de chaque variété sont d'une influence capitale et relèguent la résistance aux maladies loin derrière les autres critères, au point que les actuelles variétés résistantes aux maladies sont souvent vues comme des variétés « pour des vergers bios ».

La différence entre les structures des deux filières (intégration semences/phytos en froment et pas en pommes) n'a pas de conséquences directes. En froment, le fait que les mêmes firmes (SCAM et Aveve) vendent à la fois semences et produits phytos (et engrais) aboutit à un écrasement du département semences et à une non promotion des variétés résistantes. La séparation des trois secteurs d'activités en arboriculture fruitière montre que la situation n'est pas aussi simple : les variétés résistantes y sont encore moins développées alors que les traitements fongicides sont encore plus nombreux.

Evaluation du potentiel

Selon la majorité des acteurs, l'amélioration variétale est la voie « royale » pour mieux gérer les problèmes de maladies dans le futur. Les acteurs estiment que les possibilités technologiques sont plus grandes que dans le passé et que plusieurs facteurs vont amener une plus grande importance du critère de résistance dans le choix variétal dans les années à venir. La réussite des variétés résistantes reste cependant, dans les deux cas, conditionnée à d'autres facteurs. Dans le cas de l'arboriculture, il s'agit de la qualité gustative et technologique ; dans le cas du froment, il s'agit du rendement, de la résistance à la verse et des qualités technologiques telles que le taux de protéines.

Pour les pépiniéristes et semenciers, la résistance variétale n'est 'pas encore' une question importante étant donné qu'aucun acteur de la filière (producteurs, distributeurs, pouvoirs publics) n'y met une exigence forte, à l'exception du cas de la

fusariose. Pour les producteurs, la résistance variétale n'est pour le moment qu'un « plus ».

Pour les acheteurs industriels dans les deux filières, la résistance variétale n'a pas non plus une importance significative par rapport aux contraintes commerciales de chaque produit (avoir des pommes non tavelées, avoir du grain non contaminé), à l'exception du cas particulier de la fusariose. Au contraire, la gestion d'un grand nombre de variétés entraîne, pour les criées fruitières ou les meuneries, un besoin de séparation des lots au niveau des stocks et de gestion différenciée des processus. L'arrivée de variétés résistantes ne pourrait se faire qu'au détriment de variétés existantes, au sein d'une gamme de variétés en « enveloppe fermée ».

Déterminants d'innovation

Pour rappel, les facteurs de non-utilisation des variétés résistantes actuelles ont été analysés précédemment (Voir Tableaux p 102 et 108). Ceux-ci ont évidemment également un rôle, direct ou indirect, sur la voie d'innovations, mais ne sont plus rappelés ici.

Les trois premiers facteurs positifs sont similaires à ceux qui prévalent pour la phytopharmacie : la présence d'importants acteurs innovateurs tant au niveau national qu'international, le fait que la voie d'innovations est bien rôdée et la confiance des acteurs dans le potentiel de cette voie d'innovations, même si cette confiance est moins forte que dans les fongicides.

D'autres facteurs positifs ont pu être analysés : les techniques liées aux biotechnologies modernes entraînent de **nouvelles possibilités**, une meilleure utilisation du potentiel de la voie d'innovations, une plus grande confiance des acteurs par rapport au potentiel de cette voie d'innovations et un plus grand investissement dans ces outils. Suite à l'utilisation de ces outils et techniques issus de la biologie moléculaire, notamment des outils de diagnostic, et des connaissances du génome des plantes, on parle désormais de '*smart breeding*' pour marquer la différence avec la sélection variétale classique et avec le génie génétique

Un autre facteur positif est **l'importance croissante -attendue- du critère de résistance** aux maladies dans le choix variétal des producteurs, ce qui est une incitation à innover dans cette voie pour les firmes semencières. Pour la fusariose, cette incitation est déjà un cran plus loin car un seuil minimal de résistance à cette maladie a été défini au niveau des procédures réglementaires d'homologation des variétés dans différents pays (en Allemagne par exemple).

A long terme, un autre facteur qui améliore les chances de succès de cette voie d'innovations est la présence, dans les deux cas, de grands **projets de screening des sources de résistance** aux maladies et d'intégration des meilleures sources de résistance dans des grands projets d'amélioration. Ces projets existent tant au niveau belge qu'européen et international. En arboriculture par exemple, un projet fédéral explore la diversité des pommiers sauvages en Belgique ; un réseau européen étudie les meilleures variétés à intégrer dans des programmes d'amélioration pour créer des variétés résistantes de haute qualité ; au niveau mondial, l'université de Cornell et le service de recherche de l'USDA ont effectué entre 1989 et 1996 des expéditions en Asie Centrale pour ramener 1149 variétés de pommiers, augmentant ainsi de 40% leur collection de pommiers, qui compte maintenant 3900 accessions (Anon, 2006b; Anon, 2006a). Les

différents projets d'exploration et d'analyse de la biodiversité du pommier peuvent être utiles au génie génétique et à l'amélioration variétale.

A court terme par contre, les variétés qui sortent des programmes d'amélioration de nombreuses firmes ne sont actuellement pas pourvues de sources de résistances durables (polygéniques). L'obtention de telles résistances est longue et coûteuse, deux caractéristiques incompatibles avec les contraintes financières de nombreuses firmes semencières. En Wallonie, les institutions publiques manquent de structures de promotion des variétés qu'elles créent. De même, bien que la sensibilité aux maladies soit pressentie pour être un critère de choix variétal dans l'avenir ce n'est pas le cas aujourd'hui, ce qui ne participe donc pas à influencer les stratégies des firmes semencières.

Les différences entre les deux cas viennent ici plus des filières que des problèmes, soit l'inverse de la situation pour la phytopharmacie. En arboriculture, un obstacle supplémentaire est le paradoxe de la difficulté de promouvoir des variétés résistantes sur leur aspect 'écologique'. Une telle promotion serait en effet difficile de la part d'acteurs vendant depuis toujours des variétés très sensibles et donc très traitées, car cela supposerait de diffuser au consommateur en même temps l'information que les autres variétés sont abondamment traitées. Etant donné les liens entre distributeurs, criées, pépiniéristes et producteurs (au sein des clubs par exemple), cette difficulté priverait les variétés résistantes du principal argument qui pourrait doper leur développement. Si ces variétés ne sont pas promues sur leur qualité écologique, c'est la diminution des coûts des traitements (qui peut être grande) qui jouera un rôle d'incitant au développement de telles variétés.

Pour ce qui concerne le froment, un important facteur incitant les firmes semencières à investir dans la création de variétés résistantes est la fixation de seuils minimaux de résistance dans l'homologation des variétés, dans le cas particulier de la fusariose (dans certains pays uniquement). Un autre incitant est la baisse des prix des céréales, qui entraîne une baisse de l'intérêt économique des traitements fongicides et donc une hausse de l'importance des variétés résistantes. Ce facteur positif est néanmoins à modérer car, d'une part, l'analyse coûts-bénéfices des systèmes à intrants réduits par rapport aux systèmes actuels⁸² est extrêmement peu diffusée dans la filière céréalière, et d'autre part du fait de la récente remontée du prix des céréales (2006-2007) tirés vers le haut par la demande accrue de céréales pour la fabrication de biocarburants.

Dans les facteurs qui diminuent l'importance de cette voie d'innovations, il y a aussi le développement de la troisième voie d'innovations, le génie génétique, qui induit des changements de politique scientifique, aux Etats-Unis par exemple, au détriment des programmes d'amélioration variétale.

⁸² Les systèmes à intrants réduits sont des systèmes combinant utilisation réduite d'intrants (engrais et pesticides) et variétés rustiques. Les systèmes actuels, ou conventionnels, sont des systèmes intensifs en intrants et n'intégrant pas la résistance aux maladies comme une priorité du choix variétal.

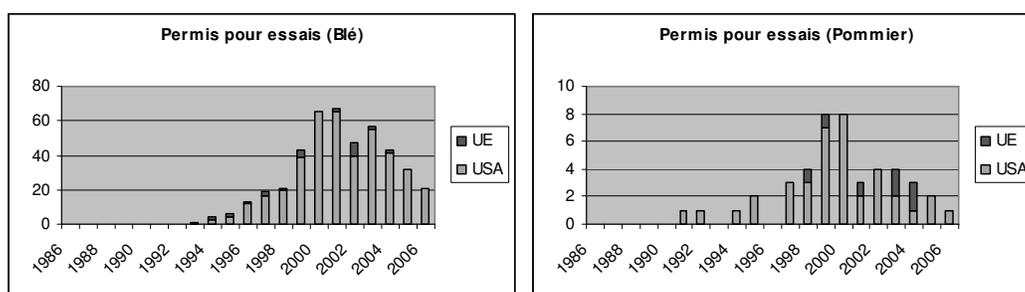
3) Le génie génétique

Niveau de développement

Le génie génétique a une importance particulière dans les deux filières, dans lesquelles il n'est pas encore présent au niveau commercial. C'est donc une voie d'innovations dont les applications sont situées dans le futur pour ces deux filières, alors qu'elle est bien plus réelle dans d'autres cultures. Il faut distinguer deux niveaux : les applications concrètes du génie génétique pour les deux cultures concernées et le développement global de la voie d'innovations.

Le nombre de demandes de permis de champs d'essais est une approximation de l'intensité des efforts de développement et d'un certain degré de la maturité des projets. S'il y a des milliers de projets qui sont confinés au niveau du laboratoire, seuls les projets en bonne voie d'avancement sont testés en champs.

Dans les deux filières, le nombre de demandes d'essais en Europe et aux Etats-Unis a augmenté jusqu'à des maximums en 2000 pour diminuer de moitié vers 2003-2005 (Voir Figures 10 a et b).



Figures 11 a et b : Développement des essais de pommiers transgéniques et de blés transgéniques (Etats-Unis et Europe)

Légende : calculs établis à partir des bases de données de demandes officielles pour les champs d'essais expérimentaux en Europe (Joint Research Centre, 2007) et aux Etats-Unis (Information Systems for Biotechnology (ISB), 2006), mai 2006⁸³.

Les efforts de recherche et développement de blés transgéniques sont beaucoup plus importants que ceux en pommiers. Il y a eu 413 permis d'essais en champs aux Etats-Unis et 38 en Europe sur les blés transgéniques et seulement 46 aux Etats-Unis et 7 en Europe sur les pommiers transgéniques (Cet aspect n'ayant pas été évoqué dans le Chapitre 3, les détails sont en note de bas de page⁸⁴).

⁸³ Remarque : 1) les échelles des deux figures sont différentes 2) Un dossier officiel d'autorisation implique parfois plusieurs essais : les nombres de dossiers sont donc relatifs. 3) Les réglementations européennes et nord-américaines sont différentes ('Environmental releases of GMOs' des statistiques européennes et les 'Field Test Permits' américains). Une grande différence entre les deux est par exemple que certains types de plantes transgéniques sont 'dérégulés' aux Etats-Unis (dans le cas où ces plantes sont estimées ne pas poser de risques, par exemple quand un grand nombre d'essais ont déjà été réalisés sur celles-ci). La comparaison n'est donc pas aussi simple que ce que le graphe peut laisser supposer. Les Etats-Unis sont cependant bien en avance sur le développement de la technologie.

⁸⁴ Aux Etats-Unis, les types de modification concernent en premier lieu la modification de la qualité du produit (modification du contenu et du métabolisme des sucres, de l'éthylène, modification du processus de maturation du fruit) (16 essais). La résistance aux maladies vient en second lieu, avec 12 essais (3 sur

L'écart provient d'une part des différences en termes d'importance économique des cultures (les firmes concentrent leurs activités sur les cultures les plus importantes et les plus rentables) et d'autre part du niveau de difficulté technique de la transgénèse pour chaque culture (celle du blé est plus complexe que celle du maïs ou du soja, elle est donc plus coûteuse, en conséquence, le retour sur investissement peut être moindre).

L'intensité du développement de cette voie d'innovations, pour aucune des deux cultures, n'atteint en effet celle qui prévaut pour les quatre cultures les plus investies en génie génétique (maïs, coton, soja et colza). Si l'on compte l'ensemble des essais expérimentaux acceptés, il y en a en effet eu plus de 12000 aux Etats-Unis et plus de 2000 en Europe (cfr Figures 2 a et b p 25).

Pour le pommier, les **principaux projets** (en additionnant les projets européens et américains) concernent la modification de la qualité de la pomme (16 essais sur la modification du métabolisme des sucres et de l'éthylène, visant notamment à modifier le mûrissement du fruit) et la résistance aux maladies (16 essais sur la résistance au feu bactérien et à la tavelure) ainsi que la résistance aux insectes (9 essais). Les projets de modification du contenu nutritionnel de la pomme sont exclusivement développés aux Etats-Unis (mais ils sont en cours au niveau des laboratoires en Europe).

Pour le blé, les principaux projets sont la résistance au glyphosate (la moitié des essais, soit 212 essais), la résistance aux maladies (91 essais, concentrés aux 2/3 sur la résistance à la fusariose) et la modification du contenu nutritionnel (62 essais, dont 25 sur l'amélioration de la qualité boulangère par augmentation du taux de gluténines).

Les **principaux acteurs** qui mènent ces projets sont nettement différents dans les deux filières. Pour le pommier, ce sont essentiellement des instituts de recherche publics qui sont actifs dans ce domaine (5 des 7 essais en Europe et 23 des 38 essais aux Etats-Unis). C'est le contraire pour le blé, où les firmes privées mènent 16 des 26 essais en Europe et 260 des 411 essais aux USA. Les essais des firmes privées sont aussi souvent plus concentrés sur un projet tandis que la recherche publique investit de nombreux projets différents.

la résistance à la tavelure et 7 pour la résistance au chancre bactérien, puis la résistance aux insectes (lépidoptères et coléoptères). Un essai concerne la modification de la date de floraison. Les essais en champs ont lieu uniquement dans les Etats 'fruitiers' : en Californie, dans les Etats du Nord-Ouest (Washington et Oregon) et de l'Est (New-York). Ils ont démarré dès 1991, avec une concentration des nouvelles demandes en 1999 et 2000, et sont en majorité de taille très modeste (1 acre) sauf pour quelques essais allant jusqu'à 23 acres. Les principaux acteurs innovateurs sont des universités (Cornell : 14 ; California : 6 ; Oregon State : 1), deux firmes de biotechnologies (Dry Creek : 7 ; Exelixis : 3) et le centre de recherche ARS du USDA (2). Les firmes se concentrent sur les projets de modification de la qualité du fruit et sur la résistance aux insectes tandis que les universités, principalement Cornell, sont impliquées dans presque tous les types de modifications. Les types et sources des transgènes sont notés dans la plupart des cas, seules 5 demandes contiennent la mention « *confidential business information* » pour l'organisation demandeuse. En Europe, les sept demandes réglementaires pour des essais de pommiers transgéniques ont été faites dans quatre pays différents (Belgique, Pays-Bas, Allemagne et Suède). Elles représentent quatre projets distincts menés par quatre organisations : trois organisations de recherches publiques (Fruiteelcentrum de la Katholieke Universiteit Leuven; Federal Centre for Breeding Research on Cultivated Plants ; Swedish University of Agriculture Sciences), et un institut de recherche privé (Plant Research International). Deux projets ont pour objectif l'amélioration de la résistance aux maladies (Allemagne et Pays-Bas), un l'amélioration des porte-greffes (Suède) et un l'autocompatibilité des arbres (Belgique). Toutes les demandes ont été introduites entre 1998 et 2004.

Les projets menés par les firmes privées, en pommiers, se concentrent autour de la modification de la qualité de la pomme et de la résistance aux insectes. Les projets concernant les résistances aux maladies sont menés par le service de recherche de l'USDA et par la Cornell University. Pour le blé, les projets des firmes se concentrent essentiellement sur le blé résistant à un herbicide (le projet de résistance au glyphosate développé presque en exclusivité par la firme Monsanto et quelques autres projets de résistances à la phosphinothricine), sur la résistance aux maladies et la modification du contenu du grain. Monsanto a aussi mené quelques essais de modification du métabolisme de l'azote mais plus depuis 1999. Les universités américaines mènent aussi des projets de résistance aux maladies, de modification du contenu du grain. Elles sont aussi presque les seules à travailler sur la résistance à la sécheresse et aux virus et à l'augmentation du rendement.

Il y a également des différences en ce qui concerne spécifiquement les projets de pommiers et de blé résistants aux maladies. Aux Etats-Unis, tous les projets de pommiers résistants ont été initiés avant 2001 et il n'y en a plus eu aucun depuis (l'activité se concentre sur la modification de la qualité du fruit). Pour le blé, les projets de variétés résistantes à la fusariose sont par contre en plein développement ces dernières années, mais c'est la seule maladie pour laquelle des projets de blés transgéniques résistants existent. Il est donc probable que des blés résistants à la fusariose soient réellement commercialisés dans la prochaine décennie. Par contre, cette probabilité semble a priori extrêmement faible pour les résistances aux autres maladies.

Evaluation du potentiel

Le génie génétique dispose d'un fort potentiel de confiance de la part des acteurs des deux filières en ce qui concerne sa capacité à proposer des variétés innovantes *en général*. Les chercheurs sont par contre plus sceptiques sur d'éventuels pommiers ou froments transgéniques *dans le cas particulier* de la résistance aux maladies.

Dans les deux filières, le développement des plantes transgéniques n'est pas une question d'actualité pour leur filière selon une grande partie des acteurs rencontrés. Ceux-ci font en effet essentiellement référence à l'opposition des consommateurs. On pourrait résumer la réflexion de la manière suivante : « *Pour le moment les consommateurs ne sont pas prêts, laissons les chercheurs travailler, on verra bien si les consommateurs auront changé d'avis le jour où ces plantes seront réellement prêtes* ». Il faut également noter que les acteurs, y compris les chercheurs, ont une connaissance relativement faible des projets de plantes transgéniques résistants aux maladies⁸⁵.

Dans la filière de l'arboriculture fruitière, les arboriculteurs rencontrés avaient un a priori très favorable au génie génétique, tout comme d'autres acteurs de la filière. Certains témoignent d'une confiance dans le progrès scientifique tellement grande qu'ils imaginaient les pommiers transgéniques résistants aux maladies comme des variétés

⁸⁵ En blé et en pommiers, le seul projet qui a été largement développé et médiatisé est celui de blé transgénique résistant à l'herbicide Roundup, par l'entreprise Monsanto (et d'autres). Ce projet a rencontré l'opposition précoce d'organisations de producteurs américains inquiètes de la possible fermeture des marchés européens aux céréales américaines. Pour la Belgique, cette plante transgénique n'est pas vue comme une innovation pertinente, pour des problèmes de rotations ou de taille de parcelles (Braibant, 2004).

‘parfaites’, ne possédant pas les inconvénients des variétés résistantes actuelles (au niveau des qualités technologiques, etc.).

Au niveau des acteurs de l’amélioration variétale (pépiniéristes en arboriculture et firmes semencières en froment), les réactions sont différentes. Certains des pépiniéristes rencontrés ont soutenu des projets scientifiques de création de pommiers transgéniques liés à des financements publics flamands, avant de se désengager du projet en constatant l’absence de résultats probants, et la persistance de l’opposition des consommateurs. D’autres, liés à des groupes internationaux comptant des partenaires dans de nombreux pays, sont engagés par des décisions de leur groupe de rester en retrait de cette voie d’innovations pour le moment. En froment, la question ne se pose pas réellement car les compétences techniques et humaines aussi bien que les moyens financiers n’existent pas chez les semenciers (en tout cas le semencier wallon rencontré) pour s’engager dans de tels projets. Les projets de génie génétique sont en effet essentiellement menés par des multinationales et des start-ups en biotechnologie, et non des firmes semencières locales.

Au niveau des acteurs en aval du secteur agricole (acheteurs intermédiaires, industriels, distributeurs), la question ne se pose pas non plus avec acuité pour le moment pour ces deux cultures. Dans le cas du froment, un certain nombre d’entreprises -meuneries, boulangeries industrielles- s’est toutefois engagé à ne pas utiliser de produits issus du blé transgénique.

Au niveau des chercheurs des deux filières, le génie génétique est considéré comme une voie d’innovations potentiellement très intéressante mais essentiellement pour d’autres problèmes et opportunités que pour la création de variétés résistantes aux maladies : la modification de la qualité boulangère du grain, la production de bioplastiques, des variétés de pommes enrichies en acides aminés, etc. En arboriculture, la possibilité d’obtenir des progrès plus rapidement qu’avec l’amélioration conventionnelle (étant donné les cycles longs des arbres) a été soulignée. En ce qui concerne la résistance, les acteurs sont relativement sceptiques, contrairement aux firmes, enthousiastes, et à la littérature, qui affirme la possibilité technique d’obtenir de telles résistances par transgénèse. Les limites de variétés qui ne résolvent qu’un problème technique parmi d’autres sont synthétisées par un acteur interrogé qui parlait de la stratégie « *un transgène par problème* ». Certains chercheurs estiment que la transgénèse pourrait tout de même être utilisée dans l’approche actuelle qui consiste à construire des résistances polygéniques. L’avantage serait alors d’ajouter, par transgénèse, un ou plusieurs transgènes codants pour la résistance à des maladies à une variété qui possède déjà plusieurs sources de résistance.

Déterminants d’innovation

Les facteurs qui influencent le développement du génie génétique sont nombreux et ont été analysés par d’autres auteurs (Chevassus-au-Louis, 2002 ; Cantley, 2004). Certains de ces facteurs ont été directement observés durant les deux enquêtes.

Les déterminants positifs sont d’une part le fait que les producteurs sont à priori favorables à la technologie (à condition d’un changement d’opinion des consommateurs et de réglementations favorables) et d’autre part la **confiance** d’autres acteurs de la filière comme les chercheurs (même si certains parmi ceux-ci sont plus perplexes sur le cas précis de variétés transgéniques résistants aux maladies). Dans les obstacles majeurs, on relève **l’opposition des consommateurs**, les **réglementations publiques**

contraignantes (procédures pour essais en champs) et **l'arrêt des financements européens sur la recherche appliquée** concernant le génie génétique.

Un obstacle supplémentaire existe dans la filière du blé : les campagnes citoyennes de groupes opposés au génie génétique (Greenpeace en l'occurrence) ont déjà poussé des dizaines d'entreprises, en Belgique, à s'engager à ne pas utiliser de blé transgénique. Il est évidemment probable qu'une telle campagne puisse exister dans la filière fruitière si des projets plus précis de pommiers transgéniques aboutissaient.

En arboriculture, le génie génétique a par contre un avantage sur l'amélioration variétale classique, celui de pouvoir transformer une variété déjà établie sur le marché, et donc connue des criées, distributeurs et consommateurs. Cette transformation permet d'éviter tout le travail de marketing et de construction d'alliances nécessaire à la promotion d'une nouvelle variété.

D. Comparaison en détails pour les voies d'innovations secondaires

Dans les deux études de cas, les trois voies d'innovations secondaires existent : la diversité génétique dans la culture (mélanges variétaux et vergers multi-variétés), la lutte biologique et la résistance systémique induite

1) La diversité génétique (mélanges variétaux et vergers diversifiés)

La diversité ou hétérogénéité de la culture (*crop heterogeneity*) peut être exploitée à plusieurs niveaux. Le premier niveau est la diversité génétique au sein d'une espèce : planter plusieurs variétés d'une même espèce sur une même parcelle : vergers multivariétés en pommiers et mélanges variétaux en froment. Le second niveau est la diversité des espèces, avec deux possibilités : les associations de cultures (*intercropping* ou *interplanting*) et l'agroforesterie (association de cultures et d'arbres dans la même parcelle).

Appliquée à un champ de froment, ces concepts aboutissent à des associations de différentes céréales comme le méteil (froment-seigle) ou des associations de céréales et de légumineuses (froment-pois ou froment-vesce).

Appliqués au verger, ils aboutissent aux vergers multivariétés (variétés de pommiers combinées sur base de caractéristiques de résistances aux maladies et non seulement de pollinisation) ou multiespèces (pommiers et autres fruitiers) ou à la combinaison entre un verger et une prairie (systèmes sylvo-pastoraux), voire entre un verger et des cultures (système encore inconnu dans les systèmes agricoles des pays occidentaux).

Niveau de développement

Aucune recherche scientifique n'est faite en Région Wallonne (et en Flandre en ce qui concerne l'arboriculture) sur la possibilité de diminuer les problèmes de maladies par cette voie d'innovations. Deux exceptions existent. Elles sont marginales et ne sont pas reliées à la question des maladies. Il s'agit d'un mémoire d'étudiant testant un mélange variétal de froment en 1992 (axé uniquement sur les dimensions de rendement et de qualité) (Bronfort, 1993) et la promotion de prés-vergers par la Région Wallonne comme piste de diversification de revenus pour les agriculteurs.

La recherche sur cette voie d'innovations progresse par contre aux niveaux européen et mondial.

En céréaliculture, la recherche sur les mélanges variétaux a démontré l'intérêt de ce type de systèmes innovants ; elle est nourrie d'applications du concept par les agriculteurs eux-mêmes dans plusieurs régions du monde, dans des systèmes agricoles modernes et mécanisés aussi bien que dans des systèmes manuels. Cette recherche reste cependant complètement marginale et seuls quelques chercheurs s'y aventurent (Voir p 196).

Du côté de l'arboriculture, des expérimentations de **vergers mixtes** ont eu lieu dans plusieurs pays, par exemple en Suisse et à l'INRA d'Angers. La plantation de mélanges de pommiers de variétés judicieusement choisies pour leur résistance aux maladies permettrait de diminuer le niveau d'infection pour différentes maladies, bien que les fruits resteraient trop attaqués pour être vendables commercialement⁸⁶. D'autres projets impliquent des vergers fruitiers et noisetiers en sous-étage (Wolfe, 2004). Des chercheurs américains ont même planté des vergers pommiers-pêchers, qui permettent une réduction des populations d'insectes ravageurs (Stanley, 1996 ; Brown, 2005). Les projets sont cependant marginaux. Les communications scientifiques sur le sujet sont rares et sont essentiellement des communications de colloque.

Le faible niveau de recherches sur cette voie d'innovations en arboriculture peut être expliqué par le coût, le risque et le délai liés à la plantation de tels vergers. Des producteurs isolés fassent des expérimentations de tels vergers, mais en dehors des circuits classiques de diffusion de la recherche.

Evaluation du potentiel

Dans les deux filières, les acteurs interrogés ont évalué positivement le potentiel théorique du concept d'hétérogénéité mais ils estiment que les applications concrètes de ce concept sont impraticables en conditions réelles de production. Ce sujet a été très peu évoqué lors de l'étude de cas sur les pommiers. Seuls quelques chercheurs ont mentionné la validité du principe théorique de cette voie et avaient connaissance de recherches expérimentales menées par un chercheur suisse. Cette voie d'innovations est cependant invalidée par les acteurs car elle nécessite une modification complète du verger et une organisation qui ne serait pas rentable, suite à la complication des traitements fongicides et des opérations de récolte.

Déterminants d'innovation

Les mélanges variétaux ou les vergers diversifiés rencontrent principalement des obstacles. Les seuls facteurs positifs sont leurs avantages agronomiques et économiques, c'est-à-dire la diminution du risque et du degré d'incidence des maladies dans les champs et les vergers, qui entraîne une diminution potentielle du besoin de traitements pour protéger les plantes.

⁸⁶ Les projets concernent des mélanges de variétés inter-lignes (différentes lignes de variétés dans le verger) ou intra-lignes (différentes variétés dans la même ligne) (Blaise and Gessler, 1994 ; Didelot et al., 2000 ; Hartman et al., 2000 ; Didelot et al., 2004). De même, un chercheur belge rencontré durant l'enquête a avancé la possibilité de diminuer le niveau d'infection en plantant des vergers multivariétés (pommiers-cerises diminuerait de 50%).

Ces avantages potentiels ne sont pas suffisants par rapport à l'ensemble des obstacles qui freinent leur développement.

Quatre obstacles importants se retrouvent dans les deux cas. Le premier est le fait que les mélanges ne sont **pas une solution 'totale'** mais seulement partielle (ils n'éliminent pas complètement la nécessité de protéger les plantes).

Le second, décisif, est le fait que le concept même de diversité génétique dans les champs va à **l'encontre des pratiques**, des stratégies et du cadre cognitif des acteurs qu'on peut schématiser par un triangle, constitué par i) le productivisme (au détriment de l'optimum économique), ii) la monoculture et l'homogénéité génétique et iii) l'application de fongicides comme solution principale de gestion des maladies.

Le troisième obstacle est la **faiblesse des recherches appliquées** sur cette voie d'innovations (recherches quasi-inexistantes en arboriculture et complètement marginales en céréaliculture). Cette absence de recherches entraîne un faible niveau de performance des solutions proposées aux agriculteurs et un faible niveau de communication autour de cette voie d'innovations (dans les médias, dans la filière, etc).

Le dernier obstacle est la conviction, chez les acteurs rencontrés, que l'ensemble des modifications de pratiques agricoles qu'engendrerait l'utilisation de mélanges variétaux rend ceux-ci **inutilisables dans des systèmes modernes**. Les variétés doivent en effet être traitées à des moments différents car les champignons n'attaquent pas chaque variété de la même manière, et doivent également être récoltées à des moments différents, en fonction de leur différences de maturité. Un mélange de variétés serait donc ingérable pratiquement selon les acteurs de la filière céréalière wallonne, ce qui a été infirmé dans la pratique car ils sont utilisés et commercialisés en Suisse ou au Danemark, et par les céréaliculteurs bio.

D'autres déterminants existent mais sont particuliers à chacun des cas. Du côté de l'arboriculture, il s'agit d'un obstacle. Une diversification du verger entraînerait la nécessité de récolter deux variétés distinctes, de former les cueilleurs à distinguer les variétés, etc⁸⁷.

Du côté du froment, il y a un facteur positif et deux obstacles supplémentaires. Le facteur positif est le fait que les mélanges variétaux ont été et restent utilisés à large échelle dans différentes régions du monde. Ceci devrait être un gage de crédibilité et de faisabilité du concept, mais cela ne semble pas l'être suffisamment. Un obstacle supplémentaire, déterminant, est que les mélanges variétaux vont à contre-courant de la tendance actuelle dans le secteur agroalimentaire, qui est l'homogénéisation des lots de céréales et non à leur hétérogénéité⁸⁸. Un dernier obstacle est réglementaire. Il s'agit de l'existence de normes de pureté variétale des semences : les firmes sont obligées de vendre des lots homogènes pour vendre des semences 'certifiées'. Cet obstacle est réel

⁸⁷ Ceci a été cité comme un obstacle mais semble être un argument de mauvaise foi étant donné que les vergers contiennent actuellement plus ou moins 90% de pommiers de la variété principale et 10% d'une variété « pollinisatrice » : les vergers sont déjà diversifiés, mais la diversité est réfléchie pour la pollinisation et pas pour les maladies.

⁸⁸ En Belgique, la faible taille des parcelles serait un inconvénient pour traiter avec l'industrie de la transformation par rapport aux grandes coopératives françaises qui peuvent proposer aux industriels de très importants lots homogènes, car elles sont capables de mieux gérer l'offre, et la collecte, des variétés produites par leurs membres.

mais a été franchi en Suisse par exemple, où une quarantaine de mélanges sont commercialisés.

2) La lutte biologique

Cette voie d'innovations ne semble pas pouvoir devenir importante, dans l'avenir, pour résoudre les problèmes de maladies cryptogamiques en champs ou en verger. Elle est relativement peu efficace pour ces maladies pour des raisons biologiques, à l'exception de l'épandage d'agents microbiologiques sur les débris végétaux non décomposés après l'hiver, qui est envisagé comme piste de contrôle de l'inoculum de *Fusarium*. Ceci contraste avec le fait que la lutte biologique est vouée à un avenir plus important dans les problèmes de lutte contre les insectes ou pour la gestion des maladies de conservation (post-récolte). Elle a été très peu évoquée par les acteurs des deux filières. L'utilisation de champignons antagonistes est au stade expérimental dans les deux cas. Un centre de recherche belge en arboriculture a tenté de se procurer ce type de champignons pour faire des essais dans les conditions belges, mais des problèmes de droit de propriété ont empêché la réalisation de ce projet. En céréaliculture, les acteurs estiment qu'il s'agit d'un « vieux sujet », dont le concept est valide mais qui n'a pas prouvé sa validité en conditions réelles.

3) Les éliciteurs de résistance systémique induite

L'utilisation d'éliciteurs de résistance induite est une voie explorée dans les deux cultures pour la gestion des maladies (en général, pas spécifiquement pour les maladies étudiées). La recherche sur cette voie d'innovations concerne cependant essentiellement des projets de recherche fondamentale. Les projets de recherche appliquée en arboriculture fruitière et en céréaliculture sont très récents ou inexistants. Les projets de recherche wallons sont postérieurs à 2001 et n'existent encore que pour l'arboriculture fruitière. En France, des produits ont déjà été commercialisés en céréaliculture. Néanmoins, les entreprises qui investissent dans cette voie sont de faible taille, ce qui laisse imaginer que les efforts de recherche et développement n'ont peut-être pas exploité tout le potentiel de la voie d'innovations. Des produits ont également été commercialisés pour le blé et d'autres types de cultures aux Etats-Unis, cette fois-ci par des multinationales comme Syngenta.

La résistance systémique induite est aussi envisagée comme concept à explorer tant en amélioration variétale qu'en génie génétique, au niveau fondamental et pour les deux plantes. Si les mécanismes de résistance systémique sont mieux connus, il serait en effet possible de sélectionner les variétés sur base des gènes qui codent pour ces mécanismes (amélioration assistée par marqueurs) ou de transformer des plantes pour qu'elles expriment ce caractère (génie génétique).

En arboriculture, le seul acteur à avoir parlé de cette voie d'innovations était un chercheur démarrant lui-même un projet de recherche sur ce sujet. Il estimait que le potentiel de cette voie d'innovations était important et sous-estimé. En céréaliculture, la majorité des acteurs avait un avis négatif sur ces produits. Le seul acteur à avoir une bonne connaissance de ceux-ci, pour avoir testé des produits français, affirmait n'avoir pu leur trouver aucun effet. Les résultats de ces tests n'ont cependant pas été publiés.

Les trois études de cas supervisées (betteraves, maïs et soja) ont abouti à des observations semblables en ce qui concerne les voies d'innovations secondaires, qui

sont aussi marginales dans ces filières, tant dans la pratique des agriculteurs que dans les recherches appliquées de centres techniques.

E. Les voies d'innovations institutionnelles, sociales et politiques

A côté des innovations technologiques, plusieurs innovations institutionnelles, sociales ou politiques permettent ou permettraient une meilleure gestion des maladies étudiées. Le tableau ci-dessous synthétise les innovations qui touchent à l'amélioration de l'information, celles qui concernent le marché (innovations en termes de réglementations publiques ou innovations commerciales), la politique agricole et environnementale, la politique alimentaire et la politique économique.

Les acteurs n'ont pas été interrogés sur le potentiel qu'avaient ces différentes voies d'innovations pour contribuer à une meilleure gestion des maladies. Plusieurs de ces possibilités d'innovation ont par ailleurs été comprises ou imaginées (pour celles n'existant pas actuellement) lors de la phase d'analyse des études de cas, postérieure à la phase d'enquête par entretiens.

Ces voies d'innovations non technologiques ne sont pas, à quelques exceptions près, comprises comme des innovations ou des leviers d'action sur d'autres voies d'innovations technologiques. Elles sont rarement mentalement reliées aux problèmes initiaux (les maladies cryptogamiques).

L'innovation institutionnelle la plus prise en compte, dans les deux filières, est l'amélioration des réseaux d'avertissements et des systèmes de prévision du risque. L'importance du calcul de la rentabilité économique est par contre négligée ou niée par de nombreux acteurs qui devraient le mettre en œuvre, bien que la publication en 2005 de résultats positifs sur les systèmes à intrants réduits expérimentés en France ait sensiblement changé la donne.

Tableau 32 : Comparaison de la gamme des innovations institutionnelles, sociales ou politiques dans les deux filières (existantes ou à développer)

Innovations	Tavelure du pommier	Fusariose du froment
Amélioration de l'information		
1) Réseaux d'avertissements et systèmes de modélisation du risque de maladies	Amélioration des réseaux d'avertissements (prise en compte des facteurs biologiques ; utilisation des prévisions météo par satellites)	Amélioration des réseaux d'avertissements pour les maladies ; systèmes d'informations géographiques (SIG) de prédiction du risque par parcelle.
2) Promotion du calcul de l'optimum économique	-	Promotion, dans la vulgarisation, du calcul systématique de la rentabilité économique de toutes les variétés (*)
Marché : réglementations publiques		
3) Introduction de seuils minimaux de résistance pour l'inscription au catalogue des variétés	Politique d'acceptation des variétés sur base de seuils minimaux de résistance (*)	
4) Création d'un cadre réglementaire adapté aux mélanges variétaux	-	Réglementations adaptées aux mélanges variétaux, avec modification des normes de pureté variétale notamment.
Filière et marché : Innovations commerciales		
5) Filières de qualité différenciée	Intégration, dans des cahiers de charges, de listes positives de variétés résistantes et du respect des stratégies préventives. Innovation à construire à partir des initiatives existantes : en arboriculture le Club « Les Naturianes » ; en froment le « Pain Bayard » et « Nestlé Babyfood »	
6) Vente directe	Promotion d'une diversification des variétés et commercialisation de variétés résistantes peu connues (*)	-
7) Système HACCP et valorisation non alimentaire des lots à risque ou contaminés	-	(*)
Politiques agricoles et environnementales		
8) Mesures agri-environnementales (MAE) (échelon local)	Intégration, dans des cahiers de charges de nouvelles MAE, de listes positives de variétés et du respect des stratégies préventives. (*)	
9) Promotion d'une diversification des cultures	-	Diversification des variétés, des espèces de céréales et des cultures pour diminuer la pression des pathogènes. (*)
Politiques économiques générales		
10) Promotion des actes de consommation écologiques (*)		
11) Promotion de la vente directe (*)		

Légende : Les innovations indiquées par une astérisque (*) sont des possibilités qui n'existent pas actuellement dans les filières. « - » signifie que cette innovation n'est pas pertinente pour ce problème (dans le cas de la valorisation non alimentaire) ou n'a été évoquée ni lors de l'enquête par entretiens, ni de la recherche bibliographique. « * » signifie que cette innovation est une possibilité qui n'existe pas actuellement dans la filière.

L'introduction de seuils minimums n'a pas été discutée avec les acteurs. Elle a été découverte dans un article et mieux comprise lors d'une discussion avec un historien des sciences français qui a démontré, en France, que la fixation des normes (handicaps ou seuils) était un enjeu de pouvoir majeur. La commission fixant ceux-ci était donc un lieu où s'affrontaient les différentes tendances ('conservateurs productivistes' et 'promoteurs des variétés rustiques').

Amélioration de l'information

Les innovations en matière d'information concernent, dans les deux cas, les possibilités d'amélioration des réseaux d'avertissements du risque des différentes maladies. Pour la tavelure, l'innovation consiste à combiner, dans des systèmes de modélisation du risque et d'avertissements, les prévisions météorologiques avec les facteurs biologiques (état de la végétation, etc) afin d'affiner les avertissements de risque. Dans le cas de la fusariose, un système de modélisation du risque (grâce aux systèmes d'information géographiques, SIG) est en construction. Ce type d'innovation permet de réduire le nombre de traitements fongicides en ne conseillant des traitements que lors des risques réels d'infection, là où la pluie va tomber par exemple, et permet donc d'améliorer l'efficacité des fongicides en ciblant mieux le moment du traitement pour la fusariose.

Un second type d'innovation se situe au niveau de la diffusion d'information et de la vulgarisation par les pouvoirs publics⁸⁹. Dans le cas du froment, l'absence de promotion du calcul de l'optimum économique (de manière alternative ou complémentaire à celui du rendement brut à l'hectare) est un obstacle à l'utilisation des meilleures variétés résistantes aux maladies et des itinéraires techniques à intrants réduits. Une promotion systématique de ce calcul, pour toutes les variétés (y compris les nouveautés de l'année) permettrait d'améliorer la prise de décision des agriculteurs et de lever cet obstacle. Cette innovation influencerait à la fois positivement le développement des variétés et négativement l'utilisation des fongicides. Ce calcul pourrait aussi être fait plus systématiquement en arboriculture mais les conséquences resteraient moindres car les producteurs ne peuvent planter que des variétés qui se vendent sur les criées, même si la production de variétés résistantes diminuerait leurs coûts de production.

Réglementations concernant le marché

Dans les deux cas, une innovation en terme de réglementations (de normes) est possible. Il s'agit de l'introduction de seuils minimaux de résistances dans le processus d'inscription au catalogue des variétés. Cela est déjà le cas en Allemagne pour la fusariose mais cela reste une exception. En Belgique, seuls des 'handicaps' de sensibilité aux maladies sont donnés aux variétés mais ces handicaps peuvent être annulés par des performances en termes de rendement ou d'autres qualités. Une meilleure utilisation de ces normes (handicaps et seuils minimaux) permettrait d'introduire un puissant levier d'action pour l'utilisation directe des meilleures variétés résistantes actuelles et pour le développement ultérieur de celles-ci. Cette réglementation aurait en effet une influence déterminante sur les sociétés semencières, qui seraient ainsi incitées à investir dans cette direction (recherches de sources de résistances, priorité au critère de résistance par rapport à d'autres critères, etc).

⁸⁹ Publications type « Livre Blanc », recherches publiques et diffusion des résultats de celles-ci, conseils des conseillers techniques, ...

Des listes de variétés classées en fonction de leur sensibilité aux maladies importantes sont par exemples utilisées en culture betteravière, pour le cas particulier de la rhizomanie : l'institut technique de référence (IRBAB) diffuse des listes 'jaune' et 'verte' qui influencent beaucoup la filière (Braibant, 2004).

Innovations commerciales

a) Filières de qualité différenciée

Dans les deux cas, des filières de qualité différenciée pourraient permettre de dégager une marge de manœuvre par rapport à l'utilisation des variétés résistantes ainsi que d'autres stratégies préventives. Les filières de qualité différenciée existant actuellement utilisent moyennement ces possibilités. Il s'agit du Label Fruitnet, des « Naturianes » (arboriculture, France), du « Pain Bayard » (froment, Belgique) et de « Nestlé babyfood » (aliments pour enfants, Europe).

Les Naturianes sont un club variétal qui gère depuis 2003 deux variétés résistantes aux maladies créées par l'INRA en France. Actuellement, ce club variétal n'utilise pas la qualité écologique de ces variétés au niveau commercial : la promotion est faite sur les aspects « santé » plutôt que sur les bénéfices environnementaux. Une autre filière de qualité différenciée a existé en arboriculture en Région Wallonne. Il s'agit de la vente de pommes provenant d'anciennes variétés (souvent résistantes aux maladies et parfois produites en vergers hautes tiges), dans le cadre d'un projet du Gawi.

Le Pain Bayard, initiative des Moulins de Statte, est un pain respectant certains critères au niveau de sa fabrication en boulangerie ainsi que de la production du froment dont il est issu. Depuis 2004, une « liste positive » de variétés recommandées, toutes à forte résistance à la fusariose, est fortement promue auprès des producteurs. Ceux-ci doivent également mettre en œuvre les quatre stratégies principales pour gérer le risque de fusariose. La filière « Nestlé babyfood » utilise les mêmes principes.

Ces exemples laissent imaginer les possibilités de créer des filières de qualité différenciée dont le cahier de charges inclurait une utilisation plus systématique des meilleures pratiques existantes ainsi que des innovations à venir, et ceci de manière intégrée par rapport à toutes les maladies, afin de diminuer l'utilisation d'intrants, par exemple dans le cadre du plan de réduction des intrants phytosanitaires⁹⁰.

Les filières de qualité différenciée ne sont vues par les acteurs que comme des marchés de niche, difficiles à mettre en œuvre en céréaliculture vu les nombreuses étapes de transformation. Elles sont sous-investies comme possibilités d'expérimenter des innovations technologiques telles les variétés multirésistantes.

⁹⁰ Celles-ci pourraient lier un produit (de la farine par exemple) au respect de pratiques agricoles de manière plus intrinsèque encore, en intégrant les différentes stratégies préventives dans leur cahier de charges. Les zones Natura 2000, ou les Parcs Naturels Régionaux, pourraient clairement fournir l'image nécessaire à la commercialisation de tels produits différenciés si les agriculteurs actifs sur ces zones s'engageaient sur des cahiers de charges cohérents.

b) Vente directe

La vente directe est considérée ici -et seulement pour l'arboriculture fruitière- comme une innovation commerciale et non comme une pratique actuelle. Elle est en effet marginale bien qu'elle permette une diversification des vergers et la promotion de variétés résistantes peu connues. Le système de vente directe contourne en effet le système de marché dominant et les nombreux obstacles aux variétés résistantes qui y sont associés.

Une dernière innovation existe dans le cas particulier de la fusariose. Il s'agit d'introduire un système intégré de gestion du risque aux points critiques de la filière (HACCP) pour identifier et déclasser les lots contaminés. Ce système est actuellement une option ouverte. Les lots dépassant les normes maximales pour l'alimentation pourraient être valorisés dans des filières non alimentaires, par exemple dans des filières « énergies vertes »,...

Politiques agricoles et environnementales

Les politiques agricoles peuvent bien sûr aussi être utilisées pour promouvoir les meilleures pratiques et innovations par rapport aux maladies. Il s'agit des mesures agri-environnementales. Une mesure agri-environnementale pourrait se centrer sur les systèmes « à intrants réduits » : les vergers de variétés résistantes en arboriculture et les systèmes agricoles à intrants réduits utilisant des variétés rustiques en froment. La mesure pourrait également être utilisée pour promouvoir les mélanges variétaux, les vergers diversifiés ou les prés-vergers hautes tiges intégrant des variétés résistantes. Les mesures agri-environnementales ont été utilisées dans un cas seulement, celui de la promotion de systèmes à intrants réduits en froment (MAE « réduction de la densité de semis/réduction d'intrants »).

Cette innovation est donc comparable à celle des filières de qualité différenciée : la prime du marché pour la qualité des produits (consentie par le producteur) est remplacée par un soutien public. Les deux pourraient d'ailleurs être liés d'une manière ou d'une autre.

Enfin, une diversification des cultures au niveau régional serait utile dans l'objectif de réduire les risques de maladies (diversification des variétés, des espèces de céréales et des cultures pour diminuer la pression des pathogènes). De même, la concentration des vergers dans une seule région (sur les provinces de Limbourg et Liège) est néfaste pour la gestion des maladies et pour les possibilités de vente directe, qui permettent une diversification des vergers. Différentes innovations en termes de politique agricole pourraient promouvoir cette diversification au niveau régional.

Politiques économiques

Les deux derniers axes d'innovations sont moins fortement reliés aux problèmes étudiés mais méritent d'être cités car ils font partie du contexte général qui influence les filières. En matière de politique économique, deux outils peuvent être utilisés pour favoriser les innovations commerciales citées ci-dessus : la promotion de la vente directe et la promotion des actes de consommation écologique. Différents outils (depuis la fiscalité jusqu'à la promotion publique) existent à cette fin.

4. La gestion de l'innovation dans les filières

L'approche systémique développée et utilisée dans les études de cas n'est pas une analyse de la gestion de l'innovation dans les filières *per se*.

Les analyses centrées sur la gestion de l'innovation s'attachent à étudier soit les structures qui gèrent l'innovation et leur fonctionnement et activités, soit des exemples d'innovations (leur construction, les conditions de leur succès) soit à caractériser les régimes d'innovation.

Dans le premier cas, on parle par exemple d'approches systèmes d'innovations (approche SI). Une littérature a été développée autour de ce domaine, proche des sciences de gestion (Lundvall, 1992; Nelson, 1993; Tait et al., 2001). Dans le second cas, les analyses ont des dimensions historiques, sociologiques, économiques. Plusieurs cas d'innovations de l'INRA ont par exemple été étudiés en profondeur (Aggeri et al., 1998; Aggeri et Hatchuel, 2003). Ce type d'approches est issu des sciences de gestion.

Dans cette thèse, l'analyse a porté non pas sur *la gestion de l'innovation* mais sur *la gestion de problèmes particuliers et des innovations par rapport à ceux-ci*. Une analyse de la gestion de l'innovation dans les filières aurait dû tenir compte de toutes les innovations qui sont développées, réglementées ou promues. Cela aurait signifié d'étudier tant les nouvelles variétés de pommiers et de froment que les alicaments (aliments enrichis en vitamines), les filières d'énergie verte (biocarburants), les méthodes de conservation post-récolte et les techniques de non-labour. Par contre, les innovations non développées, non promues, non réglementées (les mélanges variétaux par exemple) auraient été négligées justement car elles ne sont pas 'gérées'. Cette analyse-ci est donc complémentaire aux approches directement centrées sur la gestion de l'innovation, en particulier celles qui prennent un angle de vue plus large, bien que celles-ci soient rares en Région Wallonne.

Tout ce chapitre a traité des processus et de la gestion de l'innovation. Cette section est un second niveau d'analyse.

L'étude de trois nouvelles sources d'information est intégrée à la comparaison des études de cas (Voir *Figure 6 : Schématisation des différentes composantes de récolte d'informations de la recherche* p 85). Ces trois sources sont :

- A) Une mini-enquête par entretiens avec quelques acteurs des pouvoirs publics qui gèrent la recherche agronomique en Région Wallonne et en Belgique (Voir Annexe III.C).
- B) L'observation participante à des forums publics ou scientifiques sur l'innovation et la recherche en agriculture (une douzaine de colloques, conférences, séminaires, etc).
- C) L'analyse de différents documents politiques d'orientation de la recherche agronomique⁹¹.

⁹¹ Documents tels que les « Demandes de subsides à introduire auprès du Ministère de la Région Wallonne - DGA-Direction de la recherche - projets 2006 » (Direction de la Recherche (DGA), 2005b) ou

Ces analyses complémentaires concernent la gestion de l'innovation pour les deux filières concernées. Les résultats de ces analyses complémentaires qui dépassent le niveau des filières mais concernent plutôt la gestion de l'innovation en général seront présentés dans le Chapitre 7.1.

Sept conclusions sur la gestion de l'innovation sont avancées :

- 1) l'existence de situations de lock-in et de path dependence
- 2) la gestion actuelle de l'innovation renforce le système agricole dominant en négligeant les systèmes alternatifs
- 3) la politique d'innovation est faible et une gestion de l'innovation se fait par 'double délégation'
- 4) une vision intégrée sur un système alternatif au système dominant est absente
- 5) les acteurs des filières font montre d'une faible réflexivité sur leurs pratiques
- 6) l'ouverture aux voies d'innovations secondaires se fait dans des 'niches'
- 7) l'agriculture bio est sous-valorisée dans la gestion de l'innovation

A. Existence de situations de lock-in et de path dependence

Les deux filières sont caractérisées par des situations de *lock-in* (verrouillage technologique et de *path dependence* (dépendance au chemin suivi)⁹².

Les concepts de *lock-in* et de *path dependence* ont été proposés pour expliquer la stabilité des systèmes socio-techniques, et en particulier la dépendance de technologies concurrentes aux conditions initiales de leur développement en présence de revenus croissants (David and Arthur, 1985; Arthur, 1989). Quand il y a plusieurs technologies qui réalisent la même fonction, elles sont en concurrence pour leur adoption par les acteurs économiques. Une technologie peut devenir dominante, en fonction des conditions initiales du développement, bien qu'elle puisse avoir un potentiel inférieur à long terme. Ce processus 'dépendant du chemin' (*path dependent*) s'autorenforce (la technologie devient de plus en plus dominante) et peut aboutir à une situation de lock-in où la technologie dominante empêche le développement de technologies concurrentes et potentiellement supérieures (Liebowitz and Margolis, 1995)

L'existence de telles situations a été démontrée, bien que rarement, dans le domaine de l'agriculture, par exemple pour les stratégies de contrôle des insectes ravageurs (Cowan and Gunby, 1996). La plupart de la littérature sur ces concepts se concentre cependant sur le changement technologique dans l'industrie.

Les situations de lock-in peuvent être identifiées par l'analyse des obstacles (déterminants d'innovation négatifs). Tout obstacle n'amène pas une situation de lock-in, mais une accumulation d'obstacles crée une situation de lock-in.

le « 2ième plan pluriannuel d'appui scientifique à une politique de développement durable (PADD II) » (Service Public Fédéral de Programmation Politique Scientifique, 2005).

⁹² Cette section reprend de manière synthétique un des principaux axes de conclusion d'une des deux communications scientifiques réalisées à partir de la seconde étude de cas (Vanloqueren and Baret, 2007)

Dans cette recherche, l'analyse des facteurs de non-utilisation des stratégies préventives (variétés résistantes) et celle des déterminants d'innovation permet en effet de montrer que le processus historique de modernisation de l'agriculture, en arboriculture ou en grandes cultures, a abouti à une situation où une technologie, celle des fongicides, est devenue incontournable : elle cause une sous-valorisation d'autres technologies, comme les variétés résistantes, et empêche ou freine l'émergence de nouvelles technologies (Voir , p 256, pour les facteurs de non-développement des variétés résistantes aux maladies et le Tableau 28 et 29 p 264 pour les déterminants d'innovation).

B. L'innovation au service du système agricole dominant

Les deux études de cas tendent à démontrer que la gestion de l'innovation est mise au service du système agricole ou arboricole dominant, à savoir une monoculture à haut niveau d'intensité en intrants et orientée principalement sur la productivité et quelques critères de qualité commerciale ou industrielle.

En culture de froment, les systèmes céréaliers intensifs sont privilégiés par rapport aux systèmes à intrants réduits utilisant des variétés rustiques. Cette orientation a été décrite en profondeur dans le Chapitre 4. L'analyse est confirmée en arboriculture fruitière, où le système de référence est un verger basses tiges composé de deux variétés de pommiers (10% d'une variété pollinisatrice et 90% de la variété souhaitée). La recherche sur les systèmes alternatifs (vergers hautes tiges, prés-vergers, verger agroécologique diversifié) est marginale.

L'innovation est pensée pour améliorer la productivité de ce modèle dominant (voir aussi Figure 16 : *L'amélioration de la productivité agricole par la recherche agronomique comme un 'paysage adaptatif' (adaptive landscape) fait de pics et de vallées. Tiré de Weiner (2003)p 417*).

Plusieurs exemples d'innovations qui renforcent le modèle dominant sortent du cadre des problèmes de maladies cryptogamiques mais sont encore plus illustratives. En arboriculture, le « mur fruitier » est une innovation qui recueille l'attention des acteurs de la filière wallonne depuis quelques années. Ce système consiste à mécaniser la taille du pommier pour diminuer le coût de la main d'œuvre (Paratte, 2004). Un autre projet qui poursuit le même objectif est la recherche sur la compréhension du fonctionnement génétique du 'port colonnaire', une caractéristique de croissance de l'arbre, présente chez certaines variétés, qui limite drastiquement la nécessité de taille et donc le coût de la main d'œuvre. Cette caractéristique pourrait alors être transférée dans d'autres variétés. Un troisième exemple est celui du développement d'un robot cueilleur de fruits par un institut technique français (le Cemagref). Ce dernier projet a cependant été arrêté en 1997 au vu du mauvais accueil de la part des producteurs et du contexte du chômage de masse.

Les innovations privilégiées sont celles qui permettent aux acteurs dominants de maintenir ou renforcer leur situation dans le système. Les voies d'innovations principales sont d'ailleurs les mêmes dans les différentes filières : la phytopharmacie prédomine, suivie de l'amélioration variétale, puis du génie génétique. Les voies secondaires sont méconnues, ignorées et complètement sous-investies au niveau de la recherche et du développement. Elles ne sont pas vues comme des voies d'innovations d'intérêt. Les voies d'intervention (phytopharmacie) sont privilégiées par rapport aux voies de prévention (résistance variétale, diversité génétique,...).

Au niveau de la recherche agronomique, la comparaison de systèmes agricoles semble également prendre une place marginale. Si la comparaison est au cœur de la recherche expérimentale, la majorité des recherches expérimentales appliquées étudient l'effet d'une seule variable (par exemple un fongicide sur une maladie). La comparaison de systèmes (par exemple un système céréalier intensif avec un système à intrants réduit et un système bio) est rarissime.

En arboriculture, la comparaison de la durabilité agronomique et économique de vergers conventionnels, intégrés et bios avait pourtant apporté des résultats originaux, en défaveur du système conventionnel, publiés dans la prestigieuse revue *Nature* (Reganold et al., 2001).

La situation évolue cependant : un récent projet de recherche de la filière céréalière a pour objectif la comparaison de systèmes ayant différents niveaux d'intrants, et en arboriculture une certaine politique d'innovation sur l'arboriculture intégrée se dégage. Les comparaisons à large échelle et sur des longues durées, sont cependant encore quasi inexistantes dans les filières étudiées.

C. En absence de politique d'innovation forte, gestion de l'innovation par triple délégation

Le processus qui vient d'être décrit n'est pourtant pas complètement planifié. Les acteurs sont loin de se référer à une politique d'innovation forte, structurée, mise par écrit dans des documents politiques. On observe une **gestion de l'innovation par 'triple délégation'**.

Lors de l'enquête, on observe en effet que l'orientation des activités d'innovation est déléguée d'un acteur à un autre.

- La première délégation part des agriculteurs : ceux-ci délèguent l'orientation de l'innovation aux chercheurs et entreprises.
- La deuxième délégation part des chercheurs vers les entreprises. Certains scientifiques, qui ont pourtant d'importantes responsabilités dans les filières, délèguent eux-mêmes la responsabilité de l'innovation au marché. Un scientifique de la filière céréalière mentionnait par exemple que « *les entreprises viendront avec de nouvelles familles de produits* », alors qu'il était interrogé sur le problème des fongicides qui sont devenus inefficaces depuis l'apparition de souches résistantes (ceci s'observe surtout dans la filière céréalière).
- La troisième délégation part des pouvoirs publics vers les chercheurs. Les pouvoirs publics délèguent également une partie de leur responsabilité d'orientation de l'innovation vers les chercheurs. L'impression généralisée des scientifiques est que l'octroi des budgets de recherche dépend essentiellement de la qualité scientifique des projets soumis, outre les considérations partisans et clientélistes⁹³.

⁹³ Certains estiment même, de manière critique, que les priorités sont définies en fonction des activités de recherche principales des laboratoires influents, de manière à satisfaire les différentes institutions. Des impulsions politiques récentes ont marqué une amélioration à ce stade, à la fois en termes de processus de sélection des projets, et de clarification de priorités (Direction de la Recherche (DGA), 2005b).

Des priorités de recherche existent cependant au niveau wallon par exemple (Anonyme, 2000) mais le discours des acteurs interrogés ne s'y réfère pas directement ni systématiquement. Il faut insister pour les connaître.

« [Est-ce qu'il y a des priorités dans la filière arboricole, au niveau de la recherche ?] **Ca c'est notre gros problème, c'est les priorités, les thèmes sur lesquels on veut mettre l'accent.** [Sous-questions et répétition de la question] **Les priorités, en fait il y en a quatre.** 1) Travailler sur les coûts de production. Il y a une forte pression pour mieux maîtriser les coûts. 2) La qualité des produits. L'amélioration de la qualité des produits est une démarche constante et ne verra jamais son achèvement. Cela intéresse les producteurs car les prix qu'ils reçoivent dépendent de la qualité. Mais c'est difficile de définir la qualité : qualité gustative, intrinsèque, ... 3) Accroître le caractère durable de l'agriculture. C'est à dire avoir des produits de qualité avec un minimum d'intrants (fertilisants et phytosanitaires). Essayer de réduire le plus possible l'utilisation et l'impact sur l'environnement. 4) Améliorer l'image de l'agriculture auprès du consommateur et du citoyen» (François T., pouvoirs publics liés à la gestion de l'innovation)

Ces priorités ont cependant une importance limitée car elles sont trop nombreuses selon les acteurs et ont donc peu de sens (les priorités citées ci-dessous sont déclinées en dizaines d'axes spécifiques). Elles n'orienteraient donc pas la recherche agronomique en fonction d'un projet ou d'une vision à moyen ou long terme. Il ne semble en effet pas y avoir de vraie politique d'innovation dans les filières agricoles, dans le sens où une impulsion politique claire en matière d'innovation orienterait le comportement des différentes organisations et acteurs présents dans la filière. Les entretiens avec plusieurs responsables de la politique scientifique ou du développement et de la vulgarisation ont permis de confirmer cette absence de politique d'innovation forte.

« [Comment la recherche agronomique fonctionne-t-elle en Région Wallonne : quelles sont les orientations, existe-t-il des textes qui guident celle-ci ?] **Il n'y a jamais véritablement eu de politique, pas au sens des partis, mais de l'établissement de principes, de directions, ...** Bien que les moyens soient constamment en baisse et que les coûts de la recherche ont eux augmenté. (...) Il n'y a pas eu de Plan Marshall sur les OGM ou sur la lutte biologique. C'est plutôt du saupoudrage. (...) **Non, on ne pourrait pas répondre à une question du Parlement sur à quoi on a attribué l'argent** (tel domaine ou tel domaine...). (...) Le système des priorités était ingérable, il y avait trop de priorités, que fallait-il faire : choisir entre des outils d'aide à la décision ou des recherches de lutte biologique ou encore autre chose ?» (André D., pouvoirs publics liés à la gestion de l'innovation)

La situation qui prévaut pour la fusariose est complètement différente : il y a une politique et une gestion de l'innovation qui est forte et claire. La fusariose est avant tout un problème de santé publique, alors que la tavelure est un problème technico-économique. La production de mycotoxines dans les grains infectés par la fusariose entraîne une attention accrue pour ce problème, depuis une directive européenne jusqu'à la création d'une cellule de coordination « mycotoxines » dans la recherche

agronomique wallonne⁹⁴. En comparaison, la tavelure pose des risques uniquement pour l'agriculteur. Ces risques sont maîtrisables par les fongicides, et les risques de ceux-ci sont estimés minimes. La situation n'engendre donc pas une politique d'innovation forte.

Cette particularité de la fusariose induit une plus grande attention sur la fusariose que sur d'autres maladies (septoriose, rouille, oïdium, piétin) ou d'autres problèmes. Cela a pour effet direct que la résistance variétale à la fusariose devient prioritaire dans les programmes d'amélioration variétale, ce qui peut éventuellement diminuer l'importance d'autres axes d'innovation tels que la résistance à d'autres maladies, ou la rusticité.

D. Réflexivité sur la gestion de l'innovation

Les filières sont essentiellement autogérées : les instances (comme les récents Conseils de filière) sont dirigées par des représentants des producteurs, des organismes de recherche agronomique et des services publics d'encadrement des producteurs⁹⁵. L'action des acteurs de l'encadrement public est systématiquement orientée au « service à la profession ». Cet objectif, qui est essentiel, semble déterminé par le court terme et l'amélioration à la marge du système dominant.

La filière céréalière n'a par exemple pas mis en place un dispositif de collecte de données et de recherches qui permettrait de savoir si le choix systématique d'utiliser une des cinq ou dix meilleures variétés résistantes aux maladies est un choix économiquement rentable pour un agriculteur (sur cinq ou dix ans), une question pourtant économique et environnementale. Les exercices de prospective qui pourraient permettre une orientation de l'action publique notamment au niveau de la politique d'innovation, sont presque absents (Voir Chapitres 8 et 9).

Les consommateurs et citoyens n'influencent pas réellement les innovations dans les deux filières. Les consommateurs sont par exemple absents, dans les deux filières, de la question de la résistance variétale. La grande majorité n'a aucune conscience qu'il existe un enjeu écologique derrière le choix de variétés et est davantage influencée par le marketing des nouvelles variétés (exemple de Pink Lady) que par les questions écologiques liées à la production en verger. Seules certaines filières de qualité différenciée de niche (voir section suivante), comme Fruitnet, tentent d'impliquer le consommateur dans leur logique d'innovation.

E. Absence de vision intégrée sur les voies d'innovations agroécologiques

Dans cette thèse, les possibilités d'innovation pour chaque problème ont été analysées en termes de « voies d'innovations ». Ce concept permet d'interpréter la situation mais n'est pas utilisé par les acteurs des filières interrogés.

⁹⁴ Ainsi qu'une priorité sur cette maladie dans les programmes d'amélioration, seuils minimaux pour l'homologation des variétés dans certains pays voisins, forte vulgarisation sur le sujet, etc

⁹⁵ Une représentation d'organisations de consommateurs ou d'associations environnementales est parfois prévue. Ces organisations sont cependant fréquemment trop peu financées pour pouvoir participer activement à des travaux spécifiques d'une filière agricole (Inter-Environnement Wallonie a par exemple un employé pour tous les enjeux agricoles, de ruralité et de conservation de la nature).

Les acteurs n'ont **pas de vision intégrée** des différentes voies d'innovations agroécologiques. Ceci a été particulièrement visible lors d'une journée de présentation des recherches en arboriculture intégrée financées par la DG Agriculture de la Région Wallonne (Direction de la Recherche (DGA), 2005a). Derrière tous les projets de recherche présentés, il y avait une vision commune, celle d'un verger qui maximise la production tout en minimisant l'apport de produits phytosanitaires de synthèse, en s'inspirant au mieux des principes d'un écosystème naturel. Pourtant, les projets de recherche étaient disjoints. D'un côté, un projet s'attachait à développer les possibilités de lutte biologique contre un insecte ravageur, de l'autre un projet était axé sur le développement de variétés résistantes aux maladies cryptogamiques. Le premier ne prend pas en compte l'aspect variétal : les insectes prédateurs potentiels sont testés sur des vergers constitués de variétés sensibles à la tavelure (la variété *Golden*). Or, il y a des **synergies** potentielles entre lutte biologique et résistance variétale au niveau de la réduction des intrants utilisés (insecticides et fongicides). Les fongicides -réputés peu nocifs- sont en effet partiellement toxiques pour les insectes auxiliaires (« les fongicides sont insecticides »)⁹⁶. Cela signifie qu'un verger de variétés résistantes, en entraînant un plus faible recours aux fongicides –ou pas du tout- augmente aussi le nombre d'auxiliaires, créant donc une synergie entre gestion agroécologique des maladies cryptogamiques et des insectes ravageurs).

S'il y avait une vision commune d'un verger agroécologique qui associe variétés résistantes (pour diminuer fongicides) et lutte biologique (pour diminuer insecticides) tout en bénéficiant des synergies, les insectes prédateurs du premier projet de recherche seraient également testés sur des variétés résistantes du second projet en plus d'être testés sur les variétés qui sont aujourd'hui dans les vergers.

Le verger agroécologique n'est cependant pas une référence suffisamment forte, un horizon commun pour ces projets de recherche. Etant donné l'autonomie des chercheurs et la politique scientifique 'faible' (faiblement orientée), les chercheurs n'intègrent pas prospectivement les éventuels résultats des autres approches. La même impression ressort des colloques internationaux en agronomie tels que celui de l'Université de Gand (*International Symposium on Crop Protection*), qui en est à sa 58^{ième} édition, ou les congrès de la European Society of Agronomy, où les ateliers sont organisés en fonction des différents types de problèmes (lutte biologique, nématologie, phytopathologie, malherbologie et tous les projets de recherche sont disjoints. Il n'y a pas de projets où un système agroécologique est la référence commune et sur lequel plusieurs travaux de recherche sur plusieurs problèmes sont expérimentés en même temps.

F. Ouverture aux innovations secondaires dans des 'niches'

La gestion de l'innovation s'ouvre aux voies d'innovations secondaires dans certains cas particuliers, des exceptions qui vont à l'encontre de l'analyse qui a été faite jusqu'ici.

Ces **exceptions** sont liées à :

⁹⁶ Philippe Lebrun, intervention lors de l'après-midi d'études « *Lutte intégrée ou biologique en arboriculture fruitière* », 14 décembre 2005, organisée par la DG Agriculture (Région Wallonne), Moulins de Beez, Namur.

- des contraintes : la filière « babyfood » de Nestlé a créé un cahier de charges anticipant la directive européenne, ce qui a induit une plus grande importance du critère de résistance à la fusariose dans la sélection variétale.
- des initiatives d'entrepreneurs : une initiative comme celle du Pain Bayard contribue à influencer les pratiques des agriculteurs et créant des opportunités spécifiques⁹⁷.
- des innovations institutionnelles et politiques : les mesures agri-environnementales ont entraîné certains projets de recherches, qui sont cependant restés limités (Voir *Mesures agri-environnementales* p 217). Celles-ci pourraient cependant contribuer à ouvrir l'innovation vers certaines voies qui n'ont actuellement pas leur place dans le système agricole dominant depuis quarante ans.
- des initiatives de chercheurs qui mènent un projet à long terme avec des acteurs des filières et avec une vision alternative de l'agriculture ou de la recherche. On peut par exemple citer le réseau de vergers de conservation du Département de Ressources Phylogénétiques et de lutte biologique du CRA-Wà Gembloux (initié par Charles Populer et poursuivi par Marc Lateur) ou, en France, la sélection participative de froments rustiques par I. Goldringer (Goldringer et al., 1998).
- l'agriculture biologique (voir section spécifique ci-dessous)

Ces exceptions sont, pour la plupart, des conditions qui créent des « niches », c'est à dire des « espaces protégés des contraintes de l'environnement extérieur ». Le concept de niches a été proposé pour analyser ces situations, qui ont une importance dans la gestion de l'innovation. Il sera présenté lors de la discussion du Chapitre 7 (voir p 353).

G. La sous-valorisation de l'agriculture bio dans la gestion de l'innovation

Plusieurs différences importantes existent dans les deux filières entre les filières bio et conventionnelles, au niveau de l'importance des problèmes initiaux (de maladies cryptogamiques), de l'utilisation des stratégies de lutte et de prévention et de la gestion de l'innovation.

Dans les deux cas, les problèmes des maladies cryptogamiques ont une importance accrue pour les producteurs bio. En arboriculture, l'utilisation de fongicides minéraux (des solutions à base de cuivre et/ou de soufre) a été reconnue comme nocive pour les sols et leur utilisation est restreinte (en quantité par hectare) depuis 2006 suite à des réglementations européennes. L'utilisation de fongicides, qui tout aussi fréquente qu'en arboriculture conventionnelle, est par ailleurs peu cohérente avec l'idéal de l'agriculture biologique. Les producteurs de froment bio ne font eux aucun usage de fongicides car l'application de fongicides minéraux n'est économiquement pas possible pour cette culture.

Dans les deux cas, les producteurs bio utilisent davantage les stratégies préventives, principales ou secondaires. En arboriculture, les producteurs tentent de promouvoir les variétés résistantes actuellement disponibles et ils utilisent plus fréquemment la

⁹⁷ L'initiative mentionnée est cependant trop marginale pour avoir un effet réel sur la gestion de l'innovation.

technique du broyage des feuilles en automne pour réduire l'inoculum. En froment, on estime que les producteurs bio utilisent davantage les variétés rustiques, réfléchissent davantage à la rotation des cultures comme technique préventive, ne surfertilisent pas les terres, sèment plus clair et n'utilisent pas de régulateurs de croissance (les pailles sont donc plus hautes et les épis plus éloignés du sol, ce qui amoindrit le risque).

Au niveau de l'innovation, on peut constater que les principaux acteurs commerciaux comme les pépiniéristes ou semenciers et les chercheurs voient l'agriculture/arboriculture biologique comme un marché de niche. Au niveau de la recherche, des petits projets de recherche spécifiques à l'agriculture biologique ont été démarrés au début des années 2000 par un ou quelques chercheurs dans chaque filière. C'est d'ailleurs dans le cadre de ces projets que sont explorées certaines voies d'innovations secondaires, comme les éliciteurs de résistance systémique induite. Les mélanges variétaux sont aussi perçus comme une **innovation « pour les bios »** par certains acteurs principaux de la filière : la recherche sur ceux-ci se fait d'ailleurs dans le cadre de projets de recherche pour l'agriculture bio dans plusieurs pays.

Le cas de l'amélioration variétale est plus paradoxal. Au niveau global, on constate aussi que l'agriculture biologique souffre de sa dépendance vis-à-vis des variétés sélectionnées pour l'agriculture conventionnelle. Les variétés, en froment par exemple, ne sont pas sélectionnées pour les conditions particulières de l'agriculture biologique. Or, dans les deux cas, les sélectionneurs qui travaillent sur les variétés résistantes n'ont pas systématiquement des liens forts avec la filière bio, qui est pourtant la première intéressée par les innovations qui permettent de contrôler les maladies sans produits phytosanitaires. En arboriculture, le club variétal français « *Les Naturianes* » ne cible pas cette filière dans sa stratégie commerciale et n'a pas de liens spécifiques avec elle. En froment, le sélectionneur public, en Wallonie, qui promeut les variétés multirésistantes, n'a pas de contacts avec les acteurs de la filière bio et ne cherche pas à en avoir. Il en est de même pour un des spécialistes de la lutte biologique en verger, qui affirme ne pas avoir de contacts particuliers avec la filière bio ou avec le groupement des arboriculteurs pratiquant les techniques intégrées (GAWI).

En Wallonie, la recherche appliquée sur le bio est essentiellement menée par un centre de recherche spécifique, qui a des moyens extrêmement limités (un seul employé). La filière bio wallonne est par ailleurs tournée, pour ce qui concerne l'innovation, vers la France et l'Allemagne, ou d'autres pays voisins étant donné la faiblesse des projets de recherches en agriculture biologique dans chaque pays.

Ce chapitre a permis de tirer au mieux profit des deux études de cas pour comprendre la gestion de l'innovation de problèmes agronomiques dans des filières. L'analyse se poursuit :

- au Chapitre 7.1, où la gestion de l'innovation sera étudiée à partir d'un point de vue extérieur aux filières : celui des autorités publiques et du débat sur les OGM.

- au Chapitre 7.2, où la gestion de l'innovation est étudiée au niveau des systèmes de recherche agronomique, en intégrant les résultats des trois études de cas supervisées, en sortant du contexte wallon et en faisant appel aux résultats, principes et théories découlant des travaux de recherches menés par d'autres chercheurs, réalisés sur d'autres types de systèmes agricoles et filières agroalimentaires

Chapitre 6 : Discussion de la méthodologie systémique et du choix des études de cas

« Après tout, la vraie justification d'une méthode, c'est sa fécondité. Mais comment définir celle-ci? On pourrait dire qu'une méthode est féconde dans la mesure où elle est capable de nous donner à comprendre la réalité que nous interrogeons »

J. Ladrière

Ce chapitre discute des choix méthodologiques et empiriques liés aux études de cas. Le choix des deux études de cas et les éventuelles conséquences qu'auraient entraînées d'autres types de cas de plantes transgéniques sont d'abord discutés (**Section 1**). L'utilité d'avoir supervisé plusieurs études de cas menées par des étudiants de dernière année est ensuite présentée, car les apports de celles-ci sont bien réels (**Section 2**). Ensuite, la principale section de ce chapitre discute de manière approfondie la méthodologie qui a été suivie dans les études de cas et qui avait été spécifiquement développée pour celles-ci (**Section 3**). Enfin, les quelques différences méthodologiques entre les deux études de cas sont présentées à titre d'information (**Section 4**).

1. Discussion du choix des études de cas

Le choix des études de cas a eu des conséquences importantes sur l'analyse développée. Dans ces choix, c'est davantage le choix du type de problème étudié que celui des filières étudiées qui a eu une influence sur ce choix.

Les deux études de cas concernent des maladies cryptogamiques. Ces maladies causent des dégâts considérables et sont contrôlées actuellement par des applications de fongicides de synthèse. Ces fongicides, bien que souvent estimés peu toxiques et autorisés par les réglementations publiques, sont remis en cause en tant que pesticides de synthèse par une grande partie de l'opinion publique ainsi que par un nombre croissant de scientifiques pour leurs risques environnementaux et sanitaires. La gestion des maladies cryptogamiques en verger et en champ est donc jugée comme un réel problème. Des innovations par rapport au statu-quo sont donc nécessaires. Les pommiers et froment transgéniques résistants aux maladies posent donc réellement question.

Il n'est en est pas de même pour un grand nombre d'autres plantes transgéniques, y compris dans les deux filières étudiées.

Pour le pommier, le choix aurait pu se porter sur des pommiers transgéniques modifiés pour être autofertiles (afin de se passer des services des abeilles, qui seraient faillibles par temps couvert), ou sur des pommiers modifiés pour produire des fruits dont la maturation serait ralentie (pour augmenter le temps de conservation).

Pour le froment, le choix de cas aurait pu se porter vers les projets de modification génétique du blé afin d'améliorer ses qualités boulangères (concrètement, l'objectif est une augmentation de la résistance mécanique de la pâte au pétrissage mécanique ou l'augmentation du volume d'air qui peut être incorporé à cette pâte).

L'analyse de ce type de plantes transgéniques aurait sans doute amené à analyser l'industrialisation des activités de transformation dans les filières agroalimentaires, avec peut-être une approche encore plus critique du génie génétique. Le choix d'études de cas de plantes transgéniques dont la qualité nutritionnelle a été modifiée, aurait amené à une attention accrue sur la comparaison des voies d'innovations technologiques et institutionnelles (sujet abordé aux Chapitres 7, 8 et 9). Si l'objectif est « une nutrition de qualité », la méthode aurait abouti à comparer des voies d'innovations technologiques (aliments fonctionnels, plantes transgéniques enrichies en vitamines) et des innovations sociales telles que, par exemple, les projets alimentation-santé dans les cantines scolaires. L'analyse du lien entre voies d'innovations (technologiques ou sociales) et visions de la société et de l'économie aurait permis d'explorer d'autres dimensions des liens entre progrès scientifique et progrès social ou environnemental, entre innovation et durabilité. Cette comparaison n'a pas été faite, elle n'a été qu'évoquée dans une publication d'opinion (Vanloqueren, 2006).

Il faut aussi souligner que le choix des études de cas s'est fait à partir des plantes transgéniques et non à partir des problèmes réels des filières. Ce choix vient du fait que, initialement, c'était bien les plantes transgéniques qui étaient l'objet de l'analyse et non la gestion de l'innovation scientifique en agriculture.

A posteriori, quels seraient les cas les plus pertinents pour une généralisation de l'approche menée dans cette recherche ?

Un choix optimal devrait inclure des études de cas concernant :

- 1) les changements climatiques et la hausse du coût de l'énergie. Une comparaison des différentes possibilités d'innovation par rapport à ces deux enjeux majeurs serait essentielle. Deux exemples concrets seraient d'une part la résistance à une plus grande fréquence et une plus grande amplitude des extrêmes climatiques (sécheresse et pluies), et d'autre part la performance en systèmes à intrants réduits (étant donné que les intrants comme les engrais sont généralement fort énergivores).
- 2) la qualité de produits. L'analyse des innovations agroalimentaires sur des caractères alimentaires et non agricoles permettrait une étude approfondie des modifications dans l'industrie agroalimentaire liées à ce type d'innovation et de prendre en compte tant les innovations technologiques (modifications nutritionnelles, par exemple les alicaments ou le 'riz doré', etc) que les innovations en termes de filières (filière de qualité différenciée)

Ces deux axes, combinés à celui de la résistance aux maladies (donc à la réduction des produits phytosanitaires) devraient permettre une vision plus complète de la pertinence des plantes transgéniques comme innovation pour les filières agroalimentaires.

2. Apports des trois études de cas des mémoires

Initialement, l'objectif principal de la recherche était la construction d'une méthodologie d'évaluation systémique de la pertinence des plantes transgéniques. Cet objectif a conduit à proposer à des étudiants de répliquer l'approche développée pour l'étude de cas « pommiers » à d'autres cas de plantes transgéniques dans d'autres filières. La logique était de multiplier le nombre de situations pour tester l'intérêt de la méthode, plutôt que d'approfondir l'analyse d'une ou deux études de cas.

Trois études de cas ont donc utilisé l'approche systémique :

- Le problème de la rhizomanie de la betterave sucrière, avec une comparaison des variétés résistantes, transgéniques et non transgéniques (Braibant, 2004)
- Le problème du désherbage en maïs, suite à l'interdiction de l'atrazine - l'herbicide le plus utilisé en Wallonie- et à la possible commercialisation de maïs transgénique Roundup-Ready (résistant au Roundup) (Fiasse, 2005).
- Les impacts du soja Roundup-Ready en Argentine par rapport au modèle existant il y a dix ans, et les éventuelles alternatives (Goret, 2005).

Ces études de cas ont d'abord permis de constater que l'approche était adaptée à l'analyse de plusieurs types de problèmes agronomiques, dans plusieurs filières et dans des contextes différents.

Ensuite, le principal apport a été de pouvoir permettre une généralisation de certains points d'analyse, en particulier en permettant une comparaison des résultats obtenus sur l'analyse des déterminants négatifs des voies d'innovations agro-écologiques (Chapitre

7). Entre pertinence des plantes transgéniques et problèmes des systèmes agricoles actuels, la question des voies d'innovations alternatives au génie génétique a en effet pris place dans chacune des cinq études de cas.

L'analyse des facteurs de développement des variétés résistantes non-transgéniques a pu être faite dans les trois cas qui concernent des problèmes de maladies : pommier, betterave et froment. Un grand nombre de similitudes ont été observées (voir Chapitre 5 p 249) mais également des différences, en particulier liées au fait que la rhizomanie de la betterave est un problème émergent tandis que la tavelure du pommier et la septoriose du froment étaient par contre des problèmes historiques, la fusariose du froment ayant un statut hybride.

La discussion avec les mémorants, et le recul lié à la seule supervision de ces travaux et non la conduite directe des recherches, a également enrichi le travail. Un exemple illustre l'intérêt de cette interaction pour les études de cas menées directement et la généralisation de leurs résultats. L'analyse de la dynamique de la diffusion des variétés de betteraves résistantes à la rhizomanie (non-transgéniques) a démontré l'importance de la fixation de normes publiques (des seuils minimaux de résistance ont été annoncés dans la filière betterave pour 2006, ce qui a été un facteur décisif). L'importance de l'encadrement public des agriculteurs a aussi été démontrée de manière complémentaire avec ce qui avait été fait dans la filière 'pommiers' : l'établissement de listes 'positives' et 'négatives' de variétés de betteraves a un effet structurel sur la dynamique de l'innovation. Cette analyse a abouti à une plus grande attention à la question des normes dans l'étude de cas froment et démontre la possibilité d'intervention publique sur cette question (Voir *Modifications des normes réglementant les innovations agricoles* p 419).

Enfin, les défenses orales et publiques de ces travaux ont aussi joué le rôle d'interaction avec des acteurs de la filière. Ces moments ont démontré la difficulté liée à l'approche systémique : les acteurs souhaitent un niveau de précision complet et pointu sur chaque aspect de l'analyse (la toxicité du Round-up par exemple). Les acteurs-lecteurs de mémoires ont conseillé de s'intéresser davantage à la littérature grise de la filière (la littérature scientifique aurait 5-10 ans de retard sur les recherches appliquées d'une culture) et ont incité à l'analyse systématique du Livre Blanc dans le cas du froment.

Les acteurs-lecteurs les plus exigeants estimaient l'analyse des entretiens avec les acteurs des filières trop peu critique et la nécessité d'avoir plus de comparaisons entre résultats de l'enquête et de la revue de la littérature. D'autres ont souligné une relative bonne maîtrise et synthèse du sujet, ainsi que la production de quelques résultats intéressants (une figure synthétisant toutes les possibilités de lutte contre le problème de la rhizomanie étant reconnue comme originale). La méthode était au moins reconnue comme utile à un apprentissage accéléré d'un problème d'une filière, et comme outil de débat.

Les résultats de ces trois études de cas ne sont cependant pas formellement intégrés dans la thèse (si ce n'est partiellement au Chapitre 7), étant donné qu'elles n'ont pas été menées directement, parfois avec des logiques différentes de celles de cette thèse (contexte propre à chaque mémoire), et que les enquêtes ont été menées par des étudiants inexpérimentés.

L'étude de cas sur le soja transgénique résistant au Roundup en Argentine a permis une analyse des liens entre innovations technologiques et changements agraires et sociaux à très large échelle qui n'était pas présente dans les autres études de cas (sur des cas de plante transgéniques pas encore plantées). L'analyse des changements fondamentaux de

pratiques agricoles (destruction de forêts primaires pour agrandir la surface d'exploitation, aggravation du déséquilibre entre agriculture vivrière familiale et monoculture de soja pour l'exportation) démontre que les dangers potentiellement les plus inquiétants ne sont sans doute pas au niveau de la plante ou du champ, mais à une échelle plus macro : paysages, diversité des cultures, déforestation, encouragement d'une agriculture d'exportation, modèle de développement.

Remarque : une proposition d'amélioration de cette utilisation d'une approche systémique dans des mémoires de fin d'études est faite au Chapitre 10 (*Des 'mémoires Méta' : développer des outils pour la formation de scientifiques critiques* p 465).

3. Forces et faiblesses de la méthodologie développée et utilisée

La discussion sur des aspects méthodologiques est complexe étant donné qu'elle porte tant sur la méthodologie *utilisée* (donc sur les choix méthodologiques posés au cours de la thèse) que sur la méthodologie *développée*, qui est un des résultats de la recherche.

La discussion est faite en fonction du second objectif de cette dernière : « *contribuer à améliorer la gestion des innovations scientifiques, en proposant des outils de réflexion et d'aide à la décision (...)* ». Les forces et faiblesses sont discutées dans la perspective de son amélioration comme outil d'analyse, de réflexion et de débat et avec comme horizon une éventuelle utilisation de cette méthodologie comme outil d'aide à la décision par différents acteurs (institutions de recherche, pouvoirs publics,...). Cette amélioration pourrait être faite en testant la méthode dans le cadre d'une recherche-intervention avec les acteurs d'une filière donnée, avec des interactions répétées, ce qui n'a pas été le cas de cette recherche.

Cette discussion se fait en trois temps : d'abord en abordant l'approche de manière générale, ensuite en discutant les avantages et inconvénients composante méthodologique par composante (enquête par entretiens, revue bibliographique, etc) et enfin en synthétisant les réactions reçues des acteurs sur l'approche (Sous-sections A, B et C).

Remarque : Les propositions d'amélioration de la méthode sont discutées au Chapitre 8.

A. Forces et faiblesses de la méthodologie en général

La recherche a produit des résultats originaux pour chaque étude de cas.

La méthode développée est généralisable à d'autres cas. Elle a produit des résultats comparables dans plusieurs cas liés aux maladies des plantes (champignons et virus), au désherbage des adventices, et est adaptée à une utilisation pour de multiples autres problèmes ou objectifs agronomiques : résistance à la sécheresse, résistance à la salinité, dégâts d'insectes, nutrition.

Cette approche se distingue des travaux existant actuellement sur les plantes transgéniques ou sur l'innovation en agriculture. Elle contribue à combler un domaine fort peu exploré, celui de produire des connaissances qui synthétisent et articulent les connaissances scientifiques existantes dans des domaines variés, en les intégrant à un niveau proche de celui de la décision politique (Dalgaard et al., 2003).

Ses **principaux avantages** sont :

- recentrer l'analyse sur l'objectif des innovations (des plantes transgéniques par exemple),
- permettre la comparaison entre des innovations alternatives qui poursuivent le même objectif,
- prendre en considération tant les innovations technologiques qu'institutionnelles qui peuvent contribuer à atteindre ces objectifs,
- analyser les facteurs techniques et socio-économiques qui agissent positivement ou négativement sur le développement scientifique et commercial des différentes voies d'innovation, expliquant le niveau de développement de celles-ci ainsi que les causes des différences entre « l'innovation dans le laboratoire » et « l'innovation dans le champ ».

L'utilisation de l'approche systémique dans plusieurs études de cas a aussi abouti à la création d'outils de compréhension et d'analyse, de débat et d'aide à la décision. Ceux-ci contribuent à combler l'écart entre le niveau des connaissances scientifiques et celui des décisions publiques.

Les **principales faiblesses** de l'approche menée, par rapport aux nécessités ou à l'optimum souhaitable, sont les suivantes :

- la méthode ne produit presque pas de résultats quantifiés. Elle ne modélise pas le système étudié, une attente liée à la prépondérance des approches systémiques hard systems,
- elle étudie un système géographiquement restreint, alors que certains processus d'innovation se passent à une échelle globale. La comparaison avec la situation d'autres pays serait enrichissante, elle a été tentée mais n'est pas partie intégrante des études de cas,
- l'analyse est centrée sur un problème spécifique choisi (la gestion des maladies), ce qui peut inciter à surévaluer l'importance de ce problème par rapport aux multiples autres problèmes de la production agricole.
- l'analyse du niveau de développement des différentes voies d'innovations est insuffisante si l'on estime que celui-ci doit se faire sur base de toutes les connaissances existantes au niveau mondial (cfr internationalisation de la recherche). C'est particulièrement sur ce plan-là que l'intégration de données régionales est insuffisante et que l'analyse doit s'effectuer à un niveau européen ou mondial, ce qui pose la limite du système étudié. Une enquête auprès d'un plus grand nombre d'acteurs et définie à l'échelon du continent au moins serait nécessaire pour combler ces faiblesses.

Enfin, la méthode ne conduit pas à donner des réponses 'prêtes à l'emploi' à des questions telles que « Quelle voie d'innovations faut-il promouvoir ? » ou « Quelle innovation faut-il interdire ? ». Elle ne donne pas de conclusions tranchées sur les choix à faire. La méthode permet surtout de mieux comprendre et réfléchir l'innovation, donc

de mieux la gérer. Elle suggère de nouvelles questions auxquelles des réponses doivent être apportées, alors que certaines de ces questions étaient absentes jusque là dans la question des OGM. La méthode donne des clés de décision, qui restent à parfaire, mais elle ne donne pas la décision finale. Celle-ci reste politique, et non scientifique. (Voir *Démocratie, innovation et durabilité : le trio impossible? Délibérer* p 434).

B. Discussion composante par composante

Les quatre étapes méthodologiques sont discutées une à une :

1. l'enquête par entretiens (son intérêt en tant que tel, le type d'enquête choisi, le nombre d'entretiens, l'analyse des entretiens),
2. l'analyse de la littérature (littérature scientifique, littérature grise, analyse systématique de la littérature de vulgarisation),
3. l'articulation et la synthèse des résultats et
4. l'observation participante aux forums sur l'innovation scientifique.

1) Enquête par entretiens

Intérêt de l'enquête par entretiens comme choix méthodologique

L'enquête par entretiens a été essentielle à l'approche systémique menée. Elle est d'abord la base de la compréhension du problème, à priori nouveau pour un chercheur non spécialisé dans la culture étudiée qui n'est expliquée de manière systémique dans aucune publication (scientifique ou littérature). Elle permet d'articuler l'ensemble des dimensions du problème (économiques, agronomiques,...).

Elle a un rôle unique pour analyser les éléments qui sont absents ou quasi absents des publications écrites. Deux exemples illustrent la complémentarité de cette étape par rapport à l'analyse de la littérature grise et scientifique.

Le premier concerne les mélanges variétaux. Si le travail avait été uniquement basé sur une enquête auprès des acteurs de la filière céréalière, ce sujet n'aurait même pas été évoqué. Le concept de mélange variétal a émergé lors d'un entretien de la première étude de cas, et a ensuite été approfondi par une revue de la littérature scientifique. Il est cependant encore plus anecdotique dans cette filière que dans la filière céréalière. Ce n'est qu'ensuite que ce sujet a été exploré dans l'enquête de l'étude de cas sur le froment, ce qui a permis d'analyser les facteurs qui jouaient un rôle d'obstacle au développement de cette pratique en Wallonie et en Europe. Ce sont les allers-retours entre les deux composantes de recherche qui a permis d'explorer cet aspect-là, qui n'avait d'ailleurs pas encore été analysé (Vanloqueren and Baret, 2006).

Le second exemple concerne les publications scientifiques. Les enquêtes ont montré que celles-ci entrent dans des logiques propres à chaque acteur et à chaque organisation. Si la publication est une priorité pour de nombreux scientifiques, elle ne l'est pas pour tous. « *Mon objectif, c'est de sortir des variétés, pas de publier* » : tel est l'objectif du responsable du programme d'amélioration des céréales au CRA-W. Une analyse uniquement basée sur la littérature scientifique se passerait donc d'une grande partie du système tel qu'il existe réellement.

L'analyse des avantages et inconvénients des plantes transgéniques, de leur potentiel comme innovation, via une enquête par entretiens, a été par contre difficile et peu productive. Les acteurs interrogés s'arrêtent souvent à l'opposition des consommateurs. L'analyse des possibilités, des avantages et inconvénients de plantes transgéniques en cours de développement –comme celles qui ont été étudiées- est donc difficile. Dans un certain nombre de cas, ma connaissance des dossiers de plantes transgéniques (telle firme a des vergers expérimentaux dans tels pays depuis telle année) était largement plus grande que celle des acteurs (dont certains avaient par contre une connaissance théorique des mécanismes physiologiques potentiellement modifiables).

Nombre d'entretiens et types d'acteurs interrogés

Bien que restreint géographiquement, le système étudié compte un important nombre d'organisations et d'acteurs. L'enquête a donc dû être limitée à certains représentants des acteurs concernés.

Qualitativement, la recherche présente deux faiblesses à ce niveau. La première est que l'application fidèle de la méthodologie définie initialement aurait dû conduire à interroger plusieurs agriculteurs dans chacune des études de cas, de la même manière que plusieurs fonctionnaires et scientifiques ont été interrogés. Or, ce n'a pas été le cas pour la seconde étude de cas. L'expérience de l'étude de cas des pommiers démontre l'intérêt des entretiens avec les producteurs mais celui-ci était différent des entretiens avec les autres catégories d'acteurs (conseillers techniques, chercheurs, ...). En effet, pour ces catégories d'acteurs, il est plus facile d'arriver à interroger une bonne partie ou tous les acteurs les plus influents (les plus cités, cfr méthode 'de proche en proche') car ceux-ci sont relativement peu nombreux, ce qui n'est pas le cas pour les producteurs. Les entretiens avec des agriculteurs ont été laissés pour plus tard, puis jugés non essentiels par rapport au corpus empirique obtenu par tous les autres entretiens. La question du temps a donc également influencé de ne pas interroger les agriculteurs⁹⁸.

La seconde faiblesse est de ne pas avoir interrogé directement les représentants des firmes phytopharmaceutiques. Ceux-ci auraient dû être interrogés pour respecter la méthodologie mais ils ne l'ont pas été, en partie faute de temps, mais surtout car les aspects liés aux fongicides de synthèse étaient systématiquement abordés avec d'autres acteurs (par exemple avec les fonctionnaires responsables des tests des variétés ou de l'homologation ou encore des essais sur leur efficacité) et également car les aspects liés aux fongicides sont largement couverts tant dans les publications de vulgarisation (le 'Livre Blanc'), que dans les publications scientifiques.

Quantitativement, il est évident que le nombre d'acteurs interrogés est restreint (une trentaine par étude de cas). Il a cependant été jugé suffisant, plusieurs chercheurs estimant même que le 'matériau' récolté au cours des études de cas était très important, que la récolte d'informations était suffisante et qu'il importait davantage de bien asseoir la discussion du cadre théorique de la thèse, le développement d'une méthodologie d'évaluation des innovations, la comparaison des études de cas, la discussion et la

⁹⁸ Les entretiens avec les agriculteurs ont été remplacés par l'utilisation de résultats d'une enquête auprès d'une centaine d'agriculteurs, réalisée par un autre chercheur et publiée au même moment que l'étude de cas (Marot et al., 2004). Cette enquête, basée sur un échantillon important, apportait des réponses satisfaisantes par rapport à plusieurs questions initiales (critères de choix variétal, choix de fongicides, etc.). Ceci a été jugé plus utile que d'interroger directement quelques producteurs.

généralisation des résultats. Etant donné ces avis et les commentaires positifs d'acteurs de la filière eux-mêmes, il n'a pas été décidé d'interroger un plus grand nombre de personnes. Une augmentation du nombre d'entretiens n'était d'ailleurs pas nécessaire par rapport à l'objectif de compréhension du système.

Les deux premières études de cas ont donc été effectuées avec les imperfections analysées dans cette section. Fin 2005, après rédaction de l'étude de cas froment, il a donc été choisi, en plus des domaines cités ci-dessus, de donner la priorité à d'autres dimensions de la recherche, notamment l'exploration du concept de 'voies d'innovation', et la conduite d'entretiens avec des représentants des différentes organisations de financement de la recherche publique, qui allait permettre d'élargir l'analyse faite dans le cadre des filières.

Choix du type d'entretiens

Parmi les différents types d'entretiens, ce sont les entretiens semi-dirigés (*in-depth interviews*), menés sur base d'un guide d'entretien, qui ont été choisis. L'expérience des deux études de cas et des trois mémoires a vérifié que ce type de démarche correspondait aux objectifs de recherche.

Les entretiens semi-dirigés ont permis d'aborder l'ensemble des éléments concernés par le sujet, dont des éléments n'auraient pas pu être prévus à priori et qui auraient été omis si le choix d'un questionnaire avait été fait. L'analyse des entretiens (sur base des grilles d'analyse) a révélé que les éléments les plus importants pour une question particulière étaient parfois abordés par l'acteur interrogé lors d'une autre question, à un tout autre moment de l'entretien. Pour certaines questions, les éléments les plus importants se déduisaient de l'ensemble des arguments abordés à différents moments de l'entretien. Il fallait donc analyser la totalité de chaque entretien pour chaque point d'analyse (stratégies, innovations, facteurs de développement, etc) et, à fortiori, être ouvert dans les questions et le déroulement de l'entretien pour arriver au résultat attendu. Un questionnaire fermé n'aurait pas permis une aussi bonne compréhension du problème. Ces différents points d'analyse sont confirmés de manière empirique (Blanchet et Gotman, 2001).

Le choix des entretiens semi-dirigés présente **deux inconvénients significatifs**.

Le premier tient à l'influence de l'interrogateur sur le comportement de la personne interrogée et le second à la difficulté d'analyser de manière quantitative les réponses des acteurs.

Les entretiens entraînent, plus que des questionnaires fermés, une **interaction entre l'interrogateur et la personne interrogée**. Ceci est lié à l'objectif initial : comprendre et analyser la gestion de l'innovation par rapport aux problèmes et l'analyser qualitativement plutôt que quantitativement sans nécessairement chercher à la comparer par rapport à des modèles théoriques existants. Le guide d'entretien ouvert permet une large souplesse qui a souvent été utilisée pour s'attarder sur un point particulier, approfondir un sujet abordé par la personne interrogée. Certains de ces détours ont été totalement improductifs et n'ont pas dépassé le stade de la retranscription écrite de l'entretien. C'est le cas de l'histoire de l'industrialisation et de la concentration des meuneries belges, évoquée par le directeur commercial d'une meunerie. D'autres détours ont par contre été essentiels à la recherche et l'ont influencée de manière importante. C'est le cas du second entretien avec un scientifique de la filière fruitière,

(entretien souhaité tant le premier avait été riche), au cours duquel le concept de mélange variétal avait été évoqué. L'importance de celui-ci a été mineure pour l'étude de cas sur les pommiers mais a été utilisée dans la seconde étude de cas où il a pris un rôle important. Il a également mené au choix d'analyser de manière systématique les 'facteurs de développement' (aussi appelés 'déterminants d'innovation', incitants et obstacles) des différentes voies d'innovation.

Cette interaction a donc été sans aucun conteste extrêmement enrichissante en matière d'exploration des dimensions de la gestion de l'innovation scientifique en agriculture. Elle peut par contre être critiquée car elle entraîne forcément une plus grande influence sur la personne interrogée (adaptation des réponses en fonction du comportement de l'interrogateur, des questions posées, du contexte de l'entretien et d'une foule d'autres facteurs). Il s'agit d'une question est centrale en sciences sociales. Cette recherche ne prétend pas y apporter des éléments nouveaux mais a tenu compte de cet élément. Des problèmes concrets liés à cette question ont en effet été rencontrés sur certains sujets abordés lors de l'analyse, notamment la différence entre les commentaires des acteurs sur les innovations technologiques d'une part, et sur les innovations institutionnelles et politiques d'autre part. Dans l'enquête, on remarque que les acteurs parlent davantage des innovations technologiques que des innovations institutionnelles et politiques, ce qui aboutit à la conclusion que les acteurs tiennent trop peu compte de celles-ci. Les acteurs répondaient en effet à une question neutre (*Quelles sont les voies d'innovation, à un horizon de 10-20 ans, pour résoudre ou diminuer le problème ?*). On peut cependant se demander si les acteurs interrogés répondent davantage sur des questions scientifiques face à un scientifique ou si obtiendrait-on les mêmes résultats lorsque les différentes voies d'innovations sont présentées et que la question orienterait directement vers une évaluation de celles-ci ? La réponse à cette seconde question est évidente : non. Toutefois, la seule manière de prouver que les résultats d'une telle recherche invalideraient l'analyse présentée dans cette thèse de doctorat est de mener une nouvelle enquête avec ce type de questions. Or la question de comparer le potentiel des voies d'innovations technologiques et institutionnelles ne se posait pas jusqu'ici. Enfin, on peut faire remarquer que les conditions des entretiens étaient autant ouvertes aux aspects technologiques qu'aux aspects socio-économiques (mes questions le montraient clairement : le fait que les acteurs axent leurs réponses sur les aspects scientifiques fait partie de la culture du système étudié.

Par ailleurs, il est estimé que les analyses portent sur un nombre suffisamment grand et diversifié de sources (entretiens et littérature) que le recoupement des données provenant des différentes étapes de recherche permet de limiter les biais liés à chacune d'entre elles (dont celle liée à l'interaction interrogateur-interrogé) et que l'analyse a été soumise à l'œil critique de certains acteurs des filières. Les résultats ont donc une certaine robustesse face aux biais engendrés par cette faiblesse des entretiens semi-dirigés.

Le second inconvénient est que les entretiens semi-dirigés ne se prêtent pas à **une analyse quantitative**, alors que ce type d'analyse aurait été enrichissant pour certains aspects étudiés, par exemple le nombre d'acteurs qui évaluent positivement ou négativement telle voie d'innovations. Il faut cependant rappeler que ceci n'était pas un objectif initial. A posteriori, cette analyse a été tentée mais les données brutes ne permettaient pas une analyse rigoureuse. Les entretiens ne se sont par exemple pas déroulés de manière homogène, étant donné qu'ils évoluent avec les réponses des acteurs et qu'il est extrêmement difficile, lorsque l'entretien est mené seul, de poser les questions de la même manière ou de n'en oublier aucune. Dans le cas d'entretiens

ouverts, on estime que des statistiques peuvent être tirées à partir de 85 à 100 entretiens (F. Gaspard, communication personnelle). Un tel nombre d'entretiens était tout à fait impossible à mener. Il a donc fallu s'en tenir à l'objectif initial par rapport aux entretiens : celui de comprendre le fonctionnement de la filière, de manière qualitative et non quantitative, quitte à ce que l'analyse qui en résulte soit considérée comme moins valide par les personnes non habituées à ce type de démarche scientifique.

Une amélioration possible pour renforcer encore la robustesse de l'enquête serait de mener les entretiens à deux chercheurs. Dans cette optique, une équipe de deux personnes ayant d'une part des compétences en agronomie, et d'autre part en sociologie, sciences politiques, ou en gestion publique (et habituées aux entretiens ouverts) serait idéale.

Analyse des entretiens

Analyser les données, forcément qualitatives, de plusieurs dizaines d'entretiens d'une à trois heures n'a pas été évident. Pour la première étude de cas, aucune méthode spécifique n'a été utilisée pour structurer et recouper les données de tous les entretiens, même transcrites par écrit dans chaque compte-rendu d'entretien. Face à l'accroissement des niveaux d'analyse décidé pour la seconde étude de cas, l'absence de méthodologie n'était plus possible. Deux choix étaient disponibles : l'utilisation de logiciels spécifiques, tels que *Envivo*, ou le développement d'une méthode *ad hoc*. Les discussions avec quelques sociologues, utilisant ou non des méthodologies précises pour analyser les entretiens, ont abouti à la décision de ne pas utiliser de logiciel de ce type.

C'est finalement une grille d'analyse qui a été développée, analysant de manière transversale tous les entretiens sur une cinquantaine de points d'analyse précis, c'est à dire les différents sous-éléments liés au canevas d'analyse (Voir *Tableau 3 : Canevas d'analyse des études de cas : axes d'analyse transversaux* p 83). Le remplissage de cette grille d'analyse n'a pas du tout consisté en une simple superposition des réponses de chaque acteur interrogé à chacune des questions, mais bien en une analyse de l'entièreté de chaque compte-rendu d'entretien par rapport à chaque point d'analyse (étant donné que les éléments les plus intéressants par rapport à un point d'analyse donné se trouvaient fréquemment à plusieurs endroits de chaque entretien). Cette méthode d'analyse permettant une analyse structurée des différentes dimensions du problème a été jugée très satisfaisante.

2) Analyse de la littérature

Le choix de combiner une analyse de la littérature grise des filières (études diverses, rapports, et publications de vulgarisation scientifique) avec celle de la littérature scientifique est globalement satisfaisant même s'il pose de nombreuses questions méthodologiques.

Une revue de la littérature établie de manière classique, se limitant à la littérature scientifique, est clairement insuffisante pour étudier un problème de manière systémique. Les revues scientifiques s'arrêtent en effet généralement au niveau strictement expérimental (le laboratoire et le champ d'essai) mais contiennent peu de données sur les résultats au niveau des systèmes agricoles réels, à très large échelle, surtout dans le cas des pays du Nord. On ne peut donc pas analyser le niveau de développement des différentes voies d'innovations de manière systémique (du

laboratoire jusqu'à l'utilisation des innovations par les producteurs d'une région donnée) avec une revue bibliographique classique. Ce problème a été rencontré dans d'autres recherches similaires se basant uniquement sur la littérature scientifique. Flowers (2004) a par exemple pu analyser de manière structurée le niveau de développement du génie génétique pour la résistance des plantes à la salinité car les recherches sur cette voie d'innovations se situaient uniquement au niveau de la boîte de Petri ou du laboratoire. La même précision n'a pas pu être rencontrée pour les voies d'innovations alternatives, se situant à un niveau d'expérimentation plus large (essais en plein champ et chez l'agriculteur).

Analyse de la littérature scientifique

La littérature scientifique a été analysée sous deux angles. Le premier est une revue de la littérature classique : une recherche des publications les plus pertinentes dans les bases de données scientifiques à l'aide de mots-clés (décrivant le problème initial, les stratégies et les voies d'innovation), et la prise en compte des articles conseillés par les scientifiques rencontrés.

Cette prise en compte de la bibliographie scientifique n'est pas optimale : elle reste aléatoire, inadéquate pour analyser et comparer le niveau de développement de plusieurs voies de développement. Il a ensuite été tenté de sélectionner de manière méthodique tous les articles les plus pertinents publiés dans les meilleures revues sur le sujet durant une période définie (en distinguant par ailleurs les articles de review). Cette possibilité (une analyse bibliométrique), dont les aspects méthodologiques ont été explorés intensivement, n'a cependant pas été menée à son terme pour pouvoir être intégrée dans cette thèse. Le choix des mots-clés est en effet extrêmement déterminant, la quantité d'articles impressionnante et leur disponibilité très aléatoire. L'intérêt d'investir le temps et l'énergie nécessaires pour effectuer cette analyse correctement a également été évalué trop faible.

La possibilité d'utiliser les analyses bibliométriques pour comparer le niveau de développement des différentes voies d'innovations est une des « voies explorées mais non abouties » discutées au Chapitre 10 (p 457).

Une analyse bibliométrique a cependant été faite pour comparer spécifiquement les publications scientifiques sur deux voies d'innovations utiles dans le cas de la gestion des maladies cryptogamiques en céréales : le génie génétique et les mélanges variétaux. Les résultats de celle-ci ont été présentés dans une communication scientifique (Vanloqueren and Baret, 2006).

Par ailleurs, l'exhaustivité est bien sûr inatteignable : les limites du système à étudier sont en effet potentiellement extrêmement vastes. Pour étudier les voies d'innovations par rapport aux maladies en froment, il faudrait par exemple, pour être complet, tenir compte des recherches expérimentales sur le riz, une des plantes modèles pour les céréales. Les limites que je propose dans ma thèse sont une proposition, d'autres peuvent être faites.

Analyse de la littérature grise

La littérature grise qui se rapporte au sujet étudié a été prise en compte de la meilleure manière possible, mais elle reste certainement incomplète. Les bibliothèques rassemblant études et rapports sur les deux filières ont été consultées (Bibliothèque de la

Station de Gorseme pour l'arboriculture, Bibliothèque du département de Productions Végétales du CRA-W pour le froment). Il est cependant fort probable que ces lieux ne contiennent pas l'ensemble des documents existants, dont la majorité se trouvent dans les étagères des bureaux des personnes concernées.

Chaque personne rencontrée durant l'enquête a donc été, en fin d'entretien, invitée à communiquer les références des documents les plus importants permettant de comprendre le sujet. Cela a permis de consulter de précieux documents mais cette récolte est par nature incomplète et inégale. Est-elle suffisante pour documenter, vérifier, les aspects importants ? Il semble que oui, de manière générale. Certains aspects n'ont cependant pas pu être explorés car les informations sur ceux-ci se trouvent ailleurs que dans la filière étudiée. C'est le cas de la dimension environnementale des fongicides par exemple (problèmes d'écotoxicité, de santé humaine, etc). L'ensemble des recherches du secteur privé n'est pas non plus accessible. Un travail sur une seule filière, sur toute la durée de la thèse, aurait sans doute été nécessaire pour acquérir la confiance des acteurs du secteur privé et obtenir les informations sur le niveau de développement des innovations sur lesquelles ils travaillent.

Analyse systématique de la littérature grise (Livre Blanc)

L'analyse systématique de la littérature de vulgarisation scientifique, faite dans l'étude de cas sur le froment, a été particulièrement enrichissante (p 133). Des méthodes d'analyse ont pu être développées et mener à des résultats quantitatifs robustes, permettant à leur tour d'affirmer avec encore plus de force des aspects analysés lors de la phase d'entretiens oraux. C'est le cas, de manière très claire, pour l'absence de recherches comparatives sur l'optimum économique de différents types de systèmes agricoles, intensifs ou non en intrants agricoles.

Cette analyse a aussi pu permettre une réelle analyse comparative des similitudes et différences entre discours des acteurs et publications (les décalages étant limités mais subtils). Plus globalement, cette étape de la recherche a également permis d'analyser à quoi les acteurs de la filière (et les canaux de publication qu'ils contrôlent) s'intéressent ou ne s'intéressent pas. Il s'agit par exemple du désintérêt du Livre Blanc pour la comparaison d'itinéraires techniques extensifs et intensifs, ou de celui que les publications grises et scientifiques ont pour l'analyse des obstacles à l'utilisation des stratégies préventives (comme les variétés résistantes) et des déterminants de certaines voies d'innovations. (Au sujet du manque de réflexivité de la filière, voir *Réflexivité sur la gestion de l'innovation*, p 291).

L'analyse systématique de la littérature de la filière gagnerait évidemment à être complétée. L'analyse du Livre Blanc sur une période de cinq ans est sans doute suffisante car cette publication est bien la principale source d'informations sur les recherches appliquées sur le froment effectuées en Région Wallonne ainsi que sur les informations données aux producteurs par les agents du service public. Cependant, d'autres sources d'informations sont également largement diffusées. Il serait intéressant de compléter l'analyse en y incluant celle de la littérature agricole (par exemple les revues mensuelles 'Perspectives Agricoles', 'Réussir Grandes Cultures', 'Techniques Culturelles Simplifiées', 'France Agricole', etc. Ce type de recherche spécifique ressort cependant de disciplines plus spécifiques centrées sur le rôle et les activités des acteurs de la vulgarisation agricole (*extension research*), un domaine de recherche négligé en Europe. Cela donnerait en même temps des bases de comparaison avec la situation en France.

3) Observation participante aux forums sur l'innovation scientifique en agriculture

Remarque : une partie des résultats liée à cette étape n'est présentée qu'au chapitre suivant (*Analyse des forums publics et scientifiques sur l'innovation en agriculture* p 320) mais la discussion sur l'utilité de celle-ci n'avait pas de meilleur emplacement dans la thèse.

L'observation, en tant que participant (ou parfois intervenant), à des multiples forums sur l'innovation scientifique en agriculture (conférences, journées d'études, colloques) a été très utile à plusieurs niveaux.

La première utilité a été de permettre une généralisation des résultats observés dans les contextes particuliers des deux études de cas (bien qu'une première généralisation avait déjà pu être observée avec les trois études de cas menées par des mémorants), et de relier ces résultats au débat et aux choix politiques concernant l'innovation scientifique en agriculture, des éléments déclencheurs de la thèse.

La seconde a été de pouvoir multiplier les échanges sur l'approche développée dans cette thèse, soit par le biais d'interventions directes lors des débats, soit lors de simples discussions avec les intervenants et participants de tous milieux, depuis le Secrétaire Général d'Europabio (fédération des entreprises biotechnologiques européennes) jusqu'au coordinateur de Wervel (association flamande promouvant une agriculture plus écologique et de nouveaux partenariats entre producteurs et consommateurs) en passant par une représentante de syndicats agricoles ou l'ex-commissaire européen à la recherche scientifique.

L'observation participante à ces forums a également confirmé que l'approche développée dans cette thèse était absente dans les principales institutions qui sont aux prises avec la gestion de l'innovation (Voir *Analyse des forums publics et scientifiques sur l'innovation en agriculture* p 320). L'aspect de la comparaison entre voies d'innovations, autant que celui de l'analyse des forces motrices et obstacles à ces voies d'innovations, est systématiquement absent, ou complètement minoritaire et bâclé, dans les débats scientifiques ou publics de même que dans la littérature. L'observation participante a également confirmé que de nombreux des acteurs de ces mêmes institutions étaient par contre curieux de l'approche systémique. Celle-ci a rencontré beaucoup d'intérêt lors des discussions ou des interventions directes, même si le scepticisme par rapport au potentiel des voies d'innovations alternatives au génie génétique est très fort.

4) Synthèse et articulation des composantes

Il y a une réelle pertinence à combiner les différentes composantes de récoltes de données (entretiens, littérature,...) pour appréhender au mieux possible le système dans son entièreté. C'est une nécessité absolue. Les différentes composantes sont complémentaires et interdépendantes. Elles ne sont pas suffisantes séparément.

5) Validation des résultats & interaction avec les acteurs de la filière

Dans les deux cas, les résultats de la recherche ont été présentés à certains acteurs afin de les soumettre à l'analyse de professionnels de la filière.

Dans le cas du pommier, il a été tenté de faire valider l'approche en demandant une relecture d'un projet d'article à un des acteurs de la filière fruitière interrogé durant l'enquête parmi les plus intéressés par l'approche. Celui-ci a plusieurs fois souligné l'intérêt du travail, mais ni un travail approfondi de commentaires n'a pu avoir lieu.

L'article a été accepté par la revue *Le Courrier de l'Environnement de l'INRA*, qui n'est cependant pas une revue spécialisée sur l'arboriculture (Vanloqueren et Baret, 2004). Cet article a ensuite été reproduit en deux parties dans la revue belge *Le Fruit Belge*, à la demande de celle-ci (Vanloqueren et Baret, 2005 a et b). L'auteur a saisi l'occasion pour s'informer sur l'opinion du rédacteur à propos de l'analyse qui y était présentée, et sur les erreurs ou manquements éventuels, qui se sont avérés tout à faits mineurs. Enfin, cet article est référencé dans un article sur l'innovation en contexte d'arboriculture intégrée (Bellon, 2005) et dans un rapport français sur les possibilités de réduction de l'utilisation des pesticides (Aubertot et al., 2005) (« Expertise collective INRA-CEMAGREF »)⁹⁹. Par la suite, des échanges électroniques avec une spécialiste française de la tavelure ont permis non seulement de valider l'approche, mais aussi d'apprendre que celle-ci était utile pour une meilleure compréhension, par les chercheurs, de la filière dans laquelle ils travaillent :

(...) J'ai vu analysées pour la première fois les causes du non succès commercial des variétés résistantes Vf. (...) et pourtant personne n'avait effectué ce travail auparavant. Votre question de recherche concernant la gestion des innovations en agriculture (...) demande une approche pluridisciplinaire à laquelle les acteurs de la recherche ne sont pas forcément habitués.

L'avis du centre Plant Research International, à l'initiative du projet de pommier transgénique résistant à la tavelure, a également été demandé sur cette analyse¹⁰⁰. Le chercheur contacté a essentiellement commenté un aspect technique, à savoir les différences dans les types de résistances génétiques et physiologiques à la tavelure. Selon celui-ci, la critique sur la potentielle non-durabilité de la résistance obtenue par le transgène codant pour l'hordothionine était erronée.

Dans le cas du froment, l'ensemble du Chapitre 4 a été relu par un acteur de la filière céréalière wallonne qui s'était déclaré intéressé par l'approche. Une rencontre de plus de deux heures a été organisée pour passer en revue tous les points de l'analyse. Seules quelques erreurs techniques mineures ont été relevées : utilisation des termes précis corrects, oublis techniques mineurs pour que l'étude soit complète, précisions sur des obstacles techniques à l'utilisation de mélanges variétaux qui avaient été omis dans l'étude. L'analyse a été globalement confirmée :

C'est intéressant. Ca met le doigt sur des réalités. Ca se rapproche de mon analyse personnelle (...) Puis-je la diffuser à quelques collègues ?

Une autre forme de validation a été obtenue par les différents avis reçus sur un projet d'article synthétisant une partie de l'étude de cas (Vanloqueren and Baret, 2007). Deux chercheurs français, un responsable d'un réseau de recherche sur les itinéraires techniques à intrants réduits et un historien des sciences spécialiste de l'histoire

⁹⁹ Il est référencé pour illustrer la multiplicité des pratiques et innovations possibles pour réduire l'utilisation de fongicides dans la gestion d'un problème comme la tavelure en arboriculture.

¹⁰⁰ A partir d'un autre article rédigé en anglais (Vanloqueren and Baret, 2004 a)

contemporaine de la recherche agronomique en France, ont globalement validé l'analyse du très faible développement des variétés de froment résistantes aux maladies. Une invitation à présenter les résultats au réseau de recherche sur les itinéraires techniques réduits en intrants a d'ailleurs été reçue.

L'article, soumis en 2007 à *Ecological Economics*, a été accepté moyennant révisions.

Remarque : D'autres formes d'interactions ont été explorées mais non mises en œuvre pour plusieurs raisons. Elles sont présentées au Chapitre 10 (voir p 460).

C. Validation de l'approche au niveau méthodologique

Si tous les types de sciences nécessitent une *peer review*, les sciences qui impliquent un grand degré d'incertitude à la fois sur le système étudié et sur les enjeux des décisions (comme de nombreuses recherches en sciences environnementales) nécessitent, selon Funtowicz et Ravetz (1992, 1993), une '*extended peer review*' : une *peer review* qui implique les pairs mais aussi les acteurs concernés par la recherche¹⁰¹.

Une modeste '*extended peer review*' a pu être faite suite aux commentaires reçus à partir de trois communications scientifiques (Vanloqueren et Baret, 2004 a,b,c) et lors d'une Journée de rencontre acteurs-chercheurs « *Quelle gestion démocratique des OGM dans le cadre d'une politique de développement durable ?* » co-organisée avec l'Association de Recherche sur l'Action Publique (AURAP) de l'UCL¹⁰².

Voici une synthèse des différentes réactions reçues sur l'approche systémique :

1. « **Susciter et enrichir le débat public** ». L'article du *Courrier de l'Environnement de l'INRA* a circulé en France dans les milieux agronomiques et environnementaux concernés par les plantes transgéniques où il a suscité le débat (Commission du Génie Biomoléculaire, Comité d'éthique et de précaution de l'INRA). Cet article est par ailleurs référencé sur plusieurs sites internet de documentation, par exemple à l'usage d'enseignants, au sein des ressources pour la thématique « sciences et techniques »¹⁰³.
2. Le caractère **complet, ouvert et 'dénominateur commun'** de l'approche a été souligné tant par des scientifiques proches de la biologie moléculaire et de la génétique que par des membres d'associations environnementales critiques sur le génie génétique. L'approche systémique, qui était qualifiée en 2004 d' 'évaluation systémique de la pertinence' des plantes transgéniques, a été

¹⁰¹ Funtowicz et Ravetz (1992, 1993) ont proposé de discerner trois types de recherches en fonction du degré d'incertitude sur le système étudié et sur les enjeux des décisions concernées: 1) la science normale (la recherche scientifique 'ordinaire' dérivée des principes de Kuhn et Merton) 2) la science experte (l'application des connaissances existantes à des problèmes bien définis) 3) la science 'post-normale' qui implique les connaissances incertaines et contestées produites pour les décisions sanitaires ou environnementales (ex : sciences sur les changements climatiques, etc).

¹⁰² Journée de rencontre acteurs-chercheurs « *Quelle gestion démocratique des OGM dans le cadre d'une politique de développement durable ?* » organisée dans le cadre de la Chaire Tractebel-Environnement 2004 «Développement durable, sciences et société ». Louvain-la-Neuve, 4 Février 2005.

¹⁰³ Site internet du CRDP (Centre Départemental de Documentation Pédagogique) de Reims <http://www.crdp-reims.fr/cddp10/ressources/mediatheque/fonds/cpie/35.htm>

retenue avec cinq autres méthodes d'évaluation dans une étude du World Resources Institute sur la prise en compte des aspects socio-économiques des biotechnologies lors d'évaluations participatives (World Resources Institute, 2005).

3. L'approche systémique « **replaces le génie génétique dans son contexte** », « **clarifie la décision publique** » et est « **un outil qui oblige les décideurs à se positionner** »
4. Des fonctionnaires s'interrogent sur la **difficulté et la complexité de mise en œuvre administrative** de ce type d'approche –face à la fragmentation de la décision politique- et sur son **coût**. Enfin, ils signalent la **nécessité d'une application de cette approche à toutes les innovations, pas uniquement aux plantes transgéniques** »

Remarque : Ces commentaires, surtout ceux concernant la traduction politique et administrative de l'approche, ont entraîné l'approfondissement de la réflexion sur l'amélioration au plan méthodologique de l'approche systémique (présentée dans le Chapitre 8) et sa traduction politique (discutée dans le Chapitre 9).

D'autres formes d'interactions avec l' '*extended peer community*' ont été explorées mais non mises en œuvre pour plusieurs raisons (voir p 460).

4. Différences méthodologiques entre les deux études de cas

Remarque : Cette section n'est destinée qu'au lecteur intéressé par ces différences méthodologiques. La lecture de cette section de détail n'est pas nécessaire à la compréhension du reste du travail.

Les deux études de cas ont été réalisées avec des méthodologies proches mais non identiques. Cette partie analyse d'abord les éléments qui expliquent ces différences (le contexte et les objectifs dans lesquels les études de cas ont été menées) et les conséquences des différences sur les composantes de l'approche. Le Tableau 33 synthétise ces différences.

Tableau 33 : Différences méthodologiques entre études de cas

	Pommiers	Froment
Objectif et contexte	<ul style="list-style-type: none"> - Objectif exploratoire (application d'une approche systémique à l'évaluation des OGM) - DEA en Sciences de l'Environnement avec une orientation en sociologie des sciences 	<ul style="list-style-type: none"> - Répétition de l'approche sur un 2^{ième} cas et approfondissement de la comparaison des voies d'innovation
Objet d'étude et guide d'entretien	<ul style="list-style-type: none"> - L'innovation variétale, le choix variétal - Le rôle des acteurs de la filière par rapport au problème de la tavelure 	<ul style="list-style-type: none"> - Le problème des maladies cryptogamiques en froment, les stratégies pour le gérer et les voies d'innovations futures par rapport à ce problème (canevas d'analyse stabilisé)
Etapas méthodologiques	<ul style="list-style-type: none"> - Principalement basée sur l'enquête par entretiens et une analyse qualitative de la littérature grise du secteur 	<ul style="list-style-type: none"> - Ajout d'une étape entière : analyse quantitative et structurée de la littérature grise de la filière (<i>Livre Blanc Céréales</i>)
Acteurs interrogés	<ul style="list-style-type: none"> - Tous les acteurs concernés, méthode de proche en proche 	<ul style="list-style-type: none"> - Idem (sauf pour entretiens avec les producteurs)
Analyse des données brutes et résultats	<ul style="list-style-type: none"> - Analyse centrée sur les rôles des acteurs par rapport au problème de la tavelure (par exemple en utilisant le concept des réseaux socio-techniques) 	<ul style="list-style-type: none"> - Analyse de la gamme de stratégies de lutte contre le problème (et raisons de non-utilisation des stratégies préventives) ; Analyse de la gamme des voies d'innovation, du niveau de développement de chacune ; des facteurs de développement de chacune

A. Contexte et objectifs des études de cas

La première étude de cas, la tavelure du pommier, était l'étude de cas initiale, exploratrice. Face à la complexité des questions que l'objectif initial de la thèse soulevait (proposer une analyse systémique des risques des plantes transgéniques pour l'agriculture belge), la première étape de la thèse choisie a été en effet de prendre un cas de plante transgénique bien réel et d'enquêter dans la filière agricole concernée pour mieux comprendre les multiples enjeux soulevés par cette plante transgénique.

Les deux cadres théoriques influençant le travail étaient, d'une part, l'approche systémique et la théorie de l'acteur-réseau, deux approches pour lesquelles il n'existe pas de méthode « prête à l'emploi » mais plutôt une série de principes à respecter. L'enjeu méthodologique était leur application à l'analyse de la pertinence d'innovations agricoles controversées. La conséquence de ces choix était que la méthodologie était ouverte et à développer et non pas cadrée par des exigences théoriques fortes.

Dans le cas du froment par contre, le cadre méthodologique était cette fois développé suite à l'expérience de la première étude de cas et du travail d'amélioration de la méthodologie réalisé suite à celle-ci. Cette seconde étude de cas avait pour objectif, d'une part de répéter l'exercice afin de pouvoir vérifier si les résultats obtenus dans le cas du pommier étaient isolés ou non, et d'autre part d'approfondir le travail de construction méthodologique. La méthodologie utilisée pour la seconde étude de cas était donc plus développée que la première et explore en conséquent des domaines qui n'avaient pas été étudiés dans la première étude de cas.

Les trois études de cas menées par des étudiants dans le cadre de leur travail de fin d'études ont été menées dans le même contexte et avec les mêmes objectifs que celle du froment.

B. Différences composante par composante

1) Enquête par entretien

Dans le cas de la tavelure du pommier, l'objet initial de l'analyse était l'innovation variétale (la création et la diffusion de nouvelles variétés de pommes). Les arboriculteurs étaient interrogés sur le choix variétal (« *Comment cela se passe concrètement quand vous devez rénover une partie du verger ?* »). Les entretiens avec les conseillers techniques et pépiniéristes exploraient la création variétale et les paramètres du choix variétal. L'aspect « *Quel est votre rôle par rapport à la tavelure* » était nettement plus important que lors de la seconde étude de cas.

Dans le cas des maladies du froment, l'objet de l'analyse était tout à fait structuré, tel que présenté dans le canevas d'analyse des études de cas. Bien que les entretiens démarraient par la même question aux acteurs sur leur rôle par rapport à la gestion des maladies, ils étaient davantage centrés sur les trois domaines étudiés : le problème initial (les maladies cryptogamiques), les stratégies disponibles pour lutter contre ce problème et la gamme des voies d'innovations potentielles pour l'avenir. Les guides d'entretiens des deux études de cas reflètent ces différences.

2) Analyse de la littérature

Pour la seconde étude de cas, une étape méthodologique a été ajoutée. Il s'agit de l'analyse quantitative et structurée du contenu du *Livre Blanc Céréales* de Gembloux, analyse quantitative complémentaire à la revue qualitative de la littérature grise de la filière, déjà présente dans l'étude de cas sur les pommiers. Cette analyse a été suscitée d'une part par l'observation (au cours des entretiens) de l'importance que cette publication spécifique avait dans la filière céréalière, ce qui n'avait été le cas d'aucune publication pour la filière arboriculture, et d'autre part par le souci d'ajouter une partie

quantitative à l'analyse qualitative, qui reste cependant prédominante dans les deux études de cas.

3) Approche systémique et résultats

Les résultats finaux des deux études de cas sont donc différents. Pour la première étude de cas, ils sont essentiellement centrés sur l'analyse du rôle de chaque catégorie d'acteurs (producteurs, criées, conseillers techniques, centre de recherche,...) par rapport au problème de la tavelure. La structure du rapport de l'étude de cas (sous forme de mémoire de DEA) est d'ailleurs indicatrice de cette importance (Vanloqueren, 2003):

- quarante pages (c'est-à-dire la moitié de l'étude de cas) sont consacrées au rôle des acteurs
- la discussion porte principalement sur l'analyse des réseaux socio-techniques autour des différents types de variétés de pommiers (variétés conventionnelles, variétés résistantes à la tavelure et variétés transgéniques).
- la présentation des stratégies actuellement disponibles pour les producteurs fait seulement partie de l'introduction
- l'analyse des facteurs expliquant la non-utilisation des variétés résistantes non transgéniques n'est pas visible et structurée : elle n'a été faite que dans un article ultérieur à cette étude de cas (Vanloqueren et Baret, 2004).
- l'analyse des différentes voies d'innovations alternatives aux potentielles variétés transgéniques ne compte que huit pages et s'arrête à l'existence d'une gamme d'alternatives au génie génétique pour diminuer ou résoudre le problème de la tavelure et des fongicides de synthèse.
- ni le niveau de développement des différents types d'innovations ni les différents facteurs de développement de chacun de ceux-ci n'est analysé. Les commentaires des acteurs interrogés sur ces innovations permettent cependant d'analyser l'évaluation que ceux-ci font du potentiel de chaque type d'innovation.

Dans le cas du froment, les résultats sont nettement plus structurés : gamme des stratégies de lutte et de prévention contre la fusariose (et classification en stratégies principales et secondaires) ; raisons de non-utilisation de chacune des stratégies préventives ; gamme des voies d'innovations (classification en voies d'innovations technologiques, principales et secondaires, et voies d'innovations institutionnelles ou organisationnelles) et enfin facteurs de développement de chaque voie d'innovations (double classification : facteurs techniques et facteurs socio-économiques, facteurs positifs et facteurs négatifs).

PARTIE III

**L'APPROCHE SYSTEMIQUE POUR
AMELIORER LA REFLEXION, LA
POLITIQUE ET LA GESTION DE
L'INNOVATION**

“The difficulty lies, not with the new ideas, but in escaping the old ones”

John Maynard Keynes

PARTIE III : L'APPROCHE SYSTEMIQUE POUR AMELIORER LA REFLEXION, LA POLITIQUE ET LA GESTION DE L'INNOVATION

Cette troisième partie est celle du passage de l'analyse de cas spécifiques d'innovations à la gestion de l'innovation de manière générale. Deux objectifs avaient en effet été assignés à cette thèse : celui de la compréhension systémique du fonctionnement de l'innovation par rapport à des problèmes très concrets dans des filières agroalimentaires et celui de l'amélioration de la politique et la gestion de l'innovation en agriculture. L'objectif de cette troisième partie est donc de poursuivre le chemin démarré par l'analyse des problèmes de maladies cryptogamiques dans les vergers et les champs pour aboutir aux questions de gestion publique de l'innovation.

Dans cette partie, les trois grands domaines qui influencent les dynamiques d'innovation sont distinguées : les **concepts** qui orientent notre vision de l'innovation en agronomie, les **méthodes** de gestion de celle-ci et enfin les **politiques** publiques qui influencent les dynamiques d'innovation. Les chapitres 7, 8 et 9 dégagent la contribution de l'approche systémique par rapport à ces trois domaines.

Le **Chapitre 7** est celui qui, fondamentalement, passe *des études de cas* à la remise en question du « *cas par cas* ». L'innovation en agriculture doit être pensée sur base du **concept de voies d'innovations** et pas uniquement sur base de cas spécifiques (telle plante transgénique, telle autre innovation), tel est l'argument principal qui est développé. C'est donc la réflexion sur l'innovation qui constitue l'axe principal de ce chapitre.

Le **Chapitre 8** discute la contribution de l'approche systémique à l'amélioration des **méthodologies de gestion de l'innovation**. Les acquis de l'approche systémique sont synthétisés et permettent de porter un nouveau regard sur les méthodologies de *technology assessment* présentées dans le premier chapitre. Ces méthodes intègrent-elles les éléments apparus comme essentiels dans l'approche systémique utilisée dans les études de cas ? Plusieurs possibilités d'intégrer l'approche systémique dans des méthodologies existantes sont ensuite discutées. Il s'agit essentiellement des méthodes de prospective par scénarios et des méthodes d'évaluation 'interactive' des technologies. Une dernière section propose plusieurs approfondissements méthodologiques de l'approche systémique.

Le **Chapitre 9** discute ensuite la contribution de cette recherche pour les **politiques publiques d'innovation**. La mise en œuvre de méthodes d'évaluation de la pertinence des innovations telles que celles proposées au chapitre 8 appelle en effet à un environnement différent sur le plan des politiques d'innovation. Quels sont les apports de la systémique pour celles-ci ? Les différentes propositions de politiques d'innovation qui permettraient selon l'auteur de résoudre les problèmes de gestion de l'innovation mis en lumière par l'approche systémique sont présentées une par une. C'est dans ce chapitre que la question du développement durable, donc de la durabilité de nos systèmes de production agricole, est posée et intégrée.

Le **Chapitre 10** est le chapitre réflexif. Il contient la discussion des cinq hypothèses de la thèse, mais aussi une section critique sur l'interdisciplinarité comme posture de recherche. Les différentes voies de recherche qui ont été explorées au cours de la thèse mais n'ont pas été mises en œuvre pour différentes raisons sont également discutées, de même que quelques propositions de perspectives de recherches futures. Le chapitre se termine par une proposition d'innovation pédagogique issue du travail de supervision de travaux de fin d'années d'étudiants et qui permettrait de faire avancer une approche systémique et critique dans la formation des bioingénieurs.

Chapitre 7 : Penser en termes de voies d'innovations plutôt que d'innovations

Partir du verger et du champ pour arriver au Parlement. Tel est, sous forme imagée, le trajet de la thèse. Ce chapitre est le passage entre les deux, et il implique de comprendre comment l'innovation est pensée avant de comprendre comment elle est traduite en politiques et gérée concrètement.

Ce chapitre contient **deux sections**.

La première section, brève, est l'analyse qui résulte de l'observation participante à de nombreux forums publics et scientifiques sur l'innovation en agriculture. Cette section poursuit l'analyse de la gestion de l'innovation dans les filières qui concluait le Chapitre 5 (pp 286-293), mais cette fois-ci elle concerne la politique d'innovation et la politique scientifique, à un échelon supérieur.

La seconde section est la reproduction d'un article soumis à *Research Policy* :

Vanloqueren and Baret (submitted, submitted 12/2006) Genetic engineering vs. agroecological engineering: agricultural research systems as a selection environment for technological paradigms.

Cet article reprend quelques-uns des résultats les plus originaux de la thèse. Si le terme *voies d'innovations* a été utilisé jusqu'ici, le concept anglais de *technological trajectories* en est très proche et a été théorisé depuis longtemps, avec celui de *technological paradigms*. Ce concept provient de l'étude du changement technologique dans l'industrie et a rarement été appliqué à l'agriculture. Il se base sur l'idée que l'innovation technologique suit des trajectoires qui sont elles-mêmes basées sur des paradigmes technologiques.

L'article analyse dans un premier temps deux grandes trajectoires technologiques qui se manifestent à travers de multiples innovations en agriculture : le génie génétique et le génie agroécologique. Le concept de déterminants d'innovation, déjà utilisé dans les Chapitres 4 et 5, est employé dans un second temps pour analyser spécifiquement ce qui provoque, à l'intérieur des systèmes de recherche agronomique, un investissement particulier dans le génie génétique et un désintérêt par rapport au génie agroécologique.

Remarque : Le texte reproduit est en fait une version améliorée de l'article initialement soumis à *Research Policy* qui, après procédure de reviewing, a souhaité en mai 2007 la soumission d'une version révisée et raccourcie. Une grande partie des commentaires des trois reviewers anonymes a déjà été intégrée dans cette version améliorée. Par ailleurs, pour ne pas multiplier la bibliographie et éviter les doublons, les références bibliographiques de l'article sont intégrées à la bibliographie en fin d'ouvrage (p 485).

1. Analyse des forums publics et scientifiques sur l'innovation en agriculture

Les innovations scientifiques sont idéalement analysées, selon certaines sociologies de l'innovation, en suivant leurs trajectoires ou en observant les scientifiques 'en action' (Latour, 1989). Les politiques publiques peuvent, quant à elles, être étudiées sur base des textes officiels, des discours politiques, de l'analyse des rapports de force entre acteurs et d'une évaluation de leur capacité à atteindre leurs objectifs. L'analyse qui va suivre n'est pas à proprement parler une analyse des politiques d'innovation et de recherche du type de celles qui viennent d'être citées, qui relèvent du domaine des sciences politiques. Plusieurs travaux existent d'ailleurs sur ce sujet au niveau belge (Schiffino et Varone, 2006), européen et international.

C'est davantage la culture politique qui est ici analysée. Jasanoff (2005) décrit la culture politique (political culture) comme « *the systematic means by which a political community makes binding collective choice, such as structured modes of political action, written codes and practices, tacit routines by which collective knowledge are produced and validated (civic epistemologies), etc* ».

Cette culture politique, en matière d'innovation et d'agriculture peut être étudiée entre autres par l'observation participante de divers forums liés à ces domaines. Parallèlement aux études de cas dans les deux filières, l'auteur a participé à plus d'une cinquantaine de conférences, colloques, séminaires, journées d'études qui avaient pour point commun de s'intéresser aux plantes transgéniques ou à l'innovation en agriculture. Le programme de ces forums, les interventions des orateurs, les discussions informelles et la réaction des intervenants et interlocuteurs lors des questions et interventions faites par l'auteur durant ces forums constituent en effet un ensemble de données dont l'exploitation permet d'analyser la culture politique et scientifique en matière d'innovation en agriculture.

Cette analyse poursuit donc l'étude de la gestion de l'innovation dans les filières qui avait clôturé le chapitre de comparaison des études de cas (cfr p 286)

L'analyse de ces données est qualitative et non exhaustive : il s'agit bien évidemment d'un échantillon de forums dont la représentativité peut être remise en question. Cependant, la gamme (la diversité) des forums étudiés est grande. Concrètement, les forums en question étaient soit de type scientifique (colloque, séminaire, conférence...) soit de type public (conférence, journée d'études, ...). Ils se sont déroulés en Belgique, en France et au Royaume-Uni. Etant donné que ces forums publics touchent tous à l'innovation, ils ont tous une forte dimension scientifique et une forte participation de scientifiques. Les forums scientifiques sont ancrés dans différentes disciplines (agronomie, économie, sciences politiques, etc.). Tandis que les forums publics sont davantage ancrés dans différents contextes géographiques : régional (la Région Wallonne), national (la Belgique, la France, l'Angleterre), européen ou international.

La liste de l'ensemble de ces forums est présentée dans l'Annexe VII.

Deux conclusions principales ressortent de l'analyse et sont détaillées ci-après. Premièrement, la vision que les acteurs ont de l'innovation en agriculture est 'non comparative' : elle est centrée sur les OGM au lieu de comparer les différentes

possibilités d'innovation. Deuxièmement, cette approche est à 'géométrie variable' : l'approche est *dynamique* face au génie génétique, mais *statique* vis-à-vis des autres voies d'innovation. Enfin, troisième conclusion, mais moins essentielle, l'approche est centrée sur les nécessités de réglementation à court terme, telles que la coexistence.

A. Une approche non comparative vis-à-vis des possibilités d'innovation

La comparaison des différents systèmes agricoles et des différentes voies d'innovations en leur sein, qui pourrait à priori sembler un élément incontournable d'une politique d'innovation cohérente, n'est un élément prédominant ni des forums publics liés à la question des OGM, ni des forums scientifiques.

Le format des colloques scientifiques porte peu à la comparaison des systèmes et des voies d'innovation. Les exceptions sont rares mais existent, par exemple lors d'une séance plénière d'un colloque d'agronomie, où un orateur invité (un écologiste scientifique) a invité les chercheurs agronomes à comparer deux paradigmes scientifiques de référence pour fonder la recherche sur les systèmes agricoles : les paradigmes industriels et écologiques¹⁰⁴. Ce type d'intervention est cependant anecdotique : les colloques ont pour objectif de diffuser les avancées dans la connaissance scientifique. Les questions situées à la frontière entre la science, l'économie et la politique sont parfois évoquées, mais essentiellement en étant centrées sur une technologie ou une approche particulière –celle qui rassemble la communauté scientifique présente- et non de manière comparative. De la même manière, lors d'un colloque sur les questions éthiques des rapports science-société, la question de l'existence de diverses voies de progrès scientifiques a été quasi absente, malgré un grand nombre de communications sur les questions liées aux plantes transgéniques¹⁰⁵.

Les forums publics devraient être davantage ouverts à ces questions. Cependant, peu d'interventions vont dans le sens d'un recentrage du débat sur les objectifs collectifs et les innovations qui y répondent, ce qui ouvrirait alors la voie à l'approche comparative. Lors d'une conférence d'ampleur internationale organisée par la Commission Européenne, seule une représentante de la FAO a exprimé, par exemple, la nécessité de recadrer la question des OGM par des objectifs publics.

"The potential of biotechnology is not the issue. The issue is where do we go. (...) There is a diversity of options, there is not one way. Biotech is not the only alternative. We need to do more work on sustainable systems, not only on GMOs. Today, everything goes to GMOs." Louise Fresco¹⁰⁶

Ce message ne représente pas du tout celui de la Commission Européenne, qui est complètement centrée sur les biotechnologies (bien que celle-ci ait également des

¹⁰⁴ Congrès scientifique « European agriculture in a global context », VIII European Society of Agronomy Congress, 11-15 July 2004, European Society of Agronomy, Copenhagen.

¹⁰⁵ Congrès scientifique "Science, Ethics and Society", 5th Congress of the European Society for Agricultural and Food Ethics, September 2-4 2004, European Society for Agricultural and Food Ethics, Leuven.

¹⁰⁶ Conférence "Towards Sustainable Agriculture for Developing Countries: options from life sciences and biotechnologies", 30-31 January 2003, European Commission, Brussels

programmes de soutien à la recherche pour l'agriculture biologique par ailleurs). L'intervention de Louise Fresco peut donc presque être entendue comme un message en réaction à ce discours dominant. Il en est de même pour l'intervention du Professeur Dufumier, un spécialiste en agriculture comparée à l'Institut national agronomique Paris-Grignon (INAPG) qui s'exprimait ainsi à un colloque regroupant essentiellement des opposants au génie génétique:

« On peut partir de la question « Est-ce que les OGM vont résoudre la question de la faim dans le monde ? » et la transformer en « Pour résoudre le problème de la faim, de quelle recherche agronomique avons-nous besoin ? » Marc Dufumier¹⁰⁷

Les voies d'innovations alternatives au génie génétique sont essentiellement évoquées (i) dans des conférences, colloques ou journées d'études organisés par des organisations opposées au génie génétique¹⁰⁸, (ii) dans les interventions de représentants de ces organisations lors de forums publics généralistes et (iii) dans certains débats centrés sur des enjeux agricoles précis, comme la réflexion sur la diminution des pesticides¹⁰⁹.

L'approche comparative est par contre complètement absente, à l'exception du message de Louise Fresco, dans les forums sur les OGM où ceux-ci sont parfois présentés comme « la seule alternative » aux problèmes et défis de l'agriculture conventionnelle¹¹⁰.

En fait, les décideurs publics et même les représentants des organisations agricoles majoritaires méconnaissent les alternatives au génie génétique (mélanges variétaux, agroforesterie, lutte biologique, etc). Par exemple, la responsable du service d'études du principal syndicat agricole wallon (la Fédération Wallonne de l'Agriculture), interpellée sur ces voies d'innovation, les perçoit comme des innovations de niche pour l'agriculture bio.

« Je ne crois pas que ces techniques puissent permettre d'être utilisées à large échelle. C'est plutôt pour l'agriculture biologique ou l'agriculture intégrée ». Marie-Laure Semaille¹¹¹

Conséquence de cette méconnaissance, les alternatives qui sont associées à l'agriculture biologique sont négligées voire niées, car l'agriculture biologique est vue comme marginale et peu productive, donc comme une voie incompatible avec la nécessité d'augmenter la production alimentaire mondiale pour faire face à l'accroissement démographique¹¹².

L'ex-commissaire européen à la recherche, Philippe Busquin, semblait découvrir l'idée de comparer les différentes possibilités d'innovation par rapport à des problèmes

¹⁰⁷ Colloque « OGM : De la contestation aux alternatives », 20-21 juin, L'Ecologiste, Paris.

¹⁰⁸ Conférence « Keep Europe GM-free ! Science for a GM free Sustainable Europe », October, 24th 2004, ISIS, ISP, TWN, Brussels.

¹⁰⁹ Conférence « Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Expertise scientifique collective » 15 décembre 2005, INRA-Cemagref, Colloque de restitution de l'expertise collective, Paris.

¹¹⁰ Conférence « Quels sont les arguments rationnels contre les OGM ? », par Marc Van Montagu, 5 octobre 2004, UCL, Louvain-la-Neuve.

¹¹¹ Réponse à une question orale lors de la Journée d'études « Biotechnologies : Défis économiques et visions de la société, 7 juin 2006, Association Belge d'Economie Rurale (ABER), Bruxelles.

¹¹² Conférence « Towards Sustainable Agriculture for Developing Countries: options from life sciences and biotechnologies », 30-31 January 2003, European Commission, Brussels

agronomiques, suite à une intervention orale faite en réaction à sa présentation lors d'un colloque sur les OGM organisé par l'Institut Emile Vandervelde¹¹³. Par ailleurs, il ressort des réunions de travail avec des membres de la Politique scientifique que la comparaison des voies d'innovation n'est pas non plus faite par ces instances.

Les innovations institutionnelles sont, elles, rarement discutées dans des débats sur les OGM et ou sur l'innovation en agriculture, sauf dans le cas des pays en voie de développement. Le workshop scientifique "*Governing technology for development – From Theory to Practice and back again*" est une exception : y ont été évoqués par exemple les différentes possibilités technologiques, les différentes innovations non-technologiques, ainsi que les liens entre celles-ci (propriété de la terre, protection de la propriété intellectuelle, soutien publics à l'agriculture via la R&D et la vulgarisation)¹¹⁴.

L'approche comparative en matière de l'innovation, c'est-à-dire la comparaison entre voies d'innovations, n'a été clairement entendue que deux ou trois fois dans ces forums¹¹⁵.

B. Une approche à géométrie variable par rapport à l'innovation en agriculture

La plupart des acteurs des filières agroalimentaires, des pouvoirs publics, et des institutions de recherche ont une **vision « à géométrie variable » de l'innovation** en agriculture. Leur vision est dynamique par rapport au génie génétique mais statique par rapport aux alternatives à celui-ci. Le génie génétique est en effet perçu comme une technologie qui a déjà produit des possibilités exploitables aujourd'hui et qui a également des potentialités futures, à condition d'en favoriser le développement et d'y investir des moyens de recherche. La vision est dynamique : elle intègre la question de l'évolution de la technologie. La vision est par contre statique en ce qui concerne les alternatives au génie génétique. Une majorité d'acteurs reconnaissent en effet l'existence de systèmes et de pratiques agricoles alternatives -tels que l'agriculture biologique-, mais ils ne tiennent pas compte des possibilités d'innovations au sein de ces systèmes. Les alternatives aux OGM (lutte biologique, agroforesterie, mélanges variétaux) sont essentiellement présentées comme des pratiques actuelles qui sont parfois marginales et donc peuvent être diffusées plus largement, mais non comme des voies d'innovations sur lesquelles des efforts de recherche peuvent également être réalisés.

Une des raisons de cette absence de vision dynamique est l'absence de vision intégrée des possibilités alternatives à la voie tracée par le génie génétique. Tout comme cela avait été observé pour la gestion de l'innovation au niveau des filières, aucun acteur ne

¹¹³ Colloque « Les OGM peuvent-ils être utiles ? », 13 mars 2006, PS-IEV, Bruxelles.

¹¹⁴ Workshop scientifique "Governing technology for development – From Theory to Practice and back again", 31 mars-1er avril 2006, Open University-IKD and DPP, London.

¹¹⁵ Colloque « OGM : De la contestation aux alternatives », 20-21 juin, L'Ecologiste, Paris. ; Journée d'études « Biotechnologies : Défis économiques et visions de la société, 7 juin 2006, Association Belge d'Economie Rurale (ABER), Bruxelles.

met en avant une vision intégrée des différentes voies d'innovations agroécologiques (cfr p 291)¹¹⁶.

Même les ONG environnementales ont une vue statique de l'innovation. Le message qui ressort de nombreuses interventions est « *Les OGM comportent trop de risques et doivent donc être interdits, il existe des alternatives actuelles à utiliser* »¹¹⁷. Les opposants au génie génétique expriment ainsi davantage une opposition aux OGM qu'un soutien aux voies d'innovations alternatives. La définition de priorités positives pour la politique scientifique, comme dans le cas du septième PCRD, ne devient un enjeu pour ces acteurs que progressivement. Or, si les alternatives au génie génétique étaient présentées comme des voies d'innovation, la critique qui consiste à taxer les opposants au génie génétique d'opposants au progrès scientifique perdrait toute crédibilité, car il serait alors plus clair que c'est davantage d'*orientation* du progrès que d'*opposition* au progrès qu'il s'agit.

La première conséquence de cette approche « à géométrie variable » et de l'absence d'approche comparative est un manque de réflexion prospective sur les futurs possibles de l'agriculture et sur le rôle de l'innovation technologique dans différents scénarios de futurs possibles. Si des exercices de prospective centrés sur les biotechnologies sont discutés dans certains forums, ils ne sont pas liés à ceux qui se font sur les alternatives, discutés eux dans des forums scientifiques spécifiques à cette voie¹¹⁸.

La seconde conséquence est que l'éventuelle complémentarité des plantes transgéniques avec des systèmes agroécologiques, qui nécessiterait une vision cohérente entre tenants de différentes disciplines, n'est jamais discutée.

Enfin, à côté de ces deux observations principales (approche non comparative et à géométrie variable), on observe **trois aspects complémentaires** : la concentration du débat sur les contraintes politiques actuelles, la répétition des 'mythes' sur le débat OGM et l'hyperpragmatisme de certains responsables politiques.

C. Réactions aux urgences et adaptation au courant dominant

Les OGM ont pris une telle importance qu'ils sont devenus une référence incontournable dans tous les débats sur l'agriculture. Tout débat sur les OGM n'est pas systématiquement remis dans le contexte de l'innovation en agriculture, par contre tout

¹¹⁶ Il en est de même dans d'autres pays. Ian Scoones, analysant les politiques liées aux biotechnologies en Inde, remarque que « *Views on alternatives are fragmented, often poorly articulated and not strategically focused* » ; Workshop scientifique "Governing technology for development – From Theory to Practice and back again", 31 mars - 1er avril 2006, Open University-IKD and DPP, London.

¹¹⁷ Ex : Conférence "Keep Europe GM-free ! Science for a GM free Sustainable Europe », October, 24th 2004, ISIS, ISP, TWN, Brussels. et Journée d'études « Biotechnologies : Défis économiques et visions de la société », 7 juin 2006, Association Belge d'Economie Rurale (ABER), Bruxelles

¹¹⁸ Le responsable de la prospective « Bioéconomie 2030 » en cours à l'OCDE présentait par exemple ce projet aux économistes ruraux belges à la Journée d'études « Biotechnologies : Défis économiques et visions de la société », 7 juin 2006, Association Belge d'Economie Rurale (ABER), Bruxelles. Le responsable OCDE annonçait avoir rencontré un seul acteur agricole pour les enjeux agricoles de la bioéconomie: un représentant d'une coopérative céréalière du bassin parisien. Or, le bassin parisien est connu pour être le représentant de l'agriculture à large échelle, intensive en intrants et en capitaux, largement dépendante des subsides européens, dont elle capte une très grande partie, au désavantage des exploitations de taille moyenne d'autres régions.

débat sur l'innovation en agriculture aboutit quasi systématiquement à une discussion sur le rôle des OGM. Les débats publics sur les OGM sont essentiellement centrés sur les **enjeux politiques les plus pressants** : la coexistence des systèmes de cultures, l'évolution de la législation en la matière, l'évolution des possibilités techniques et l'évolution des connaissances sur les risques des OGM sur la santé et l'environnement.

Dans la plupart des débats, on retrouve en tout ou en partie les dix mêmes « **mythes** » que les scientifiques et décideurs publics se font des perceptions des OGM par le grand public, identifiés par Marris et al. (2001). Ces mythes vont de l'incapacité des citoyens à comprendre des enjeux technologiques complexes, à leur irrationalité, en passant par leur supposé égoïsme vis-à-vis des problèmes du Tiers-Monde. De manière générale, une grande partie des décideurs publics et experts scientifiques n'ont pas intégré les conclusions des travaux en sciences sociales sur les questions d'expertise et de participation citoyenne. Les vraies questions que se posent les citoyens, identifiées dans la même étude de Marris et al., ne structurent pas le débat¹¹⁹.

Enfin, certains représentants politiques démontrent l'**hyperpragmatisme politique** lié à la globalisation et à la libéralisation des échanges agricoles. Il s'agit, pour nos pays, de la nécessité d'autoriser nos agriculteurs à concurrencer les agriculteurs américains en utilisant les mêmes technologies. Cet aspect est clairement mentionné dans certains discours politiques.

« Nous ne pouvons nous permettre d'exclure nos agriculteurs du potentiel que représentent les biotechnologies. L'agriculture européenne évolue dans un contexte de libéralisation des marchés et de concurrence croissante. Les OGM sont cultivés à grande échelle dans de nombreux pays comme le Brésil, l'Argentine, les USA... Ces productions ou dérivés comme la viande sont commercialisés en Europe. L'Organisation mondiale du commerce a rendu un jugement confirmant que l'Union européenne ne peut interdire ces importations pour des raisons de santé publique. Par conséquent, nos agriculteurs doivent avoir la possibilité de les concurrencer avec des armes identiques. A l'occasion de la dernière réunion informelle des Ministres de l'Agriculture en Autriche, il a été unanimement souligné combien l'innovation est nécessaire pour la compétitivité de l'agriculture européenne. Les biotechnologies présentent d'ailleurs le plus de potentiel d'innovation pour l'agriculture. » Sabine Laruelle, Ministre de l'Agriculture et des Classes Moyennes (Laruelle, 2006).

¹¹⁹ Exemples : Pourquoi avons-nous besoin des OGM ? Quels en sont les avantages ? Qui retire un avantage ? Qui a décidé qu'ils devaient être développés et comment ? Les autorités publiques ont-elles suffisamment de pouvoirs et de moyens pour équilibrer réellement les grandes entreprises qui souhaitent développer ces produits ? Qui est responsable en cas d'effets négatifs non prévus ?

2. Genetic engineering versus agroecological engineering: agricultural research systems as a selection environment for technological paradigms

Gaëtan Vanloqueren^a, Philippe V. Baret^a

^a Université catholique de Louvain

Faculty of bio-engineering, agronomy and environment

Dept of Applied Biology and Agricultural Productions

Unit of Genetics

Belgium

Abstract

The concepts of technological paradigms and technological trajectories have seldom been used to analyse agricultural innovations. However, genetic engineering and agroecological engineering (agroecology) can be usefully analysed as two different technological paradigms. Both address current challenges of productivity increase, input use reduction or climate change. They have not, though, been equally successful in influencing agricultural research. In this paper, we use a Systems of Innovation (SI) approach to identify the determinants of innovation (e.g. funding priorities, cognitive and cultural routines of scientists, etc.) that influence the choice of paradigm and the development of trajectories within agricultural research systems (ARS). The influence of each determinant is systematically described. Determinants' interactions result in a lock-in situation hindering the development of agroecological engineering. Issues of competition and complementarities between paradigms and trajectories are discussed in the context of science policies targeting greater sustainability in agricultural systems.

Keywords: Transgenic plants, Agroecology, Technological trajectories, Determinants of innovation, SI approach.

Introduction

Research and innovation are at the core of agricultural change. Fundamental and applied research in biology, chemistry and genetics has resulted in a constant flow of innovations that have greatly influenced most agricultural systems and brought tremendous benefits. It is estimated that productivity gains in agriculture are due to technical change as much as to increase in the use of inputs (Alston et al., 1995). Nevertheless productivity gains, food security and nutrition improvement are still high in the agricultural research agenda. New issues such as climate change, rising costs of energy, pesticide use reduction and biodiversity conservation have also gained momentum. Innovations will be needed to tackle these challenges.

A careful look at the current state of biological and agricultural research is consequently necessary. One of the crucial trends is that biological and agricultural sciences have pursued two opposite directions during the second half of the twentieth century.

The first trend is characterised by scientific reductionism. A large portion of fundamental and applied research has been concentrating on ever-smaller levels of the living systems. If we consider a wheat field as an example of a living system, from the field itself, the focus went from the plant to the cell, from the cell to its components, down to the gene and beyond. Genetic engineering is the most reductionist result of this trend.

The second trend went the opposite way. Scientists who faced the complexity of living systems have gradually tried to understand the ‘bigger picture’ by analysing systems, interactions between parts of systems and emergent properties of systems rather than focusing on the study of isolated system parts. If we go back to our wheat field analogy, the focus of research gradually went towards the interactions between plants, insects, pathogens, soil and surrounding non-cultivated land. Agroecology is the most holistic result of this trend.

Surely not all research perfectly fits in one of these two archetypal trends. Hybrid situations exist, as it will be examined. However, we will establish that the categorization and comparison of these various approaches is fruitful and necessary.

Before 1970, both genetic engineering and agroecology were small or non-existent scientific activities. Scientists and public authorities could theoretically see them as two fields of research with equal potential for research, and to improve agricultural systems. Yet the last decades saw genetic engineering, molecular biology and associated ‘life sciences’ reach among the most important disciplines in research institutions. The commercial success of transgenic crops is also clear. They have covered 90 millions hectares in twenty-one countries only nine years after their introduction (James, 2005). Agroecology has not met such a momentum although its influence grew as well.

In this paper, we use of the concepts of technological paradigms and technological trajectories to analyse these trends in agricultural innovations. We discuss genetic engineering and agroecological engineering as two technological paradigms (Section 1). We then focus on agricultural research systems (ARS) and use a systems of innovation (SI) approach to analyse the determinants of innovation that influence on the choice of technological paradigms as well as on the development of technological trajectories (Section 2). The determinants of innovation that induce an imbalance between genetic and agroecological engineering are systematically described (Section 3). Finally, we discuss the issues that stem from our observations, such as complementarity between trajectories and the importance of niche trajectories in the transition to sustainability.

A. Technological paradigms and trajectories and agriculture

1.1. Technological paradigms and trajectories

The concepts of ‘technological paradigms’ and ‘technological trajectories’ have been suggested by Dosi (1982) to go beyond the ‘demand-pull’ and ‘technology-push’ theories of technical change and their failure to explain the interactions between the economic environment and the directions of technical change.

Dosi defines a technological paradigm as a “model and a pattern of solution of selected technological problems, based on selected principles derived from natural sciences”. This is a broad analogy with the Kuhnian definition of a scientific paradigm, which determines the field of enquiry, the problems, the procedures and the tasks (See Kuhn (1962)). According to Dosi, a technological paradigm defines an idea of ‘progress’ by embodying prescriptions on the directions of technological change to pursue and those to neglect and consequently by having ‘exclusion effects’. A technological trajectory is the “pattern of normal problem solving activity (i.e. of progress) on the ground of a technological paradigm”.

While Dosi initially introduced his concepts in the field of technological change within industrial structures, it has later been argued that they could be extended to agriculture (Possas et al., 1996). Applications of these concepts in agriculture vary widely. Parayil (2003) described the Green Revolution and the Gene Revolution as two technological trajectories. Biotechnology, including agricultural biotechnologies, has rapidly been presented as a new technological paradigm (Russel, 1999). Technological trajectories have been analysed in agrochemical and agro-biotech industries (Joly and Lemari, 2004; Chataway et al., 2004). Some authors refer mainly to the concept of technological trajectories while others use technological paradigms, but the logic is the same as trajectories are progresses along a paradigm.

1.2. Genetic and agroecological engineering

So far, genetic and agroecological engineering had not been compared as two technological paradigms, which rely on two different scientific paradigms, pursue different objectives and are composed of different sub-trajectories (Table 1).

Genetic engineering is the deliberate modification of the characters of an organism by the manipulation of its genetic material. The main technology upon which it is based is transgenesis. The discovery of the recombinant DNA technique in 1973 indeed enabled the splicing of genes by transferring genes from one organism into another. Genetic engineering has been described as a new technological paradigm (Orsenigo, 1989). This conceptualization has however not been explored much in the literature. Genetic engineering is frequently equated to ‘modern agricultural biotechnologies’, an equally used term. Current existing applications of genetic engineering are transgenic herbicide-tolerant plants soybean or insect-resistant *Bt* maize in the USA.

The fundamental strategy in genetic engineering, once the genetic information of an organism is known, is to modify the plants to our best interests. This means that the tacit objective of this trajectory is -if we restrict our scope to plants and agriculture- to modify the plant so it is able to be productive in any adverse conditions (such as pests, pathogens, drought, saline environments, unfertile soils, etc) or to design plants fitting new objectives such as plants with altered nutritional contents. This fits with the scientific paradigm that underlies genetic engineering, which is reductionism.

Tableau 34 (Table 1 in paper) : Genetic engineering and agroecological engineering are two different technological paradigms

Technological paradigms	Genetic engineering	Agroecological engineering
Basic definition	Deliberate modification of the characters of an organism by the manipulation of its genetic material.	Application of the ecological science to the study, design and management of sustainable agroecosystems.
Implicit objective	“Engineering plants”: Modify plants to our best interests by making them productive in any adverse conditions or by designing them to fit new objectives.	“Engineering systems”: Improve the agricultural system structure and making every part of the structure work well. Rely on ecological interactions and synergisms for soil fertility, productivity and crop protection.
Scientific paradigm underlying the technological paradigm	Reductionism	Ecology and holism
Examples of sub-trajectories progressing along the technological paradigm	Bt insect resistant plants, herbicide-tolerant plants, virus-resistant plants, etc.	Biological control, cultivar mixtures, agroforestry, habitat management techniques, etc.

Legend : Both technological trajectories implicitly pursue different objectives, rely on different scientific paradigms, and are composed of different sub-trajectories. A trajectory is the progress along a technological paradigm.

Agroecological engineering has been suggested as the application of ecological engineering in agriculture, aiming to establish highly efficient and sustainable agroecosystems that utilize natural resources rationally and maintain ecological stability (Ma et al., 1988; Mitsch et al., 1993; Yan and Zhang, 1993). Yet the term ‘agroecological engineering’ has been seldom used, except in China. The term ‘agroecology’ is more frequently used, and equivalent. Agroecology emerged from the convergence of ecology and agronomy (Dalgaard et al., 2003). It is the application of the ecological science to the study, design and management of sustainable agroecosystems (Altieri, 1995).

The combination of ‘agroecology’ and ‘engineering’ in ‘agroecological engineering’ is used in order to reflect that agricultural systems can be ‘engineered’ with agroecological principles. It allows us to draw the parallel with ‘transgenesis’ and ‘engineering’ in genetic engineering.

As agroecological engineering is generally much less known than genetic engineering, some clarification is needed. Agroecological engineering is here considered as the integrative umbrella concept for different agricultural practices and innovations. Current existing applications of agroecological engineering are biological control in maize, fruit orchards or greenhouses crops (Paulitz and Belanger, 2001; Brewer and Elliott, 2004), habitat management techniques such as strip management or beetle banks around wheat fields (Landis et al., 2000; Levie et al., 2005), walnut-wheat agroforestry systems in France or alley cropping in the USA (Garrett and Buck, 1997; Auclair and Dupraz, 1999), natural systems agriculture aiming at perennial food-grain-producing systems (Jackson, 2002) or cultivar mixtures used in wheat fields in the Pacific Northwestern States of U.S.A. (Mundt, 2002) and in rice in China (Zhu et al., 2000). Crop rotations, soil fertility improvement practices, mixed crop and livestock management as well as

intercropping are also included. Not all of these are cutting-edge technologies: some are even current or old practices as traditional systems provide significant insights to agroecology (Altieri, 1995). Hundreds of agricultural systems are based on agroecological principles although global data is not as accurate as for transgenic crops acreage (Liu and Fu, 2000; Parrott and Marsden, 2002; Pretty et al., 2003).

The scientific paradigm on which agroecological engineering relies is ecology and holism. The objective is to design productive agricultural systems that require as few agrochemicals and energy inputs as possible but instead rely on ecological interactions and synergisms between biological components to provide the mechanisms for the systems to sponsor their own soil fertility, productivity and crop protection (Altieri, 1995). While the objective of genetic engineering is to improve the plant (by modifying existing plants or designing new plants), the objective of agroecological engineering is to improve the agricultural system structure and “*to make every part of the structure work well*” (Liang, 1998). Agroecological engineering may also be related to biomimicry (Benyus, 1997).

Clarification among the concepts is important. Genetic engineering and agroecological engineering are technological paradigms. In this text, the term trajectory will be used for genetic and agroecological engineering when it signifies “progress along these technological paradigm”. Several sub-trajectories follow each paradigm. The various types of transgenic plants are sub-trajectories, which is consistent with existing analytic frameworks. Graff (2003) analyses Bt-insect resistance technology or male-sterile parental lines as different technological trajectories. Similarly, agroecological engineering encompasses several sub-trajectories, such as habitat management strategies, agroforestry, etc.

1.3. Paradigms, the study of innovation and the real world

Our dualistic opposition needs to be carefully considered. The real world is indeed naturally not as clear-cut as these concepts. Four remarks must be done:

- Hybrid situations exist. Systems biology, for instance, focuses on interactions between components of biological systems, such as the enzymes and metabolites in a metabolic pathway. It thus combines a focus on ‘ever-smaller levels of the living systems’ (from reductionism) with an interest for interactions (from the systems approach).
- Within trajectories, there is a wide spectrum of closeness to the initial paradigm. For instance, biological control of insects can result in innovations such as mass releases of predator insects, which are an efficient intervention but have no effect on an important cause of the problem (monoculture). If designed in the agroecological paradigm, biological control can lead to habitat management solutions (landscape ecology) such as beetle banks and strip management, which have a structural effect on disease control. Some agroecological approaches may also be used in conventional systems. In practice, agricultural innovations are used in agricultural systems that have various degrees of closeness to agroecological principles. Farmers indeed combine various types of innovations that stem from different trajectories.
- Transgenic plants and agroecological innovations are not complete opposites. At the end, mass releases of predator insects, beetle banks and Bt-transgenic plants

may -at least theoretically- be complementary. This issue of complementarity will be raised in the discussion section.

- Agroecological engineering is not to be confused with organic farming. Organic farming shares many principles with agroecology. Organic farmers have implemented many agroecological innovations in their crops yet they may also replicate the productivist approach that goes against agroecological principles (Guthman, 2000; Dupuis, 2000).

Despite these observations, the comparison of these two broad and archetypal paradigms is fruitful and necessary. The dualistic opposition between genetic engineering and agroecology exists in the real world, both in science and in society. Proponents of both paradigms claim their paradigm is the only one able to solve current problems and that the other pathway is risky. It is because paradigms and trajectories exist and influence research and innovations that it is useful to employ these concepts and to compare them. Besides, it needs to be accounted that other authors have pushed forward similar categorizations. Lang & Heasman (2004) have argued that two paradigms were competing to replace the ‘Productionist paradigm’ in food systems: the ‘Life Sciences Integrated paradigm’ and the ‘Ecologically Integrated paradigm’. Our analysis focuses on agricultural systems, a far smaller scope than the food systems perspective.

Besides, it is beyond the scope of this paper to assess the advantages and drawbacks of each trajectory as well as their current and potential future contribution to agricultural systems.

B. Agricultural research systems as a selection environment for innovations: an SI approach

Genetic and agroecological engineering have succeeded in producing relevant innovations for a number of issues. They are both currently progressing in agricultural research as well as in farming systems, although at different speeds and with different successes. Genetic engineering has been the mainstream for the past decades. Is this development only due to intrinsic superiority of genetic engineering compared with agroecology? This section attempts to identify some of the explanations of these differences.

One of the main questions behind Dosi’s concepts was “How does a paradigm emerge in the first place and how was it ‘preferred’ to other possible ones?” (Dosi, 1982). Dosi’s hypothesis is that the economic forces together with institutional and social factors operate as a ‘selective device’. The factors of this selective device (also called selection environment) play a crucial selection role by influencing criteria such as feasibility and profitability at each level (research, development).

The selecting device of paradigms and trajectories may be analysed with different perspectives and approaches. The induced innovation approach has been used to analyse the relative price of a resources -specifically capital or labour- as the fundamental drivers of R&D investments (Hayami and Ruttan, 1985). Past research has also demonstrated the major influences exerted by public policies and market-related factors (Tait et al., 2001; Bijman and Tait, 2002). Major research efforts have also focused on

the factors of technology adoption by farmers, which have been shown crucial (Sunding and Zilberman, 2001; Hategekimana and Trant, 2002; Brodt et al., 2004).

Concerning genetic engineering more precisely, Parayil (2003) used the concept of technological trajectories to analyse the fundamental differences between the Green Revolution and the Gene Revolution. Parayil demonstrates that key factors in the emergence of the Gene Revolution were not only the advances of cellular and molecular biology, but also the revolution of information technologies, the extension of patent protection to genetically modified organisms, and global economic forces such as new rules of global finance and free trade (expanded market opportunities due to globalization of markets and falling barriers, consolidations and strategic alliances in the agricultural input industry). A similar but complementary analysis concerning biotechnology has been done by Russell, who focus on aspects of international political economy, specifically the structural power of U.S. government and firms (Russel, 1999).

Yet we argue the analysis is not complete for genetic engineering, almost absent for agroecological engineering, and that no comparison has been done.

Our approach is in the realm of systems of innovation (SI) approaches (Lundvall, 1992; Nelson, 1993; Lyon et al., 2005) . Systems of innovation (SI) can be defined as “all important economic, social, political, organizational, and other factors that influence the development, diffusion, and use of innovations” (Edquist, 1997). The SI approach analyses the components of systems of innovation, their relationships and the functions of SI. It has been applied to national SI, sectoral SI and regional SI.

We focus on agricultural research systems (ARS), which are more restricted than SI. ARS are composed of organizations (‘players’ such as scientists, universities, private companies) and of institutions (‘rules of the games’ such as R&D policies) (Edquist, 2001). Figure 1 is a simplified representation of ARS and SI.

We identify the determinants of innovation that influence the choice of technological paradigms and the development of technological trajectories within ARS. Determinants of innovation are social, cultural, economical or political factors that act positively or negatively on the development of technological trajectories (Edquist, 2001). This enables us to understand technological paradigms and trajectories within the broader context of technological regimes, as proposed by Possas et al. (1996). A technological regime is the set of ‘rules of the game’ that guide the direction of technological innovation and use in meeting social needs. According to Possas et al., the current technological regime of modern agriculture is the evolutionary result of the intersection of different trajectories that have reached a growing technological coherence over the last 150 years. It involves industries (pesticides, fertilizers, seeds, machinery), public research and education institutions, as well as producer organizations.

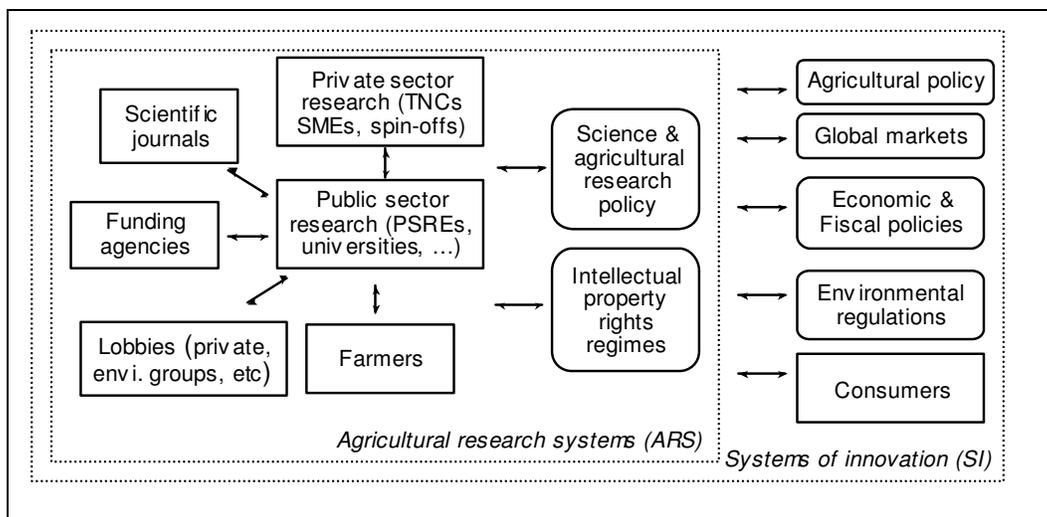


Figure 12 (Figure 1 in paper) : A simplified representation of agricultural research systems (ARS) as a part of systems of innovation (SI)

Legend : Rectangles represent actors ('players'). Rectangles with rounded angles represent institutions ('rules of the games'). (TNC = transnational corporations, SME = Small and Medium Enterprises, PSREs = Public-Sector Research Establishments). Not all interactions are represented.

The combination of the SI approach with the concepts of technological paradigms and trajectories is coherent as there is close affinity between these evolutionary theories of innovation and the SI approach (Edquist, 1997). The concepts of technological regime, selection environment and determinants of innovation are indeed overlapping (A technological regime is a selection environment for existing and future paradigms and trajectories. A selection environment is composed of determinants of innovation).

While the SI approach is framed by economics of innovation and managerial sciences, our approach is also partly grounded in sociology of innovation approaches, such as actor-network theory, which has proven useful when addressing the complexity of interactions between actors in socio-technical systems (Callon, 1986; Latour, 1987).

The scale of the approach is not the national scale as in most SI approaches. While national differences exist in ARS and SI (Alston et al., 1998b; Tait et al., 2001), an international division of research has occurred (Pardey and Beintema, 2001). Emphasis for the need to see territory in a loose sense, and for not excluding the transnational scale is therefore reminded by Russell (Russell, 1999).

The sources of this research are multi-fold:

- Interviews with scientists and stakeholders in five agro-food chains (wheat, apple, sugar beet, maize, soybean) (20-30 interviews each) in two countries (Belgium and Argentina),
- Participant observation of public forums on agriculture, science and innovation in Belgium, France and the UK, as well as in Brussels for EU institutions,

- An analysis of key policy documents such as white papers from public authorities, ranging from the US National Research Council, the European Commission or FAO,
- A wide multidisciplinary literature review (there is an important undone work of establishing links between researches done in various disciplines)

The analysis of the determinants of innovation uses i) evidence and a few illustrative quotes from our surveys among stakeholders in ARS, ii) logical reasoning using results and conclusions from published research, and iii) specific cases of transgenic plants or agroecological innovations.

A special attention is intentionally put on the public sector, as well as on the influence of determinants on agroecological engineering, which has been much less explored than determinants influencing genetic engineering. Cultivar mixtures and agroforestry systems, two types of agroecological innovations that have already lived up to their reputation, are used as examples of agroecological innovations, while biological control has an intermediate status¹²⁰.

Two assumptions are made. First, ‘agricultural research’ comprises agricultural as well as biological sciences. Secondly, genetic engineering will be closely associated with molecular biology, the basic science on which it stands, even if molecular biology has other outcomes and is also related to agroecology.

This cross-country, multi-sources approach is estimated to be useful and valid for agricultural research in both developed and developing countries.

Results are a synthesis of all determinants that exist in ARS. We assume these determinants to be predominant in the choice of technological paradigms and the development of technological trajectories. This does not mean that each determinant is valid in all cases (i.e. present in all research institutions and true for every scientist). Consequently, each determinant must be understood as part of a whole. The systems approach assumes indeed that the overall performance of a complex of elements depends not only on the characteristics of each element but also on the interactions between these elements. It is thus the aggregation of the various determinants that matters.

¹²⁰ Cultivar mixtures are an application of the concept of crop heterogeneity (increasing the genetic diversity in a field in order to increase crop resistance to biotic and abiotic stresses). Agroforestry embraces land use systems and practices in which woody perennials are deliberately integrated with crops and/or animals on the same land management unit, producing normally both ecological and economic interactions between woody and non-woody components (ICRAF, 1993). Biological control is a method of controlling pests and diseases that relies on conservation or enhancement of natural predators. It consequently fits the agroecological paradigm. The fact that it is sometimes defined as an agricultural biotechnology should not bring confusion. Biocontrol has an intermediate status in this paper as in many cases, the impact of the determinants of innovation on it are closer to those affecting genetic engineering than those affecting agroecological engineering.

C. Determinants of innovation inducing an imbalance between genetic and agroecological engineering

The determinants of innovation fit within three main categories: agricultural science policy, private sector research and public-sector research (Table 2).

Tableau 35 (Table 2 in paper): Determinants of innovation that induce an imbalance between genetic and agroecological engineering (classified in categories and sub-categories)

Categories	Sub-categories	Determinants of innovation
1. Agricultural science policy	Research orientations	Focus on growth, competitiveness and biotechnologies
	Relationships between public & private sectors	Public-private partnerships
		Division of innovative labour
	Influence of lobbies	Imbalance in the power of lobbies
2. Private sector	Research orientations	Focus on biotechnologies and importance of patents
3. Public sector	Organization within research systems (Rules of the games)	Visions of complexity and framing of agricultural research
		Specialisation vs. interdisciplinarity
		'Publish or perish'
		Technology transfer mission: patents, spin-offs and extension
	Cultural and cognitive routines (Values and world-views of scientists)	Assumptions on current and future agricultural systems
		Assumptions on past agricultural systems
		Assumptions on the ethical value of nature and food
		Assumptions on the nature of innovations (biotech and agroecol)
	Historical influences	Path dependence in agricultural research

The following sections explore how each determinant affects genetic and agroecological engineering. The classification is not an indication of the relative importance of each determinant or category. We acknowledge that some determinants are more influential than others, yet the establishment of a hierarchy among them is left for further research. The interactions between the different obstacles are numerous: their description would be lengthy and is mostly left to the reader.

3.1. Agricultural science policy

Science policy, beyond its objective of promoting innovation, is not neutral on technological paradigms. It is naturally part of the selecting device. Three aspects are stressed: research orientations, relationships between public and private sectors, and the power of lobbies.

3.1.1. Research orientations: focus on growth, competitiveness and biotechnologies

The public agricultural research financial efforts, globally, have nearly doubled from \$11.8 billion in 1976 to nearly \$21.7 billion in 1995 (1993 international \$) (Pardey and

Beintema, 2001). It is however difficult to chart the shifts exactly for each trajectory. Shifts in research priorities that have occurred since the early 1980s include an increasing stress on growth, competitiveness, and biotechnologies.

Science policies of most countries are explicitly and increasingly oriented towards growth, national economic performance and competitiveness. In the E.U., these goals are clearly stated in key policy documents, including the 2007-2013 R&D framework programme (European Commission, 2005a; European Commission, 2005b). In the U.S., the 2005 National Innovation Act has the same goals. Key national policy documents influencing agricultural research are also shaped by goals such as commercial success in the international economy and economic returns of research spending, as in the case of the U.K. (Food Ethic Council, 2004).

Since the early 1980s, biotechnologies, altogether with information technologies, have been intimately linked with these objectives. Most countries have created specific policies and programs dedicated to biotechnologies, including 'modern' agricultural biotechnologies such as transgenic plants. In the U.S., the National Research Council Board on Agriculture published a report whose title is explicit: 'Agricultural Biotechnology: Strategies for National Competitiveness' (National Research Council, 1987). Since then the strategy has been solid and consistent (National Research Council, 1998). Similarly, the E.U. has supported biotechnologies since its initial 'Biomolecular Engineering Programme' in 1982 (Cantley, 1995). Life sciences, including modern agricultural biotechnologies, are still strongly supported today, despite the 1999-2004 de facto moratorium on transgenic crops (European Commission, 2002; European Commission, 2003; European Commission, 2004b). International organizations have also supported genetic engineering, though calling for caution as well as for pro-poor technologies, programs and policies (United Nations Development Programme, 2001; FAO, 2004).

The positive impact of these policies on genetic engineering is clear. Even though modern agricultural biotechnologies are only one part of biotechnology and life sciences programs, genetic engineering benefited from the creation of an environment strengthening life sciences, which included specific supports, funds, and a workforce trained to molecular techniques, a request expressed in early policy documents (National Research Council, 1987). U.S. federal funding of all life sciences R&D was \$13.8 billion in 1998 (Wessner, 2001). Specific infrastructures were created such as the European Molecular Biology Laboratory. Pluriannual U.E. Research and Development framework programs, though not supporting massively the development of transgenic plants, supported the basic research needed for it. During our surveys, Belgian scientists mentioned the fact that molecular biology was important in all E.U. programmes, even in programmes related to pesticide reduction in apple or breeding of lesser-known cereals: "*You had to have a molecular biologist in your research project proposal to be accepted*". The raise of importance of molecular biology has had impacts on scientific institutions themselves. An analysis of scientist's recruitments at the French Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) demonstrates that the share of molecular biologists grew from less than 10% in the 1970s to 17% in the period 1983-87 to more than 20% of total job opportunities between 1988 and 1997 (Mignot and Poncet, 2001).

On the opposite, the 1999-2004 EU de facto moratorium on the commercialization of transgenic plants has had a strong negative impact on the development of genetic engineering, with multinationals pulling out R&D of Europe or making cuts and changes in programs. Field tests and laboratory research were also deeply affected,

although not forbidden. The strong opposition of consumers to transgenic plants also affected EU-supported research on plant transgenesis, which was partly redirected towards molecular biology or life sciences linked to human health.

Genetic engineering has thus initially been perceived as contributing to the growth and competitiveness objectives while agroecological engineering has not. Many countries also developed specific programs promoting sustainable development in agriculture. The U.S. Sustainable Agriculture Research and Education program (SARE) and the EU agri-environmental schemes facilitated the development and the adoption of agroecological innovations. Specific research programs targeting organic farming or organic farming research were also developed, although they remained small in many countries. Agroecological engineering even benefited from the raise of biotechnologies and molecular biology for some research activities, such as for the identification of biocontrol agents. However, research at the ecosystem level has not been developed at the same intensity: some institutions even suffered a reduction of agronomists or soil microbiologists and did not benefit from the recruitments of more agroecological engineers. An analysis of public support for agricultural biotechnology at U.S. land-grant universities from 1982 to 1988 showed that the substantial increase in funds, faculty and students dedicated to biotechnology was simultaneous with a decline in the numbers of plant and animal breeders (Hess, 1991).

3.1.2. Relationships between the public and the private sectors

Next to shifts in research priorities, the second important aspect of science policies is the relationships between public-sector research establishments (PSREs) and the private sector. Two aspects of these relationships are considered: the increased influence of industry through public-private partnerships, and the division of the innovative labour between public and private entities.

Public-private partnerships (PPP)

Governments expect PSRE to build links with the industry. Promotion of public-private partnerships (PPP) are now explicitly part of the missions given to PSREs, as a mean to transfer technology and knowledge from basic to applied research in the private sector (Tait et al., 2001). Examples of PPP in the realm of biological and agricultural sciences include the well-known alliance between Novartis and the University of California to support basic agricultural genomics research (\$25 million over five years) (University of California, 1998) or plant genomics platforms such as the French initiative Genoplante involving four PSREs and three private companies (€150 million over 5 years, 70% of which from public budget) (Joly, 2000).

Public-private partnerships involve, by definition, any type of innovation in which both the private and the public sector are interested to invest. However, genetic engineering benefits more than agroecological engineering from PPP as firms invest more in modern agricultural biotechnologies than in agroecological innovations (see section 3.2 p 340). Agroecological research is actually done by NGOs and not by private firms in several developing countries (Altieri, 1995). Moreover, an indirect but profound impact of PPP, which is a key finding of an external evaluation of the University of California-Novartis agreement, is that administrators and university scientists who participate in the university-industry relationships tended to define the public good as research that leads to the creation of commercialized products, narrowing the definition of public good towards private goods (Pew Initiative on Food and Biotechnology, 2003; Busch et al.,

2004). This fact, which is favourable to transgenic plants but unfavourable to agroecological innovations with a public good character, has been analysed as one of the consequences of the increased industry influence on public science (Slaughter and Leslie, 1997; Kenney, 1998)

In the end, PPP may induce a redirection of public funds towards the areas of research that lead to PPP if there is a perceived positive effect on economic growth (Pew Initiative on Food and Biotechnology, 2003). According to Levidow (2004), “even a small proportion of industry funding can influence overall research priorities: the tail can wag the dog”. Private research projects are thus amplified by public research (Food Ethic Council, 2004)¹²¹.

Another trend in public research-industry links has been privatization. Direct privatization of research infrastructures and resources has been an important feature of reorganization only in the UK. Indirect privatisation happened nevertheless in many countries through opening up the access to public funds for private research institutes, or through the “industry capture of research programmes”, e.g. through the increased presence of industry representatives in committees establishing research priorities (Alston et al., 1998b; Alston et al., 2001). This indirect privatization also favours the innovations in which the private sector invests at the cost of innovations that have a public good character (where benefits are not exclusively appropriated by the farmer, but are of wider public value as they produce large externalities).

Public-private division of innovative labour

There is a ‘division of innovative labour’ (Arora and Gambardella, 1994) between the various public and private research institutions in agricultural and biological sciences. Public-sector research focuses on basic research (scientific discoveries) while the private sector focuses on applied research and development (from discoveries to innovative products, from basic breeding lines to commercial cultivars). This division of the innovative labour is a determinant of innovation. Technological trajectories and sub-trajectories that will advance the most will be the ones where most research occurs at all levels (basic, applied and development) and in which both public and private institutions invest

Genetic engineering has benefited a lot from this division of innovative labour, which has been proved to be valid for agricultural biotechnologies by an analysis of patents issued in the U.S. between 1975 and 1998 and concerning biological sciences applied to plant agriculture (Graff et al., 2003; Graff, 2004). Graff et al. demonstrate that universities undertake early research in the evolution of technological technologies, yielding the most original and most general work, followed by start-ups that specialize in turning basic research into applied innovations while large corporations concentrate in later developments. Empirical studies have also proven that biotech industries depend on public science much more heavily than other industries (McMillan et al., 2000). The importance of public science can be measured by the frequency of citations of scientific publications authored by university researchers in patents. More than 70% of U.S.

¹²¹ The increased convergence between public research policies and industrial strategies has been called the industrialization of public research (Mignot and Poncet, 2001). The risks this closeness pose have already been experienced by several institutions: a narrow redirection of public research agendas, a disruption of long-term research and conflicts of interests (Lacy, 2000).

publications cited in agricultural biotechnology patents are authored by U.S. university researchers (Xia and Buccola, 2005).

The division of innovative labour is a positive factor for agroecological innovations for which private sector interest exist, such as biocontrol of insects. For agroecological innovations that have a public good character, such as agroforestry, it is rarely possible. First, the private sector does not invest in it (see section 3.2. p 340). Secondly, universities conduct little research on it as agroecological research is seen as 'development' rather than basic research (see 3.3.2).

Large basic research efforts in genomics -such as the U.S. Plant Genome initiative, the German Gabi programme, the Japanese Rice Genome Project or Genoplante in France- generate scientific knowledge that has the potential to benefit both trajectories. However, if the applied research and development efforts necessary for some agroecological sub-trajectories is ignored by private companies and by PSREs (see section 3.3. p 341), these have little chance to reach the farmer.

3.1.3. Imbalance in the power of lobbies

Since the early 1980s, developed economies have seen an increase in the influence of non-farm interest groups (providers of agricultural inputs, food processors, consumer groups, and environmental conservation groups) on agricultural policy and agricultural research policy (Alston et al., 1998b). Lobbies also influence technological paradigms and trajectories. Indeed, the development of a technological trajectory from its initial paradigm to experiments, to commercial products depends, let aside its intrinsic theoretical potential, upon the number and importance of the stakeholders that make the strategic choice to invest in this trajectory. Lobbies influence these strategic decisions, which justifies to make their analysis an integral part of SI approaches (Edquist, 1997).

The fact that strong lobbies back genetic engineering is beyond dispute. Biotech companies are structured in platforms such as Bio in the U.S. or Europabio in the E.U., which have an intense lobby activity towards states as well as international organisations. This lobbying activity has been very influential on public policies such as intellectual property rights (IPR) regime at the World Trade Organization, as well as on objectives of the research framework programmes at the European Commission (Balanya et al., 2003). Nevertheless, obstacles such as the 1999-2004 *de facto* moratorium on transgenic crops in E.U. were also met.

On the other side, environmental NGOs (Greenpeace, the Soil Association, etc) have focussed on banning transgenic crops or securing strong regulations for their development. The five-year EU moratorium on the commercialization of transgenic plants partly results from their success. However, by focusing their lobby on transgenic plants, these lobby groups did not push forward the research agenda for alternative technological paradigms such as agroecological innovations. The few scientist organisations which aim at pushing agroecology in the research agenda (Union of Concerned Scientists, 1996; European Science Social Forum Network, 2005) also face a much larger promotion of genetic engineering by mainstream and renowned scientific organisations (Royal Society et al., 2000). As for coordination, there are no equivalent to the life sciences industry platforms. One could adapt Kissinger's famous ironical quote on the E.U. to agroecology: "*Agroecology: what is their phone number?*".

This lobby activity also results in uneven media attention. In European countries, media have focussed on benefits and risks of transgenic crops, for better or worse. The stress

on potential risks has handicapped genetic engineering, while the coverage of its ambitious possible outcomes has kept trust on the potential of the technology.

Media, on a worldwide scale, have however not adopted a “technological choices” thinking, and compared transgenic crops with the alternative options. Coverage of alternatives is rare. Archives of The New York Times, for instance, contain 1328 references for ‘genetic engineering’ since 1981 against 1 for ‘agroecology’, 11 for ‘biological control’, 7 for ‘agroforestry’ and 0 for ‘cultivar mixtures’ (The New York Times, 2006). Agroecological innovations, when considered, are presented as innovations for organic agriculture, not as possible main agricultural practices tomorrow. This is of great importance as media channel public opinion, as communication theorist Bernard Cohen observed in what became a widely accepted communication theory: *“the press is significantly more than a purveyor of information and opinion. It may not be successful much of the time in telling people what to think, but it is stunningly successful in telling its readers what to think about”* (Cohen, 1963). The attention is thus drawn on risks and benefits of genetic engineering, not on alternatives such as agroecological engineering.

3.2. Private sector research

Innovation, and thus R&D, is a matter of survival for most private companies in capitalist market economies. Innovation is a tool to generate higher revenues and secure competitiveness. The global private sector investment in agricultural research reached \$11.5 billion in 1995, which is roughly one-third of total spending, but only 5.5 % of spending in developing countries (Pardey and Beintema, 2001). Moreover, the annual growth rate of privately performed agricultural R&D for all 22 OECD countries outpaces the growth of public agricultural R&D (5.1% vs. 1.8%, period 1981-1993) (Alston et al., 1998a). As a result, the private sector share of total agricultural R&D for OECD countries grew from 41% in 1981 to 50% of in 1993 (Alston et al., 1998a).

However, private companies do not invest equally in all technological trajectories: R&D orientations of private companies are determined by the possibility to secure sufficient future revenues. Private companies mainly invest in innovations that can be protected by patents or other forms of IPR regimes. In developed countries, private companies focus on agrochemicals, plant breeding, food processing, machinery and drugs; with plant breeding being the fastest growing sector (Pardey and Beintema, 2001; Heisey et al., 2005). Within patentable biological innovations, it has been shown that firms have invested more in modern agricultural biotechnologies between 1976 and 2000 than in other trajectories such as biocontrol of pests and diseases (Heisey et al., 2005).

A key event gave transnational companies (TNC) the green light for huge investments in genetic engineering. It was the U.S. Supreme Court decision in *Diamond v. Chakrabarty*, which allowed patenting on micro-organisms in 1980 and was later extended to plants (National Research Council, 2002). Top-rank TNC such as Monsanto or Novartis (now Syngenta) have in the 1980s made strategic decisions to orient their R&D activities into genetic engineering, and have invested in costly acquisitions to strengthen these strategies in the 1990s (Monsanto spent over US\$ 8 billion between 1996 and 1999) (Chataway et al., 2004). Private companies have directly led more than 80% of the field trials of transgenic plants in the USA (Information Systems for

Biotechnology, 2006)¹²². Three out of four US agricultural biotechnology patents are today in the private sector (Graff et al., 2003).

A few patentable agroecological innovations may also attract private actors, such as biological control (which leads to patents on biocontrol agents rearing methods). On the contrary, innovations in agroforestry systems can hardly be patented, are hard to promote as their benefits only come in the very long-term (wood is a long-term production) and are in a large part public good (positive environmental externalities such as carbon sequestration or biodiversity). Private incentives for such research is limited as private companies are unable to capture all the benefits resulting from these innovations (Sunding and Zilberman, 2001). Agroecological innovations such as cultivar mixtures or agroforestry have overall relied on the public sector for their development.

3.3. Public sector research establishments (PSREs)

The public agricultural research sector is composed of national and independent not-for-profit research institutes as well as universities. In this section, we focus on the internal organization of research systems, the influence of cultural and cognitive routines, and the influence of path dependence (Section 3.1 dealt with policy and strategic aspects).

3.3.1 Organization of research systems

Four organizational aspects ('rules of the game') influence technological paradigms and trajectories: the different visions of complexity and the main framework of agricultural research, the specialisation of research, the constraints linked to publication pressure, and the technology transfer mission.

Visions of complexity and the framing of agricultural research

Science deals with complexity by nature. Life beings and ecosystems are complex systems: both molecular biologists and agroecologists agree on that. However, the main scientific paradigm in ARS -reductionism- has different consequences for the two technological paradigms, partly because the relevant spatial and temporal scales of experimentations differ significantly for the two.

Scientific and methodological reductionisms indeed have several implications on the understanding of nature and the engineering of agricultural systems. Firstly, they induce a greater stress on ever-smaller levels of life as well as a simplification of Nature and its subsequent decomposition to fit the laboratory realms. Secondly, reductionism also influences the framing of the performance assessments of agricultural systems. It induces a greater focus on the assessment of direct, local and short-term impacts, while it leads to underestimate or neglect the indirect, global or systemic and long-term impacts. Stress is put on easily measurable variables (such as gross yield) rather than those that are much more complex to measure (such as sustainability and externalities). It encourages scientists to focus on yield rather than economic optimum, on

¹²² Calculations based on data from U.S. Information Systems for Biotechnology (Information Systems for Biotechnology (ISB), 2006). The influence of the private sector is even larger than 80%: a large share of field tests submitted by universities is the result of public-private partnerships. Field trials permits grew from 0 in 1986 to 107 in 1991, to more than 1000 every year since 1998, totalling 12000 field trials permits in 2005.

monocultures rather than multiple cropping systems. Even econometric methods of calculating rates of returns on investments in agricultural research only take into account one objective (total net benefits, or growth), instead of taking into account externalities and multiple socio-economic and environmental objectives (Alston et al., 1995). Advances in environmental economics and ecological economics are yielding new and better-adapted methods, which are nevertheless not yet widely diffused in ARS and extension services.

This situation has different consequences for the two technological paradigms.

Molecular biology and genetic engineering are about complexity at the cell and gene levels, which can be managed in a laboratory (the core of most research institutions). The technical and technological evolutions of the three last decades have greatly helped scientists to deal with this type of complexity. Indeed, computers deal with more and more data while DNA sequencers can sequence longer strands of DNA more quickly. Machinery spending is a barrier for some institutions, but it is overall a cost-effective investment as these technological evolutions have allowed a 'taylorization' of this type of research. The transposition of a transgene in a host plant can indeed be detected by easy means in the lab within days, and lead to scientific discoveries that are published in renowned scientific journals without need for larger-scale experiments. The framework of large-scale agricultural experimentations is also favourable to genetic engineering as the benefits of transgenic plants, usually grown in monocultures, are local and direct, and consequently taken into account in classic agricultural performance assessments.

Agroecological engineering, on the other side, is about complexity up to the ecosystems level. Ecosystems are at the core of agroecological research along with diversity and multidisciplinary. With this respect, the main mode of experimentations is not as favourable as in the case of genetic engineering. A very illustrative example of this complexity is shade-grown coffee groves (coffee groves grown under high-canopy trees) in Central America (Staver et al., 2001). Scientists had to find out what where the optimal shade conditions that could minimize the entire pest complex and maximize the beneficial microflora and fauna while maximizing yield and coffee quality. Variables included levels of light and humidity, pest complex, diversity of trees and cultivars of coffee, shade management, altitude, climate and soil. New methods, software and tools help to analyse these systems. Such highly context-dependent research is however not open to standardization and taylorization that increase the productivity of scientists working in the other trajectory (also see section 'publish or perish' p 343).

Additionally, agroecological research requires on-farm experiments, large-scale and long-term experiments for a number of sub-trajectories, in addition to laboratory experiments. Large-scale experimentations are for instance requested for research on cultivar mixtures as scale is affecting results. One of the most well-known experimentation involved above 3,000 hectares of Chinese rice fields (Zhu et al., 2000). Long-term experiments are unavoidable in agroforestry research. The productivity assessment of a newly-planted wheat-walnut agroforestry system takes years and requires real-size experimentation, which can often only be done by farmers due to the cost of large-scale experimentations (Auclair and Dupraz, 1999). Many key topics are consequently constrained by the conventional short-time frame of research grants (Garrett and Buck, 1997).

The reductionist performance assessments hinder agroecological engineering, particularly the sub-trajectories that focus on higher levels of complexity or with strong positive environmental or economic externalities. For instance, agroforestry systems are

also carbon sinks, help to improve soil fertility and biodiversity, while also bringing new revenues to farmers. Such complex and intertwined aspects are weakly taken into account in classic measurements (gross yield assessment, etc).

It is thus agroecological innovations that are thought to be too complex to deal with, which could seem paradoxical given the complex technologies used in genetic engineering.

Specialisation vs. interdisciplinarity

The ever-growing extent of scientific knowledge has induced a growing specialization of science. Scholars are increasingly becoming specialist of their specific field of research and less and less generalist. This specialization of research is a determinant of innovation because the two technological paradigms have different needs for specialization and multidisciplinaryity.

Genetic engineering fits well in the growing trend of specialisation of science. The development of transgenic plants implies the collaboration between various disciplines, but this interdisciplinarity remains inside the realm of natural sciences, and the scientists involved share common cultures, languages, approaches, methods and techniques.

On the contrary, agroecological engineering requests a great degree of interdisciplinarity, as it needs a greater integration of agronomical, ecological as well as socio-economic dimensions. Agroecology is indeed linked with a particular conception of socio-economic development which involves participatory development as well as bottom-up interdisciplinary approaches (Altieri, 1989; Altieri, 1995; Dalgaard et al., 2003). The interdisciplinarity involves in this case natural sciences and social sciences. Collaboration between farmers, agronomists, pathologists, plant breeders, foresters but also social scientists such as sociologists and anthropologists is needed. Agroecological engineering demands particular efforts in scientists-farmers relationships. This type of collaborations does not fit with the culture and organisation of many academic institutions. Development of agroecology also depends partly on institutional innovations that improve knowledge-sharing processes (Uphoff, 2001; Uphoff, 2002). Yet the importance of social sciences, which could contribute to the understanding and improvement of institutional innovations, is underestimated in ARS. According to Dalgaard (2003), barriers to interdisciplinarity are a major obstacle to the development of agroecology. These barriers are cultural and organizational, such as difficulties securing research grants, going on exchange programs, publishing, gaining recognition, securing a job, or being promoted (Bauer, 1990; Nissani, 1997). The specialisation of research had already been cited as a constraint to a greater development and use of integrated pest management (IPM) (Waibel and Zadoks, 2005).

'Publish or perish' constraints and the organization of scientific publications

Universities are key players in agricultural research: they represent a 43.2% share of public agricultural R&D spending in all OECD countries (Alston et al., 1998b). The top priority of scientists in academic institutions is to improve scientific knowledge, and to be first to announce an advance in knowledge. Publications are non-market incentives to value this priority in scientific discovery. The 'publish or perish' rule is a determinant of innovation as different types of sciences and innovations are not all equal as far as publications are concerned.

Genetic engineering and molecular biology are perfectly adapted to the world of scientific publications. Such research is well regarded by the academic community. The difference of academic prestige between different types of sciences and of technological paradigms may be grasped by a simple bibliometric analysis of some of the most appraised scientific journals: Nature, Science and the Proceedings of the National Academy of Sciences. A simple keyword search for genetic engineering found 358 papers, while a similar keyword search for agroecological engineering found only one paper, 2 papers for crop mixtures and 2 for agroforestry¹²³. Impact factors (IF) are also influential. Research representative of genetic engineering is published in scientific journals having IF as high as 29.3, while agroecological research is published in journals with IF ranging from 0.4 to 4.5¹²⁴. This reflects the fact that the most appraised scientific journals focus on the smallest levels of organization in life (the plant, the cell and the molecular level). The above situation is partly a result of the size of the various research communities. Still, it clearly favours genetic engineering at the cost of agroecological engineering in terms of prestige, and consequent power to attract young scientists for instance.

The development of a transgenic plant can also be separated in a handful of publishable results, from the understanding of a particular gene in an original organism, to the method and processes to transpose this gene in a host plant, to the assessment of the activity of the transgene in the host plant. The 'taylorization' of research goes up to the publication level. Agroecologists also publish separate parts of their work but the very precise goal of agroecology is to encompass an agroecosystem as a whole. Innovations in the field of agroforestry, for instance, take years before producing any publishable results (there are wide differences: within agroecological engineering: biological control and agroforestry are not equal). Scientists working on agroecological trajectories that necessitate long-term and large-scale research projects -which can be indivisible in several publications-, publish thus collectively fewer papers. Genetic engineering also requires large-scale, field experiments. However, given the division of innovative labour between public and private sectors, private firms do these experiments without publication constraints. Academics may focus on basic research.

This determinant ('publish or perish') is increasingly important: publications records are taking more and more importance in formal research assessment procedures (as in the U.K.) as well as in international rankings, such as in the well-known Shanghai Jao Tong University international ranking. Difference in 'publication productivity' is an incentive

¹²³ ISI Web of Science, ISI Web of Knowledge, October 25th, 2006. Databases=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI; Timespan=1987-2006.

¹²⁴ Journal Citation Reports and ISI Web of Science, ISI Web of Knowledge, November 15th, 2006. Technological trajectories were first defined by keyword lists, then the scientific journals with highest publication records for these keyword lists were selected and their IF looked upon. Illustrative examples are Nature (29.3), Nature Biotechnology (22.7); Plant Physiology (6.1), Plant Journal (6.9), Plant Molecular Biology (3.3), Agriculture, Ecosystems & Environment (1.5), Biological control (1.5), Crop Sciences (0.9), Agroforestry Systems (0.7). Another way to look at the same thing is to analyse IF of the 20 most influential journals (those with highest impact factor) in ISI categories representative of each trajectory. Similar results are found. Publications most representative of genetic engineering are published in the following ISI categories of scientific journals: biotechnology and applied microbiology, plant sciences, biochemistry & molecular biology. The 20 most influential scientific journals in these categories have IF between 2.7 and 33.4. Publications most representative of agroecological engineering are agronomy, agriculture/multidisciplinary, ecology and environmental sciences. At the exception of the category 'ecology' (IF between 3.3 and 14.9), most influential journals have IF between 0.3 and 5.3.

to hire more molecular biologists, as they contribute more than agroecologists to the global competition for highest rankings.

Technology transfer mission: patents, spin-offs and extension

Academic institutions such as universities and agricultural-related public-sector research establishments (PSREs), next to their mission to improve scientific knowledge, are also given the mission to transfer knowledge and technology from basic to applied research to the private sector. To do so, PSREs are expected to file patents on their exploitable results and to launch spin-off companies (Tait et al., 2001). However, technological trajectories are not equally fitted to generate patentable results. Possibilities to create spin-offs are also unequal. Universities that rely increasingly on non-public money have thus incentives to engage in sub-trajectories that lead to patents and spin-offs.

Another mission of PSREs as well as of other dedicated centres is technology transfer to farmers (extension). The explicit objective is to improve the situation of farmers and to face new challenges, such as environmental issues. The improvement of technologies that can be of direct use to farmers is stressed (choice of best fungicide mixtures, best fertilizers subdividing, optimal timing of spraying). This results in the improvement and strengthening of the dominant agricultural system (modern input-intensive monoculture), which is a positive factor for genetic engineering as transgenic crops fit well in this system. On the contrary, agroecological innovations do not become a priority, as they do not fit with the existing agricultural system.

3.3.2. Cultural and cognitive routines (values and world-views of scientists)

Cognitive and cultural rules or routines make scientists look in particular directions and not in others (Dosi, 1982; Nelson and Winter, 1982). It has indeed been acknowledged for long that values and worldviews interfere with science (Lowrance, 1987; Longino, 1990; Lacey, 1999) as well as with risk assessment, expertise and public policies (Jasanoff, 1990; Stirling, 1999b; Carr and Levidow, 2000; Huesemann, 2002).

We identified four important cultural or cognitive routines (or ‘assumptions scientists frequently make’) that generate an imbalance between technological paradigms: assumptions on current, future and past agricultural systems and assumptions on the ethical value of nature and food, assumptions on the nature of innovation. These assumptions are also valid for scientific advisers of public authorities.

Assumptions on current and future agricultural systems

An assumption frequently made by scientists is that modern agricultural systems request only small adaptations. It is acknowledged that modern agricultural systems currently face problems such as their dependence on too many pesticides interventions, but the validity of the model in itself - monoculture, reliance on a high level of external inputs such as fossil fuels- is rarely put into question.

Concerning the future, scientists mainly think in terms of *most probable* future agricultural systems, not *most desirable* future systems, i.e. they seem to forecast future agricultural systems by integrating most probable trends. By far the most probable trend today is the globalization and liberalization of agricultural commodity markets that pushes all regional agricultural systems into global competition (Cerny, 1997), and the strengthening of the strategies of the dominant actors in agri-food transformation and retailing. As this exacerbates economic pressures on farmers’ strategies, the pursuit of

input-intensive systems is the most probable development for most regions of the world. Most scientists frame their research following these constraints, as if there is no alternative to these trends.

Genetic engineering fits very well in these expected trends. Indeed, it doesn't imply many changes in current farming systems attributes such as monoculture. It only uses different types of seed, inputs (herbicides, insecticides) and management schemes. It is thus seen as 'potentially transferable' to farmers.

Innovations and systems closest to the principles of agroecology face the opposite situation as they question the current agricultural system and challenge its fundamentals, such as monoculture or crop protection relying mainly on external interventions. Many scientists do not explore these agroecological innovations because "*it goes against the flow*", as explicitly put by one scientist for not exploring the possibility of cultivar mixtures to create wheat production systems less prone to risks of fungal diseases. The validity of the theoretical grounds of these sub-trajectories is not questioned -whether for biological control, cultivar mixtures or agroforestry. Scientists and stakeholders mainly refer to current socio-economic barriers impeding the use of similar innovations by farmers to justify the fact that no research was made on these sub-trajectories. Current barriers are thus seen as permanent immovable obstacles.

Assumptions on past agricultural systems

Past agricultural systems are rarely seen as sources of insights for innovation in mainstream agricultural science. Modernization remains an important leitmotiv in ARS. Insights for innovation rely on experimentations, on concepts from imagination or from the adaptation of the industrial model or organization.

Genetic engineering has little need of insight from past agricultural systems. As the barrier of species can be crossed, the use of genes from other plants, bacteria or animals is the source of innovation. The way past agricultural systems are valued in ARS is not a determinant of innovation for genetic engineering.

On the contrary, agroecology value past systems as source of insight as well possibilities for improvement. Examples or 'rediscovered' systems are rice-based systems combining rice terraces and agroforestry systems in Madagascar, diverse rice-fish systems in East-Asia, waru-waru ridge fields that control drought and frost on the Andean plateau and Mesoamerican milpa-solar cropping system in Mexico. These past agricultural systems have today been recognized as Globally Important Ingenious Agricultural Heritage Systems (GIAHS), following a recent FAO-UNDP project aiming at their conservation and sustainable development (Esquinas-Alcázar, 2006; Ramakrishnan et al., 2006). Research on indigenous knowledge and traditional systems have only recently become significant in ARS. Publications records show an upward trend for these topics since the early 1990s. However, research on some of these important systems remains virtually non-existent (< 5 publications on waru-waru and milpa-solar systems)¹²⁵. Knowledge from this research could thus progressively become a positive determinant for agroecological innovations.

¹²⁵ CAB Abstracts and ISI Web of Science databases, ISI Web of Knowledge, October 23rd, 2006

Assumptions on the ethical value of nature and food

Scientists have different ethical views of about nature and food. Different visions about nature prevail. One is seeing nature as an object that can and must be transformed with our technological means to fit our needs. This view is at the basis of the industrial organization of modern agricultural systems (monoculture, intensive use of machinery and inputs). In this view, transgressing the barrier of species thanks to transgenesis is seen as a tremendous opportunity, not an ethical issue. Another view is to see nature as a source of insight to create our own productive systems. In this view, our best agricultural systems are those that succeed at making the best compromise between a natural ecosystem and the necessity of highly productive systems to feed a growing population. In this view, transgenesis is a very strong ethical issue and should not be used, as it is seen as risky and not necessary. Yet not all agroecologists are opposed to genetic engineering (see ‘complementarity’ in discussion section).

Similarly, there are two visions about food. Food can either be seen as a commodity or as a cultural object. Both visions have different consequences on the development of the two trajectories.

Assumptions on the nature of innovation (biotechnological and agroecological innovations)

Scientists have different assumptions on the nature of innovations -and of research- that generate an imbalance between technological paradigms.

The first difference relates to the nature of innovations. Molecular biology and genetic engineering are seen as ‘breakthrough’ science bringing real scientific discoveries, which lead to fundamental -or radical- innovations. Agroecological innovations are taken as ‘incremental’ innovations. But agroecology has also a record of success stories that prove it can be a breakthrough system innovation in some cases, bringing significant positive change. Success stories include the restoration of traditional Incan terracing systems that lead to increase in productivity up to 150% (Parrott and Marsden, 2002), wheat-poplar agroforestry systems that produce as much ‘grain+wood’ output on one hectare than do 1.3 hectare of separate monocultures (0.9 ha of wheat and 0.4 ha of poplar) (SAFE, 2005) and barley cultivar mixtures resulting in a reduction of powdery mildew incidence and fungicide use by 80% on 350.000 hectares in East-Germany between 1984 and 1990 (Vallavieille-Pope, 2004).

Genetic engineering is consequently seen as a provider of ‘total’ solutions to agricultural problems while agroecological engineering would only offer ‘partial’ solutions that could merely contribute to deal with the problem, but only as a complement to other strategies. Transgenic herbicide-resistant plants (a breakthrough innovation) are indeed totally resistant to broad-range herbicides compared to non-resistant plants. On the other hand, cultivar mixtures (an incremental innovation) only reduce the incidence of diseases but do not eliminate them. However, in the case of resistance to diseases or drought, which are quantitative traits, transgenic plants are expected to have an improved, but not complete resistance. This difference is thus true for some cases but cannot be drawn into a general principle.

The second difference is the widely shared belief that transgenic plants have universal value, which is not the case for agroecology (Lacey, 2002). Genetic engineering would be able to solve all problems (diseases, drought, nutrition, etc) in all places. Agroecological research would only have a value for some problems and in some

regions. Agroecological innovations are indeed regionally oriented as they aim at creating or improving locally adapted systems. Agroecological innovations are also sometimes seen as a 'return to old times', worth of curiosity, but not of professional interests. Their 'low-technology' aspect has also been raised as one of the possible cause for the weak interest they receive in ARS. As Wolfe, a prominent scientist working on cultivar mixtures, puts it: "*Is it just too simple, not making enough use of high technology?*" (Wolfe, 2000).

Three major additional arguments used by scientists to dismiss many agroecological innovations as part of a technological paradigm with universal value need to be considered.

Firstly, agroecological innovations are considered to be 'theoretically valid' but 'not feasible in modern agricultural systems', as it has previously stated (agroecology 'goes against the flow'). Other agroecological innovations are dismissed because their record of results for commercial real-scale applications is considered too low. This is clear in the case of elicitors of induced resistance, a new possible way to protect crops by inducing plant defence mechanisms. While the early fundamental research on this sub-trajectory dates back to the 1940 (Kuc, 2001), applied research on commercial crops has been much more recent. For apple orchards in Belgium, research programmes such as screening of the thousands possible effective molecules veritably started in the 2000s and is only starting to yield results (Lateur, 2002). Results have not been breakthrough. Many scientists concluded elicitors are a bad trajectory because it has not yet produced applications that are transferable in the fields, yet it should be considered as a fairly new trajectory, just like transgenic diseases-resistant apple trees (Vanloqueren and Baret, 2004).

Secondly, many scientists see agroecological innovations as innovations 'for organic agriculture'. Organic agriculture is indeed open to agroecological principles by nature, and requires alternatives to current practices such as chemical pesticides by necessity. The link between agroecology and organic agriculture has however a negative reverse side for the development of agroecological engineering. Indeed, a mainstream view is that organic agriculture is unable to feed the world as it is less productive, an opinion that is proven wrong by recent research on projections of world transitions to organic agriculture (Badgley et al., 2006; Halberg et al., 2006a; Halberg et al., 2006b). Many agroecological innovations are thus considered as useful solely for organic agriculture as a niche market representing 2-3% of the agricultural surface. Research funding for these is expectedly accordingly low.

Thirdly, many scientists also understand agroecological innovations not as true research but as 'development', or even repeated applications of known science and old concepts. This was clearly illustrated by a scientific adviser for a public authority responsible for agricultural research funding. Speaking of agroecological research in orchards, she concluded: "*It is very difficult to finance a research that is not anymore a 'real one', i.e. when the scientists have already put into evidence all the scientific laws they could put into evidence, even if that research project needs a large-scale validation. These projects should systematically go to the Development department but it's hard and it rarely happens: it seems too 'research' for the Development department.*"

3.3.3. History: path dependence in agricultural research systems

The last determinant results from the accumulation of all the determinants during a long period of time. We argue path dependence is a systemic emergent property of ARS that

influence on technological paradigms and trajectories. Path dependence has been suggested to explain the stability of socio-technical systems, particularly the sensitive dependence of competing technologies to initial conditions when increasing returns occur (David and Arthur, 1985; Arthur, 1989)¹²⁶. Among several technologies that perform similar functions and compete for adoption by economic agents, one technology may become dominant, even though it may have an inferior long-run potential. This ‘path dependant’ process is self-reinforcing and may lead to a technological ‘lock-in’ situation in which the dominant technology excludes competing and possibly superior technologies (Liebowitz and Margolis, 1995).

The existence of path dependence and lock-in processes has been shown in the realm of agriculture, such as for pest control strategies, even though most of the path dependence literature focus on technological change in industry (Cowan and Gunby, 1996). Here, the concepts of path dependence and lock-in are applied to the analysis of the adoption of competing technological paradigms by scientists and agricultural research systems.

Path dependence is of capital yet often underestimated importance in agriculture. Plant breeding is one of the rare sciences where the importance of past research efforts is well understood and easy to quantify. It has for instance been shown that Pioneer 2375, a wheat variety launched in Minnesota in the early 1990s, relied on varieties developed or discovered as long ago as 1873, and that over 36% of the varieties or breeding lines incorporated in it existed before 1940 (Pardey and Beintema, 2001).

The concept of ‘knowledge stocks’ (Adams, 1990) has been applied to agricultural research in order to quantify the importance of past research efforts (Pardey and Beintema, 2001). Knowledge stocks are money measures of the stocks of scientific knowledge. It is an alternative measure of scientific activity beside scientific publications and patents. The U.S. accumulated stock of agricultural knowledge in 1995 was 11 times more than the amount of agricultural output produced during that year. This means that “*for every \$100 of agricultural output, there existed a \$1,100 stock of knowledge to draw upon*” (Pardey and Beintema, 2001)¹²⁷. These observations are of utmost importance as they demonstrate that modern agricultural systems are dependent of a large science base, not only of public subsidies as it is largely known¹²⁸. The current and past orientations of both science and agricultural policies are thus capital.

Genetic engineering, a breakthrough innovation, has rapidly met a growing success in research systems due to two elements. Firstly, it fitted the main scientific approach. Following the reductionist and positivist scientific culture, the development of transgenic plants is a logical step in the evolution of genetics and biological sciences, after the DNA discovery and recombinant DNA experiments. Genetic engineering thus comes from the interior of research systems. Secondly, genetic engineering fitted with the contemporary technological regime shaping agricultural systems for decades and

¹²⁶ Increasing returns to adoption may be of three types: scale economies (production costs decline as fixed costs are spread over an increasing production volume), learning economies (costs are reduced and performance is improved as specialized skills and knowledge accumulate through experience, cfr ‘learning by doing’) and adaptive expectations (increasing adoption reduces uncertainty among producers and users) (Unruh, 2000).

¹²⁷ In the United States, data allow calculations of knowledge stocks from 1850 onwards. Knowledge stocks are expressed as percentage of agricultural GDP to allow cross-countries comparisons and a depreciation rate of 3% has been used. Knowledge stocks for Africa are twelve to fourteen times lower than for the U.S.

¹²⁸ Public supports to farmers represent 29% of farm receipts in OECD countries (OECD, 2006).

with the industrial approach that characterize agricultural sciences for more than a century (Bawden, 1991; Weiner, 2003). Current transgenic plants have indeed a 'technological coherence' (Possas et al., 1996) with chemical engineering, another major trajectory that shapes agricultural systems. Path dependence in ARS is also the consequence of feedbacks from the structural changes of agriculture that previous agricultural research efforts partly shaped¹²⁹.

Agroecological engineering, on the contrary, is not a technological breakthrough. It is however a revolution in matter of scientific culture and frame of reference (cfr section on cultural routines p 345). Yet the ecological approach, as well as participative research approaches that are closely linked to many agroecological innovations, have not spread to all levels of agricultural research systems (Weiner, 2003). It has only moderately influenced agricultural sciences and systems. Integrated pest management has for instance become a reference. However, the true application of ecology to agriculture, agroecology, has stayed on the margins of agricultural sciences, as it is distant from the main scientific approach as well as from the technological regime of modern agricultural systems.

Interactions among all the determinants of innovation have created a technological and institutional lock-in situation which has 'locked-out' agroecological engineering, while opening up to genetic engineering. The mechanisms by which socio-technical systems, rules and social groups provide stability have been thoroughly described by Geels (Geels, 2004). As competencies, skills and knowledge (cognitive capital) are hard to build and material investments costly and not perfectly multi-functional, a change of scientific trajectory implies high switching costs¹³⁰. These switching costs favour incremental progress along an established technological trajectory rather than a change of paradigm and trajectory. Past and current technological paradigms and their associated trajectories have thus profound and lasting effects on ARS, since current innovations have their roots in past strategic decisions and research efforts.

D. Discussion

Well-known and broad models of the interactions between research and innovation, such as the Triple Helix model of university-industry-government relations or the Mode 2 knowledge production model have been suggested and much debated (Gibbons et al.,

¹²⁹ The U.S. National Research Council, which lead a large effort to analyse the importance of this influence among the others drivers of structural change, has concluded that public-sector agricultural research was an "important but not exclusive" factor of structural change (National Research Council, 2002). The NRC Report states "the commodity and production orientations of public-sector agricultural research have contributed to concentration in the industry". The potential structural impact of research is illustrated by the role of the public-sector research in the development of the mechanical tomato harvester and breeding of thick-skinned tomatoes, which reduced the need for farm labour and led to a concentration in this sector. The feedback effects of the resulting concentrated agricultural operations and food chains are that these actors now lobby the research agenda for their sake.

¹³⁰ Scientists have been educated in a particular way and have built particular competencies that enabled them to be best at some technological paradigms and not others. The cost to move from one research theme to another is too high (knowledge, reputation, networks, access to research grants). Research centres have also invested in infrastructures and machines that need to be paid off or that gives a comparative advantage to the centre for one or several particular and often very specific scientific areas.

1994; Etzkowitz and Leydesdorff, 2000). In-depth analyses are however still needed and useful. Major multilateral institutions are for a matter of fact leading a global assessment of agricultural science, knowledge and technology (IAASTD, 2006).

Thanks to the combination of the SI approach and principles from sociology of innovation approach such as actor-network theory, our analysis goes beyond evolutionary economics, from which the concepts of technological paradigms and trajectories emerged.

The systematic and detailed analysis of the determinants of innovation, as developed by Edquist (Edquist, 2001) contributes to demonstrate that technologies and innovations are not ‘natural solutions’ (Possas et al., 1996). Our analysis shows that the process by which one paradigm is favoured over the other is the result of interactions between many factors, and not a deliberate and planned movement.

However, the SI approach shows that while genetic engineering and agroecological engineering both “make sense and make science”, scientists -or ARS as entities- have a ‘variable geometry’ approach to them. Genetic engineering is recognized as a technological trajectory while it is not the case for agroecological engineering. The scientists’ vision towards genetic engineering is actually dynamic (genetic engineering has produced results in the past, it still does and it has potential for future possibilities: it is a technological paradigm and trajectory). The vision is static when it comes to agroecological engineering (scientists acknowledge that agroecology exists, but they do not consider the innovation possibilities along that line).

Perhaps this ‘variable geometry’ approach is due to the absence of a strong integrated vision of agroecological engineering. An integrated foresight would take into account possibilities of innovations from the different agroecological sub-trajectories (biological control, crop heterogeneity, agroforestry, etc) as well as the possible synergies between them. This could lead to wheat cultivars bred in order to be best productive in cultivar mixtures, grown in agroforestry systems which would also include beetle banks, and use mass releases of aphids for biocontrol of pests.

The analysis of the negative influence of most determinants of innovation on agroecological engineering establishes the presence of a ‘system failure’ in ARS, as ARS do not fully “create and diffuse technological opportunities” (along the agroecological paradigm), which is one of the functions of SI (Edquist, 2001)¹³¹. Our observations of innovation dynamics within ARS naturally complement previous analyses, such as those that focus on global public policies (Parayil, 2003).

The practical ways to systematically reduce the imbalance between the two paradigms in ARS are beyond the scope of the paper. We focus instead on the reasons that explain why public authorities and scientists should act in order to modify this imbalance. Innovation policies aiming at improving agricultural sustainability should reduce the imbalance for several reasons: 1) climate change and issues about the uncertainties on the universal potential of genetic engineering, 2) issues of complementarity between technological trajectories, and 3) issues linked to the importance of niches and of scenario analysis. We discuss these issues in the following sections then give a few possible research orientations.

¹³¹ This ‘system failure’ is different from the ‘market failure’ in research that indicates an under-investment in research efforts by the private sector.

Expected complementarity between paradigms and trajectories

The two paradigms define ‘problems’ very differently. Consequently, the innovation logics are very different: engineering plants or systems. However, innovations from both paradigms are supposedly complementary as the ‘Doubly Green revolution’ proposition emphasizes (Conway, 1999). The complementarity between the two paradigms is however rather an expectation for the future rather than an achievement of current transgenic plants. It is expected for instance that drought-tolerant transgenic plants could be used in agroecological systems designed to maximize resilience to climate extremes, to stock carbon and to retain water. Two issues are at stake as far as complementarity is concerned.

Firstly, will these types of transgenic plants be developed in the future? Hubbell and Welsh (1998) have suggested an interesting distinction between unsustainable, transitional and sustainable traits in transgenic crops. While current transgenic plants do not fit in these authors’ definition of sustainable traits, many engineered traits could be truly sustainable in their view, such as varieties tolerant or resistant to extremes temperatures and drought or plants with enhanced nitrogen-fixing abilities. No transgenic crops with ‘sustainable’ traits had been brought to the market in 1998 (Hubbell and Welsh, 1998). This is still true in 2007. Although field trials for ‘sustainable’ traits exist, they have not lead to new commercialisations. Herbicide-resistant and *Bt* insect-tolerant transgenic crops make 99% of the transgenic crops acreage. The basic factors explaining this situation identified by Hubbell and Welsh are still valid. These barriers are the current structure of the biotechnology industry, the patent system protecting transgenic plants and the technical complexity of engineering for traits determined by several genes. Biotech companies also consider the next generation of transgenic plants as being much more difficult to achieve (Tait et al., 2001). Separate and diffuse ownership of rights needed to produce a new plant may also impede the development of plants with improved traits¹³². The likelihood that such transgenic plants will never be developed, or widely diffused, is an eventuality that needs to be taken into account.

Secondly, if technological trajectories are to be used together in the future, their complementarity needs to be recognised. It is not the case today. Proponents of genetic engineering often have a very poor knowledge of agroecological innovations. They strongly deny their potential. The claim is that genetic engineering is the only alternative to feed future generations and that the technology will solve all challenges (environmental, nutritional, energetic, etc) (Lacey, 2002). Many agroecologists, on their side, object to genetic engineering, insisting on the fact that risks associated with transgenic crops cannot be under-estimated in a precautionary principle and sustainability approach. They argue that improved cultivars, including those with sustainable traits, can be developed with marker-assisted breeding. They also advance that ecology is the right model for agriculture: *“Ecology is a relatively young science that cannot yet deliver answers to many of the questions agricultural researchers are asking. But this does not mean that the answers can be found elsewhere. One cannot solve traffic problems through the engineering of automobiles alone. One needs to use*

¹³² The public R&D spending for biotechnologies supposedly developing ‘sustainable traits’ are much lower than those of private companies, reducing the chance of success. In 1998, the CGIAR centres collectively spent just \$25 million on biotechnology research while Monsanto invested \$1.26 billion in R&D (Pardey and Beintema, 2001).

traffic engineering, even if traffic engineering is not as highly developed as automobile engineering” (Weiner, 2003).

A possible complementarity thus requires a shared definition of agricultural sustainability, a common vision of future agricultural systems, clarification on the likely developments in both trajectories, a clarification on long-term risks associated with genetic engineering, and clarification of the conditions of the complementarity.

Importance of niches for a transition towards sustainability

The underdevelopment of agroecological engineering is bad for possible future complementarities and uncertainty issues discussed above. It is also bad because agroecology may be important to fasten the transition to agricultural sustainability, even if it poorly fits with the current main technological regime.

The problem of agroecological engineering is that it is actually seen as a niche closely linked to organic agriculture instead of possible future mainstream technological trajectory. The importance of niches is actually underestimated. Scholars in sociology of technology and evolutionary economics have pointed to the importance of niches (locations where it is possible to deviate from the rules of the existing regime) in the stimulation of radical innovations to counterbalance the consequences of path dependence and lock-in (Geels, 2002, 2004). Indeed, as innovations may have an initial low performance, they need protected spaces, what niches are. A niche enables the development of innovations through learning processes, technical developments, or adapted public policies. For instance, Belz (2004) explains the crucial importance of the niche period of organic farming in Switzerland (1970-1990) for its subsequent growth. Today, agroecological innovations such as cultivar mixtures or agroforestry systems are radical innovations, which have both emerged in protected spaces (involvement of research and extension services, subsidies...), but have few chances to develop outside their niches as long as the socio-technical system around them is stable. However, ‘windows of opportunity’ for the development of novelties are created when tensions and misalignment between the technological regime and the activities or needs of societies occur (Geels, 2002, 2004). Climate change and rising cost of energy are examples of tensions that create windows of opportunity for agroecological engineering (Kirschenmann, 2007). Other potential sources of tensions are negative externalities or changing users preferences. Niches play thus a crucial role in transitions, and this needs to be taken into account in science and innovation policies

Open innovation policies and scenario analysis

Innovations may be complementary in the fields, but they still compete in the laboratories. If both trajectories “make sense and make science”, it need to be fully acknowledged in resources allocations as well as in science & innovation policies.

Comparative forecasting exercises and scenario analysis need to be performed in order to explore the potential contribution of the two paradigms to solve current and future challenges. It is not the case today. Forecasting exercises on agricultural biotechnologies have been plentiful (Sager, 2001; Cabinet Office Strategy Unit, 2003; Reiss and Strobel, 2003). Yet very few prospective analyses have been made to forecast where our agricultural systems could be in 10 or 20 years if massive investments in agroecological innovations took place now in science policy as well as in agricultural policies. The cause is that many scientists and stakeholders do not consider

agroecological engineering as a technological trajectory. Instead, advocates of biotechnologies push for science policies specifically adapted to biotechnologies.

Scenario analysis -comparative forecasting exercises- have to take into account the fact that the two technological paradigms have very different visions of the desirable socio-economic development for the future, and face very different situations in terms of their links with current institutions and norms.

Concerning socio-economic development, a large share of agroecologists challenge economic globalization, agricultural trade liberalisation, and the current view of what a productive and sustainable agricultural system is (The International Commission on the Future of Food and Agriculture, 2003). Agroecologists privilege alternative food systems that go against the mainstream trends, such as agro-food chains operating at a regional scale, or based on closer farmer-consumer relationships, or product networks that mobilize distinct and localized resources and have a strong identities (Goodman and Watts, 1997; Whatmore and Stassart, 2003; Allaire and Wolf, 2004). It is also argued that, if positive externalities (for example long-term soil fertility, carbon sequestration, biodiversity and absence of pesticide run-off) are taken into account, agroecological systems outperform monoculture systems.

As far as norms and institutions are concerned, transgenic plants are protected by patents and promoted by large well-resourced multinationals. Agroecological innovations, especially those with a public-good character and strong positive externalities, necessitate other types of institutional innovations. Public subsidies to farmers and research credits to scientists are legitimate incentives for their development and adoption. But agroecological engineering as a paradigm needs institutional innovations that will fill in the role that patents, spin-off companies and multinationals have played for breeding or genetic engineering. A variety of institutional and organisational innovations have already emerged, such as seed exchange networks or farmer field schools (Uphoff, 2001; Uphoff, 2002) and ‘farmer-entrepreneurs’ that diffuse agroecological innovations with a wide range of techniques (Ashoka-Innovators for the Public, 2002; Bornstein, 2004).

Further research orientations

We have chosen to follow a qualitative, multidisciplinary, systems approach. It faces some of the critiques that have been addressed to the general SI approach¹³³. Further research along three directions -empirical research, improved use of existing concepts and institutional innovations- would greatly enrich the picture.

First, empirical research could complete the analysis of determinants of innovation, that have been presented here as hypotheses (cfr Table p 335). Qualitative and quantitative methods such as focus groups, Delphi method or broad-scale surveys could hierarchize the determinants and sharpen the analysis by focusing on specific objectives (such as the possible temporal evolutions or geographical variations of the determinants); or on the level of awareness and agreement among agricultural scientists with these determinants.

¹³³ It is argued that the SI approach is an ‘approach’ and not a theory because of the “vague definition of boundaries and the intuitively-based statements -instead of rigorous description of relations between variables- as well as the inductive mode of work” (Edquist, 2001).

Secondly, our use of the concepts of technological paradigms, trajectories and regimes could be improved by linking them to other concepts. Friedmann's concept of food regimes (1989; 2005) or Pestre's concept of knowledge production regimes (2003) might help to link the determinants of innovation to broader historical patterns not only in agricultural production but also in food markets and consumption. The differences between innovations that are private goods (such as new cultivars) and those that are partly public goods (such as agroforestry) should also be made more robust.

We believe that the term 'innovation pathways' would have a greater explaining power and less secondary meanings than 'technological trajectories'. The term 'technological' is a mental bias that favours 'high-tech' trajectories (genetic engineering) at the cost of 'low-tech' trajectories (agroecological engineering).

Thirdly, in this paper, we have focussed on technological trajectories which are however only one part of agricultural innovation. Institutional innovations, which have also shown a crucial importance in the past as well as today, have not been considered. The links between technological trajectories, institutional innovations and development trajectories is a crucial domain of further investigation, yet it is not explored in depth in this paper.

E. Conclusions

The concepts of technological paradigms and technological trajectories are useful to explain and analyse current trends in agricultural innovations. Genetic and agroecological engineering had not been compared as two -competing or complementary- technological paradigms. We argue that biological and agricultural innovations may be mainly linked to genetic or agroecological engineering, based on the technological paradigm they follow.

The system of innovation (SI) approach, focussed on the analysis of the determinants of innovation, is a powerful approach to demonstrate how agricultural research systems (ARS) are a 'selecting device' that influence the choice of technological paradigms and the development of trajectories. The analysis shows that innovations are not 'natural' and their development is not solely linked to their intrinsic potential. It fills up a gap in the explanation of the development of agricultural innovations. The determinants of innovation range from science policies orientations to cultural and cognitive routines to dynamics linked. They are suggested as hypotheses and more detailed analyses could bring quantitative data on their importance.

These determinants impede the development of agroecological engineering, while they have a neutral or positive effect on genetic engineering. Genetic engineering, a paradigm that fits close to scientific reductionism, succeeds better than agroecological engineering, which is a paradigm that puts mainstream approaches within agricultural research into question. The importance of path dependence and lock-in in agricultural research and in ARS legitimizes a public intervention. New problems, such as climate change and rising cost of energy, show indeed the need for a diversification of technological possibilities.

Acknowledgements: The authors are grateful to Marco Bertaglia (Imperial College), Frederic Varone (Université de Genève), Marc Mormont (Université de Liège) and

Felice Dassetto (UCL) for helpful comments on earlier versions of this paper. The analysis and comments made here remain however our sole responsibility. Mélanie Braibant, Jasmina Fiasse and Séverine Goret respectively managed interviews in the sugar beet, maize and soybean agro-food chains. This research was conducted with the financial support of the Belgian National Fund for Scientific Research (FNRS-FRIA).

Chapitre 8 : Innovations méthodologiques pour améliorer l'évaluation et la gestion des innovations en agriculture

«Nous, on a besoin d'outils pour évaluer les effets à court terme d'un OGM importé. Vous, votre approche est super 'ex ante' ! Jusqu'ou' allez vous aller dans l'aide à la décision ? »

Deux fonctionnaires membres du comité
d'encadrement d'un projet de recherche lié à la thèse,
Juin 2005

La gestion et l'évaluation des innovations technologiques sont des questions de plus en plus importantes. La formulation d'indicateurs et de méthodes pour gérer les politiques d'innovation fait l'objet de travaux à différents niveaux, en particulier dans les arènes internationales comme l'OCDE (2005). Pour l'agriculture, une plate-forme réunissant Banque Mondiale, FAO et UNDP tente d'ailleurs de réaliser une évaluation internationale des 'sciences et technologies agronomiques pour le développement' (IAASTD, 2006).

Il y a une **forte attente de méthodes** qui puissent répondre à toutes les questions suscitées par le développement des plantes transgéniques. Certains fonctionnaires, en attente de méthodes opérationnelles, ont constaté que l'approche proposée n'a pas exactement encore sa place dans les dispositifs réglementaires actuels. Ce chapitre et cette thèse n'ont en effet pas la prétention de répondre à la nécessité de développer des méthodes qui s'insèrent directement dans l'actuel cadre institutionnel national et international. Cette thèse est en effet une recherche fondamentale et non une commande des pouvoirs publics, bien qu'elle poursuive un objectif de contribuer à une meilleure politique de l'innovation. L'objectif est donc d'alimenter la réflexion sur celle-ci sans être contraint par le cadre politique actuel.

Ce chapitre comporte cinq sections. La première présente d'une part les principes qui guident ce chapitre et d'autre part synthétise les acquis de l'approche systémique (**Section 1**). Les propositions d'amélioration des méthodologies suivent ces principes et sont basées sur une seconde analyse des méthodologies d'évaluation des technologies discutées au premier chapitre : ces méthodes intègrent-elles les principales propriétés de l'innovation comprise comme un phénomène systémique (**Section 2**). Deux sections concernent ensuite les propositions d'améliorations de trois méthodes qui n'avaient été présentées que brièvement au premier chapitre (voir p 31). La première approfondit la proposition, faite au chapitre précédent, de construire une prospective par scénarios qui évaluerait l'intérêt des différentes voies d'innovations dans différents scénarios de développement (**Section 3**). La seconde discute les possibilités d'améliorer l'évaluation multicritères 'cartographiques' (MCMA) et l'évaluation technologique interactive (ETI) en y intégrant les principaux éléments de l'approche systémique (**Section 4**). Enfin, trois propositions sont faites pour améliorer l'approche développée dans cette thèse pour les études de cas. Il s'agit d'une grille de critères pour évaluer la pertinence des innovations et de méthodes pour améliorer l'analyse du niveau de développement, et du potentiel, des différentes voies d'innovations (**Section 5**).

La Figure 13 ci-dessous illustre la **progression du travail de développement méthodologique**, depuis la revue de la littérature sur les méthodologies existantes, jusqu'aux propositions contenues dans ce chapitre.

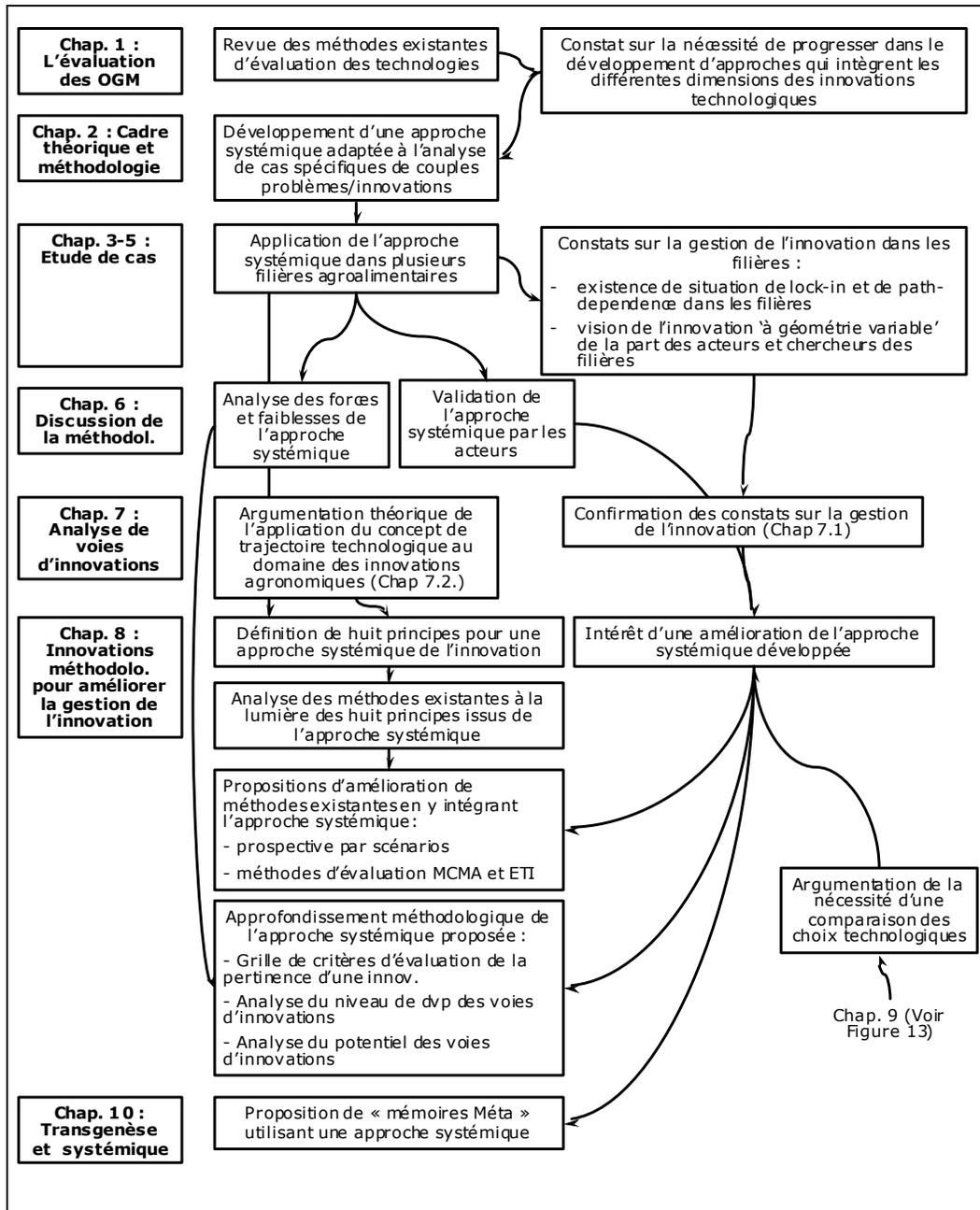


Figure 13 : Progression du travail de développement méthodologique

1. Principes pour ce chapitre et acquis de l'approche systémique

A. Principes

Les propositions méthodologiques qui suivent, comme toute méthodologie, ne sont pas neutres. Elles reposent sur l'expérience particulière de cette recherche. Concrètement, les propositions méthodologiques suivent **six principes** énoncés puis détaillés:

- 1) Adopter un mode d'évaluation « ouvert » (en ce qui concerne le résultat de l'évaluation) et « large » (en ce qui concerne les éléments inclus dans l'évaluation)
- 2) Construire une complémentarité entre approches analytiques et délibératives
- 3) Suivre les principes du « nouveau climat » sur l'évaluation du risque
- 4) Adopter comme référentiel la durabilité, y compris le principe de précaution.
- 5) Sortir de la logique de l'évaluation « cas par cas » pour prendre en compte le concept systémique de « voies d'innovations »
- 6) Contribuer à construire un mode d'évaluation non contraint par la régulation actuelle, situé en amont du processus d'innovation, et tourné vers l'avenir

Le premier principe est d' '**ouvrir**' l'évaluation des innovations. Lors de la revue des différentes méthodologies d'évaluation des innovations, les méthodologies avaient été triées selon une dichotomie qui distinguait les méthodes analytiques des méthodes participatives ou délibératives (cfr Chapitre 1). Une seconde dichotomie particulièrement importante a été proposée par Stirling (2004). Les méthodes analytiques et délibératives pourraient 'fermer' ou 'ouvrir' l'évaluation des choix technologiques.

Les méthodes qui 'ferment' les choix suivent en général des objectifs instrumentaux : contribuer à justifier les décisions politiques ou clarifier le débat public et la diversité des intérêts pour développer une recommandation claire et autoritaire. Ces méthodes conduisent à des recommandations prescriptives qui mettent en avant l'intérêt d'une option préférable¹³⁴. L'objectif des méthodes d'évaluation qui 'ouvrent' le processus des choix technologiques est d'examiner à quel point les résultats de l'évaluation sont sensibles à différentes hypothèses et conditions initiales. Elles ne se concentrent pas sur une option unique, posent des questions alternatives et se concentrent sur des problèmes négligés, incluent les perspectives marginales et soulignent de nouvelles options. Le résultat de ces méthodes est de montrer en quoi l'intérêt des différentes options dépend des différentes hypothèses initiales, de différents points de vue politiques ou du point de vue de différents acteurs (*stakeholders*). Elles tendent à recommander des portefeuilles

¹³⁴ Tant les approches analytiques que participatives peuvent fermer l'évaluation. Selon Levidow (1998), certaines conférences de consensus, au Royaume-Uni, n'ont pas favorisé l'exploration socio-technique et dans certains cas les processus marginalisent les questions d'agriculture industrialisée, de réductionnisme moléculaire, en fragmentant les enjeux larges en quelques questions techniques. Marris et Joly (1999) argumentent par contre l'ouverture de la conférence de citoyens française, contrastant avec la fermeture des modes de gestion technocratiques français. Joly et al. (2003) notent tout de même que certaines conférences sont soigneusement encadrées et que, si les membres du panel ont ouvert les boîtes noires des experts, ils l'ont fait malgré les limites prévues et non car ils étaient incités à le faire.

(*portfolios*) de choix plutôt qu'une option unique et à souligner les synergies et complémentarités entre options.

Le mode 'ouvert' ou 'fermé' du mode d'évaluation concerne la gamme des résultats (*outputs*) du processus. La gamme des éléments (*inputs*) qui sont inclus dans les évaluations est, elle, l'ampleur ou l'étroitesse de l'évaluation (ampleur ou étroitesse des problèmes, des possibilités, des perspectives prises en compte). Les deux concepts sont liés : les méthodes 'ouvertes' peuvent élargir une évaluation qui serait préalablement étroite. Les propositions qui sont faites ici s'intègrent dans ce double axe : large et ouvert plutôt que étroit et fermé.

Le second principe découle de la présence de cette double dichotomie : il y a lieu de **construire une complémentarité entre les approches analytiques et délibératives**, dans un processus qui *ouvre* suffisamment les choix avant de les *fermer* suffisamment pour cadrer la décision publique. La complémentarité entre les deux types de méthodes doit d'ailleurs servir à enrichir -à hybrider- (*cross-fertilisation*) les apports des deux, grâce à des aller-retours entre ces méthodes (The Understanding Risk Team, 2004).

Le troisième est de suivre les principes du « **nouveau climat** » sur **l'évaluation comparative** du risque et de les appliquer à l'évaluation des innovations. Celui-ci a été décrit dans le premier chapitre (p 51).

Le quatrième principe est **d'adopter comme référentiel le développement durable** (voir Chapitre 9).

Le cinquième principe est **de sortir l'évaluation des innovations de la logique du cas par cas**, qui empêche d'évaluer leur complexité et de développer des évaluations de voies d'innovations, concept systémique qui a une plus grande signification que les innovations isolées dont elles sont constituées. Ces évaluations sont complémentaires aux évaluations au cas-par-cas qui sont nécessaires, mais pas suffisantes (les deux sont donc légitimes).

Le sixième principe est de développer des méthodes de gestion de l'innovation **non contraintes par la réglementation actuelle**, situées en amont du processus d'innovation et tournées vers le court, le moyen et le long terme. Ce principe est présenté en introduction de ce chapitre (p ix). L'évaluation de l'intérêt des innovations doit par ailleurs avoir une place plus grande en amont du processus de l'innovation, par exemple la définition des objectifs et des choix technologiques au sein des politiques de recherche, et ne pas se situer seulement en bout de chaîne, au niveau de la réglementation avant la commercialisation, au moment de leur acceptation ou interdiction. L'approche est donc tournée vers l'avenir et le long terme.

Enfin, les propositions d'améliorations se concentrent sur la question des choix technologiques et de l'intérêt des innovations plus que sur celle des risques liés aux innovations technologiques. On reste donc dans une idée de complémentarité par rapport aux approches existantes liées à la biosécurité.

B. Acquis de l'approche systémique

On peut à ce stade synthétiser les principes et acquis de l'approche systémique suivie dans cette thèse (de manière synthétique ci-dessous et détaillée dans le Tableau 36).

Liste des principes qui sont issus de l'approche systémique :

- 1) **Analyse de l'objectif** poursuivi par l'innovation (résolution d'un problème agronomique actuel, création d'une nouvelle finalité,...)
- 2) **Identification de la gamme d'innovations** et de pratiques qui répondent à l'objectif (au problème agronomique concerné dans les cas étudiés ici)
- 3) **Approche comparative** de ces différentes possibilités d'innovation (évaluation de leur niveau de développement, de leur utilisation et de leur potentiel selon les acteurs des filières)
- 4) **Prise en compte des innovations technologiques et des innovations sociales ou institutionnelles.**
- 5) **Identification des facteurs influençant l'utilisation** des pratiques agricoles préventives actuelles (distinction des obstacles et des forces motrices, des facteurs technico-scientifiques et socio-économiques)
- 6) **Identification des déterminants d'innovation**, facteurs agissant positivement ou négativement sur le développement scientifique et commercial des voies d'innovations (distinction des facteurs technico-scientifiques et socio-économiques)
- 7) **Prise en compte des phénomènes d'équilibre sous-optimal**, de verrouillage d'une situation donnée (**lock-in**) et de dépendance au chemin poursuivi (**path dependence**)
- 8) **Vision dynamique de l'innovation et réflexion en termes de voies d'innovations** (analyse d'ensembles d'innovations plutôt que d'innovations singulières isolées de leur ensemble). Prise en compte de l'innovation comme un processus dynamique (une application non concurrentielle aujourd'hui peut l'être dans 5 ou 10 ans) et des liens entre innovation scientifique et société (possibilités d'évolution du contexte socio-politique).

Tableau 36 : Synthèse des acquis de l'approche systémique

Niveau	Acquis	Chap
Evaluation des innov.	L'application du principe de précaution fondée sur la seule évaluation réductionniste des risques par des experts scientifiques est inadéquate	Chap 1
Compréhension de l'innovation	Prendre comme point de départ l'objectif poursuivi par l'innovation (résolution d'un problème actuel, création d'une nouvelle finalité,...)	Chap 3, 4, 5 et 6
	Identifier et prendre en compte la gamme d'innovations actuelles (non diffusées) et futures (non développées)	
	Prendre en compte des innovations technologiques et des innovations sociales ou institutionnelles .	
	Adopter une approche comparative face aux différentes possibilités d'innovation (évaluation de leur niveau de développement, de leur utilisation et de leur potentiel selon les acteurs des filières)	
	Identification des facteurs d'utilisation/d'adoption (obstacles et forces motrices) des pratiques agricoles préventives actuelles (distinction des facteurs technico-scientifiques et socio-économiques)	
	Identification des déterminants d'innovation (obstacles et forces motrices) au développement scientifique et commercial des voies d'innovations au sein des filières (distinction des facteurs techniques et socio-économiques)	
	Importance d'une réflexion en termes de voies d'innovations (analyse d'ensembles d'innovations plutôt que d'innovations isolées)	Chap 7
	Nécessité d'adopter une vision dynamique de l'innovation (l'innovation comme un processus dynamique) : évaluation du potentiel d'évolution de la voie d'innovations, etc.	
	Existence de déterminants de l'innovation au sein des systèmes de recherche qui influencent les deux grandes voies d'innovations (génie génétique et génie agroécologique) : nécessité d'analyser ces déterminants	
Gestion de l'innovation dans les filières	L'innovation n'est pas coordonnée de manière claire, forte et collective dans les filières. Elle procède par triple délégation (des acteurs aux chercheurs, des chercheurs aux firmes). Il existe peu de lieux de réflexivité sur le développement des filières agricoles.	Chap 5
	L'innovation est en général pensée pour améliorer le système dominant	
	Le développement de certaines innovations se fait dans des « niches »	Chap7.2
	Les approches agroécologiques de l'innovation sont actuellement fragmentées au lieu d'être coordonnées stratégiquement comme le génie génétique	
Politique de l'innovation	La politique d'innovation est orientée par des objectifs de compétitivité et de croissance. Elle est depuis longtemps centrée sur les biotechnologies et les technologies de l'information.	Chap7.2
	Le débat sur les OGM n'est pas remis dans le contexte général de l'agriculture	
	Les pouvoirs publics et les scientifiques n'ont pas une approche comparative et dynamique, mais « à géométrie variable » de l'innovation	

2. Les méthodes d'évaluation des technologies analysées à la lumière systémique

Pour évaluer l'originalité de l'approche suivie dans cette thèse, les méthodologies d'évaluation qui ont été présentées au premier chapitre sont maintenant évaluées en fonction de leur intégration des principes qui synthétisent les acquis de l'approche systémique suivie dans cette thèse. L'objectif de cette analyse n'est pas d'étudier quelle méthode est la plus complète, mais bien d'analyser à quel point les acquis de l'approche systémique sont intégrés -ou non- dans les méthodes existantes. Ces méthodes pourraient donc être comparées sur base d'autres critères. Si la comparaison incluait l'évaluation des risques de biosécurité, des impacts économiques ou sociaux, il serait facile de démontrer les lacunes de l'approche systémique menée dans cette recherche.

Le Tableau 37 montre que la plupart des méthodes analysées ne prennent pas en compte un grand nombre des principes issus de l'approche systémique. Ce constat est tout à fait normal. Une méthodologie doit être restreinte dans ses objectifs pour être applicable et donc se fixer des limites. Ce constat n'est pas une remise en question de la valeur intrinsèque de ces méthodes. L'intérêt de l'analyse est cependant d'avoir identifié les lacunes de ces méthodes. Certains principes qui ressortent de l'approche systémique ne sont pris en compte par presque aucune méthode, ce qui plaide en faveur du développement de méthodes qui comblent ces lacunes. C'est l'objectif de ce chapitre.

Tableau 37 : Analyse des méthodes d'évaluation à la lumière des acquis de l'approche systémique

<p style="text-align: center;">Principes issus de l'approche systémique</p> <p style="text-align: center;">Méthodologies d'évaluation</p>	1. Identif. du problème	2. Gamme des innovations	3. Approche comparative des possib. d'innovation	4. Innov technol. et sociales	5. Facteurs d'utilisation des pratiques préventives	6. Déterminants d'innovations	7. Path-dep. et lock-in	8. Vision dynamique de l'innovation/Voies d'innov.
<p>METHODES ANALYTIQUES</p> <p>Evaluation du risque de biosécurité</p> <p>Evaluation des risques/impacts envi.</p> <p>Evaluation agronomique</p> <p>Analyse coûts-bénéfices</p> <p>Evaluation des impacts sociaux</p> <p>'Sustainable Livelihoods Framework'</p>	<p>OUI</p> <p>OUI</p> <p>OUI</p> <p>OUI</p> <p>OUI</p>	<p></p> <p>+/-</p> <p>+/-</p> <p>+/-</p> <p>+/-</p>	<p></p> <p></p> <p>+/-</p> <p>+/-</p>	<p></p> <p></p> <p></p> <p></p>	<p></p> <p>+/-</p> <p></p> <p></p>	<p></p> <p></p> <p></p> <p></p>	<p></p> <p></p> <p></p> <p></p>	<p></p> <p></p> <p></p> <p></p>
<p>METHODES PARTICIPATIVES</p> <p>Conférences de citoyens</p> <p>Analyse multicritères 'MCMA'</p> <p>Evaluation technol. interactive (ETI)</p>	<p>OUI</p> <p>OUI</p> <p>OUI</p>	<p></p> <p>+/-</p> <p></p>	<p></p> <p>+/-</p> <p></p>	<p></p> <p></p> <p></p>	<p></p> <p></p> <p></p>	<p></p> <p></p> <p></p>	<p></p> <p></p> <p></p>	<p></p> <p>+/-</p> <p></p>
<p>METHODES EXPERTES</p> <p>Matrice éthique</p> <p>Evaluation envir. stratégique</p> <p>Prospect. technol. ; Anal. de scénarios</p>	<p>OUI</p> <p>OUI</p> <p>OUI</p>	<p></p> <p>OUI</p> <p>OUI</p>	<p></p> <p>OUI</p> <p>+/-</p>	<p></p> <p>OUI</p> <p>OUI</p>	<p></p> <p></p> <p>+/-</p>	<p></p> <p></p> <p>+/-</p>	<p></p> <p></p> <p></p>	<p></p> <p>+/-</p> <p>OUI</p>

Légende. « OUI » signifie que la méthode prend en compte le principe. « +/- » signifie que la méthode tient compte de ce principe, mais pas de manière cohérente et structurée. Un blanc signifie l'absence de prise en compte de cet élément.

Détails du tableau pour le lecteur intéressé

- 1) Analyse de l'objectif : Un grand nombre de méthodes tiennent compte du problème concerné bien que celui-ci ne soit pas le point de départ de l'évaluation. La conséquence de ce fait est que ces méthodes analysent les impacts (environnementaux, économiques et même éthiques) de la technologie concernée, mais sans approche comparative structurée qui inclue les autres innovations susceptibles de résoudre le même problème. Plusieurs méthodes comparent plantes transgéniques et pratiques actuelles, mais ne comparent pas les innovations entre elles, renforçant l'idée qu'il n'existe qu'une voie d'innovations.
- 2) Identification de la gamme d'innovations : celle-ci est quasi-absente et jamais systématique.
- 3) Approche comparative des différentes possibilités d'innovation : une bonne partie des méthodes effectuent une comparaison très simplifiée, qui n'est pas réellement une identification de la gamme des innovations possibles. Les méthodes comparent habituellement les plantes transgéniques (l'innovation) avec le principal mode de culture actuel (agriculture conventionnelle). Elles ne tiennent pas (ou de manière anecdotique) compte des autres modes de cultures (par exemple l'agriculture biologique) et des autres possibilités d'innovations qui ne sont pas encore diffusées à large échelle. L'approche n'est donc pas complètement comparative.

Plusieurs méthodes n'effectuent pas formellement de comparaisons mais l'appellent de leurs vœux dans leurs recommandations. C'est par exemple le cas des conférences de consensus¹³⁵ et de l'évaluation technologique interactive (ETI)¹³⁶.

L'évaluation environnementale stratégique (SEA) inclut de manière explicite la définition du problème ou de l'objectif politique. Elle prévoit l'identification des différentes solutions par rapport à cet objectif politique. Les auteurs, illustrant leurs propos par l'exemple des politiques publiques à adopter par rapport aux changements climatiques, évoquent des solutions comme la construction de grands ou petits barrages, des plantes transgéniques résistantes à la sécheresse ou des réserves stratégiques de céréales (Linacre et al., 2005). Cette gamme inclut donc des innovations technologiques et sociales ou institutionnelles. Il reste à vérifier si l'identification des solutions, sur le plan agronomique, est

¹³⁵ Les conférences de consensus (conférences de citoyens) ne sont pas à juste titre parler des méthodes d'évaluation des technologies, au même titre que l'évaluation multi-critères de Stirling ou l'évaluation technologique interactive. L'objectif des conférences citoyennes est davantage de faire des recommandations sur les décisions publiques à prendre en matière de gestion des technologies. Elles aboutissent à des recommandations sur les dimensions qui devraient être prises en compte dans l'évaluation et la gestion des plantes transgéniques. C'est à cet égard qu'elles sont incluses dans ce tableau. Le panel de citoyens de Gembloux organisé en Belgique en 2003 a abouti par exemple à la recommandation suivante : « Face à un problème donné, il est crucial d'examiner l'ensemble des solutions possibles » (FGF, 2003).

¹³⁶ Le rapport final du groupe de travail ne mentionne pas une exploration approfondie et comparative des différentes possibilités de gérer le problème concerné dans le futur (maladie du court-noué). Le rapport recommande cependant à l'INRA d'évaluer « l'opportunité de la recherche (vignes OGM) par rapport aux autres solutions possibles » (INRA, 2002).

systematique ou au contraire centrée sur les biotechnologies, comme peut le laisser supposer la méthode.

- 4) Prise en compte des innovations technologiques et des innovations sociales ou institutionnelles : celle-ci est absente dans la plupart des méthodes. Les méthodologies Social Impact Assessment et Sustainable Livelihoods Framework étudient de manière approfondie les impacts des technologies sur les institutions, mais ne comparent pas les possibilités de progrès d'innovations technologiques et d'innovations sociales ou politiques.
- 5) Analyse des facteurs d'utilisation des innovations : Les facteurs d'adoption ou de non adoption des innovations sont généralement étudiés dans des études spécifiques sur la diffusion des technologies, un domaine de l'économie rurale qui n'est pas intégré dans d'éventuelles approches comparant plusieurs types d'innovations actuelles et futures. L'analyse des technologies est donc déconnectée de l'analyse de la diffusion des innovations.
- 6) Identification des déterminants d'innovation : L'analyse des déterminants d'innovation est parfois incluse dans les méthodologies, mais de manière non systématique et sans approche rigoureuse.
- 7) Prise en compte des phénomènes d'équilibre sous-optimal, de lock-in et de path dependence : L'étude de ces phénomènes est quasi absente de l'étude des innovations en agriculture (cfr Chapitre 7).
- 8) Vision 'dynamique' de l'innovation et réflexion en termes de voies d'innovations : le concept de voie d'innovations (trajectoire technologique) est absent des méthodes. Celles-ci sont généralement construites pour pouvoir être appliquées à des cas précis, qui sont sortis de leur contexte (donc de leur voie d'innovations). Les EIA évaluent une technologie à un moment donné, sans vision dynamique. L'exemple des *Farm-Scale Evaluations* menées au Royaume Uni est un bon exemple : le protocole expérimental ne tenait pas compte de la future interdiction européenne de l'atrazine. Il a fallu une autre étude, évaluant ce scénario, pour rectifier le tir.

Les méthodes de prospective sont celles qui tiennent le mieux compte des aspects dynamiques de l'innovation en estimant quel peut être l'horizon des innovations technologiques possibles d'une découverte scientifique. L'approche est par contre rarement réellement comparative (pas de comparaison des voies d'innovations qui poursuivent un même objectif).

Les conférences de consensus (conférences de citoyens) ne sont pas à juste titre parler des méthodes d'évaluation des technologies, au même titre que l'évaluation multi-critères de Stirling ou l'évaluation technologique interactive. L'objectif des conférences citoyennes a davantage été de faire des recommandations sur les décisions publiques à prendre en matière de gestion des technologies. Elles aboutissent à des recommandations sur les dimensions qui devraient être prises en compte dans l'évaluation et la gestion des plantes transgéniques. C'est à cet égard qu'elles sont incluses dans ce tableau. Le panel de citoyens de Gembloux organisé en Belgique en 2003 a par exemple abouti à la recommandation suivante : « Face à un problème donné, il est crucial d'examiner l'ensemble des solutions possibles » (FGF, 2003).

Seule une application de la méthode ETI existe pour les plantes transgéniques. Le rapport final du groupe de travail ne mentionne pas une exploration approfondie et comparative des différentes possibilités de gérer le problème concerné dans le futur (maladie du court-noué).

3. Prospective, voies d'innovations et scénarios de développement

La prospective est, avec l'évaluation des innovations, la seconde interface entre science et politique. Cette section a deux objectifs. Le premier est d'analyser l'état actuel et les limites des exercices de prospective dans le champ de la technologie et de l'agriculture (Sections A et B). Le second est de formuler des propositions d'amélioration pour développer une prospective qui tienne compte de l'innovation comme phénomène systémique (Section C).

La prospective (*foresight*) est l'exploration du champ des futurs possibles -les *futuribles*- tandis que la prévision (*forecasting*) décide au contraire du futur le plus probable (de Jouvenel, 2004). La prospective a ses origines dans la pensée systémique, dans les années 1940 (Berkhout and Hertin, 2002). L'objectif des prospectives, effectuées historiquement à l'échelle nationale, est d'évaluer les développements scientifiques et technologiques «*susceptibles d'avoir un important impact sur la compétitivité industrielle, la création de richesse et la qualité de vie*» (Georghiou, 1996). La prospective fait partie des outils dont les Etats se sont dotés pour prédire des trajectoires technologiques et scientifiques fructueuses en se concentrant sur les avantages comparatifs des systèmes nationaux d'innovation (Tait and Williams, 2003). Elle est un outil d'aide à la décision, par exemple pour l'orientation des dépenses publiques de recherche et développement.

A. Les prospectives technologiques sur les biotechnologies et leurs limites

On peut distinguer **quatre types de prospectives** : la prospective centrée sur une technologie ou une trajectoire technologique (*technology-centred prospective*), la prospective centrée sur des problèmes ou des demandes (*demand-oriented or social foresight*), la prospective centrée sur l'avenir d'un secteur en particulier (comme l'agriculture) et la prospective territoriale (centrée sur l'avenir d'une région en particulier).

Depuis le milieu des années 90, plusieurs exemples d'exercices de prospective ont été centrés sur les technologies appliquées à l'agriculture ou à l'évolution des systèmes agraires. Il s'agit de prospectives qui explorent l'horizon des technologies possibles pour une trajectoire technologique particulière et les impacts de celles-ci sur la société ou sur un secteur particulier. Elles diffèrent par l'angle initial choisi et l'objectif poursuivi ainsi que par les variables qu'elles incluent et les scénarios construits. Celles qui concernent directement les plantes transgéniques ou les biotechnologies modernes au sens large sont abordées ici en priorité. Leur présentation précède une synthèse critique de leurs limites.

Il existe plusieurs **prospectives sur les biotechnologies** dans l'agriculture et les filières agroalimentaires. Une recherche subsidiée par le programme FAIR de la Commission Européenne a interrogé des centaines d'experts (méthodologie Delphi) sur les futurs développements scientifiques et technologiques, les impacts sur l'économie, l'environnement et la santé, l'acceptation des biotechnologies afin de formuler des recommandations aux autorités publiques (Menrad, 1999). Le projet ITSAFE

(Integrating Technological and Social Aspects of Foresight in Europe) a fait une synthèse des activités de prospective en Europe sur les sciences du vivant et a abouti à des conclusions comparables sur les possibilités technologiques futures des biotechnologies agricoles et médicales (Reiss and Strobel, 2003). L'OCDE, par son programme « Futurs internationaux », poursuit sur cette lancée en menant un exercice de prospective « Bioéconomie 2030 » afin de tracer l'horizon des possibles en matière de biosciences, et les politiques publiques nécessaires au développement de celles-ci (OECD, 2006). Ce programme a pour ambition de réaliser un exercice de « backcasting », qui consiste à définir un état souhaitable (de la bioéconomie en 2030) et à définir ensuite l'ensemble des décisions publiques qui doivent être prises en 2005, 2010, etc.

L'éventualité d'une intégration croissante entre les applications des biotechnologies dans l'agriculture, la santé, l'industrie, l'informatique et les matériaux et les impacts sur la société qui en résulteraient a par ailleurs été analysée par Sager (2001). Les principales variables analysées sont celles qui influencent l'acceptation publique des biotechnologies : la perception de l'intégration des technologies, l'utilisation de celles-ci et donc la demande commerciale, les politiques publiques, etc. Quatre scénarios sur la place des biotechnologies dans la société sont développés, depuis une place prépondérante qui modifierait en profondeur la société jusqu'à un scénario où ces biotechnologies sont marginalisées.

Enfin, la prospective peut aussi être utilisée avec des objectifs commerciaux directs et appliqués à des études de cas aussi restreintes que celles de la Partie II de cette thèse. Borch et Rasmussen (2002) étudient un cas très précis : une graminée transgénique à valeur nutritionnelle modifiée pour ne pas produire des tiges et des fleurs, donc ayant un moindre contenu en lignine, substance plus difficilement digestible par le bétail. L'approche par scénarios n'est par contre pas utilisée dans cette étude : ce sont les facteurs de succès du développement commercial qui sont étudiés. Ceux-ci sont identifiés par une méthodologie incluant panels d'experts et la méthodologie de *life cycle inventory*.

En Angleterre, l'Unité Stratégique du *Cabinet Office* s'est interrogée de manière plus approfondie sur les futurs possibles, en matière de plantes transgéniques pour le Royaume-Uni (Strategy Unit, 2003). La prospective a abouti à cinq scénarios qui sont centrés sur la place des OGM dans le futur. Un scénario évalue l'avenir en l'absence d'OGM et quatre scénarios sont basés sur une combinaison des deux variables dont l'importance sur le développement des plantes transgéniques est estimée cruciale : l'attitude du public (acceptation ou rejet des OGM) et la régulation publique (spécifique ou non aux OGM). L'horizon temporel est de 10-15 ans et chaque scénario est analysé de manière qualitative et très brève (2 pages par scénario) en matière de développement technologique de nouveaux produits, de réflexion coûts-bénéfices, de dynamisme de l'industrie des biotechnologies, de compétitivité internationale du secteur agricole, etc.

A côté de ces exercices de prospective centrés sur une technologie donnée, un nombre croissant d'Etats conduit des prospectives technologiques « nationales » toutes technologies et tous domaines confondus. L'orientation commerciale et industrielle de l'approche (visant la compétitivité) est en général revendiquée clairement et la méthodologie utilisée repose essentiellement sur la consultation de la communauté d'experts et d'académiques concernés. Le génie génétique et biomoléculaire est identifié comme une des sept priorités scientifiques et technologiques les plus

attractives et les plus faisables dans l'un de ces exemples les plus connus mené par le Royaume-Uni entre 1993 et 1996 (Georghiou, 1996)

Ces exercices de prospective restent pour la plupart à un niveau tellement général qu'ils permettent de stimuler l'imagination sur les possibilités technologiques futures et les impacts socio-économiques ou environnementaux probables, mais ils **sortent rarement de généralités** convenues et de conclusions sous formes de considérations sur les problématiques socio-économiques telles que l'acceptation par les consommateurs, la sécurité alimentaire ou les nouveaux marchés pour les aliments fonctionnels¹³⁷. Certains de ces exercices comportent d'ailleurs un examen des possibilités technologiques qui est déjà omniprésent dans les articles de scientifiques (Dunwell, 1999; International Council for Science (ICSU), 2003). Les scénarios, imaginés à un niveau global, n'entrent pas dans la diversité et la complexité des différentes filières et des problèmes (l'utilisation de pesticides, l'adaptation au changements climatiques, l'utilisation d'énergie, etc). Les scénarios envisagés ne sont pas explorés dans toutes leurs implications. La prospective du Cabinet Office mentionne par exemple que le scénario « No GM » impliquerait l'envoi de « *signaux négatifs au milieu plus large des sciences biotechnologiques* » ainsi que des « *ralentissements des développements scientifiques* » néfastes au développement de variétés transgéniques 'pro-poor' pour les pays en voie de développement. Il ne mentionne pas la possibilité d'une réorientation des progrès scientifiques vers les voies d'innovations alternatives aux plantes transgéniques.

Cette absence de liens avec les innovations alternatives semble presque intrinsèque aux prospectives centrées sur les technologies, comme s'il n'existait aucune concurrence entre les voies d'innovations au sein des politiques scientifiques et autres politiques d'innovation. Les prospectives technologiques sont donc elles aussi des approches « à géométrie variable » (cfr *Une approche à géométrie variable* par rapport à l'innovation en agriculture p 323).

B. Les prospectives sur l'avenir de l'agriculture et leurs limites

D'autres types de prospective permettent de réfléchir l'avenir avec une vue plus large et plus ouverte que les prospectives technologiques. Dans le domaine de l'agriculture, plusieurs exercices de prospective utilisent la **prospective par scénarios** (scénarisation prospective).

La prospective par scénarios anticipe les choix à faire à moyen et long terme en construisant des scénarios de futurs possibles et en exposant les acteurs et décideurs à ces choix, qui concernent des choix technologiques et des choix de scénarios de développement. Elle est utile pour stimuler l'imagination et créer des visions qui sont nécessaires à l'action. Elle permet de se 'réapproprier l'avenir' car elle augmente la liberté de prise de décision et les marges de manœuvres, en permettant théoriquement de réduire les situations où les choix politiques sont faits dans l'urgence, lorsque la marge

¹³⁷ Il est évidemment possible que tous les travaux de recherche prospective n'aient pas été trouvés lors de la recherche bibliographique faite pour cette section. Les principales publications scientifiques (Futures, Futuribles, Technological Forecasting & Social Change) ont cependant été examinées avec les mots-clés 'agriculture', 'transgenic crops', 'genetically modified', 'biotechnologies'. Une recherche bibliographique plus large a également été faite à l'automne 2006.

de manœuvre est faible ou inexistante (de Jouvenel, 2004). Enfin, la prospective permet de combler les deux lacunes actuelles des politiques d'innovation qui avaient été observées au Chapitre 7 : le manque d'approche comparative par rapport à l'innovation et l'approche de l'innovation « à géométrie variable ».

La prospective par scénarios suit une démarche en **cinq étapes** : la définition du problème et le choix de l'horizon (généralement 15-20 ans), la construction du système et l'identification de variables-clés, le recueil de données et l'élaboration d'hypothèses, la construction, souvent en forme d'arborescence, des futurs possibles et les choix stratégiques à faire (Godet and Roubelat, 1996 ; Andersen and Jaeger, 1999 ; de Jouvenel, 2004)¹³⁸.

Deux organismes publics français -la DATAR (Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale) et l'INRA- ont par exemple récemment mené des exercices de prospective qui intègrent les technologies dans un exercice plus large de prospective sur l'avenir de l'agriculture (Lacombe, 2002). Entre 1997 et 2000, un groupe de prospective s'est réuni pour imaginer les futurs possibles de l'agriculture française et a formulé quatre scénarios, en prenant l'année 2015 comme horizon temporel. Entre 2001 et 2003, l'INRA a par ailleurs mené un exercice de prospective nommé 'INRA 2020' afin de s'interroger sur le rôle futur d'un institut de recherche agronomique (Hervieu et al., 2003). Cette démarche a impliqué une phase de débats avec le personnel de l'INRA et ses principaux partenaires (industriels, agricoles, associations, collectivités territoriales), une phase de construction de scénarios et une réflexion stratégique sur les actions à mener. Au niveau européen, l'Institut de Prospective et d'Etudes Technologiques (IPTS) a de son côté mené une prospective sur les systèmes agricoles alternatifs (agriculture biologique, intégrée, etc) : les progrès technologiques sont un des axes d'analyse, avec l'évolution du marché et d'autres domaines (Institute for Prospective Technological Studies (IPTS), 2004).

Ces trois exercices de prospective sont profondément enrichissants. Ils démontrent l'intérêt de la prospective comme moyen d'améliorer notre capacité d'anticipation et celui d'agir à temps pour diminuer les situations de prises de décision dans l'urgence, lorsque la marge de manœuvre est réduite. S'ils sont médiatisés et diffusés aux acteurs des systèmes étudiés, ces exercices peuvent être des outils de formation continue et collective pour aider un milieu à avoir un meilleur niveau de réflexivité sur ses activités.

Cette analyse reste cependant à un degré de généralité relativement décevant qui contraste sans doute avec la grande spécificité des études de cas de cette thèse. L'échelle d'un grand pays comme la France est trop large pour entrer dans le détail des différentes technologies. L'agriculture n'est qu'une partie du domaine étudié, avec l'alimentation et l'environnement. L'analyse des innovations technologiques, une des cinq variables susceptibles d'influencer l'agriculture selon la DATAR (2001), reste également à un niveau très général étant donné que la prospective tient également compte dans les scénarios des évolutions possibles des politiques agricoles, de

¹³⁸ Les méthodes utilisées dans la prospective sont de trois catégories : les outils de la statistique et de la prévision, les méthodes de probabilisation et les méthodes qualitatives (brainstorming, méthodes de construction de scénarios par ateliers, méthodes heuristiques, méthodologies issues des sciences sociales comme les panels d'experts ou les enquêtes Delphi (qui permettent d'interroger un grand nombre d'experts en deux itérations, la première étant classique et la seconde permettant à chaque expert de resituer son avis après avoir pris connaissance des résultats de la première itération pour l'ensemble des experts interrogés).

l'environnement international, du marché, de la consommation, de l'évolution culturelle. Les exercices de prospective cités démontrent par exemple une prise en compte relativement hétérogène des différentes voies d'innovation. La place du génie génétique et des biotechnologies de manière plus générale est anticipée et imaginée au sein de plusieurs scénarios, tandis que la prise en compte des innovations agroécologiques possibles est par contre beaucoup plus floue voire inexistante. Cette observation rejoint l'analyse faite sur l'attitude « à géométrie variable » par rapport à l'innovation technologique des acteurs des filières et de la politique scientifique (Chapitres 5 et 7). Il faut cependant répéter que le degré de détail de ces études reste très faible tant pour le génie génétique que pour le génie agroécologique.

La possibilité d'un scénario qui serait basé sur un important soutien public aux innovations du génie agroécologique d'une part, et à des réglementations publiques et de soutien à la création et à la croissance de filières agroalimentaires de qualité, basées sur des cahiers de charge significatifs d'autre part, est par exemple absente dans une grande partie des exercices de prospective. Les synergies entre innovations technologiques et innovations institutionnelles sont donc sous-évaluées.

Quelques prospectives centrées sur des secteurs plus précis que l'ensemble de la triade « agriculture, alimentation et environnement » existent. Elles sont centrées soit sur les évolutions possibles de secteurs spécifiques, comme le semencier, celui des protéines végétales ou celui de la forêt et du bois (Sebillotte, 2004), soit sur des régions plus restreintes qu'un Etat entier, comme la région Midi-Pyrénées ou celle du Var en France (Lugan et Flamant, 1991; Latz, 2007).

Ce type de prospective est donc nécessaire, mais insuffisant.

C. Pour une prospective par scénarios sur l'innovation

L'approche systémique plaide pour une prospective par scénarios où la comparaison des choix technologiques (des voies d'innovations) est insérée dans une comparaison de scénarios de développement.

Cette section

- part de l'importance du concept de scénarios (ou voies) de développement, pour l'appliquer ensuite au domaine agroalimentaire (Section 1),
- montre que la comparaison des choix technologiques faite dans une simple comparaison agronomique de différentes innovations est insuffisante dans une approche dynamique de l'innovation (Section 1),
- ébauche les grandes lignes d'une prospective par scénarios sur l'innovation, d'abord par l'identification des choix technologiques qui existent par rapport aux objectifs (politiques) d'innovation (Section 2) et par la construction des scénarios (Section 3).

Cette section est une proposition d'ordre méthodologique. Dans le chapitre suivant, il sera proposé d'institutionnaliser cette comparaison des choix technologiques dans une comparaison des scénarios de développement. En conséquence, la nécessité politique d'une telle comparaison des choix technologiques est argumentée au chapitre suivant (voir pp 410-414).

1) Insérer la comparaison des choix technologiques dans des scénarios de voies de développement

Le terme ‘voies de développement’ est plus fréquent que celui de ‘scénarios de développement’. Il est utilisé au pluriel, contrairement au terme ‘pays en voie de développement’, pour affirmer l’existence d’une multiplicité de développements possibles.

Les **voies de développement** sont les trajectoires que suivent les sociétés, construites par l’accumulation des multiples choix économiques, politiques, sociaux et culturels de leurs différents acteurs, et influencées par leur environnement extérieur physique, politique et économique. On parle de ‘politique de développement’ pour se référer à une politique planifiée visant un certain type de développement. Tous les pays -tant les pays dits en voie de développement que les pays dits développés- poursuivent continuellement des voies de développement. Les pays et régions suivent des voies différentes, bien que la globalisation force depuis une vingtaine d’années les Etats à s’aligner sur certains modèles davantage qu’auparavant.

L’agriculture s’insère dans des voies de développement comme tout autre secteur économique. Le secteur agricole est comme chacun sait fortement influencé par les politiques agricoles, qui sont des politiques de développement. Ensuite, les filières agricoles sont insérées dans des filières agroalimentaires, et toutes deux sont influencées directement et indirectement par une multitude de politiques publiques et de choix économiques des acteurs qui y participent.

Les voies de développement, appliquées aux filières agroalimentaires, concernent les modes de production, de transformation et de consommation. Des voies de développement différentes engendrent non seulement différents modèles de production mais aussi différentes formes de contacts entre producteurs et consommateurs, ou encore différentes conceptions de la qualité (Stassart, 1999; Mormont et Van Huylenbroeck, 2001).

L’innovation dans le secteur agricole et agroalimentaire est, elle aussi, influencée de manière déterminante par les évolutions de l’aval du secteur, en particulier les activités des entreprises de transformation et la grande distribution (Goodman and Watts, 1997; Allaire and Wolf, 2004; Green and Foster, 2005). Les innovations technologiques influencent à leur tour les voies de développement. L’exemple le mieux connu est celui de la Révolution Verte. La combinaison des semences améliorées à l’utilisation d’intrants de synthèse a eu des effets profonds sur les systèmes agricoles et les sociétés dans de nombreux pays (Lipton and Longhurst, 1989 ; Shiva, 1991; Conway, 1999; Parayil, 2003). Un autre exemple, tout aussi controversé mais moins connu, est la récolteuse mécanique de tomates, développée en Californie en prévision de l’arrêt d’un programme permettant aux employeurs californiens d’employer à faible coût des immigrés mexicains. Cette innovation mécanique a eu des effets importants sur l’emploi agricole, mais aussi sur la structure des exploitations dans la filière de la tomate et sur l’amélioration variétale de la tomate, devant intégrer comme nouveau critère la résistance à la récolte mécanique (Hightower, 1978).

L’influence que les innovations technologiques peuvent avoir sur les voies de développement que nos sociétés suivent peut donc être déterminante.

L’innovation est un phénomène systémique qui ne se restreint pas à l’innovation technologique comme objet. L’ensemble de ce travail contribue à démontrer l’existence

de propriétés systémiques (propriétés émergentes) liées à l'innovation dans le domaine agroalimentaire (cfr paradigmes technologiques, voies d'innovation, déterminants d'innovation comme 'moteurs' ou 'obstacles' à ces voies d'innovation, path-dependance, lock-in).

C'est parce que l'innovation est un phénomène systémique et complexe qu'elle ne peut pas être gérée par des méthodes construites pour des objets simples. **La comparaison technico-économique** d'un champ de maïs transgénique avec un champ conventionnel -même effectuée sur trois saisons ou incluant un troisième champ cultivé en agriculture biologique- **ne suffit pas**. C'est une condition nécessaire, mais pas suffisante.

Ce type de comparaison est pourtant considéré par de nombreux scientifiques comme la quintessence de la comparaison d'innovations. Les *Farm Scale Evaluations* britanniques, ont mobilisé des budgets et des équipes de scientifiques à une échelle rarement observée et représentent ce qui s'est fait de mieux en matière d'évaluation des impacts environnementaux des OGM, malgré toutes les critiques qui leur ont été adressées (Cfr Chapitre 1).

Paradoxalement, ce type de comparaison est relativement rare : la comparaison technico-économique de la performance de systèmes conventionnels, intégrés et biologiques à large échelle et sur des temps longs reste rare. La plupart des comparaisons concernent l'évaluation de deux systèmes agricoles au niveau de seulement quelques rares paramètres (utilisation d'inputs, rendement, ...). Celles-ci sont rarement menées sur des périodes longues et elles tiennent rarement compte des externalités environnementales et économiques des systèmes comparés. En ce qui concerne les plantes transgéniques, les comparaisons se sont essentiellement faites entre un itinéraire technique 'plantes transgéniques' et un itinéraire 'conventionnel'. Les comparaisons multiples (comparant modes de culture transgénique, conventionnel, intégré et biologique) sont inexistantes.

Ce mode de comparaison 'classique', appliqué au cas des voies d'innovations en matière de gestion des maladies du froment, consisterait par exemple à comparer un champ de froment transgénique résistant aux maladies cryptogamiques, un champ de variétés classiques et un champ planté avec un mélange variétal. Ce mode d'évaluation est utile (pour les agriculteurs par exemple) mais il est partiel. Il ne fait que refléter la performance des deux innovations à un moment donné, sans tenir compte de l'ensemble des interactions historiques, actuelles et futures entre les voies d'innovations technologiques et le système plus large qui entoure le champ. Ce type de comparaison ne suffit donc pas pour poser des choix technologiques cohérents avec des voies de développement choisies démocratiquement.

Les propositions d'amélioration de la prospective par scénarios se situent dans l'émergence d'une prospective de précaution (*precautionary foresight*) qui devrait améliorer la réflexivité des acteurs des filières sur leurs activités et celle de nos systèmes de gouvernance des sciences et des technologies (Stirling, 2006)¹³⁹.

¹³⁹ Stirling remarque aussi que la prospective a bénéficié -ou peut bénéficier- des développements épistémologiques dans différentes disciplines qui ont invalidé le modèle linéaire de l'innovation et démontré la nature complexe des liens entre technologies et sociétés (Le modèle linéaire est l'hypothèse qui voudrait que la recherche fondamentale produit des possibilités de recherche appliquée, entraînant à leur tour des innovations technologiques, le tout dans un processus linéaire.) Certains de ces

2) *Identification des objectifs et des choix technologiques*

Concrètement, au niveau des objectifs qui doivent guider la prospective, il s'agit de prendre comme point de départ la combinaison des principaux objectifs de durabilité. Le Tableau 38 donne quelques exemples des objectifs agronomiques et environnementaux à prendre en compte, comme la réduction de l'utilisation d'intrants de synthèse dépendants des énergies fossiles, l'adaptation de l'agriculture aux changements climatiques (la résistance aux extrêmes climatiques comme la sécheresse), le maintien de la fertilité des sols, etc. Ces objectifs permettent une identification et une première comparaison des choix technologiques.

Tableau 38 : Construction d'une prospective par scénarios (1) Identification des choix technologiques par rapport à des objectifs de durabilité (Exemples)

Défis / Objectifs de durabilité	Solutions du génie génétique	Solutions du génie agroécologique
Changements climatiques (effets) Résistance aux extrêmes (sécheresse)	Plantes transgéniques résistantes à la sécheresse	Systèmes agroforestiers, systèmes de polyculture-élevage maximisant le taux d'humus et d'humidité du sol, etc.
Hausse du coût de l'énergie et maintien de la fertilité Réduction des intrants de synthèse (engrais)	Céréales transgéniques avec capacité d'absorption de l'azote atmosphérique	Mélanges céréaliers permettant de réduire la nécessité d'engrais
Santé environnementale Réduction des intrants de synthèse (pesticides)	Plantes résistantes aux Round-up, plantes Bt résistantes aux insectes, plantes résistantes aux maladies	Mélanges variétaux, lutte biologique, éliciteurs de résistance systémique induite, ...
Equilibre alimentaire	Plantes dont le contenu nutritionnel a été modifié (Riz doré), 'Alicaments'	Diversification des productions au niveau des régions, des exploitations agricoles et des parcelles

Remarque : les différentes innovations illustrées dans ce tableau peuvent également être classées en fonction de leur degré de cohérence avec les objectifs de durabilité agro-environnementale. Voir Tableau 42 p 403.

développements sont d'ailleurs utilisés dans cette thèse : les réseaux socio-techniques (Callon, 1986), les trajectoires technologiques (Dosi, 1993), la path dependence (David and Arthur, 1985) et le lock-in (Arthur, 1989). Ces développements épistémologiques sont accompagnés du développement de méthodologies qui permettent une plus grande réflexivité sur les liens entre technologies et sociétés. Ce faisceau de concepts et de méthodes permettrait, selon Stirling, de mieux concilier une attitude de précaution dans l'évaluation avec une approche prospective des possibilités, c'est à dire de relier ces deux interfaces entre sciences et politiques. L'évaluation du risque est en effet centrée sur le principe de précaution et tend à surestimer les perspectives pessimistes tandis que la prospective met la lumière uniquement sur les potentialités positives. Cette approche est reconnue comme souhaitable dans une perspective de développement durable par d'autres acteurs (INRA, 2002).

3) Construction des scénarios

La seconde étape est de comparer les voies d'innovations au sein de voies de développement et de construire des scénarios probables. Cette étape augmente grandement la complexité de l'opération.

La méthodologie de la **construction des scénarios** est expliquée de manière simple dans les exercices construisant des scénarios généralistes (DATAR, 2001; Lacombe, 2002; Hervieu et al., 2003). L'identification des différentes variables, à chaque niveau des filières agroalimentaires, est nécessaire pour élaborer les différents scénarios. Ces variables sont des éléments technologiques, sociaux, économiques, politiques et culturels. Elles concernent tant des éléments qui caractérisent l'état actuel des filières que les tendances de celles-ci et les évolutions possibles.

Il existe aujourd'hui, à chaque échelon des filières agroalimentaires, des tendances majoritaires et minoritaires en termes de caractéristiques actuelles et d'innovation. Celles-ci sont synthétisées de manière contrastée dans le Tableau 39, dont la lecture doit tenir compte des **précautions suivantes** :

- les colonnes ne représentent pas chacune une voie de développement mais contrastent des possibilités. Dans la réalité, il n'y a pas une voie de développement qui combine tous les attributs de la première colonne et une autre qui combine tous ceux de la seconde. L'agriculture biologique peut par exemple être insérée dans des filières industrialisées.
- il faut donc imaginer la construction de scénarios en combinant les différentes cases de ce tableau, qui sont des variables à chaque niveau de la filière.
- les éléments du tableau ne sont pas repris dans le texte.

Tableau 39 : Construction d'une prospective par scénarios (2) Caractéristiques et tendances de changement et d'innovations dans les modèles dominants et alternatifs

	Caractéristiques et tendances dans le modèle dominant	Caractéristiques et tendances des alternatives émergentes
Exploitations agricoles	Concentration, spécialisation, monoculture, hors-sol avec importation d'aliments,	Ancrage au territoire, diversification, polyculture,...
Voies d'innovations dans le champ	Amélioration variétale Génies chimique, génétique et mécanique Agriculture de précision (technologie de l'information) <i>Ex pommes</i> : Mur fruitier, Pommier à port colonnaire, robot récolteur. <i>Ex froment</i> : Amélioration des mélanges fongicides, du fractionnement de l'azote	Amélioration variétale (Sélection particip.) Génie agroécologique et génie mécanique <i>Ex pommes</i> : vergers agroécologiques favorisant lutte biologique, prés-vergers. <i>Ex froment</i> : expérimentation de systèmes à intrants réduits, variétés rustiques, création de mélanges variétaux.
Filières agroalim (Prod., transform., distrib.)	Entreprise capitaliste, Multinationales Globalisation des filières (prod., transf., distrib., conso.) Fordisme – toyotisme – emploi intérimaire Concentration Intégration horizontale et verticale Globalisation des marchés Supermarché Marketing puissant	Economie sociale, coopératives Filières de qualité différenciées Filières régionalisées Segmentation Vente directe Transports limités (zones de consommation proches des zones de production)

Voies d'innovations technologiques et organisationnelles	Nombreux « food miles » entre zones de production, transformation et consommation	
	<p><i>Technol.</i> : Aliments fonctionnels, R&D constante pour innovation mécanique et informatique</p> <p><i>Org.</i> : Just-in-time à tous les échelons de la chaîne, segmentation, marketing adapté à différentes classes de consommateurs</p> <p><i>Ex pommes</i> : pommes à contenu amélioré en vitamines. <i>Ex froment</i> : blé à taux de gluténine augmenté</p>	<p>Nouveaux partenariats agricult.-consommateurs : marchés fermiers, abonnements à des paniers de légumes, coopératives de consommateurs, partenariats entre coopératives agricoles régionales et collectivités territoriales</p> <p>Commerce équitable</p> <p>Slow Food</p> <p>Exploration des légumes 'oubliés'</p> <p><i>Ex pommes</i> : distributeurs de pommes dans écoles. <i>Ex froment</i> : pain Bayard, Agribio</p>
Consommateurs (Régime alimentaire)	Désaisonnalisé (produits importés) Augmentation des aliments prêts à l'emploi Proportion importante de viande Aliments surgelés	Respect du rythme des saisons (limitation des importations) Limitation des produits transformés Remplacement des protéines animales par des protéines végétales
Régime de protection des innovations	Brevets	Alternatives (régimes communautaires, taxe sur le pain pour faire supporter l'amélioration variétale par une plus large communauté)
Qualité	Garantie par des normes (GMP, HACCP, ...) Repose sur confiance dans les institutions et les contrôles (AFSCA,...)	Repose sur les partenariats 'Co-construite' entre les producteurs et les consommateurs
Insertion générale des filières dans la société		
Modèle général	Adaptation des filières à une globalisation basée sur un libéralisme capitaliste	Insertion de filières territorialisées dans globalisation maîtrisée et une économie davantage régulée publiquement
Pouvoir (contrôle de la filière)	Finance internationale (actionariat des multinationales de transformation et de distribution), états mis en compétition	Acteurs au niveau des régions (organisations territoriales de producteurs, gestionnaires, etc) et pouvoirs publics régionaux, nationaux et supranationaux
Rôle des Etats	Etats mis en compétition sur leurs réglementations économiques, environnementales et sociales	Coopétition (coopération-compétition) entre Etats et construction d'institutions internationales fortes
Critères dominants, valeurs	Profit et croissance	Profit, croissance, emploi, durabilité, justice sociale, santé, qualité de vie
Images/Icônes	<i>Global</i> : Unilever, Kraft, Parmalat, Nestlé, Monsanto, Mc Donald, Bayer, <i>Ex pommes</i> : variété <i>Pink Lady</i> <i>Ex froment</i> : Aveve/Brichart	<i>Global</i> : (-) <i>Ex pommes</i> : Gawi, Fruitnet, variété <i>Topaz</i> , <i>Reinette</i> , variétés <i>RGF</i> <i>Ex froment</i> : Agribio, Pain Bayard
Modèle de recherche	Instruction publique : « la science produit, les experts décident, on informe le public »	Participation et co-construction : Participation du public aux décisions (panel citoyens et focus groupes pour informer de la décision ; engagement du public dans l'orientation des recherches <i>Ex</i> : Sélection participative, réseau semences paysannes, recherche-intervention

Légende : Les deux colonnes ne sont pas deux voies de développement qui combindraient l'ensemble des caractéristiques. Les colonnes contrastent des modèles et des tendances, dominantes et alternatives (voir texte)

Pour illustrer brièvement, on peut mentionner trois exemples de scénarios possibles¹⁴⁰ :

- Scénario 1: Développement des plantes transgéniques au sein du modèle agroalimentaire industriel (monoculture, concentration des acteurs des filières et le supermarché comme principale interface avec le consommateur). Les plantes transgéniques renforcent le modèle dominant existant, et accentuent la différenciation entre ce modèle (ultra-dominant) et deux filières minoritaires : marchés de niche (bio) et filières régionales (partenariats entre consommateurs et producteurs).
- Scénario 2 : Poursuite du refus de la culture de plantes transgéniques parallèlement à une poursuite du modèle industriel dans les filières et donc de la concentration des exploitations. Réduction progressive des intrants dans l'agriculture (agriculture de précision). Importations de matières premières issues de cultures transgéniques. Perte progressive de concurrence de l'agriculture européenne sur les marchés mondiaux.
- Scénario 3 : Développement de l'agroécologie dans une perspective de réduction des externalités négatives de l'agriculture. Adaptation de l'agriculture et des filières pour réduire les émissions de gaz à effets de serre. Acceptation ou refus de plantes transgéniques 'durables' en fonction de la définition d'un projet agricole, des connaissances sur les risques et les incertitudes et sur base d'une participation publique dans la décision. Définition d'un régime de droits de propriété défavorable à l'appropriation du vivant par quelques grandes multinationales. Promotion d'une diversité de filières et de modèles agronomiques. Développement de filières basées sur des partenariats et contacts entre agriculteurs et consommateurs, et définition du rôle de l'agriculture dans des projets territoriaux.

Ces scénarios excessivement simplifiés doivent en fait être construits sur base d'une combinaison des différentes possibilités qui existent à chaque échelon des voies de développement dans lesquelles s'insèrent les voies d'innovation).

Ce tableau et les trois scénarios simplifiés permettent de comprendre facilement que les différents scénarios et voies de développement ont des 'besoins' d'innovations technologiques et institutionnelles complètement différents. Le génie génétique n'a pas le même intérêt pour les producteurs qui souhaitent poursuivre le modèle d'agriculture industrielle à large échelle que pour ceux qui souhaitent s'engager dans les filières alternatives. Le propriétaire brésilien grand cultivateur de soja peut profiter au mieux d'innovations technologiques s'il a accès au crédit. L'agriculteur wallon qui souhaite diversifier ses productions a par contre un besoin crucial d'innovations institutionnelles (pour trouver des canaux de vente de ses productions par exemple) ainsi qu'un besoin d'innovations technologiques qui sont sans doute différentes. Une plante résistante aux herbicides ou à une maladie peut être utile dans tous les scénarios, mais son développement n'a pas du tout la même priorité dans chacun de ceux-ci.

Il en est de même pour les nécessités en termes d'innovations organisationnelles ou institutionnelles. Le premier scénario a un besoin crucial d'une poursuite de la protection par brevets des gènes issus de végétaux, tandis que les acteurs du troisième

¹⁴⁰ L'auteur remercie Pierre Stassart pour les échanges sur l'idée de lier prospective technologique et scénarisation prospective. La construction de ces trois scénarios est basée sur son idée initiale.

scénario combattent ou souhaitent un contrôle bien plus strict de la brevetabilité du vivant. Le troisième scénario a un besoin crucial d'innovations institutionnelles pour améliorer les connaissances et les compétences des gens (Allaire and Wolf, 2004), pour diffuser les innovations, construire des partenariats entre agriculteurs et consommateurs, voire d'innovations institutionnelles en termes de régimes alternatifs de protection de la propriété intellectuelle.

Chaque scénario a donc besoin d'une combinaison d'innovations qui lui est spécifique.

L'étude de cas sur le froment, plus particulièrement la section « *La filière face aux maladies cryptogamiques de demain : les voies d'innovations 2005-2020* » comprend plusieurs composantes de ce que pourrait être un exercice de prospective sur l'innovation par rapport à la gestion des maladies en cultures céréalières. L'identification des voies d'innovations et l'analyse de leur niveau de développement sont une sorte d'état des lieux, tandis que l'analyse du potentiel des voies d'innovations selon les acteurs et l'analyse des déterminants d'innovation correspondent à l'étape préalable à la construction des scénarios. L'analyse des déterminants d'innovation est essentielle à une prospective systémique. Il faut en effet imaginer tant les évolutions technologiques potentielles que les possibles évolutions institutionnelles, économiques et politiques.

La méthodologie utilisée dans les études de cas peut cependant être approfondie. Trois axes sont proposés pour d'une part, mieux analyser les voies d'innovations et d'autre part, construire des scénarios plausibles. Les méthodologies qui permettent ces améliorations sont présentées dans la Section 5 car elles peuvent également être utilisées dans d'autres approches que la prospective, comme les deux méthodes discutées dans la section suivante.

La mise en oeuvre concrète de la comparaison des choix technologiques et des scénarios de développement nécessiterait une structure administrative adaptée qui pourrait piloter les différentes activités qui s'y rapportent : une Agence de l'Innovation. Voir la section 3 de ce chapitre (p 430).

4. Intégrer l'approche systémique dans des méthodes 'ouvertes' d'évaluation des innovations

Cette section discute la possibilité d'améliorer deux autres méthodes existantes qui avaient été présentées très brièvement dans la synthèse des méthodes de *technology assessment* du premier chapitre (Tableau 1 p 32) car elles méritaient d'être abordées ici davantage que les autres.

La première est l'évaluation multi-critères 'cartographique' (*multi-criteria mapping analysis, MCMA*), une méthode participative qui implique différents acteurs engagés dans le débat public sur les OGM et leur fait évaluer des scénarios sur l'avenir de l'agriculture et la place que pourraient y prendre les OGM. La seconde est l'évaluation technologique interactive (ETI), qui implique des acteurs d'une filière particulière dans un processus réflexif sur l'innovation dans leur secteur.

A. L'évaluation multi-critères 'cartographique' (MCMA)

L'évaluation multi-critères 'cartographique' (*multi-criteria mapping analysis, MCMA*) a été proposée par Stirling et Mayer (2002, 1999) pour évaluer l'intérêt des plantes transgéniques au sein de différents scénarios pour l'agriculture anglaise (agriculture conventionnelle, agriculture biologique et intégrée et place des plantes transgéniques au sein de ces scénarios). La méthode procède par entretiens individuels et suit quatre étapes, depuis la formation de scénarios potentiels jusqu'à la pondération des critères d'évaluation (Stirling and Mayer, 1999; Mayer and Stirling, 2002)¹⁴¹.

L'approche systémique pourrait améliorer la méthode MCMA en substituant une vision dynamique de l'innovation à la vision statique sur laquelle elle est actuellement basée. La MCMA, dans la seule application connue, évalue en effet des scénarios 'figés'. Les

¹⁴¹ Présentation en détail de la méthode : Douze personnes ayant un rôle important dans le débat sur les OGM sont sélectionnées (des représentants de filières agricoles, de firmes biotechnologiques, d'instituts de recherche, des pouvoirs publics et des associations environnementales ou des consommateurs). Les interviews (2-3h) individuels avec chaque participant suivent les quatre étapes : 1) décider les scénarios à évaluer 2) définir les critères d'évaluation des scénarios 3) assigner les scores et 4) pondérer les critères. Les interviews se font avec un ordinateur portable, un enregistreur, un programme informatique préparé qui guide l'interview et le protocole d'interview. Durant la première étape (Comparer des scénarios), on propose à chaque personne d'évaluer trois scénarios : agriculture conventionnelle, agriculture biologique et agriculture transgénique (pour le colza). Le participant peut ajouter des scénarios supplémentaires (ce qui a été fait : agriculture intégrée, différents scénarios de cultures transgéniques). A la seconde étape (Définir les critères d'évaluation), les participants définissent les critères en fonction desquels ils vont évaluer les scénarios. Ils peuvent en choisir maximum douze. En tout, 117 critères ont été retenus, assemblés par thématiques. Lors de la troisième étape (Assigner les scores), les participants évaluent chaque scénario en fonction des critères choisis (scores allant de 1 à 10 ou 100). De plus, les participants donnent une mesure de d'incertitude, ou d'optimisme, en regard des scores qu'ils donnent (sensitivity testing). A la quatrième étape (Ajouter les pondérations), les participants classent les critères du plus important au moins important, en assignant des pondérations relatives. Cette étape rassemble les traductions de jugements de valeurs les plus grandes. La MCMA se termine par l'étape du "Grand finale" : une formule simple donne un résultat final. Les participants sont libres de réexaminer leurs choix et de les modifier si le résultat final ne leur semble pas refléter leur opinion (ce qu'ils n'ont pas fait, renforçant l'impression que la méthode semble rigoureuse). Les résultats ne sont pas agrégés (au niveau du total des critères) afin de montrer aux décideurs publics la variété des opinions exprimées. Par contre, les convergences et divergences sont relevées. Des graphiques visualisent les résultats.

participants évaluent plusieurs scénarios, dont un scénario « plantes transgéniques dans la prolongation d'un mode d'agriculture conventionnelle » avec un scénario « agriculture biologique ».

Cette évaluation comparative de scénarios est 'statique' et non 'dynamique' car elle ne tient compte ni des éléments historiques qui ont construit ces scénarios ni des éléments dynamiques qui pourraient avoir lieu dans le futur. Les scénarios sont en effet dépendants du passé : les scénarios « agriculture conventionnelle » et « plantes transgéniques » ont été rendus possibles grâce à d'importants investissements de recherche publique et privée durant plus de trente ans, alors que le système d'agriculture biologique s'est construit, lui, de manière marginale durant cette période, sans soutien de programme de recherche public structuré. En ce qui concerne l'avenir, un exemple d'élément dynamique est l'impact qu'un effort de recherche plus important dans la voie d'innovation « génie agroécologique » pourrait avoir sur la diffusion de ce scénario, ainsi que sur le rythme et l'importance des innovations pour ce mode d'agriculture, ce qui augmenterait sa rentabilité. Dans une perspective systémique, il faut intégrer ces deux éléments dans la MCMA.

Le Tableau 40 illustre des exemples de scénarios qui pourraient être évalués dans une méthode MCMA 'dynamique' et 'système' appliquée au cas du problème de la tavelure du pommier. Celle-ci permettrait d'évaluer des scénarios de systèmes agricoles comprenant les possibilités d'innovations agronomiques et institutionnelles qui s'intègrent dans ceux-ci. La représentation est simplifiée par rapport à l'ensemble des variables qui pourraient être prises en compte et qui a été présentée dans le *Tableau 39 : Construction d'une prospective par scénarios (2) Caractéristiques et tendances de changement et d'innovations dans les modèles dominants et alternatifs p 375).*

Tableau 40 : Scénarios de systèmes agricoles et de voies d'innovations qui pourraient être évalués au sein d'une méthode MCMA 'dynamique et systémique'

Scénarios de systèmes agricoles et voies d'innovations	
Arboriculture conventionnelle	Utilisation de fongicides de synthèse sur base de systèmes d'alerte
Arboriculture intégrée	Arboriculture conventionnelle + amélioration des systèmes d'alerte (intégration facteurs biologiques) + amélioration des épandeurs de fongicides (efficience)
Arboriculture biologique	Améliorations des solutions de cuivre et de soufre, alternatives + réduction de l'inoculum au printemps (broyage des feuilles, urée)
Génie génétique	Utilisation de variétés transgéniques résistantes aux maladies
Arboriculture agro-écologique	Utilisation de variétés résistantes polygéniques et/ou : + éliciteurs de résistance systémique induite + champignons antagonistes + fongicides organiques + meilleure aération du verger (espace interlignes et inter-arbres) + haies interlignes + vergers mixtes (polyvariétaux, poly-espèces) + vergers hautes-tiges, systèmes agroforestiers
Innovations commerciales	Incitation à la diversification des variétés vendues en supermarché, à la vente directe (promotion de variétés résistantes peu connues), ...

Après l'évaluation de ces scénarios, il y aurait lieu d'insérer dans l'exercice les différentes **marges de manœuvre** dont disposent les pouvoirs publics pour avantager et désavantager ces différents scénarios.

Ces marges de manœuvre aux mains des pouvoirs publics sont connues :

- La régulation formelle des biotechnologies, qui a un effet direct sur les scénarios impliquant des plantes transgéniques (avis positifs ou négatifs sur les autorisations de champs d'essais, de mise en culture commerciale de plantes transgéniques, et d'importation de produits issus de plantes transgéniques).
- La politique scientifique (l'allocation des ressources à la recherche et au développement en agronomie, qui influence les différentes voies d'innovations, celles-ci s'insérant elles-mêmes de manière différenciée dans chaque scénario).
- Les politiques agricoles, fiscales, économiques qui sont les différents leviers d'action (stimulants et freins) pour stimuler ou décourager différents scénarios.

Les participants pourraient alors évaluer la pertinence d'utiliser ces différents moyens publics d'agir sur le développement des scénarios et de pondérer les priorités en la matière. Cette « traduction » des liens entre innovations technologiques et innovations institutionnelles ou politiques permettrait d'améliorer l'intérêt de la MCMA comme outil d'aide à la décision politique.

B. L'évaluation technologique interactive (ETI)

La première application de l'évaluation technologique interactive (ETI) (*interactive technology assessment*) à la question des plantes transgéniques a eu lieu en France (Bertrand 2005). En pleine controverse sur les essais en plein champ de plantes transgéniques, l'INRA a suspendu un projet d'expérimentation de porte-greffes de vignes transgéniques potentiellement résistantes au court-noué (une maladie causée par un virus) et a initié un dispositif d'ETI afin d'obtenir des recommandations d'acteurs de la filière viticole sur l'opportunité de réaliser les essais en plein champ.

Le rapport du groupe de travail¹⁴² démontre l'intérêt de l'expérience et souligne à juste titre que « *la communication entre la recherche et la société en général et la profession est plutôt mal organisée* » (INRA, 2002). Bien que les avis issus de l'ETI n'aient pas structuré le débat général sur les OGM, et n'aient pas fortement influencé les modalités classiques de la décision politique, Bertrand et al.(2005) soulignent qu'elle a suscité au sein de l'INRA une « *véritable réflexion sur l'organisation de la recherche et la mise en œuvre concrète de nouveaux dispositifs associant chercheurs et professionnels* ».

Un moyen d'améliorer concrètement le résultat de ce dispositif est de permettre au groupe de travail d'approfondir une de ses propres recommandations, celle qui incite l'INRA à évaluer « *l'opportunité de la recherche (vignes OGM) par rapport aux autres solutions possibles* » (INRA, 2002). Le groupe devait en effet inclure dans son travail

¹⁴² Un groupe de quinze personnes associant professionnels d'une filière agroalimentaire, chercheurs, consommateurs et citoyens.

des propositions pour les recherches menées par l'INRA sur leur filière, mais cet objectif n'a pas pu être réalisé. Un des principaux problèmes mentionnés par les coordinateurs de ce projet est celui du temps : les participants ont un temps limité à consacrer à l'expérience et leur implication n'est pas extensible indéfiniment (Bertrand et al., 2005).

La proposition d'amélioration de l'ETI consisterait à soumettre au groupe de travail un rapport du même type que le Chapitre 4 de cette thèse (principalement la section sur les voies d'innovations 2005-2020, ou d'en synthétiser oralement le contenu. Cela permettrait au groupe d'approfondir directement la question de l'évaluation comparative des innovations et de pallier le problème du temps.

L'approche systémique serait donc une sous-étape de l'ETI, menée par exemple de manière indépendante par un chercheur externe.

L'ETI inclut déjà l'utilisation d'un grand nombre de rapports de recherche, rapports publics, notes de synthèse sur certains domaines et revues de presse qui sont fournis aux participants à leur demande. Il ne s'agirait cependant pas d'utiliser le fruit de l'approche systémique comme un simple document « informatif ». Il s'agirait plutôt d'un document préparatoire à une discussion structurée en vue d'aboutir à des recommandations sur les voies d'innovations à privilégier, voire à une évaluation structurée par les acteurs.

Cette amélioration de la méthode ETI pourrait se révéler utile pour faire face aux mutations des organismes de recherche qui tentent de mieux répondre aux souhaits de meilleure communication entre les professionnels de l'agriculture et les aspirations de la société en général. La direction de l'INRA, suite aux recommandations du groupe de travail, a décidé par exemple en 2003 la création d'un « comité mixte sur la recherche viti-vinicole » qui aurait pour objectif de construire des propositions sur les grandes orientations des programmes de recherche futurs sur la vigne à l'INRA (Bertrand et al., 2005). Ce comité mixte n'a jamais été mis sur pied faute de savoir qui y serait représenté, bien qu'un comité local de suivi des essais en champ de vignes transgéniques a émis quelques propositions (Joly, communication personnelle).

5. Des méthodes pour approfondir l'évaluation et la gestion des innovations

L'exploration de méthodes qui permettent une meilleure comparaison des innovations (souhaitée par de nombreux acteurs du débat sur les OGM, cfr p 44) se poursuit ici par des propositions très concrètes.

Cette dernière section présente **trois propositions de méthodes** qui pourraient être intégrées dans les méthodes discutées dans ce chapitre afin de mieux prendre en considération l'innovation comme phénomène systémique :

- La première est la définition d'une grille de critères qui synthétise toutes les dimensions évaluables potentiellement concernées par une innovation (Sous-section A).
- La deuxième concerne une évaluation approfondie du niveau de développement actuel de chacune des voies d'innovations (Sous-section B)
- La troisième vise l'évaluation du potentiel de chaque voie d'innovations à aboutir à des applications concrètes dans les champs (Sous-section C).

Les deux dernières propositions sont des approfondissements de la méthodologie qui a abouti à l'analyse des voies d'innovations dans les études de cas.

Remarques

Ce travail a entre autres été motivé par un souci d'aide à la décision publique. Certaines des propositions ont été formulées en conclusion d'un projet de recherche commandé par la DG Environnement du Service Public Fédéral Santé Publique, Sécurité de la Chaîne alimentaire et Environnement (Vanloqueren, 2005).

Il sera proposé, dans le chapitre suivant, de donner pour mission à une Agence de l'innovation d'institutionnaliser ces deux évaluations.

A. Grille de critères d'évaluation de la pertinence des innovations

La définition d'une **grille de critères d'évaluation** des plantes transgéniques n'est pas nouvelle. La plupart des listes de critères existantes sont cependant centrées sur un domaine particulier, généralement les risques pour la santé ou l'environnement¹⁴³.

Il a donc été jugé utile de faire un travail qui (i) synthétise les différents critères proposés par d'autres auteurs, (ii) traduise en critères des aspects discutés par d'autres

¹⁴³ Pour les impacts environnementaux, voir par exemple (Altieri, 2000; Wolfenbarger, 2000; Pretty, 2001; Clark et al., 2002; Chevassus-au-Louis, 2002; Ervin et al., 2003). Pour une analyse de la contribution du lin entre plantes transgéniques et durabilité, voir (Hubbell B.J., 1998; Levidow, 2000; Hails, 2002). For les impacts socio-économiques et éthiques, voir (Lacy and Busch, 1991; Robinson, 1999; Altieri, 2000; Carr and Levidow, 2000; Mephram, 2000; Pouteau, 2000; Chevassus-au-Louis, 2001; Pretty, 2001; International Council for Science, 2003; Cooke, 2003; Ingeborg and Traavik, 2003; Comstock, 2004; Beekman, 2004; Karlsson, 2003).

auteurs mais qui n'étaient pas formellement considérés comme tels, (iii) traduise en critères les enseignements des études de cas de cette thèse.

La grille de critères (Annexe VIII) a été initialement construite pour pouvoir évaluer les plantes transgéniques mais elle est également adaptée pour pouvoir comparer différentes autres innovations scientifiques.

Cette liste n'est pas exhaustive mais recouvre un nombre important de dimensions potentiellement affectées par les plantes transgéniques. Elle est composée de groupes et de sous-groupes regroupant les critères par thématiques. Elle inclut des critères environnementaux, agricoles, socio-économiques et sociétaux de même que les dimensions moins facilement paramétrisables, comme l'incertitude ou les effets cumulés à long terme.

Le concept de « **pertinence** » a été choisi comme base de référence pour l'évaluation. On peut définir la pertinence d'une innovation, par exemple une plante transgénique, comme sa contribution à faire évoluer l'agriculture vers plus de durabilité. La notion se situe donc à un niveau public plutôt que privé, et englobe plusieurs dimensions.

Plus concrètement, la pertinence de l'innovation peut être considérée à deux niveaux :

- (i) au niveau du champ, comme sa capacité à résoudre le(s) problème(s) pour lesquels elle a été développée (dégâts d'insectes, maladies,...) sans en créer de nouveaux et
- (ii) au niveau régional ou sociétal, comme sa capacité à contribuer aux objectifs publics plus larges (environnement, durabilité, développement agricole...).

La grille de critères n'a cependant d'utilité que si elle est intégrée au sein d'une méthodologie d'analyse ou d'évaluation. Elle devrait idéalement faire l'objet d'une discussion entre tous les acteurs concernés (acteurs de filières agricoles et agroalimentaires, experts scientifiques, pouvoirs publics, groupements d'intérêt publics et citoyens). Elle n'est donc qu'une proposition 'intermédiaire' et inachevée, destinée à être améliorée ou adaptée par différents acteurs tels que les chercheurs et institutions de recherche, les instances de financement de la recherche, les groupements d'agriculteurs, etc. Elle permet cependant de répondre à plusieurs des critiques formulées à l'évaluation actuelle des plantes transgéniques, comme l'absence de critères socio-économiques (cfr Chapitre 1).

Enfin, un travail supplémentaire devrait s'attacher au choix de méthodologies pour donner des clés de réponse à chacun des critères : fixation de scores quantitatifs pour chaque innovation sur chaque critère, pondération des critères entre eux, etc.

Remarque : les différentes innovations peuvent également être classées en fonction de leur degré de cohérence avec les objectifs de durabilité agro-environnementale sur base d'une simplification de ceux-ci (Voir Tableau 42 p 403).

B. Evaluation des niveaux de développement des voies d'innovations

L'évaluation des niveaux de développement des différentes voies d'innovations est nécessaire pour identifier si une voie d'innovations est au niveau conceptuel (essais restreints en laboratoire), au stade de concrétisation progressive (champs d'essais et expérimentations chez des agriculteurs) ou au stade de commercialisation ou de

diffusion finale. Cette évaluation n'a pas pour seul objectif de dresser un état des lieux : il s'agit également d'évaluer les efforts de recherche et développement faits sur chaque voie d'innovations. Cette évaluation est essentielle pour les pouvoirs publics. En effet, on peut estimer normal qu'une voie d'innovations dotée d'un maigre budget de recherche ne produise pas rapidement des résultats satisfaisants. Au contraire, ce ne serait pas le cas pour une voie d'innovations largement soutenue par des investissements tant publics que privés et qui n'aboutirait pas à une solution satisfaisante. Le potentiel de la seconde voie d'innovations pourrait plus facilement être évalué comme faible, comparé au potentiel de la première, qui reste à découvrir.

Une évaluation complète et rigoureuse devrait comprendre les étapes suivantes :

1. Une revue bibliographique qualitative et des analyses bibliométriques pour évaluer l'importance de la voie d'innovations dans les publications scientifiques. Le nombre de publications est un indicateur de l'intérêt de la communauté scientifique et des efforts de recherche réalisés sur cette innovation. Cette possibilité, et la suivante, ont été explorées dans la thèse sans y être intégrées formellement.

Remarque : pour plus de détails, voir *Perspectives de recherche pour une meilleure compréhension des processus d'innovation* p 463).

2. Une analyse de l'effort de recherche par un inventaire des projets de recherches financés sur chaque voie d'innovations. Cette évaluation doit permettre d'analyser l'effort de recherche qui a été fait par la recherche publique et par les acteurs privés sur chaque voie d'innovations (à l'échelle européenne par exemple, voire internationale car le développement des plantes transgéniques est internationalisé). Cette analyse doit permettre d'étudier si le potentiel de chaque voie d'innovations a été testé et analysé scientifiquement de manière conséquente, ou au contraire a été ignoré. Elle permet d'analyser l'effort de recherche avec le concept de « knowledge stocks » de Pardey et Beintema (2001) de manière bien plus détaillée

Remarque : idem (voir p 463).

3. Une analyse des positions publiques sur les possibilités d'innovation dans les documents et programmes politiques importants pour l'avenir de la recherche. Celle-ci permet de donner des informations qualitatives complémentaires aux données quantitatives de l'étape précédente. L'importance du soutien politique à certaines voies d'innovations peut être analysé dans les Livres Blancs, Programmes-cadres de l'Union Européenne et autres rapports significatifs sur la politique scientifique.
4. Un inventaire des brevets et des propriétaires des brevets devrait être réalisé pour compléter cette analyse. Cet inventaire est un indicateur de l'importance de certaines voies d'innovations (le génie génétique par exemple). Il permettrait de déterminer les acteurs (privés ou publics) actifs sur ce type d'innovation, ainsi que les plantes sur lesquelles des projets de recherche ont été ou sont en cours (et les phénotypes concernés par les brevets). Une analyse des licences accordées permettrait aussi d'évaluer si le brevet est réellement utilisé ou reste dormant. Cet inventaire donnerait une meilleure idée sur les stratégies des firmes.

5. Une enquête par entretiens semi-dirigés de scientifiques et d'acteurs des filières agricoles dans chaque domaine concerné est essentielle pour obtenir les informations qualitatives vitales sur le développement des innovations dans leur filière (informations qui ne sont pas dans les publications et bases de données de projets de recherche). Ceci est une des principales étapes réalisées lors des études de cas, mais une telle enquête devrait se faire à l'échelon international pour tenir compte de la dimension internationale de la recherche dans certains domaines scientifiques.
6. Une analyse qualitative des principaux résultats concrets obtenus par les recherches jusqu'à aujourd'hui sur chaque voie d'innovations (recherches identifiées aux points 1, 2 et 5) afin d'identifier les succès et échecs de la voie d'innovations.

C. Evaluation du potentiel des voies d'innovations

L'analyse du niveau de développement de chaque voie d'innovations permet d'aboutir à un « instantané » de ce qui est possible, à un moment donné, dans chaque voie d'innovations. Les choix d'innovation reposent cependant en grande partie sur le futur. Qu'est-il possible d'obtenir, dans un horizon temporel de 10 à 20 ans par exemple, avec un effort soutenu dans telle ou telle voie d'innovations ? Des applications concrètes accessibles aux agriculteurs sont-elles envisageables ?

Il faut donc analyser les arguments qui font dire aux chercheurs et acteurs des filières qu'une voie d'innovations a, ou n'a pas, du potentiel pour l'agriculture de demain. L'intérêt de cette analyse repose essentiellement sur la distinction entre les arguments qui sont liés à des facteurs technico-scientifiques (« *on peut théoriquement évaluer que le potentiel agronomique de cette innovation est très limité* ») et ceux qui sont liés à des facteurs de développement socio-économiques (« *telle voie d'innovations semble aller à contre-courant* »). Cette distinction est capitale pour la décision en politique scientifique, étant donné que la seconde catégorie d'arguments est liée à une appréciation du contexte socio-politique par les experts à un moment donné (ou des valeurs et projets sur ce contexte) alors que le décideur public a une éventuelle capacité d'action sur l'avenir de ce contexte socio-politique. Il revient donc de distinguer les deux et de laisser la décision finale au politique.

C'est par ailleurs via cette analyse du potentiel des voies d'innovations *selon les acteurs* qu'il est possible, dans les entretiens avec ces acteurs, d'identifier les déterminants d'innovation qui accélèrent ou freinent une voie d'innovations. Cette analyse, elle aussi, est nécessaire pour éclairer la décision publique.

Les différentes étapes méthodologiques pour une telle évaluation sont les suivantes :

1. Une analyse des différentes innovations déjà utilisées dans différents pays et pour différentes cultures. Cette étude doit permettre d'évaluer si une voie d'innovations a déjà pu résoudre certains problèmes dans d'autres pays ou cultures. La diffusion d'une voie d'innovations est en effet un indicateur de son succès et de son potentiel. Les services publics de statistiques agricoles recensent rarement de telles innovations (utilisation de variétés résistantes, de mélanges variétaux par exemple). L'analyse peut être réalisée qualitativement par une recherche initiale dans la presse agricole et la littérature scientifique

(bien que celles-ci se concentrent plus sur les aspects de « recherche » que de « développement »). Elle doit être complétée par des enquêtes quantitatives dans les filières agricoles, auprès des firmes privées proposant ces produits et des services d'encadrement des producteurs.

2. Une enquête auprès des scientifiques et des acteurs des filières est cruciale pour l'évaluation du potentiel des voies d'innovations. Il est difficile de trouver une information complète dans les publications et rien ne vaut l'expérience humaine accumulée par les personnes qui connaissent au mieux la recherche faite sur une plante ou sur une voie d'innovations. Des interviews avec les responsables des départements R&D des firmes privées et des institutions publiques de recherche devraient être menées, ainsi que des interviews avec les autres acteurs des filières.
3. Une analyse prospective du potentiel de chaque voie d'innovations à différentes échelles temporelles (5, 10 et 20 ans) dans plusieurs scénarios d'évolution du contexte socio-économique et politique (prix des matières premières agricoles, de la terre, des intrants, politiques agricoles, etc.) (Voir section sur la prospective p 371).

* * *

Les résultats de toute évaluation sont déterminés tant par le choix des questions que par les informations disponibles pour répondre aux questions posées. Les différentes étapes de récolte d'informations proposées dans cette section permettent d'améliorer la base de connaissances sur laquelle repose l'information et de distinguer partiellement les aspects purement agronomiques de ceux qui proviennent des influences du contexte économique et socio-politique. En structurant l'évaluation des innovations pour tenir compte de ces aspects, ces propositions permettent ainsi une évaluation plus complète et plus juste des voies d'innovation.

Chapitre 9 : Propositions de politiques d'innovation : du Progrès des Lumières vers la durabilité et la maîtrise des choix technologiques

« Après l'ère de la maîtrise de la nature, vient l'ère de la maîtrise de cette maîtrise »

Christophe Bonneuil et Yves Sintomer (2003)

L'innovation prend une place de plus en plus importante dans les politiques nationales et internationales. Au niveau européen, la politique de recherche gagne en ampleur à chaque nouveau programme-cadre et la Commission Barroso prépare par ailleurs une série d'initiatives visant à doper l'innovation. **Un seul chiffre, 3%**, en est venu à symboliser la place que la recherche devrait prendre dans les politiques nationales. Il y a dix ans, ce chiffre symbolisait l'orthodoxie budgétaire que les Etats-membres s'étaient imposée pour créer une monnaie unique et forte. Depuis la Stratégie de Lisbonne conclue en mars 2000, les 3% représentent un des principaux efforts que ces mêmes pays doivent faire pour l'Union : la part de la richesse nationale que chaque Etat doit consacrer à la recherche pour faire de l'Europe *l'économie la plus compétitive du monde*.

La réduction du déphasage structurel qui existe entre avancées technologiques, production de connaissances utiles pour gérer l'innovation et avancées institutionnelles et sociales de régulation de l'innovation est estimée par certains être « *une question aussi importante pour la durabilité du développement que de favoriser le processus d'innovation dans l'agriculture et l'industrie* » (INRA, 2002). La nécessité de réduire ce déphasage avait d'ailleurs été définie comme un des postulats de cette thèse. Cette réduction passe par une amélioration des politiques d'innovation. L'objectif de ce chapitre est d'y contribuer.

L'approche systémique, élaborée à partir de l'évaluation des plantes transgéniques a aboutit à replacer cette évaluation dans le cadre beaucoup plus large des processus d'innovation. Le premier chapitre avait aboutit au constat que le mode actuel de gestion de l'innovation, en particulier l'évaluation des OGM, est centré sur une conception réductionniste et libérale du principe de précaution. Cinq raisons fondamentales étaient avancées pour estimer que cette conception et ce mode de gestion sont insatisfaisants (cfr p 52-54). Le référentiel du développement durable, qui est abordé au début de ce chapitre, impose de construire une vision de l'action publique qui prenne acte de ces insuffisances. L'approche systémique aboutit dans ce chapitre à des propositions de politiques d'innovation qui intègrent l'innovation comme un phénomène systémique et contribuent à combler les lacunes observées dans les études de cas.

Le chapitre est composé de cinq sections. La première concerne le référentiel dans lequel les acquis de l'approche systémique sont discutés, le développement durable. Quelle est, conceptuellement, la place de l'innovation dans ce référentiel ? (**Section 1**). Les propositions politiques issues de l'approche systémique sont ensuite formulées une à une (**Section 2**). Elles concernent trois grands domaines : établir une comparaison systémique des voies d'innovations, sortir de la situation de *lock-in* dans laquelle les filières et les systèmes de recherche se trouvent et expérimenter des systèmes nouveaux

qui gèrent l'innovation selon des règles différentes de celles qui prévalent dans le régime d'innovation dominant. Une proposition institutionnelle pour la coordination de ces politiques est formulée (**Section 3**). Le chapitre se conclut sur la question de la décision politique en matière d'innovation, qui inclut la question la démocratie participative (**Section 4**) et sur les choix éthiques et/ou politiques faits individuellement par les chercheurs et collectivement par leurs institutions (**Section 5**).

1. L'innovation dans le projet du développement durable

Les concepts de développement durable et de durabilité ont profondément renouvelé l'analyse du rôle de l'innovation par rapport à celui présent dans les deux grandes traditions politiques, le libéralisme et le socialisme.

La redéfinition du rôle de l'innovation est en cours depuis vingt ans. Elle n'a pas encore complètement imprégné les politiques de recherche et d'innovation. Il est important de partir de la vision de l'innovation hors du développement durable, celle héritée des Lumières (sous-section A). On s'attachera ensuite à expliciter les deux grandes significations du développement durable (sous-section B) et le rôle que l'innovation a dans chacune de celles-ci (sous-section C). Enfin, il sera argumenté que les changements globaux actuels nécessitent un changement de paradigme en agriculture (sous-section D).

A. La vision du progrès héritée des Lumières

Nos sociétés occidentales sont imprégnées d'une vision du progrès scientifique et technique héritée des Lumières. Cette vision est celle du projet moderniste de maîtrise du monde par la science et de l'idée d'un lien automatique entre progrès scientifiques et progrès humains et sociaux. L'innovation technologique est donc un bien en soi car elle amènerait la croissance économique, qui entraînerait elle-même le progrès social. Dans ce référentiel positiviste, la science est une entité qui se situe en dehors de la société. Les politiques d'innovation sont des politiques qui doivent favoriser le progrès scientifique et le transfert des connaissances et applications produites vers la société. Il n'y a aucune idée d'orientation de ce progrès.

Le projet moderniste et l'hypothèse de la séparation entre la science et la société est dépassée. Gibbons, Nowotny, Beck, Callon, Latour et de nombreux autres ont analysés et décrits les mutations des rapports entre sciences, techniques et sociétés des trois ou quatre décennies passées. Le rôle accru du marché dans la science, l'émergence de nouveaux risques et les nouvelles attentes sociales par rapport à la science ont redéfini la place de celle-ci dans la société. Le progrès n'est plus un bien en soi et la science n'est plus en dehors de la société.

Le progrès des Lumières continue cependant à influencer les esprits tout comme les méthodes de gestion de l'innovation.

Il reste commun, dans le monde scientifique et celui de la politique scientifique, d'affirmer la nécessité absolue de repousser le plus loin possible les frontières de nos connaissances sur le monde. L'ex-commissaire européen à la recherche Philippe Busquin affirmait par exemple récemment, lors d'un colloque sur les OGM organisé par

son parti, qu'il fallait absolument séparer conceptuellement le progrès des connaissances scientifiques des applications réelles de celui-ci¹⁴⁴. Si les applications des progrès de la science pouvaient être l'objet de décisions politiques, la question de l'avancement des connaissances scientifiques devait elle être absolue, à de rares exceptions éthiques près.

La prospective technologique est issue du projet moderniste : elle entraîne une vision 'mue par les possibilités technologiques' (*technology-driven*). C'est l'amplitude des applications potentielles d'une découverte scientifique ou d'une technologie qui importe. Les politiques publiques, dont les politiques scientifiques et les autres politiques d'innovation (droits de propriété intellectuelle,...) doivent être adaptées pour permettre le développement du « plein potentiel » de la technologie concernée. Cette approche est très présente dans tout ce qui touche aux biotechnologies et donc au génie génétique. Les seuls obstacles au développement d'applications possibles du génie génétique ont d'abord été la présence d'éventuels risques pour la sécurité des consommateurs. Les risques pour l'environnement et la question du choix du consommateur ne sont venus s'ajouter aux contraintes que suite aux fortes réactions de l'opinion publique sur les OGM.

Cette approche touche à la question du développement durable parce qu'elle influence la définition des problèmes pris en compte. La définition de ce qui pose problème se fait en effet à partir des possibilités des technologies (et non par une approche systémique qui démarre par le problème, comme dans les études de cas de cette recherche). Les conséquences de cette définition de problème par les technologies sont très bien illustrées par Pretty (2001) à partir de l'exemple des plantes transgéniques résistantes aux insectes : *“Monsanto a déterminé que le problème était les insectes ravageurs des pommes de terre, pas la monoculture de pommes de terre”*. Levidow (1998) va plus loin en avançant que la vision sous-jacente aux plantes transgéniques est de corriger les 'défauts génétiques' de la nature : *« La recherche sur les biotechnologies définit le problème comme un contrôle inadéquat de l'abondance potentielle de la nature et d'autres menaces environnementales sur l'agriculture. Les problèmes socio-agronomiques inhérents à l'agriculture intensive sont attribués à des défauts génétiques qui doivent être corrigés à l'échelle moléculaire »*.

On comprend facilement que l'approche *technology-driven*, influence la définition des problèmes, donc la compréhension de ceux-ci, et en conséquence la gestion des systèmes agricoles. Elle influe aussi sur l'évaluation des solutions mises en œuvre depuis les critères de celle-ci jusqu'à la définition du système étudié dans ses dimensions géographiques et temporelles. Cette approche sous-évalue les possibilités d'agir sur les causes des problèmes, notamment par des innovations institutionnelles et politiques plutôt que technologiques. Elle restreint la manière de penser l'innovation.

Les politiques publiques d'innovation axées sur cette vision poursuivent traditionnellement plusieurs objectifs principaux : la croissance économique, l'encouragement du progrès technique par la protection des innovateurs (régime de

¹⁴⁴ « Il faut absolument faire une distinction entre la science et les applications de la science. En science, il faut aller le plus loin possible, ne pas mettre de limite. La science a une valeur en soi. Après on peut débattre. Mais les deux sont séparés. » Colloque « Les OGM peuvent-ils être utiles ? », 13 mars 2006, PS-IEV, Bruxelles.

propriété intellectuelle) et la sécurité des usagers (définition de normes) (Laredo et Mustar, 2003).

B. La durabilité : norme ou horizon ?

Le concept de développement durable, victime de son succès, est aujourd'hui un « concept contestable » : comme la justice ou la démocratie, il fait l'objet d'un accord sur la compréhension implicite de sa signification, mais de désaccords sur sa concrétisation pratique et technique (Zaccai, 2002).

La définition initiale du développement durable dans le Rapport Brundtland a été largement diffusée et acceptée. Le développement durable est « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs » (ONU, 1987).

Le Rapport Brundtland a été suivie d'une profusion de définitions et de travaux. Ceux-ci s'accordent sur les principes suivants, qui peuvent être vus comme des dénominateurs communs :

- L'existence de trois composantes du développement (économique, environnementale et sociale),
- La place centrale donnée à la recherche d'une intégration entre ces composantes,
- La reconnaissance des effets globaux des activités humaines et de limites environnementales (dépassées dans certains cas),
- Le souci d'un équilibre et d'une articulation entre présent et futur (justice intergénérationnelle), entre local et global,
- La reconnaissance implicite d'un écart entre l'état actuel du monde et un état souhaitable qui soit durable
- L'objectif de guider les politiques publiques et de fonder une 'nouvelle manière d'agir' (incluant notamment une plus grande participation des acteurs aux décisions qui les concernent),
- La nécessité d'une action individuelle et collective.

Là où les avis divergent, c'est dans la signification concrète du développement durable pour l'action et pour la recherche. **Deux approches générales** coexistent : le développement durable comme cadre normatif et le développement durable comme idée heuristique et méthode de réflexion politique¹⁴⁵.

La première approche, **normative**, est basée sur le constat de l'écart entre l'état actuel du monde et un état souhaitable qui serait durable. Elle consiste à définir cet état souhaitable ('ce qui doit être'), par exemple en fixant une liste de principes que doit satisfaire un système (une exploitation agricole par exemple) pour être durable. Cette approche aboutit à la traduction des principes en listes de critères et de caractéristiques précises ainsi qu'à la construction d'outils de mesure de durabilité des systèmes comme les indicateurs de durabilité.

¹⁴⁵ Ceci n'est pas une classification de l'ensemble des travaux faits sur le développement durable mais une analyse personnelle. Les auteurs cités dans cette section sont représentatifs de ces deux approches, mais aucun objectif d'exhaustivité sur la composition des différentes écoles n'a été poursuivi.

La seconde approche considère le développement durable comme une idée heuristique, similaire aux notions de justice ou de démocratie. Plus précisément, le développement durable peut être considéré comme une **nouvelle heuristique politique**, c'est-à-dire une méthode de réflexion politique (Mormont, 2002). Celle-ci nous oblige d'une part à relier des problèmes séparés et disjoints, et nous force d'autre part à multiplier les niveaux de justification (Zaccai, 2002). Le développement durable est alors un « horizon de référence » plutôt qu'une référence normative (Mormont, 2000). Le processus n'est pas déterminé : le point final n'est pas connu à l'avance, la durabilité n'est pas un idéal fixé mais un processus évolutif (*evolutionary*) d'amélioration de la gestion des systèmes grâce à une meilleure compréhension de ceux-ci (Cary, 1998).

Cette seconde approche se fonde sur le constat de l'impossibilité de transformer le développement durable en cadre normatif complet. Selon Zaccai, la notion de développement durable n'est pas une « entité figée dont on pourrait donner une définition normative qu'il s'agirait ensuite d'appliquer » (Zaccai, 2002). L'approche normative suppose d'avoir des connaissances sur l'état du monde et les limites des systèmes qui permettent d'en tirer des normes et de définir des pratiques durables univoques. Les auteurs de cette approche estiment que les connaissances scientifiques permettent dans de nombreux cas de connaître les risques, les dangers, mais pas de définir les pratiques durables univoques.

Le rejet de cette approche normative peut sembler, surtout aux yeux de scientifiques, d'un scepticisme exagéré sur les possibilités présentes de relier connaissances actuelles et définition de pratiques durables. En matière de changements climatiques, de gestion durable des forêts ou de gestion des ressources halieutiques, nos connaissances actuelles ont en effet déjà fondé la définition de nouveaux systèmes, pratiques, labels, qui ont 'opérationnalisé' les objectifs de durabilité sur des systèmes complexes. En particulier, l'impact énergétique des pratiques est de plus en plus facilement mesurable. L'urgence de modification de nos systèmes laisse d'ailleurs peu de place pour le perfectionnement des méthodes de mesures ou la définition de pratiques « parfaitement » durables.

La complexité de certains systèmes entraîne par contre des choix et des arbitrages qui sortent du cadre scientifique. L'exemple de l'agriculture illustre bien la difficulté de définir parfaitement la durabilité. La question de la durabilité de l'agriculture a fait l'objet d'intenses travaux de recherche depuis une vingtaine d'années. Les définitions de ce qu'est une agriculture durable sont en effet multiples et hétérogènes (Hansen, 1996). L'échelon sur lequel la majorité des travaux porte est celui de l'exploitation agricole ou de la parcelle, bien que des méthodes pour caractériser la durabilité de secteurs agricoles (viticulture, grandes cultures, etc) aient également été proposées (Lehmann et al., 2000). Même à ce niveau, les expériences démontrent que la définition de pratiques et systèmes durables fait intervenir des choix (arbitrages, pondérations) donc des valeurs. Ces choix ne sont pas univoques, ni définitifs. Outre la définition exacte de critères et d'indicateurs qui est complexe, la pondération de l'importance de chaque critère et donc des critères entre eux fait l'objet de vifs débats. Par ailleurs, d'autres niveaux interviennent. Tant l'agriculture biologique que l'agriculture de précision et l'utilisation de plantes transgéniques se revendiquent d'une agriculture durable. La mesure de la durabilité dépend donc de choix sur les critères mesurés mais aussi sur la limite du système étudié.

La définition d'indicateurs de durabilité d'exploitations agricoles démontre les faiblesses du cadre normatif. Le projet SAFE en Belgique (Van Huylenbroeck, 2006) a par exemple abouti à la définition de 18 principes, 45 critères et 87 indicateurs.

L'inconvénient dans cette approche est que le travail de l'outil (les indicateurs de durabilité) est tellement complexe que les projets n'investissent que peu dans l'utilisation de cet outil avec des agriculteurs. Dans le cas du projet SAFE, 4 fermes avaient été impliquées, 3 dans certaines recherches publiées (Pacini et al., 2003). Entraîné dans une dynamique scientifique et normative, les scientifiques se consacrent essentiellement à la perfection analytique de l'outil.

Les approches normatives et heuristiques sont cependant **complémentaires**. En particulier, l'approche heuristique ne rejette pas l'approche normative. La définition d'outils quantitatifs normatifs est cruciale dans certains domaines, en particulier pour la question énergétique. L'urgence d'une réaction globale face au phénomène des changements climatiques et les caractéristiques de notre système économique sont telles que des outils normatifs doivent absolument être créés, améliorés et utilisés pour provoquer un changement significatif.

Les limites de l'approche normative montrent cependant l'importance de voir le développement durable comme un processus plutôt que comme la mesure d'un état et donc de penser la complémentarité des deux approches. Cette complémentarité peut, par exemple, se traduire très concrètement par l'utilisation d'outils normatifs (comme les indicateurs de durabilité d'exploitation agricole) dans des processus participatifs. L'expérience des collectifs d'agriculteurs ayant utilisé ces indicateurs a d'ailleurs démontré que la réflexion sur le choix des indicateurs et les résultats de chaque exploitation avait autant voire davantage de sens pour les agriculteurs que les résultats quantitatifs en eux-mêmes (Reydellet, 2001; CIVAM, 2001). La démarche importait autant que les normes et les résultats. Les dimensions individuelles (résultat de chaque exploitation agricole) étaient aussi importantes que les dimensions collectives (discussion sur ceux-ci et sur l'outil de mesure).

La suite de ce travail sera située dans la perspective de cette complémentarité car le rôle des politiques publiques est d'articuler des normes et des processus.

Il est cependant encore utile de rattacher à l'approche heuristique trois autres éléments de réflexion.

Si le développement durable consiste à faire évoluer nos sociétés d'un état non durable à un état durable, mais qu'il est impossible de définir exactement la stratégie univoque à suivre, nos sociétés doivent apprendre et expérimenter. Les auteurs qu'on peut situer dans l'approche heuristique considèrent aussi le développement durable comme une **stratégie d'apprentissage social**. Le rapport du National Research Council intitulé « *Notre voyage commun* » (National Research Council, 1999), en écho au rapport Brundtland « *Notre futur commun* » évoque également la transition vers la durabilité en termes d'apprentissage social. S'il n'existe pas un modèle unique d'agriculture durable, par exemple, il importe donc d'expérimenter plusieurs modèles technico-économiques à large échelle (des traductions technico-économiques différentes de la durabilité) et de construire des dispositifs d'évaluation des différentes composantes de la durabilité (INRA, 2002). La transition vers des modes de production durables est alors un formidable défi en termes de redéfinition des compétences chez les acteurs concernés (Allaire, 2002).

Proche de l'idée de stratégie d'apprentissage, il y a l'idée que le développement durable nécessite un haut niveau de **réflexivité** sur nos connaissances, nos actions et décisions. Pour Stirling (2006), le développement durable implique une gouvernance réflexive qui

contienne deux types de réflexivité : la première (*reflectiveness*) implique de « tenir compte de la large gamme de dimensions affectées » tandis que la seconde (*reflexiveness*) implique de prendre en compte ses propres activités.

Cette réflexivité doit par ailleurs être présente à chacun des différents niveaux concernés par les enjeux qui touchent aux systèmes vivants et sociaux (Hubert, 2004). Ces différents niveaux sont inspirés des quadrants de Bawden qui définissent des visions de la réalité complémentaires et différentes. Ces visions ou points de vue sont i) le point de vue techno-centré (la technicité, la productivité, la connaissance objective, le laboratoire), ii) le point de vue éco-centré (la préservation de l'intégrité des processus biologiques et cycles géochimiques, la cohérence comme concept supérieur à l'objectivité simple, la complexité du monde et donc l'incertitude), et iii) le point de vue holono-centré (les communautés comme objet central, les interactions entre individus, la diversité des points de vue, l'action collective). L'intégration des trois composantes du développement durable implique inévitablement le passage d'un niveau à l'autre. Pour Hubert, l'approche du développement durable implique donc de clarifier et reconnaître les différents points de vue au dernier niveau (celui des communautés et des choix collectifs) ainsi que les différentes formes de connaissances et d'objectifs qu'ils impliquent.

Enfin à côté de l'expérimentation de modèles technico-économiques et de l'apprentissage sur ceux-ci, la construction de projets de durabilité est aussi une question de **négociation**, de **partenariats** et de **co-construction de savoirs**, que ce soit, par exemple, entre les différents acteurs d'une filière bovine bio (Stassart et Jamart, 2005), ou entre une exploitation agricole et les différents acteurs de son territoire (Vanloqueren et al., 2003). En l'absence de normes contraignantes fixant chaque aspect de la transition vers la durabilité, les acteurs expérimentent, souvent collectivement.

Le projet du développement durable implique d'agir maintenant. Paraphrasant le slogan « *think global, act local* », Hubert propose « *think ahead, act now* » (Hubert, 2004). Tout comme l'action locale doit être réfléchi en tenant compte des enjeux globaux, nous devons pouvoir agir aujourd'hui en accord avec le futur souhaité. Le développement durable est donc une question d'action collective et celle-ci est négociée. La traduction de la durabilité dans des cahiers de charges et des contrats est co-construite.

On peut schématiser les deux approches du développement durable de la façon suivante (Tableau 41)

La seconde approche du développement durable est plus dynamique que la première. Il est davantage aisé d'imaginer les outils de la vision normative comme des moyens à l'intérieur de la seconde vision que l'inverse. L'intégration des aspects dynamiques se retrouve aussi dans la définition de la durabilité d'un système. La durabilité d'un système, dans la vision heuristique concerne les capacités du système non seulement à utiliser les ressources mais aussi à s'adapter à son environnement naturel et social changeant (Hubert, 2004) et à de nouvelles contraintes (Van Huylenbroeck, 2006) voire à rassembler les conditions pour le développement d'innovations durables dans un environnement dynamique (Sartorius, 2006)

Tableau 41 : Développement durable : approches normative et heuristique

	Approche normative	Approche heuristique
Développement durable	Etat (propriétés) d'un système	Méthode de réflexion politique sur nos actions et décisions ; Processus d'apprentissage pour arriver à l'état « durable » du système, qui est un horizon de référence
Approche de recherche	Définition de principes, critères et indicateurs, et de modes d'intégration de ceux-ci (réductionnisme expérimental, approches systémiques 'hard', procédures expertes)	Approches systémiques 'soft', recherche-intervention avec les acteurs des systèmes concernés
Innovation	Contribution de l'innovation à la durabilité des systèmes, avec une approche de 'durabilité faible' (technologies environnementales) et une 'durabilité forte' (Equilibre entre innovation technologique et innovations institutionnelles)	Insistance sur la nécessité d'une meilleure circulation des connaissances scientifiques et des questions politiques sur l'innovation pour permettre à la société de se réappropriier le progrès scientifique
Complémentarité	Utilisation d'outils normatifs dans des processus d'apprentissage impliquant les acteurs concernés	

C. L'innovation technologique au cœur du développement durable

La science, la technologie et l'innovation sont au cœur du développement durable.

D'abord, le développement durable réintroduit **l'ambiguïté** du progrès scientifique et technologique. Source de solutions nouvelles, d'améliorations des pratiques actuelles problématiques, la technologie est également source potentielle de problèmes environnementaux ou de santé publique, amenant des risques supplémentaires et/ou nouveaux. L'ambiguïté concerne aussi notre capacité de réaction face aux nouveaux problèmes. Face à une crise provoquée par la science, c'est vers la science et l'expertise qu'on se tourne.

Le rôle qui est assigné à l'innovation dans le développement durable dépend cependant des différentes cultures scientifiques et des visions du monde qui y sont associées (visions sur la croissance, le développement, les rapports homme-nature-société) (Valenduc, 2005 ; Valenduc and Vendramin, 2005).

Dans l'approche normative, le rôle de la technologie est jugé nécessaire, mais pas suffisant. L'innovation doit poursuivre des objectifs de durabilité et contribuer à faire évoluer nos systèmes vers ceux-ci. Cette vision de l'innovation est nouvelle car l'innovation doit poursuivre des objectifs particuliers. Elle n'est plus automatiquement positive. Cette nouvelle vision a cependant pour implication un nouveau problème : celui de la définition des objectifs légitimes qui doivent guider la politique d'innovation. Ces objectifs peuvent être de plusieurs types. Il peut s'agir de résoudre des problèmes actuels et futurs (remplacer les pesticides les plus polluants, développer des systèmes agricoles résistants aux extrêmes climatiques) ou de répondre à des désirs voire créer de nouveaux besoins (développer des alicaments, des pastèques sans pépins). La frontière entre ces objectifs d'innovation est perméable et la classification des objectifs parmi ces types est politique. On peut donc parler d'objectifs ou de priorités.

Les objectifs et priorités de durabilité en matière d'agriculture, d'alimentation et d'environnement ont en grande partie déjà été définis dans des engagements ou déclarations politiques depuis une vingtaine d'années, depuis les déclarations internationales de Rio et de Johannesburg jusqu'aux rapports du Conseil Fédéral du Développement Durable (CFDD) en Belgique.

Cette approche normative implique la définition et l'évaluation de la contribution des innovations à des systèmes plus durables. Cette évaluation est encore plus complexe que celle de la durabilité des systèmes et dépend également de différents points de vue. On peut définir des 'technologies durables' ou 'technologies propres', sur base de principes de durabilité. Cependant, dans une vision 'forte' de la durabilité, intégrant les trois dimensions du développement durable, la contribution de l'innovation technologique est jugée centrale, mais c'est l'institutionnalisation de celle-ci dans des systèmes de diffusion des innovations qui est cruciale (Valenduc, 2005). Le développement non durable est en effet souvent le résultat d'avancées technologiques qui dépassent l'organisation sociale. Le projet du développement durable est donc aussi celui d'un équilibre entre innovations technologiques et innovations institutionnelles.

La maîtrise des choix technologiques passe donc par la réduction du décalage entre trois dynamiques : le rythme des développements technologiques, celui de l'obtention des savoirs nécessaires à l'évaluation de leurs impacts, et celui de la mise en œuvre d'innovations institutionnelles et sociales (INRA, 2002).

Dans l'approche heuristique, l'ambiguïté du progrès scientifique doit motiver une plus grande circulation des connaissances scientifiques et des questions politiques pour que nos sociétés assument cette ambiguïté et se réapproprient le progrès scientifique. Cette circulation des questions et connaissances doit être organisée en amont du processus de production scientifique, avant que les technologies ne soient créées et pas uniquement au moment de leur sortie du laboratoire.

La différence entre la vision de l'innovation du progrès des Lumières et celle du développement durable peut être illustrée par une analogie avec la conduite automobile. L'approche des Lumières, c'est conduire une voiture sur une autoroute en se contentant de la jauge d'essence, du tachymètre et de l'accélérateur : « *Du moment qu'on avance, tout va bien. Jusqu'où peut-on aller et quelle est la vitesse maximale ?* ». La vision de l'innovation orientée par la durabilité n'est pas le frein de la voiture : c'est une conduite intégrant l'utilisation du volant, d'une carte routière, du GPS et de l'ensemble du tableau de bord « *Où sommes-nous, où désirons-nous aller et quels sont les différents itinéraires possibles ?* ».

Les deux approches ne sont pas antinomiques : la seconde, même si elle relativise un peu la première, vient surtout la compléter. Elle intègre la question politique de l'innovation (de quel type d'innovation voulons-nous ?)

Etant donné la complexité des dynamiques d'innovation, il y a même lieu de construire une **complémentarité** entre l'approche héritée des Lumières, qui est essentiellement tournée vers les possibilités du progrès et celle qui encadre l'innovation avec des objectifs de durabilité. En mettant l'accent sur les objectifs actuels, l'approche mue par les objectifs réduit en effet les possibilités technologiques qui vont au-delà des objectifs définis, car elles sont impensables sans une imagination débridée sur les possibilités technologiques issues d'une découverte scientifique. Des plantes transgéniques produisant des bioplastiques ne sont concevables qu'avec une approche *technology-*

driven appliquée au génie génétique. Aucun panel d'experts agronomes ou industriels ne pourrait concevoir cette possibilité d'une agriculture qui sorte autant de ses fonctions traditionnelles (production d'aliments, de fibres, d'eau et de cadre de vie) sans cette vision *technology-driven*.

La vision du progrès des Lumières n'est donc pas à rejeter complètement. Des allers-retours entre opportunités technologiques et objectifs politiques (de durabilité) sont nécessaires¹⁴⁶.

Les politiques d'innovation qui concernent les plantes transgéniques n'ont cependant pas encore intégré la vision du rôle de l'innovation proposée par le développement durable (cfr *Analyse des forums publics et scientifiques sur l'innovation en agriculture*, p 320). L'évaluation réglementaire des plantes transgéniques est en effet une concrétisation de la première vision de l'innovation issue du projet moderniste (vision *technology-driven*). Celle-ci entraîne une interprétation réductionniste du principe de précaution : seuls les risques des innovations doivent être réglementés (Cfr Chapitre 1).

L'approche centrée sur le développement durable permet de remettre le principe de précaution, et donc la question des risques et des incertitudes, dans un cadre orienté par des objectifs plus larges. Cette approche vise un équilibre entre précaution et prospective.

D. Contrainte de changement de paradigme en agronomie

Les deux visions du développement durable doivent intégrer le contexte écologique global actuel, dont les changements climatiques et la question énergétique sont les deux principaux éléments. Ce double contexte implique un changement de paradigme (un changement de référentiel pour fonder les systèmes et innovations agricoles).

Remarque : certains éléments de l'article reproduit dans le chapitre 7 sont repris dans cette section pour y être approfondis.

1) Changement de contexte

Avril 2007 marque exactement les 20 ans de la publication du Rapport Bruntland sur le développement durable (ONU, 1987). C'est à peu près la période qui a été nécessaire pour que la prise de conscience qu'une profonde modification de nos systèmes est indispensable devienne planétaire.

Parmi les problèmes globaux, les **changements climatiques** sont d'une importance cruciale. Ceux-ci sont devenus une question publique prioritaire grâce à l'accumulation de faits et d'engagements. Du côté des faits, les rapports du GIEC ont établi le fait scientifique des changements climatiques ainsi que son origine anthropique (IPCC, 2001 ; 2007). En juin 2007, il y aura d'ailleurs 15 ans qu'a été signée la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (ONU, 1992).

¹⁴⁶ Cette complémentarité entre les deux approches peut par exemple se concrétiser pratiquement par une meilleure articulation entre prospective technologique et prospective sur un secteur ou une région (Voir p 367).

En 2006, le Rapport Stern sur les implications économiques des changements climatiques a marqué une prise de conscience de l'importance économique de ces changements (Stern, 2006). Stern estime qu'un investissement annuel à hauteur d'1% du PIB mondial est nécessaire pour atténuer les changements climatiques. Si cet investissement n'est pas réalisé, un risque existe que le PIB mondial diminue de 20%. Du côté des engagements, on peut difficilement omettre qu'en Belgique, l'engagement d'un animateur de télévision célèbre ou de l'ex-futur président des Etats-Unis ont permis une vulgarisation de ces changements qui amplifie la portée des rapports scientifiques et des appels que les organisations internationales et associations environnementales lancent depuis plus de vingt ans.

L'agriculture est un des quatre domaines les plus concernés par les changements climatiques, avec l'industrie, les transports et les bâtiments.

Elle est concernée à double titre : par sa responsabilité et sa vulnérabilité.

Elle est d'abord **responsable d'importantes émissions de gaz à effets de serre**. Le GIEC (2001) estime que l'agriculture est responsable de 21 à 36% de la production totale de gaz à effets de serre (les trois autres secteurs mentionnés ci-dessus se partageant le reste). La production de méthane provenant de l'élevage bovin et de la culture du riz sont des grandes activités agricoles productrices de méthane par exemple (Bousquet, 2006). De nombreuses activités agricoles sont en effet émettrices, que ce soit la simple volatilisation des fertilisants minéraux ou organiques lors de leur application en champs, ou bien la fabrication d'engrais de synthèse, qui est très énergivore. Les transports des aliments dans les chaînes agroalimentaires globalisées (les '*food miles*') ne sont par contre pas incluses, elle font partie de la catégorie 'transports'.

Ensuite, l'agriculture est particulièrement **vulnérable** aux changements climatiques (IIASA, 2002). Tous les éléments des agroécosystèmes sont susceptibles d'être influencés par ceux-ci : réduction de la période de croissance des plantes, capacité d'utilisation des ressources hydriques, taux d'évaporation, nécessité de protection contre les maladies, érosion accrue des sols, etc. Les modèles de prédiction des effets des changements climatiques sur l'agriculture anticipent des modifications des aires géographiques des cultures (GIEC, 2001, 2007 ; Fischer et al., 2005 ; Slingo et al., 2006). Un des aspects les plus importants est la vulnérabilité des cultures à la plus grande fréquence et à la plus grande amplitude des extrêmes climatiques (sécheresses et précipitations). La vague de chaleur de 2003 en Europe, qui a entraîné des pertes agricoles de plus de 15 milliards de \$, est un exemple de cette vulnérabilité (Stern, 2006).

Les systèmes agricoles modernes sont également vulnérables sur un second plan : leur **dépendance aux combustibles fossiles**. Tous les intrants de synthèse (fertilisants de synthèse, pesticides) sont en effet très énergivores au niveau de leur production industrielle comme lors de leur application en champ. L'irrigation est également fort énergivore. Les systèmes agricoles modernes sont donc vulnérables à la hausse du prix de l'énergie liée à la raréfaction prévue de la production globale d'hydrocarbures par rapport à la demande croissante de ceux-ci. Cette hausse du prix de l'énergie remet en question la simple viabilité de ces systèmes.

Cette double sensibilité vient s'ajouter à la **conjonction de problèmes environnementaux** qui sont connus depuis longtemps : les impacts négatifs des pesticides sur l'environnement et la santé publique, évoqués en introduction de cette

thèse (Voir p 74), mais aussi l'érosion de la biodiversité, la raréfaction des ressources en eau dans certaines régions, le lessivage des nitrates dans les eaux de surface et souterraines, la perte de matière organique des sols, etc) (Conway, 1999 ; Millenium Ecosystem Assessment, 2005). Les défis auxquels l'agriculture moderne fait face aujourd'hui sont brillamment synthétisés par Kirschenmann (2007). A ces problèmes s'ajoutent des **problèmes humains et socio-économiques** : diminution de l'emploi agricole, endettement des agriculteurs, crises alimentaires, etc (Mazoyer, 2002 ; Pretty, 2003 ; Bell, 2004).

2) Contrainte de changement de paradigme

Ce double contexte des changements climatiques et énergétiques, associé à la conjonction de problèmes liés à l'agriculture moderne implique de refonder les bases sur lesquelles les systèmes et innovations agricoles sont pensés.

Depuis plus de 150 ans, les systèmes agricoles ont été influencés principalement par un **paradigme industriel**. Celui-ci est basé sur la maximisation du rendement à court terme à l'hectare et par 'unité de main d'œuvre', par une utilisation intensive d'intrants (chimie de synthèse) ainsi qu'une standardisation des procédés et pratiques (monoculture et mécanisation).

Le paradigme industriel doit beaucoup à la proposition de Von Liebig en 1843 de remplacer les rotations et la fertilisation organique des sols par l'utilisation de fertilisants minéraux. Progressivement, cette proposition est devenue un paradigme : la chimie de synthèse pouvait trouver des solutions à l'ensemble des problèmes de l'agriculture (fertilisation et protection contre les insectes puis les maladies). Ce 'paradigme chimique' a culminé dans les années 60, lorsque les problèmes environnementaux posés par celui-ci ont commencé à être réellement perçus.

Ce paradigme industriel sur lequel l'agriculture moderne est basée n'est plus pertinent. Il a été développé à une époque où on ne pouvait pas prévoir les conséquences environnementales engendrées par l'agriculture industrielle et la sensibilité de l'agriculture à des changements climatiques auxquelles elle contribue elle-même. Il continue cependant à structurer les systèmes agricoles et une importante partie des innovations diffusées aux agriculteurs.

Deux paradigmes technologiques offrent de nouvelles visions pour gérer les problèmes actuels de l'agriculture : les paradigmes génétique (génie génétique) et écologique (génie agroécologique) (Voir Chapitre 7 p 328).

Le premier, le **paradigme génétique (génie génétique)**, est issu des découvertes des premières lois de la génétique par Mendel, et de la structure de l'ADN par Watson et Crick en 1953. La génétique a en effet permis d'améliorer considérablement la sélection des végétaux en la basant sur des fondements scientifiques. C'est avec la découverte de la transgenèse végétale que la génétique a pris la forme d'un paradigme : le génie génétique pourrait solutionner l'ensemble des problèmes de l'agriculture en modifiant le génome des plantes. C'est la voie d'innovations qui se développe le plus rapidement en agriculture et sur laquelle d'immenses espoirs sont fondés.

Le problème de cette première voie est **l'incertitude qui pèse sur son réel potentiel**. Il est courant de se référer au génie génétique en termes d'incertitudes sur les effets négatifs potentiels liés à celui-ci, qui ne sont pas détaillés dans cette thèse (risques pour

la santé publique, pollution génétique, érosion de la biodiversité, coexistence des cultures). Il existe cependant un second type d'incertitudes : celles qui pèsent sur le potentiel de cette voie d'innovations à produire des innovations par rapport à l'ensemble des enjeux qui nous préoccupent.

Le potentiel du génie génétique est un domaine de haute controverse. Pour certains, la portée du génie génétique est universelle : la combinaison de la génomique, de la protéomique et du génie génétique permettra progressivement non seulement de résoudre l'ensemble des 'défauts génétiques' des plantes, mais aussi de développer de nouvelles activités insoupçonnables il y a 40 ans (bioplastics, biotextiles, etc). Lacey (2002) analyse brillamment les facteurs qui sont à la base de cette vision, celle d'un universalisme du génie génétique (le génie génétique comme solution à tous les problèmes agronomiques).

Cette vision optimiste est cependant battue en brèche par des agronomes, des écologistes et des généticiens qui observent que le génie génétique n'a offert des solutions que pour un nombre très limité de problèmes agricoles jusqu'ici, et que d'autre part la technologie ne pourra sans doute pas offrir de solutions efficaces dans le futur pour certains types de problèmes. Force est de constater que la 'seconde génération' de plantes transgéniques, annoncée depuis dix ans, n'est pas encore arrivée. Les promoteurs des biotechnologies ont par exemple avancé dès le début des années 80 la possibilité de créer des céréales modifiées qui pourraient fixer l'azote de l'air ou être résistantes à la sécheresse (Bonneuil et Thomas, 2002). Cependant, aucune des plantes transgéniques de 'seconde génération' n'a été mise sur le marché depuis l'introduction, en 1996, des plantes de 'première génération' (cfr p 29).

Hubbel et Welsh (1998) ont proposé une distinction intéressante pour analyser les différents types de plantes transgéniques. Ils distinguent les plantes dont les phénotypes sont non durables (ceux qui continuent à recourir à des intrants et des interventions ponctuelles, comme les plantes résistantes aux herbicides totaux), celles dont les phénotypes sont 'transitoires' (ceux qui traitent les causes, pas les problèmes, et dont le mécanisme pourrait ne pas être durable, comme les plantes Bt) et celles dont les phénotypes modifiés sont durables (résistance aux maladies, à la sécheresse, aux nématodes). Aucune des plantes transgéniques de première génération ne satisfait au caractère durable.

Il est probable qu'un certain nombre de plantes transgéniques nouvelles soient effectivement en développement, mais le succès de ce développement n'est pas acquis : même les firmes de biotechnologies avouent que ces plantes sont bien plus complexes à développer. On ne peut donc pas garantir qu'elles atteignent réellement les exploitations agricoles du Nord comme du Sud dans le futur.

L'universalisme du génie génétique doit donc être remis en question. Lewis, un spécialiste de la protection des cultures, estime par exemple que le génie génétique est un outil high-tech influencé par le paradigme consistant à traiter les symptômes plutôt que les causes et que cette technologie est dominée par une recherche constante de 'solutions en or' (silver bullet) alors que l'approche nécessaire en protection des plantes est une approche systémique 'totale' (Lewis W.J. et al., 1997).

"As spectacular and exciting as biotechnology is, its breakthroughs have tended to delay our shift to long term, ecologically based pest management because the rapid array of new products provide a sense of security just as did synthetic pesticides at the time of their discovery in the 1940s" (Lewis W.J. et al., 1997).

Weiner, un écologiste scientifique, critique lui le réductionnisme naïf des approches qui tentent de résoudre des problèmes agricoles au niveau moléculaire, alors que ces problèmes impliquent des niveaux d'organisation plus élevés dans les systèmes agricoles (Weiner, 2003)¹⁴⁷.

“Ecology is a relatively young science that cannot yet deliver answers to many of the questions agricultural researchers are asking. But this does not mean that the answers can be found elsewhere. One cannot solve traffic problems through the engineering of automobiles alone. One needs to use traffic engineering, even if traffic engineering is not as highly developed as automobile engineering” (Weiner, 2003).

Une réorientation de la conception des systèmes et innovations agricoles en fonction du **paradigme écologique (génie agroécologique)** est demandée par un nombre croissant de scientifiques (Altieri, 1995 ; Pretty, 1995, 2002, 2003 ; Lewis W.J. et al., 1997 ; Benyus, 1997 ; Gliessman, 2000 ; Weiner, 2003 ; Kirschenmann, 2007). Ces appels convergent pour considérer que ce paradigme offre des bases plus cohérentes que les deux paradigmes réductionnistes (chimique et génétique) pour concevoir les systèmes agricoles car il est basé sur le fonctionnement naturel des écosystèmes et envisage l'ensemble des interactions à l'intérieur de ceux-ci. Le paradigme écologique ne rejette pas les apports des deux autres paradigmes (intrants issus de la chimie de synthèse et du génie génétique) : il leur donne un cadre dans lequel leur utilisation doit être (re)pensée.

L'intérêt stratégique des innovations agroécologiques est illustré dans le Tableau 42. Ce tableau, adapté de Gliessman (2000) et Lewis (1997), représente une tentative d'évaluation qualitative du degré de durabilité (normative) d'un certain nombre de pratiques et innovations agronomiques. **Trois niveaux de durabilité** y sont définis : le premier niveau rassemble les innovations et pratiques qui augmentent l'efficacité des pratiques conventionnelles pour réduire l'utilisation des intrants rares, chers ou dégradant l'environnement. Les innovations du second niveau visent à substituer des pratiques alternatives aux intrants et pratiques conventionnelles. Le troisième niveau a pour objectif de concevoir l'agroécosystème pour qu'il fonctionne sur base d'un nouvel ensemble de processus écologiques. C'est le niveau du génie agroécologique.

¹⁴⁷ Les ONG environnementales basent d'ailleurs en partie leur communication sur cet axe : le génie génétique n'est pas la panacée, il apporte de nouveaux problèmes sans résoudre les problèmes les plus cruciaux (Parrott and Marsden, 2002 ; Friends of the Earth Europe, 2007).

Tableau 42 : Classification d'innovations en fonction de leur niveau de durabilité (exemples)

A. Le système agricole dans son ensemble ⁽¹⁾		
<p>Niveau 1: Augmenter l'efficacité des pratiques conventionnelles pour réduire l'utilisation des intrants rares, chers ou dégradant l'environnement</p>	<p>Niveau 2: Substituer des pratiques alternatives aux intrants et aux pratiques conventionnelles.</p>	<p>Niveau 3: Reconcevoir l'agroécosystème pour qu'il fonctionne sur base d'un nouvel ensemble de processus écologiques</p>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Amélioration des machines ▪ Systèmes d'alertes pour une application raisonnée de pesticides ▪ Amélioration du choix du moment (timing) des opérations culturales ▪ Optimisation de la distance et de la densité de culture ▪ Agriculture de précision : optimisation de l'application des engrais et de l'irrigation 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Passage au labour réduit ou au non-labour ▪ Remplacement des pesticides par des agents de lutte biologique ▪ Utilisation de cultures de couverture fixant l'azote (engrais verts), utilisation de compost et rotations pour remplacer les fertilisants synthétiques 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diversification de la structure et de la gestion de l'exploitation agricole (polyculture-élevage, rotation,...) ▪ Méthodes d'aménagement du sol pour prévenir l'érosion ▪ Utilisation de mélanges variétaux et d'associations variétales ▪ Haies, beetle banks, etc ▪ Systèmes agroforestiers, alley cropping
B. Le problème de la protection des cultures ⁽²⁾		
<p>Niveau 1: Approche "Traiter le problème"</p>	<p>Niveau 2: Utilisation de la chimie moderne et de la biologie moléculaire pour remplacer les pesticides traditionnels par des produits moins risqués ou des produits biologiques non-toxiques</p>	<p>Niveau 3: Concevoir des systèmes qui promeuvent les forces inhérentes aux agroécosystèmes pour maintenir les pathogènes dans des limites acceptables</p>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilisation des pesticides comme 'première ligne de défense' ▪ Gestion intégrée des cultures (IPM) centrée sur l'établissement de seuils pour l'application de pesticides ▪ Tolérance ou résistance de la plante (degré de durabilité accru dans les variétés polygéniques tolérantes par rapport aux variétés résistantes monogéniques) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lutte biologique 'active' : utilisation de phéromones, lâchers inondatifs d'insectes prédateurs ▪ Biopesticides ▪ Plantes transgéniques tolérantes aux pesticides ayant une résistance accrue aux insectes (expression de toxines) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lutte biologique 'passive' (<i>habitat management, landscape ecology</i>) : promotion et maximisation des agents biologiques et ennemis naturels : diminution des monocultures à large échelle, bords de champs 'refuge' pour les ennemis naturels (<i>beetle banks</i>); cultures de couverture qui attirent les prédateurs et parasitoïdes des agents pathogènes ; utilisation de plantes qui ont des propriétés de contrôle des pathogènes (stratégies 'push-pull') ▪ Importation, propagation thérapeutique et lâchers inondatifs comme dernière ligne de défense (<i>as a backup</i>). ▪ Amélioration et ingénierie génétique de plantes ayant une résistance systémique aux attaques des pathogènes (phénotypes tels que des défenses chimiques localisées à certains tissus, induites par des dégâts à la plante)

Légende : (1) Adapté en grande partie de Gliessman (2000), section 'converting to sustainable practices' (2) Adapté en grande partie de Lewis et al. (1997) et de la question "Start with the question: why is the pest a pest".

Les systèmes agroécologiques ont de **multiples avantages** par rapport aux systèmes agricoles industriels : non seulement ils produisent des émissions de gaz à effets de serre bien moindres (notamment grâce à une utilisation réduite d'intrants de synthèse)

mais dans un certain nombre de cas, ils stockent du carbone (agroforesterie par exemple), sont moins vulnérables aux extrêmes climatiques (mélanges variétaux et associations culturales), ont une meilleure utilisation des ressources hydriques et augmentent la biodiversité (lutte biologique passive par aménagement des champs : beetle banks, bandes fleuries, etc).

3) Durabilité vs. Lock-in !

Malgré sa pertinence par rapport au contexte global, le génie agroécologique est freiné tant dans les laboratoires que dans les champs et filières. Nos filières agroalimentaires et nos systèmes de recherche agronomique sont en effet dans des **situations de lock-in** (Voir p 287 pour les filières et p 348 pour les laboratoires).

L'existence de situations de lock-in constatée dans les études de cas¹⁴⁸ est d'ailleurs observée dans d'autres filières agroalimentaires : pour l'utilisation de pesticides en grandes cultures et en coton (Cowan and Gunby, 1996 ; Wilson and Tisdell, 2001), pour la sélection animale de manière générale (Tisdell, 2003) et pour la Bintje en pommes de terre, le Blanc-Bleu-Belge en filière bovine, la Holstein en filière laitière (Stassart et Jamart, 2005).

Plus largement, on constate une situation exceptionnelle de lock-in par rapport aux changements climatiques. On parle désormais de '*carbon lock-in*' pour exprimer l'ancrage profond de nos sociétés dans une dépendance au pétrole (Unruh, 2000; 2002). Le Rapport Stern conclut d'ailleurs que les changements climatiques représentent le cas le plus important jamais connu d'échec du marché (*market failure*) (Stern, 2006)

Les situations de lock-in diminuent doublement la durabilité des systèmes en empêchant de faire émerger les systèmes et les innovations les plus proches de l'idéal de la durabilité (normative).

Premièrement, les situations de lock-in dans les filières empêchent les technologies durables (celles qui permettent d'augmenter la durabilité du système sur des aspects précis de manière ponctuelle, durabilité de 'premier ordre') déjà développées d'arriver chez l'agriculteur. Deuxièmement, les situations de lock-in dans les systèmes de recherche et d'innovation entravent le réel investissement dans la recherche scientifique sur les voies d'innovations les plus durables alors que c'est cet investissement qui permettra de développer de nouvelles innovations dans l'avenir. Les situations de lock-in mettent donc en danger la capacité générale d'un système à s'adapter à un environnement dynamique et à produire une série d'innovations de plus en plus durables (cette durabilité est parfois appelée durabilité 'de second ordre') (Sartorius, 2006).

¹⁴⁸ Voir Chapitre 5, Section 4.1 (explication du lock-in) et les tableaux 25 (L'accumulation des facteurs qui causent le lock-in des variétés résistantes aux maladies) et 29 (déterminants d'innovation empêchant le développement des mélanges variétaux).

2. Propositions de politiques d'innovation

L'objectif de cette section est de **réduire le déphasage structurel** qui existe entre avancées technologiques, production de connaissances pour la gestion de l'innovation et avancées institutionnelles et sociales de régulation de l'innovation. Il s'agit d'ébaucher les traits d'une politique d'innovation qui intègre les conclusions de l'approche systémique menée dans cette thèse et les inscrit dans le projet du développement durable.

Les propositions sont basées sur la vision systémique, dynamique, ouverte, comparative et prospective de l'innovation qui est issue de l'approche systémique (dont les principaux acquis sont synthétisés dans le Tableau 36 p 407). Ces propositions **visent donc à combler les lacunes** des politiques d'innovation actuelles constatées lors des études de cas (cfr absence de comparaison des choix technologiques pp 286-295 et vision de l'innovation 'à géométrie variable' pp 320-326). Elles ne représentent **pas une vision complète et globale** de ce que devrait être une politique d'innovation pour le développement durable. L'ensemble des politiques à mobiliser pour cet objectif n'est donc pas entièrement exploité (modulation de la fiscalité sur les chercheurs, fiscalité sur les pesticides, politiques agricoles, internalisation des externalités, etc). De même, l'ensemble de la littérature sur les politiques d'innovation n'est pas présenté et discuté.

L'approche systémique aboutit à des conclusions relativement fortes sur les **fonctions** qui doivent être assurées par les politiques d'innovation. Les propositions de politiques d'innovations et la discussion de plusieurs propositions d'innovations institutionnelles développées par d'autres auteurs sont donc des aboutissements cohérents de la recherche. Ces propositions sont cependant à la limite de ce travail. L'auteur, non spécialiste des questions de politiques publiques, assume que l'approche proposée n'est pas « 100 % prête à l'emploi ». Les **formes précises** que doivent prendre les politiques publiques et leur éventuelle institutionnalisation doivent en réalité être discutées avec des spécialistes de ces matières¹⁴⁹.

Les politiques d'innovation proposées suivent cinq axes :

1. Institutionnaliser une comparaison publique des voies d'innovations afin de réaliser de vrais choix technologiques (Section A).
2. Sortir des situations de lock-in par des 'politiques de sortie de lock-in' (Section B).
3. Empêcher la formation de situations d'irréversibilités non souhaitables par des politiques 'anti lock-in' (Section C).
4. Soutenir des systèmes expérimentant de nouveaux modèles de transition vers la durabilité par des politiques expérimentalistes et des systèmes négociés (Section D)
5. Créer une prise de décision cohérente sur les commercialisations de plantes transgéniques (Section E)

¹⁴⁹ L'intégration de ces politiques dans les politiques actuelles (régionales, fédérales ou européennes) est également trop complexe pour être discutée extensivement dans cette thèse. Joly (2004) note par ailleurs qu'il n'est pas possible de connaître toutes les implications (transformation des institutions existantes, de la création de nouvelles institutions et d'articulation entre démocratie représentative et démocratie participative) à l'avance. Il faut expérimenter.

Les deux figures suivantes illustrent le **cheminement qui a abouti aux propositions** depuis les constats effectués lors des études de cas (ex. pour les deux premières propositions).

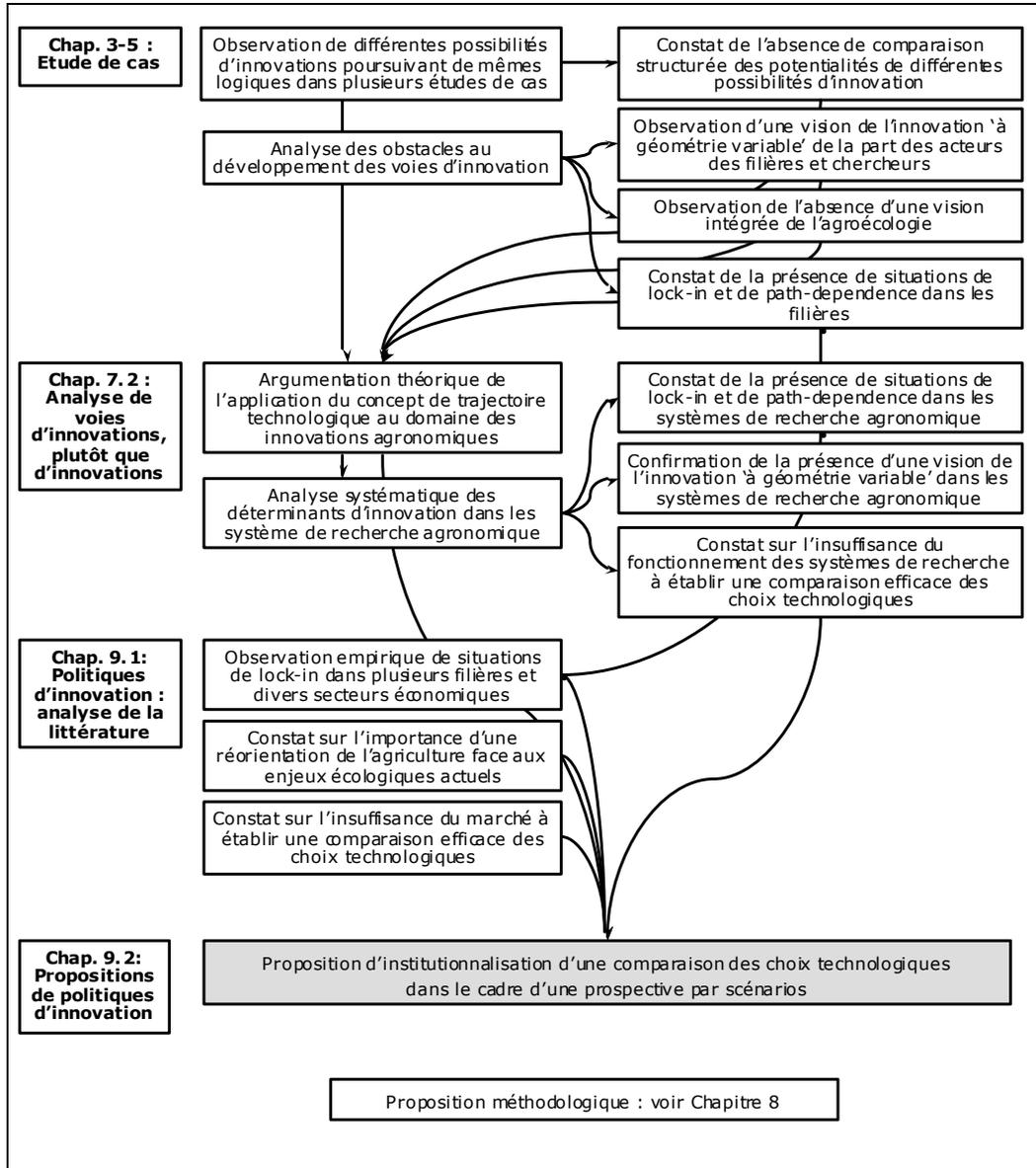


Figure 14 : Cheminement ayant abouti à la proposition d'institutionnaliser une comparaison des choix technologiques

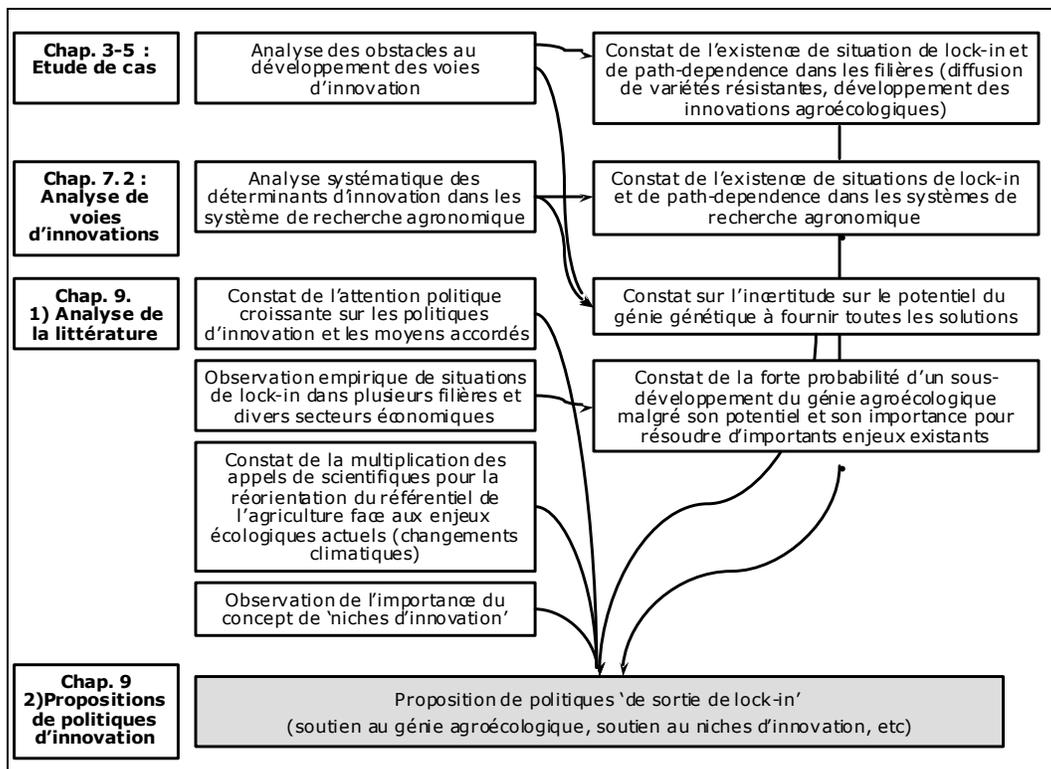


Figure 15 : Cheminement ayant abouti à la proposition de politiques 'de sortie de lock-in'

Le Tableau 43 illustre les liens entre les différentes propositions politiques, les propositions d'innovations institutionnelles qui permettraient de les mettre en place et les propositions d'innovations méthodologiques faites dans le chapitre suivant.

Tableau 43 : Politiques d'innovation proposées

Politiques d'innovation	Propositions institutionnelles	Propositions de méthodes (Chapitre 8)
1. Comparer les choix technologiques		
Institutionnaliser une comparaison des voies d'innovation et de développement sous forme prospective	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ateliers de prospective (Section 4) ▪ Agence de l'innovation (Section 3) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prospective par scénarios ▪ Approche systémique, évaluation de la pertinence ▪ Evaluation technol. interactive (ETI) ▪ Evaluation multi-critères (MCMA)
2. Politiques 'de sortie de lock-in'		
Promotion du génie agroécologique Protection des niches Modification des normes		
3. Politiques 'anti-lock-in'		
Politiques permettant d'éviter les irréversibilités liées à certaines innovations		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Approche systémique, prospective
4. Politique publiques expérimentalistes		
Politiques expérimentant des systèmes de transition vers une plus grande durabilité	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Soutien à l'expérimentation de scénarios 'durables' issus des exercices de prospective ▪ Systèmes d'innovation négociés 	
5. Prise de décision sur les commercialisations de plantes transgéniques		
Principes de prise de décision Cohérence des politiques d'innovation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Voir 1 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Voir 1 ; Décision finale politique

Légende : L'ensemble des institutions qui réglementent déjà l'innovation n'est pas repris : seules les nouvelles propositions sont présentées.

Les différentes propositions politiques et méthodologiques se situent à **différents moments du processus d'innovation** pour être cohérentes avec le projet du développement durable, qui inclut le principe de précaution. Le principe de précaution veut que l'incertitude scientifique ne soit pas un alibi pour l'inaction publique. Ce principe est souvent retenu au sens de frein à l'innovation, par exemple pour imposer un moratoire sur une technologie dont les risques sont inconnus. Il est cependant un principe d'action positif qui a deux implications générales pour les politiques publiques. La première est de justifier une action précoce (« *le principe de précaution ne dit pas que faire, mais dit de le faire tôt* » (Godard, 2004a). La seconde est l'idée de proportionnalité : les actions à mener doivent être proportionnelles (Godard, 2004b). Le principe de précaution et le développement durable impliquent donc un exercice de l'autorité *ex ante* plutôt qu'*ex post*.

Les propositions politiques sont essentiellement destinées à se situer en amont du processus d'innovation, soit *ex ante* (avant le développement de l'innovation) plutôt qu'en aval, soit *ex post* (évaluation rétrospective des effets d'une innovation). Au niveau méthodologique, l'approche systémique menée dans les études de cas aboutissait en effet à la fois à une évaluation du niveau de développement des voies d'innovations (= *ex post*) et à une évaluation du potentiel des voies d'innovations (= *ex ante*). La prospective par scénarios inclut ces dimensions *ex ante* et *ex post* tout en étant un outil essentiellement *ex ante*.

Les décisions politiques concernent tant des décisions en terme de contenu (politiques de sortie de lock-in) que de procédures (processus publics expérimentalistes).

Ces propositions s'insèrent dans une **complémentarité entre les deux approches de la durabilité**. Elles sont toutefois plus proches de l'approche heuristique (le développement durable comme nouvelle méthode de réflexion politique), qu'elles concrétisent pour ce qui concerne du domaine des innovations en agriculture. La contribution à l'approche normative se concrétise par la construction d'une grille de critères d'évaluation de la pertinence des innovations et par la proposition d'amélioration d'une évaluation multicritères (ces contributions sont développées dans le chapitre 8 qui discute des méthodes de gestion de l'innovation). Une approche normative complète consisterait cependant à évaluer chaque innovation sur chacun des aspects précis de durabilité, c'est à dire à définir les méthodes pour compléter chaque case de la grille de critères d'évaluation construite. Cette entreprise sort des objectifs de cette thèse.

Par ailleurs, les propositions ne se situent pas toutes dans un même **modèle de gestion de l'innovation et des risques** (Callon, 1998)¹⁵⁰ :

- Certaines sont liées au modèle de la consultation publique, comme la proposition d'institutionnaliser une comparaison des choix technologiques.
- D'autres sont ancrées dans le modèle de co-production des savoirs, comme la proposition d'expérimentalisme démocratique et les systèmes d'innovation négociée.

¹⁵⁰ Callon distingue trois modèles de démocratie technique. Dans le **modèle de l'instruction publique**, le public est supposé irrationnel et l'expertise pure. Les questions techniques sont déléguées à des comités d'experts. Le public est informé et éduqué. La stabilité du système dépend de la confiance du public dans les institutions. C'est le modèle qui a été dépassé par la controverse sur les OGM (quand les experts ne sont plus formels, la confiance du public est rompue). Dans le **modèle de la consultation**, la séparation entre experts rationnels et profanes irrationnels n'est plus fondamentale. Chaque partie peut contribuer et la communication doit aller dans les deux sens. Les risques sont perçus comme indissociables d'enjeux socio-économiques et éthiques mais l'évaluation scientifique basée sur les faits scientifiques établis (sound science) n'est pas remise en question. La confiance vient de la participation du public (panels de citoyens, conférences de consensus), qui élargit par ailleurs la définition des questions qui se posent. Le **modèle de la co-construction** (Callon, Latour) diffère par une attitude critique face à la 'sound science' utilisée dans l'expertise, qui est considérée comme une boîte noire qui cache des choix sociaux décidés sans processus démocratiques et donc imposés à la société (ce modèle est en conséquence qualifié de relativiste ou d'anti-scientifique par certains). Les controverses permettent d'ouvrir les 'boîtes noires'. Les connaissances sont distribuées entre experts, acteurs et citoyens (chaque catégorie contribuant à l'exploration des problèmes) et entre disciplines (il y a plusieurs explications scientifiques face à un problème complexe étant donné que les disciplines ont des visions différentes de celui-ci). L'implication des parties prenantes est vue comme une question démocratique mais aussi de rigueur analytique. La notion centrale du risque fait place à celle d'incertitudes.

- Enfin, plusieurs propositions sont situées dans le modèle de l'instruction publique où le politique et les experts font des choix sans réelle participation des acteurs à la décision. Il s'agit des politiques de sortie de lock-in : elles nécessitent un leadership politique qui peut s'aligner sur des souhaits citoyens, mais n'émergerait pas automatiquement d'une participation de ceux-ci ou des acteurs. L'engagement dans ces politiques pourrait être fait sans consultation, mais la mise en oeuvre pratique dans cette voie se ferait alors en consultation avec certains acteurs et par co-production de savoirs.

A. Institutionnaliser une comparaison des voies d'innovations

Une politique d'innovation axée sur le développement durable inclut la fixation d'objectifs d'innovation. Le choix des moyens pour arriver à ces objectifs est encore plus important. Cette section établit l'importance d'institutionnaliser une comparaison des *choix technologiques* (des voies d'innovations) dans une politique d'innovation. Il s'agit plus concrètement de **mettre en œuvre la proposition méthodologique concernant la prospective qui avait été présentée au chapitre précédent.**

Cette section se rapporte donc à la proposition présentée au chapitre 8 (pp 367-379). Le lecteur est invité à lire en particulier, dans la section sur la prospective la sous-section *Pour une prospective par scénarios sur l'innovation* p 371 ainsi que le Tableau 39 qui illustre la possibilité de réfléchir des choix technologiques agricoles en prenant en compte l'ensemble des niveaux et paramètres concernés dans les filières agroalimentaires (p 375).

1) La triple nécessité d'une comparaison des choix technologiques

Bien qu'elle ne soit pas mise en œuvre actuellement, l'organisation d'une comparaison institutionnalisée des choix technologiques est triplement nécessaire dans une politique d'innovation.

La première raison est d'ordre démocratique. S'il existe plusieurs possibilités pour la résolution de problèmes ou d'objectifs définis collectivement, il faut assumer l'existence de choix collectifs. Aujourd'hui, ces choix sont rarement présentés comme tels. La marge de manœuvre d'autorités régionales ou nationales pour certains choix est en effet faible. Une filière agricole régionale, ou même le secteur agricole belge, est contrainte de s'insérer de manière compétitive dans une économie globalisée. Certains choix sont faits uniquement pour des raisons de compétitivité internationale. Assumer l'existence de ces choix est pourtant crucial dans la perspective souhaitable d'une plus forte démocratisation des choix technologiques. Nier la possibilité d'un refus d'une technologie (le non choix de celle-ci), ce qui semble parfaitement acceptable pour certains, équivaut pourtant à accepter l'idée d'un déterminisme technologique et donc à accepter l'exclusion de la technologie de la sphère démocratique. La possibilité d'un refus d'une technologie doit donc être ouverte dans une société démocratique. C'est cette possibilité qui doit légitimer les technologies acceptées.

La notion floue de '*choix technologiques*' a plusieurs implications pratiques. Les choix technologiques sont concrétisés dans une foule de décisions, depuis les politiques de recherches jusqu'aux réglementations de la diffusion commerciale des innovations. Des choix budgétaires sont donc en jeu, en matière de politique scientifique et de R&D, alors que l'allocation des ressources publiques en matière de recherche fait rarement l'objet de débats démocratiques. Les choix non budgétaires sont tout aussi importants : le 'design' des politiques d'innovation (protection intellectuelle, environnement réglementaire, formation) est en effet différent selon la voie d'innovations qui souhaite être avantagée. Les voies d'innovations ont par exemple des besoins tout à fait différents en matière de formation des jeunes scientifiques. Les choix technologiques, situés dans le projet du développement durable, font -doivent faire- aussi partie de la sphère de la démocratie.

La seconde raison est de l'ordre de la rationalité et de la rigueur. Pour prendre une décision sur une innovation, il faut non seulement connaître l'état actuel du système dans lequel cette innovation devrait s'insérer et tous les éléments liés à cette innovation (avantages, inconvénients, risques, impacts,...), mais également les choix alternatifs d'innovation. Si l'étendue de ces choix n'est pas connue et si l'information sur ces alternatives n'est pas bien connue, les acteurs ne peuvent pas faire des choix rationnels. La comparaison est une question de rigueur scientifique. Il s'agit de reconnaître une propriété systémique basique : l'ajout d'un nouvel élément (une voie d'innovations) dans un système (l'évaluation d'une innovation) modifie ce système. L'évaluation n'est plus binaire (le système avec ou sans l'innovation). La seule reconnaissance de la présence d'alternatives à une plante transgénique (par exemple) change la façon dont on peut évaluer celle-ci. L'appréciation des avantages et inconvénients et l'acceptation des risques éventuels peuvent changer.

La comparaison est aussi une question **d'efficience**. La confrontation entre options socio-techniques serait en effet susceptible d'enrichir les processus d'innovation, notamment en intégrant dans la création technologique les points de vue des différents acteurs qui seront concernés par leur utilisation (Joly, 2003).

La troisième justification de la comparaison vient de l'imperfection des marchés. Elle procède de la simple observation de la réalité des liens entre marchés et processus d'innovation. Dans nos sociétés occidentales, le marché est l'institution supposée faire s'ajuster l'offre et la demande d'innovations et permettre ainsi une comparaison des avantages et inconvénients des innovations avec les pratiques actuelles, ainsi qu'une comparaison des innovations entre elles.

Ce marché n'opère cependant pas une comparaison satisfaisante.

Le marché permet la comparaison des différentes innovations sur des critères de performance tels que la productivité, la résistance aux maladies, la qualité. Cette comparaison s'effectue essentiellement du seul point de vue d'un acteur économique privé. Le marché permet à un agriculteur de comparer les offres des entreprises. Mais le marché ne peut comparer les innovations que sur les paramètres qui sont intégrés (internalisés) dans son fonctionnement. Les externalités des innovations ne sont pas comparées alors qu'elles peuvent être très importantes et très différentes d'une innovation à l'autre.

Enfin, l'approche systémique a démontré que des phénomènes systémiques -comme les situations de path dependence, de lock-in, de déterminants d'innovation- aboutissent à

reléguer certaines voies d'innovations à un statut marginal sur le marché. Celles-ci sont donc écartées de la comparaison effectuée par celui-ci.

Les situations d'incertitudes ne sont pas non plus complètement prises en compte par le marché en absence de systèmes de responsabilité sur les effets non prévus. En particulier, le marché favorise les gains de productivités effectués par l'acteur qui acquière l'innovation et garantis dans le court terme (même s'ils sont associés à la prise de risques et d'incertitudes sur le long terme).

Favoriser une comparaison organisée, complémentaire à celle qui s'exerce actuellement par le marché, est donc nécessaire pour permettre une réelle comparaison de toutes les innovations. Cette comparaison doit inclure les voies d'innovations qui peuvent être performantes à long terme -ou qui ont des caractéristiques de biens publics- mais qui sont actuellement négligées car sous-investies tant par le marché (*market failure*) que par les systèmes de recherche (*system failure*) (Cfr Chap 7).

Face à l'importance des enjeux contemporains (changements climatiques, hausse du coût de l'énergie, réduction de la dépendance de l'agriculture aux intrants), nos sociétés ne peuvent en effet pas se passer d'explorer et comparer les possibilités de toutes les voies d'innovations (pour une synthèse de ces défis, voir p 398).

Il avait également été montré au chapitre 8 en quoi la simple comparaison agronomique d'innovations était insuffisante dans le cadre d'une approche dynamique de l'innovation (voir pp 372-374).

2) De la comparaison de choix technologiques à la prospective par scénarios

La prospective est ici retenue comme la meilleure manière de comparer les choix technologiques et des voies de développement pour une politique d'innovation tournée vers le développement durable. Il faut cependant remettre la prospective en question et l'adapter à l'approche systémique.

La branche de la prospective traditionnellement utilisée en matière d'innovation, la **prospective technologique**, n'intègre en effet pas les questions de durabilité (pour une présentation de la prospective et une discussion de ses limites, voir p 367). La prospective technologique poursuit en effet une vision du progrès héritée des Lumières. Elle est, par origine, un outil de compétition politique entre les Etats par le biais du domaine stratégique de l'innovation. Son importance va croissant avec la mondialisation économique et l'internationalisation de la recherche. Les expressions '*picking the winners*' ou '*will the potential of this technology be realized*', caractéristiques de cette approche initiale de la prospective, illustrent ces finalités.

La **prospective par scénarios** est plus apte à intégrer les principes issus de l'approche systémique (sur le plan méthodologique, voir p 369). Elle adopte une vision plus équilibrée de la place de la technologie dans nos voies de développement. Elle est potentiellement un bon outil pour une meilleure maîtrise des choix technologiques, c'est à dire un élargissement et un approfondissement de la sphère de la démocratie aux questions technologiques. Dans ce sens, le déficit actuel d'exercices de comparaison de choix technologiques et de construction de scénarios possibles pour l'avenir, dans le domaine de l'agriculture notamment, traduit d'ailleurs un déficit démocratique sur le choix des trajectoires de développement que nos sociétés poursuivent.

La proposition de prospective par scénarios est développée au chapitre 8 (pp 367-379). Le lecteur est invité à lire en particulier, dans la section sur la prospective la sous-section *Pour une prospective par scénarios sur l'innovation* p 371.

La mise en oeuvre concrète de la comparaison des choix technologiques et des scénarios de développement nécessiterait une structure administrative adaptée qui pourrait piloter les différentes activités qui s'y rapportent. Ces aspects sont discutés à la Section 3 *Une Agence de l'innovation* (page 430).

B. Des politiques 'de sortie de lock-in'

A côté de la comparaison des voies d'innovations et de développement, d'autres politiques sont nécessaires. La comparaison et la prospective ne sont en effet que des outils pour montrer l'étendue des possibles, pour stimuler le débat sur une approche plus ouverte de l'innovation, et pour aider à la décision publique.

Des politiques qui orientent l'innovation dans une direction bien précise sont cependant légitimes et cohérentes avec l'approche proposée.

Les situations de lock-in, non souhaitables car obstacles à une plus grande durabilité des systèmes agroalimentaires (cfr *Durabilité vs. Lock-in* ! p 404), demandent des politiques adaptées : des politiques de 'sortie de lock-in'. **Quatre propositions de politiques de sortie de lock-in**, cohérentes avec le principe d'action du principe de précaution et du développement durable, sont avancées :

- une politique de promotion du génie agroécologique (soutien aux voies d'innovations qui sont exclues des systèmes),
- une politique de protection des 'niches' d'innovation,
- la modification de normes réglementant l'agriculture pour orienter l'innovation et
- la promotion du calcul de l'optimum économique et écologique.

1) Politique de promotion du génie agroécologique

« Because public resources are limited, when the objectives is to correct a market failure, the public sector ought to focus more heavily on types of research that have a high social payoff but which the private sector has little incentive to support » Alston, Norton et Pardey dans *Science under scarcity* (1995)

Remarque : Le génie agroécologique a été présenté dans le Chapitre 7 (p 328).

Les pouvoirs publics ne peuvent se contenter de se reposer sur un investissement massif du secteur privé dans quelques voies d'innovations, tels le génie génétique, tout en laissant les possibilités du génie agroécologique sous-investies, alors que leur potentiel est pourtant grand pour faire face aux enjeux actuels et futurs. La nécessité d'une politique spécifique de soutien au génie agroécologique provient de la nécessité d'un changement de paradigme face à la certitude sur les changements climatiques, de l'incertitude sur le potentiel des plantes transgéniques et de l'existence de situation de lock-in qui freinent le développement du génie agroécologique (cfr p 404).

Il faut **doper le budget de recherche publique sur le génie agroécologique**. La recherche publique a un rôle particulier par rapport à cette voie d'innovations car certaines innovations agroécologiques produisent à la fois des biens privés et des biens publics tandis que le génie génétique est essentiellement une voie d'innovations qui produit des biens privés (cfr Chapitre 7, section 2).

Le potentiel des systèmes agroécologiques existants est connu. De nombreuses innovations radicales et incrémentales peuvent être faites. Les recherches nécessaires peuvent par exemple porter sur l'optimisation des systèmes agroforestiers (meilleure compréhension du complexe culture-arbres-micro-climat-insectes), sur la recherche des meilleures combinaisons de mélanges variétaux, sur l'amélioration de variétés de

céréales adaptées à ces systèmes particuliers et même sur le développement d'innovations mécaniques (les systèmes agroforestiers modernes requièrent par exemple le développement de machines qui puissent racler les racines des arbres pour qu'elles ne gênent pas les racines de la culture mais se développent plutôt en profondeur). Les recherches actuellement menées dans ces directions en Région Wallonne sont anecdotiques. Il y aurait donc lieu de les renforcer.

Cette politique passe également par la **construction d'une vision intégrée et prospective sur l'agroécologie** afin d'intégrer des projets actuellement disjoints (lutte biologique, variétés résistantes, éliciteurs de résistance systémique, etc). Le caractère disjoint de ces trajectoires d'innovation avait été décrit au Chapitre 5 (*Absence de vision intégrée sur les voies d'innovations agroécologiques* p 291). Face à cette absence de vision intégrée, les instances de financement de la recherche pourraient adopter une attitude proactive pour faire travailler des chercheurs qui ne le font pas actuellement, par exemple en encourageant ou contraignant l'exploration des synergies entre différentes sous-voies d'innovations (cfr lutte biologique par insectes auxiliaires et variétés de pommiers résistantes aux maladies). Ces mêmes autorités pourraient également prendre un rôle plus actif dans la création d'interfaces entre les chercheurs qui travaillent sur les innovations agroécologiques et les organisations de producteurs qui tentent d'appliquer au mieux possible les pratiques agroécologiques. Une demande pour de telles interfaces est en effet existante mais les chercheurs n'ont pas le temps de s'y consacrer si cela n'est pas intégré dans les priorités et financements de recherche. Enfin, le développement d'une vision intégrée d'un verger agroécologique ou d'un système de culture de froment à l'horizon 2015 pourrait mobiliser différentes catégories d'acteurs et aboutir à la proposition de projets de recherche.

Au niveau des recherches à promouvoir en Région Wallonne, il s'agirait par exemple très concrètement de financer davantage la recherche sur les systèmes à intrants réduits (en froment et en vergers), sur les mélanges variétaux, sur les systèmes agroforestiers ou sylvopastoraux (qui peuvent créer des opportunités de diversification pour les agriculteurs).

Le soutien à la recherche sur le génie agroécologique nécessite aussi de **lever les obstacles** (déterminants d'innovations négatifs) à ce type de recherche dans les systèmes de recherche agronomique, identifiés au Chapitre 7.2. Il est par exemple nécessaire de modifier conceptuellement la **distinction entre 'recherche' et 'développement'** dans les politiques de recherche, ou en tout cas de créer une plus grande cohérence entre ces deux aspects dans le cas des innovations agroécologiques à caractère de biens publics parce que la dichotomie entre recherche fondamentale (assurée par la recherche publique) et recherche appliquée (cogérée par le privé et le public) n'est pas valable (Cfr Chapitre 7.2). Il avait par exemple été observé que la séparation des activités de recherche et développement en Région Wallonne posait problème (voir p 348). Une plus grande cohérence entre les départements de « recherche » et de « développement » de la DGA, et une modification des critères de ce qui est considéré comme « résultats transférables aux agriculteurs » est par exemple nécessaire.

Le développement à large échelle de systèmes agroécologiques dépend en grande partie, en Europe, de la politique agricole commune (PAC), qui n'est pas réellement du ressort

de cette thèse¹⁵¹. La **diffusion des innovations** peut être considérée comme entrant dans le domaine de la politique agricole et de celle d'innovation, surtout s'il est reconnu que l'agroécologie est constituée d'*innovations* et pas uniquement de pratiques agricoles. Il faut des politiques de diffusion des systèmes agroécologiques qui existent déjà mais qui ne sont pas mis en œuvre car leurs bénéfices privés à court-terme sont insuffisants pour être adoptés et substitués aux systèmes actuels. Une meilleure **internalisation des externalités environnementales** (stockage de carbone, biodiversité, etc) par une politique de subsidiation sera un levier crucial pour la diffusion des systèmes et innovations agroécologiques. Il faut créer des innovations institutionnelles qui joueront le rôle que les brevets et spin-offs jouent pour les innovations brevetables, et qui sont cruciales pour la diffusion des innovations. Cela passe par une revitalisation des services publics d'encadrement de vulgarisation et d'encadrement des producteurs¹⁵². Une telle politique entraînerait par exemple, pour revenir à l'étude de cas sur le froment, une refonte de la ligne rédactionnelle du *Livre Blanc* afin d'intégrer davantage la publication des résultats des recherches qui concernent les différents types de systèmes agricoles (intensifs ou extensifs en intrants et en main d'œuvre) et les projets d'innovation qui s'y rapportent. Elle impliquerait aussi une réorientation partielle des financements de projets individuels d'innovations d'agriculteurs par le département « développement » de la DGA, afin de soutenir en partie des pratiques ou systèmes agroécologiques innovants qui n'ont à priori pas d'intérêt direct à court terme pour les autres producteurs mais qui explorent une innovation intéressante à moyen ou long terme.

Il faut enfin une réelle souplesse à la recherche agroécologique, c'est-à-dire de laisser une partie de la recherche agroécologique n'avoir pas de finalité d'application directe aux systèmes agricoles actuels. Cette souplesse a été allouée aux biologistes moléculaires depuis trente ans. La nécessité de souplesse est nécessaire à la créativité. Elle peut être comprise par l'analogie que Weiner (2003) fait entre les progrès de la recherche agronomique et le parcours d'un alpiniste entre montagnes et vallées (Voir Figure 16).

Le modèle de l'agriculture moderne est représenté par la montagne avec le carré noir. Actuellement, les chercheurs en agronomie effectuent des recherches qui correspondent aux derniers mètres avant le sommet de cette montagne. Ces recherches sont directement utiles : chaque avancée est un gain de productivité. Cependant, d'autres montagnes existent dans le paysage et celles-ci ne peuvent être découvertes que par des efforts de recherche qui impliquent de traverser des vallées (la figure ne devrait en fait pas comporter de dépressions : la productivité ne peut pas être négative). Les recherches sont donc plus incertaines, car elles impliquent de changer un grand nombre de paramètres du système. Il faut considérer qu'une partie des recherches sur les innovations agroécologiques (celle sur les éliciteurs de résistance induite, qui ne sont pas encore utilisables directement) est une traversée des vallées à la recherche d'un autre sommet, comme l'a été le développement des premières plantes transgéniques

¹⁵¹ Il y a cependant des liens entre politique agricole et politique d'innovation : une modification de la politique agricole modifie les systèmes agricoles et les filières agroalimentaires, les innovations pertinentes pour ceux-ci, ainsi que les déterminants d'innovation

¹⁵² De nombreuses innovations institutionnelles adaptées au génie agroécologique ont émergé dans les systèmes agricoles du Nord et du Sud : les réseaux d'échanges de semences, les écoles dans les champs (*farmer field schools*), les paysans-entrepreneurs, etc (Uphoff, 2001, 2002 ; Ashoka-Innovators for the Public, 2002 ; Bornstein, 2004).

(plus de vingt ans se sont écoulés entre les créations scientifiques et le développement commercial de celles-ci). L'optimum ne peut pas être atteint directement mais le changement de paradigme qui permet de trouver le nouveau pic est une recherche 'high-risk/high reward'.

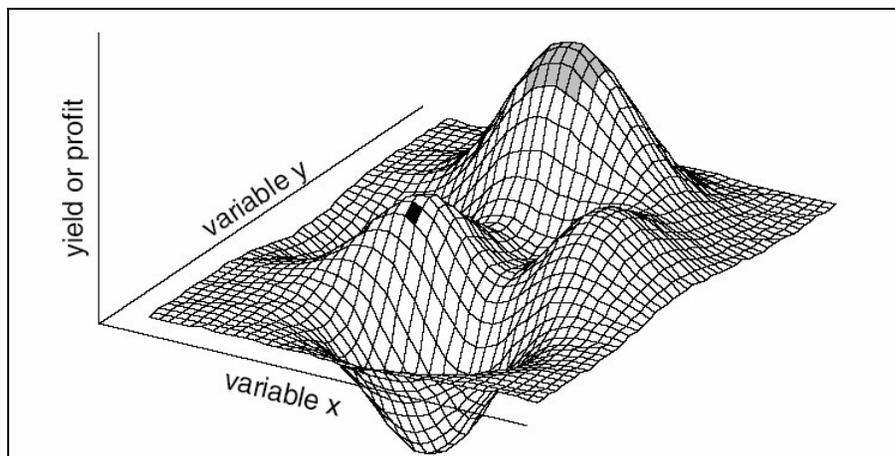


Figure 16 : L'amélioration de la productivité agricole par la recherche agronomique comme un 'paysage adaptatif' (adaptive landscape) fait de pics et de vallées. Tiré de Weiner (2003)

2) Politique de soutien aux niches d'innovation

Remarque : les deux premiers paragraphes sont la traduction d'un des trois axes de conclusion de l'article reproduit dans le chapitre 7.

Le génie agroécologique est actuellement perçu comme lié à l'agriculture biologique, un secteur souvent qualifié de marché « *de niche* ». Cette expression est utile pour la réflexion sur l'innovation à condition d'en détourner le sens. La notion de niche a en effet une signification particulière dans l'étude de l'innovation, qui vient entre autres de l'école évolutionniste de l'économie de l'innovation.

Les niches sont des espaces protégés où il est possible de dévier des règles du régime (technologique, socio-technique) dominant (Geels, 2004). Ce sont les endroits où peuvent émerger des innovations radicales, tandis que les innovations incrémentales ont généralement lieu dans le régime dominant. Il y a donc lieu de créer et protéger ces niches pour contrebalancer les conséquences de la *path dependence* et du *lock-in* qui empêchent ces innovations d'émerger dans le régime dominant (Geels, 2002; 2004). Les innovations ont en effet une faible performance à leur stade initial, ce qui explique leur besoin de naître et évoluer dans des espaces protégés. Belz (2004) montre par exemple l'importance de la période où l'agriculture bio était une niche en Suisse (1970-1990) avant sa croissance significative depuis lors. On peut aussi citer le cas des projets expérimentaux qui ont initié le développement des voitures électriques ou des panneaux solaires (Rennings, 2000; Geels, 2004). La niche permet en effet le développement de l'innovation par des processus d'apprentissages, d'améliorations techniques, et la création de politiques publiques adaptées. Une politique de « gestion stratégique des

niches » a d'ailleurs été proposée par Kemp (1997). Concrètement, il s'agit d'installer des marchés pilotes temporaires, protégés par des subsides ou d'autres outils de réglementation publics.

On peut considérer les mélanges variétaux ou les systèmes agroforestiers comme des innovations radicales. Ceux-ci sont d'ailleurs actuellement liés à des espaces protégés dans nos pays : ils sont développés dans des projets de recherche publique spécifiques et/ou impliquent des subsides particuliers. Ils ont peu de chance de se développer hors de ces niches tant que le régime dominant reste stable.

La clé pour comprendre l'importance d'une politique de protection des niches, c'est d'avoir à l'esprit que les régimes ne sont pas toujours stables. Il y a en effet des déphasages entre le régime dominant et les besoins ou les souhaits de la société dans certaines situations. Les enjeux auxquels l'agriculture fait face aujourd'hui (changements climatiques, coûts croissants de l'énergie,...) créent des déphasages entre le régime technologique et les besoins de notre société. Dans ces situations, des « fenêtres d'opportunité » s'ouvrent ou vont s'ouvrir pour les innovations qui se développaient jusqu'alors dans les niches. Ces niches jouent donc un rôle crucial dans une perspective de durabilité. Les politiques d'innovation doivent les prendre en compte.

Une politique de soutien aux niches d'innovation a des conséquences en particulier pour l'agriculture biologique, notamment au niveau de la Région Wallonne. Il s'agit en fait de passer de la vision actuelle qui voit l'agriculture bio comme un simple *marché de niche* à une vision qui considérerait également l'agriculture bio comme une *niche d'innovation*. Plusieurs types d'innovations qui sont développées dans ce système ne le sont parfois nulle part ailleurs. Les études de cas ont montré que c'était par exemple le cas pour les éliciteurs de résistance systémique induite, qui ne faisaient l'objet de projet de recherche que dans le cadre de programme sur l'arboriculture biologique. L'agriculture biologique peut en effet être considérée, en plus de ses propres réalisations, comme un terrain d'expérimentation pour tester des innovations qui ne sont pas -encore ?- performantes dans l'agriculture conventionnelle (ou selon les modes de calcul actuels de la performance, des systèmes et paramètres qui devront sans doute être réformés dans le futur).

Une telle politique, en Région Wallonne, devrait inciter à :

- i) mieux étudier l'utilisation des mélanges variétaux par les producteurs bio, en culture de froment, pour comprendre l'intérêt de ceux-ci dans le système bio et identifier l'intérêt de cette même pratique en système classique
- ii) tester les produits innovants en conditions biologiques en plus des essais en condition 'classiques' (ce n'est pas le cas actuellement : il avait par exemple été montré que le CRA n'avait pas testé les éliciteurs de résistance systémique induite dans un système bio alors que c'est ce système qui pourrait peut-être le plus en bénéficier)
- iii) tester systématiquement les variétés développées dans les centres de recherche publics à la fois en conditions classiques, en conditions bas intrants et en conditions 'bio'(ce n'est pas le cas actuellement)
- iv) inciter les chercheurs qui effectuent des recherches agroécologiques (comme les projets de lutte biologique) à tester systématiquement leurs innovations en système 'bio' en plus des essais qu'ils font déjà aujourd'hui en système

classique (étant donné que l'objectif poursuivi est de modifier les pratiques du système classique, leurs recherches ne portent pas systématiquement sur le système 'bio', malgré le fait qu'agroécologie et agriculture biologique partagent des principes communs).

3) Modifications des normes réglementant les innovations agricoles

Un dernier type de politique d'innovation de sortie de lock-in concerne les normes qui réglementent les activités agricoles.

Dans le secteur chimique, le débat politique et public sur l'adoption de la directive européenne REACH a démontré le lien entre normes et innovations. On sait en effet que l'adoption de normes plus contraignantes, annoncées à l'avance, incite l'industrie à innover et réoriente l'activité d'innovation. La concurrence entre entreprises se joue en effet sur des produits qui respectent les normes, car les autres sont appelés à être interdits.

L'analyse du développement des variétés de froment résistantes à la fusariose a démontré que ce principe valait également pour l'amélioration variétale. Si l'on décide en Belgique d'une augmentation progressive mais significative des seuils minimums de résistance aux maladies (en général, pas uniquement la fusariose) dans les procédures d'homologation des variétés, les firmes semencières seront incitées à prendre davantage en compte le critère de résistance aux maladies dans leurs programmes d'amélioration. Elles seront incitées à investir dans la recherche, coûteuse, de résistances polygéniques, qui nécessite des programmes longs (car exigeant l'intégration de sources de résistances éloignées des variétés directement commercialisables).

Une modification trop stricte des normes belges pourrait être inefficace. Le marché unique européen s'applique en effet également aux variétés de froment. Une variété inscrite au catalogue danois peut être vendue en Belgique après une inscription au catalogue européen, qui est une simple formalité administrative. La libre circulation des variétés est aujourd'hui un fait : un peu plus de la moitié seulement des variétés multipliées en Belgique sont inscrites au catalogue des variétés belges (44 variétés sur 80) (Ministère de l'Agriculture, 2005). La libre circulation bénéficie aux variétés sensibles comme aux variétés résistantes. Les firmes semencières jouent d'ailleurs sur les variations nationales des conditions d'homologation (application de fongicides ou non, moyenne des résultats sous ces deux conditions, ...). S'il est trop difficile pour une variété d'être inscrite au catalogue d'un pays alors qu'elle pourrait y être commercialisée, les firmes la commercialisent en l'inscrivant dans un autre pays ayant des normes plus adaptées à leur variété. Cette variation n'est pas néfaste en soi, elle a même été bénéfique à quelques cas de variétés résistantes, mais une harmonisation vers le haut serait souhaitable. Pour que cette politique ait un effet réel, il faut cependant une coordination des conditions d'homologation au niveau européen.

4) Promouvoir l'optimum économique et écologique

Il est essentiel de promouvoir bien plus massivement le calcul de l'optimum économique dans les systèmes agricoles. Il faut plus, et non moins, d'analyses coûts-bénéfices dans les filières. Cette proposition peut à priori sembler paradoxale étant donné la position relativement critique faite par rapport à cette approche économique (Cfr chapitre 1). Les approches économiques qui doivent être promues sont cependant

celles issues de l'économie environnementale et de l'économie écologique (*ecological economics*) et non de l'économie classique. Les externalités des différents types d'agricultures doivent être davantage calculées, de même que celles des innovations qui font évoluer ceux-ci.

En Région Wallonne, ces calculs ne sont actuellement plus, pas assez ou pas encore faits par les chercheurs des institutions académiques. Les externalités économiques ont été démontrées sur le plan scientifique : leur calcul systématique est devenu une question politique et non scientifique. Il en est de même pour la simple comparaison des itinéraires techniques¹⁵³. Pourtant, les conseillers techniques et vulgarisateurs n'ont pas intégré ce calcul systématique de l'optimum économique, qui n'est pas mis en œuvre dans les conseils techniques donnés aux agriculteurs (Voir *Analyse du Livre Blanc* p 133). C'est à ce niveau (la vulgarisation) qu'il y a lieu de l'intégrer. Pour le cas du froment, c'est à nouveau par une modification des recherches appliquées publiques et surtout des publications du Livre Blanc que ceci peut être mis en œuvre.

C. Des politiques 'anti-lock-in'

Il ne suffit pas de supprimer les obstacles qui barrent (*lock out*) certaines voies d'innovation. Il faut aussi empêcher le renforcement des situations de lock-in non souhaitables dans une perspective de développement durable. Il faut donc aussi des politiques 'anti-lock-in'.

Des irréversibilités peuvent en effet être créées par des choix technologiques ou des choix institutionnels liés à des technologies. On entend ici 'irréversibilités' non seulement au sens littéral (une non-réversibilité absolue) mais également au sens moins radical (celui de la construction de situations 'difficilement réversibles').

Un faisceau de faits permet d'estimer que le génie génétique -compris ici comme paradigme technologique et voie d'innovations en non pas dans le sens de la seule technologie de la transgénèse- peut être créateur d'irréversibilités et de situations de lock-in plus grandes qu'aujourd'hui.

Le débat public et scientifique en matière de plantes transgéniques se centre surtout sur les **irréversibilités environnementales** liées aux flux de gènes entre cultures transgéniques et cultures adjacentes (conventionnelles ou bio) et entre cultures transgéniques et écosystèmes naturels ou semi-naturels ('pollution génétique'). Ceux-ci sont souvent difficilement contrôlables. Cette irréversibilité concerne la question de la coexistence de systèmes agricoles utilisant des plantes transgéniques ou non, et celle-ci n'est pas étudiée dans cette thèse¹⁵⁴.

Les **irréversibilités** qui concernent les voies d'innovations et de développement peuvent cependant être présentes à d'autres niveaux : celui de la recherche, celui des

¹⁵³ « La comparaison des itinéraires techniques : on le faisait avant les années 50s. C'est peu attirant au niveau de la recherche. Les centres savent le faire. C'est facile. Les gens qui font des nouvelles variétés devraient le faire ». Un professeur d'économie rurale, 2005.

¹⁵⁴ L'étude de cas sur le froment permet cependant d'estimer que le flux de gènes n'est qu'un aspect très partiel de la question de la coexistence. Le champ doit en effet être resitué dans sa filière agroalimentaire. La coexistence au sein de celle-ci implique de multiples questions car les points de contacts entre grains sont multiples, depuis le silo jusqu'à la boulangerie.

dynamiques d'innovations au sens large, celui des filières agroalimentaires et du pouvoir de leurs acteurs dominants et celui des droits de propriété intellectuelle.

Au niveau de la recherche, l'engagement dans une voie d'innovations peut aboutir à la création d'une culture épistémique et de trajectoires de recherche adaptées à cette voie, voire à l'abandon de programmes de recherche alternatifs. Ces modifications peuvent entraîner des irréversibilités dans la production de connaissances et de savoir-faire (le curriculum des chercheurs par exemple) (Cfr Chapitre 7).

Au niveau de la dynamique d'adoption des innovations, Cochrane (1979) a montré, dans sa théorie sur le *technological treadmill* que la technologie est, pour les agriculteurs, un 'tapis roulant sans fin' (*treadmill*). On observe que les innovations agricoles sont généralement d'abord adoptées par les agriculteurs ayant des grandes exploitations et des ressources financières pour investir (les *early adopters*). Ceux-ci développent un avantage comparatif grâce aux gains de productivité associés à l'adoption de l'innovation. Les autres agriculteurs sont progressivement forcés d'adopter la technologie pour rester au même niveau de productivité. Les gains diminuent cependant rapidement du fait de la diminution du prix des produits agricoles ou de l'augmentation du prix des terres¹⁵⁵. Le flux continu d'innovations met donc les agriculteurs sur un 'tapis roulant sans fin' (qui en élimine un certain nombre).

Des innovations technologiques peuvent donc se diffuser rapidement si elles sont rentables à court terme pour l'agriculteur, et si elles sont promues commercialement par des entreprises qui ont des moyens importants. Ces innovations peuvent devenir dominantes et forcer ceux qui ne les ont pas adoptées initialement à le faire pour rester compétitifs. En devenant dominantes, elles peuvent aussi empêcher les autres d'éclorre. C'est la situation de lock-in. Les inconvénients de la technologie dominante ainsi que les coûts d'opportunité de ne pas avoir adopté une autre innovation (celle, par exemple, qui n'a pas été promue avec autant de moyens ou dont les bénéfices sont collectifs et à long terme au lieu d'être privés et à court terme) ne peuvent arriver que plus tard. Un cultivateur de maïs américain peut ainsi être forcé à cultiver du maïs transgénique, même si cela ne représente pas le meilleur choix pour lui-même et pour la société américaine (Bell, 2004).

Au niveau des filières agroalimentaires et du pouvoir des structures dans celles-ci. Certaines innovations technologiques peuvent renforcer les acteurs dominants des filières agroalimentaires. C'est le cas du génie génétique, dont les perspectives commerciales et financières ont provoqué un très important mouvement de concentration et de fusions-acquisitions dans le secteur. Les plus grandes multinationales de l'agro-fourriture (agro-industrie) ont acquis une telle puissance qu'elles ont des effets majeurs sur l'ensemble des processus d'innovation. Les influences du secteur privé sur les institutions publiques ont déjà été décrites (Cfr Chapitre 7).

On peut cependant montrer par deux exemples belges très éclairants que cette influence du privé sur le public se fait également par l'intermédiaire des entreprises de spin-off.

¹⁵⁵ "The gains to [early] innovators and all other farmers are eroded away either through falling product prices or rising land prices or a combination of both, and in the long run the specific income gains to farmers are wiped out and farmers are back where they started -- in a no-profit position. In this sense, technological advance puts farmers on a treadmill." (Cochrane, 1979).

On peut en fait avancer que presque aucune spin-off de biotechnologies ne résiste longtemps au rachat par ces multinationales au vu des immenses profits qu'une telle opération peut apporter à ses actionnaires. La revente de la société Plant Genetic Systems, dont les recherches ont été développées à l'aide de fonds publics pendant des années, par Marc Van Montagu, créateur de certaines des premières plantes transgéniques a été décrite (Kempf, 2003). Une autre entreprise flamande, Cropdesign, a été rachetée par BASF en 2006 (BASF, 2006). Or, CropDesign a bénéficié d'un subside public de 2.4 millions d'euros de l'Institut Flamand pour la Promotion de l'Innovation (IWT) aussi récemment que 2003 pour développer des plantes résistantes à la sécheresse (SeedQuest, 2003). Cette privatisation de connaissances financées par les pouvoirs publics permet de montrer que des innovations développées dans le secteur public, en matière de génie génétique, sont finalement contrôlées par des groupes privés poursuivant des logiques strictement financières. Les plantes résistantes à la sécheresse de CropDesign, développées sur fonds publics, seront brevetées par BASF. La commercialisation de ces innovations ne répondra finalement qu'à des critères financiers (satisfaction de l'attente de retour sur investissement de l'ordre de 15%) ou de marketing (une opération 'humanitaire' par exemple, destinée aux paysans d'Afrique de l'Est). Ces deux exemples montrent que les processus d'innovation peuvent être très largement influencés par quelques multinationales.

Au niveau des régimes de protection de la propriété intellectuelle. Les régimes de propriété intellectuelle ont été adaptés depuis 1980 pour satisfaire aux nécessités du développement des biotechnologies, notamment pour garantir une sécurité juridique autour des investissements dans la recherche et le développement sur les plantes transgéniques (Cfr Chapitre 1). La possibilité de breveter des micro-organismes, des plantes, des gènes a modifié la donne par rapport au régime traditionnel de certificats d'obtention végétale (COV) qui primait.

L'auteur n'a pas effectué de recherches spécifiques sur les irréversibilités liées à ces modifications de droits de propriété intellectuelle, mais plusieurs hypothèses reviennent cependant suffisamment fréquemment dans la littérature pour être citées.

- Le régime des brevets pourrait devenir un incitant à la prise de brevets sur les gènes des plantes et donc à la création de plantes brevetables plutôt que des plantes protégées par COV. Aux Etats-Unis, les sélectionneurs poursuivant des programmes d'amélioration classique ont des difficultés à les poursuivre et sont incités à s'engager dans des programmes de génie génétique (Dalton, 2003).
- La seconde irréversibilité potentielle est dans la construction même de plantes transgéniques. Etant donné la prise de brevets par une multitude d'acteurs différents, la création de plantes transgéniques peut devenir de plus en plus complexe vu la difficulté et les coûts de transaction nécessaires pour rassembler les droits autour de chaque gène et chaque construction transgénique impliqués dans le développement. L'exemple du *Golden Rice* (riz transgénique modifié pour contenir une certaine quantité de provitamine A) qui a nécessité des négociations entre de multiples organisations, est célèbre et n'est pas unique (Joly et Hervieu, 2003).
- Une troisième hypothèse d'irréversibilité potentielle se situe dans la possibilité pour une entreprise de breveter un gène sans l'utiliser lui-même, mais en empêchant donc d'autres organisations de le faire. Le brevet est en effet un droit d'interdire aux autres d'exploiter une innovation particulière. Les entreprises brevettent couramment des innovations qu'elles n'ont pas l'intention d'utiliser mais qui leur sont utiles pour des raisons stratégiques et concurrentielles.

L'hypothèse qu'une entreprise qui vend actuellement des produits phytosanitaires protégeant une culture d'une maladie particulière prenne un brevet sur un gène de résistance à cette maladie est tout à fait possible. Cette prise de brevet engendrerait théoriquement comme irréversibilité le fait que cette firme a un contrôle sur l'exploitation de ce gène par d'autres firmes ou par des organismes publics. Ce contrôle dépend des objectifs de la firme (par exemple ne commercialiser la plante transgénique que quand cette commercialisation est plus profitable que celle du produit phytosanitaire, ou quand la concurrence est sur le point de développer une innovation similaire). On parle de 'hold-up' dans le jargon de la propriété intellectuelle.

L'Union Européenne, pour modérer ces possibilités de blocage a introduit le concept de licence obligatoire et croisée, qui oblige le propriétaire d'un brevet ou d'un COV à accorder une licence aux acteurs le souhaitant, sous peine de devoir leur payer une redevance. Cette possibilité resterait cependant peu utilisée.

Ces quelques exemples n'ont pas pour objectif d'analyser l'ensemble des irréversibilités potentielles liées au génie génétique, mais seulement d'en illustrer la possibilité et donc d'insister sur l'importance d'une analyse approfondie des irréversibilités liées aux voies d'innovations dans les politiques d'innovation.

Une approche systémique approfondie des différentes voies d'innovations permettrait d'ailleurs de mieux montrer comment certaines de ces voies d'innovations renforcent les acteurs dominants tandis que d'autres renforcent des acteurs minoritaires ou peu influents. Les irréversibilités illustrées dans cette section peuvent être empêchées soit par des innovations institutionnelles, soit par interdiction (ou non-encouragement) de la technologie. Les choix technologiques sont donc avant tout des décisions politiques (voir p 434-440).

D. Politiques publiques expérimentalistes et systèmes d'innovation négociée

Deux autres types de politiques ont leur place dans une politique d'innovation visant la durabilité de nos systèmes : la proposition d'expérimentalisme démocratique et celle de système d'innovation négociée. Elles concernent toutes les deux des systèmes plus ou moins originaux qui pourraient être développés à faible ou large échelle.

Elles ne sont ni des politiques de type « *command and control* » ni des simples partenariats public-privé, et impliquent toutes les deux des organisations (privées, publiques ou associatives) plutôt que des citoyens profanes, ce qui était le cas des procédures participatives.

1) Politiques publiques expérimentalistes

La première suggestion est d'appliquer aux questions environnementales la proposition d'**expérimentalisme** des politiques publiques, attribuée à Dorf et Sabel (Dorf and Sabel, 1998) et à Mangabeira Unger (Unger, 1998). Celle-ci consiste à accepter et promouvoir la possibilité pour des sous-ensembles de citoyens d'expérimenter des modes alternatifs de vie en société tout en restant au sein même des procédures

démocratiques. Face à la double complexité de connaître les modèles adaptés aux contextes socio-culturels de différentes régions et de traduire les objectifs de durabilité en systèmes concrets (en filières agroalimentaires par exemple), la proposition de l'expérimentalisme part de la richesse et du dynamisme des acteurs locaux qui sont déjà en train d'expérimenter ces modèles. Il s'agit donc pour les pouvoirs publics de doter en ressources ces coalitions d'acteurs qui innoveront de manière décentralisée. Outre ce soutien, le rôle de l'Etat qui est crucial dans cette vision est celui d'évaluation. Il faut suivre et comparer les différentes expériences, faire circuler et remonter les informations.

L'application de cette proposition -qui sous-tend déjà des dispositifs existants- aux politiques environnementales et aux questions locales de développement durable est défendue par Mormont et al. (2001). Elle aboutirait à donner au politique la mission de la définition d'objectifs, mais promeut un fonctionnement sur base d'appels d'offres pour la mise en œuvre de propositions concrètes permettant de réaliser ces objectifs, en distribuant les ressources sur cette base¹⁵⁶.

Appliqué aux questions de développement durable en agriculture, cela pourrait par exemple se traduire par des appels d'offres avec pour objectifs de réduire l'utilisation de pesticides, l'émission de gaz à effets de serre et/ou de stocker du carbone dans les systèmes agricoles. Des coalitions d'acteurs seraient amenées à développer des projets pour atteindre ces objectifs, dans les limites définies par les pouvoirs publics.

Vu la complexité des enjeux et le nombre d'acteurs impliqués par certains de ceux-ci, des systèmes fixant les objectifs mais laissant les acteurs trouver les moyens pour atteindre ceux-ci sont des modèles à étudier. Les pouvoirs publics ont incité certains secteurs comme l'industrie automobile, à innover par rapport à des problèmes d'ordre public. Si l'actualité a démontré que ces accords volontaires de l'industrie n'avaient pas atteint l'objectif assigné sur la question de l'émission de gaz carbonique des nouveaux véhicules, ils ont par contre obtenu des succès sur la question des véhicules en fin de vie. Ce système de *prospective voluntary agreements* a été utilisé dans l'industrie automobile allemande afin de stimuler des innovations technologiques et institutionnelles pour réduire l'impact écologique de ces véhicules en fin de vie, avec un meilleur résultat qu'une approche de type « *command and control* » en France (Konnola et al., 2006).

Le soutien à des modèles d'expérimentalisme démocratique est une suite cohérente et complémentaire aux exercices de scénarisation prospective. On pourrait imaginer qu'un pouvoir subsidiant, par exemple la Commission Européenne, finance l'organisation d'exercices de prospective dans une centaine de régions d'Europe, et affecte ensuite des ressources complémentaires à une vingtaine de ces régions pour les aider à la mise en œuvre des scénarios préférés par les populations de ces régions. Etant donné les marges de manœuvre budgétaires réduites des Etats à l'heure de la globalisation, la mise en œuvre du scénario préféré par la population peut en effet s'avérer impossible. Il y aurait donc lieu de concentrer des ressources nationales ou européennes pour faire des expérimentations dans quelques régions d'Europe, expériences qui auront une valeur pour l'ensemble des régions. Cet expérimentalisme démocratique, cohérent avec le

¹⁵⁶ Cette approche devrait permettre « de cumuler les acquis du libéralisme (liberté individuelle, décentralisation) et ceux de la régulation par l'Etat (arbitrages collectifs, solidarité et cohésion sociale) » (Mormont, 2005b).

principe de subsidiarité, permettrait de ne pas laisser au hasard l'expérimentation à large échelle et à long terme de voies d'innovations et de voies de développement actuellement minoritaires mais souhaitées.

Ces projets expérimentaux, s'ils concernent des voies d'innovations et des scénarios de développement alternatifs, pourraient permettre de doper la demande de recherche fondamentale et appliquée sur ces voies d'innovations qui sont actuellement « *locked-out* » par des effets structurels dans les systèmes de recherche agronomique et par la politique agricole commune.

2) Systemes d'innovation négociée

Une autre proposition qui devrait permettre une concrétisation de l'approche proposée est celle de systèmes d'innovation gérés comme des patrimoines collectifs, des **systemes d'innovation négociée**, esquissée par Mormont (2005). La proposition part du constat suivant : la recherche et l'innovation sont des biens communs mais ni l'Etat, ni le marché, ni les processus de participation citoyenne ne peuvent seuls aboutir à des choix technologiques satisfaisants.

Les systèmes d'innovation négociée rassembleraient les différents acteurs de l'innovation (innovateurs, chercheurs, parties affectées, etc) et les amèneraient à 'négocier' l'innovation. Ils auraient pour but de créer un milieu innovateur qui gère la recherche et la technologie comme un bien commun en négociant les technologies à développer ; en prenant en compte les impacts des innovations ; en établissant les sujets de recherche nécessaires (y compris ceux qui sont réflexifs ou critiques sur la technologie) ; en équilibrant les dynamiques de recherche, dynamiques marchandes et dynamiques redistributives et en justifiant les choix à partir de scénarios de changement. Des conditions d'entrée dans ces systèmes seraient déterminées pour en assurer le bon fonctionnement.

Cette proposition théorique est intéressante à approfondir. Elle n'est cependant pas totalement nouvelle. En effet, si l'innovation des multinationales semencières et d'agrochimie échappe à presque toute orientation publique, plusieurs systèmes d'innovations impliquent déjà certains acteurs concernés par l'innovation à des degrés divers. Joly et Hervieu (2003) montrent par exemple que le régime de production de connaissances en génétique bovine, en France, 'mutualise' les ressources financières, génétiques et les objectifs de sélection. Dans le domaine végétal, la distinction est par contre fondamentale entre les plantes protégées par brevets (aux Etats-Unis notamment) et celles protégées par certificat d'obtention végétale (COV), dont le système se caractérise aussi par un plus grand degré de mutualisation des connaissances. Plusieurs chercheurs mènent également des projets de sélection 'participative', tant sur le froment que sur le chou-fleur, en intégrant davantage les agriculteurs (notamment ceux qui pratiquent l'agriculture biologique) dans la planification de la sélection (Chable et al., 2005).

Dans l'étude de cas sur les pommiers (Chapitre 3), on a vu que plusieurs systèmes d'innovation privés avaient récemment émergé sous différentes formes. Il s'agit du système des clubs variétaux, symbolisés par le club international qui gère la variété *Pink Lady* et dont le modèle a fondamentalement changé le paysage de l'innovation variétale dans ce secteur. Un club rassemble un certain nombre d'acteurs concernés par l'innovation variétale (pépiniériste, arboriculteurs, criées, financiers et promoteurs). Ceux-ci s'engagent volontairement sur le lancement d'une nouvelle variété, depuis sa

production jusqu'à sa distribution, en passant par les critères de qualité minimale. Ce système a permis de dégager des moyens de marketing suffisants pour la gestion d'une nouvelle variété dans un système bloqué (*lock-in*) par les quelques variétés établies de longue date (la *Golden*, la *Jonagold* et ses mutants en Belgique). Le système reste cependant totalement 'privé' : la *Pink Lady* n'a rien d'une '*clean technology*' qui satisferait à des critères définis collectivement ou orientés par un objectif de durabilité. Elle correspond uniquement à la demande des consommateurs (stimulée par un puissant marketing) et requiert une forte protection phytosanitaire car elle est très sensible à plusieurs maladies. En hiver, elle est acheminée vers nos cités depuis l'hémisphère Sud.

Ce système de club a ensuite été utilisé par une autre coalition d'acteurs et pour un objectif qui se rapproche davantage d'une trajectoire de développement durable. Le club '*Les Naturianes*' a pour objectif de promouvoir uniquement des variétés 'écologiques', c'est-à-dire résistantes aux maladies. Le club associe un certain nombre de pépiniéristes privés et l'INRA, qui développe les variétés. Les pépiniéristes ont un droit de préemption sur les variétés de l'INRA.

On voit donc que le système d'innovation négociée peut s'inspirer de modèles existants, tout en étant davantage structuré pour gérer l'innovation comme un bien public, dans une perspective de développement durable.

Le domaine de l'agronomie, qui concerne le triangle agriculture/alimentation/environnement, serait d'ailleurs un domaine prioritaire pour tester ces systèmes, étant donné les controverses qui ont agité ce secteur depuis une dizaine d'années. On pourrait imaginer, au niveau wallon, belge ou européen, une application concrète de ce système d'innovation négociée au domaine de l'amélioration végétale. Le système d'innovation impliquerait les firmes innovatrices, les pouvoirs publics, les organisations agricoles, les organisations de consommateurs, les associations environnementales, les Conseils de développement des filières (structure wallonne). La négociation pourrait par exemple porter sur ce qu'on appelle un idéotype de blé (ce qu'on cherche à créer), ou sur les priorités de sélection (rendement, résistances aux maladies, contenu en vitamines, goût, etc).

Les systèmes d'innovation négociée nécessitent plusieurs améliorations. Deux pistes de réflexion sont ouvertes ici pour la question de la délimitation des acteurs concernés et celle des conditions permettant la négociation.

La première concerne donc l'entrée des acteurs dans le processus. Pour négocier l'innovation comme un bien commun, il faut établir un rapport de force favorable. Or, les firmes innovatrices, dans le domaine de l'agriculture (amélioration végétale, produits phyto-sanitaires,...) sont actives au niveau international et ont acquis une puissance inégalée. Les dix premières multinationales de l'agrochimie contrôlent 80% des ventes de produits phytosanitaires et les dix premières en matière de semences et d'agrobiotechnologies représentent 40% des ventes mondiales (Joly et Hervieu, 2003). Il faut donc des conditions pour amener ces acteurs à préférer ce système d'innovation négociée aux systèmes privés qu'elles ont déjà constitués et qui leur sont largement favorables aujourd'hui. Les pouvoirs publics peuvent pour cela mobiliser les outils qui sont sous leur contrôle, comme les politiques budgétaires et fiscales. L'accès aux subsides de recherche (nationaux et européens) et la défiscalisation des investissements en R&D pourraient être conditionnés à l'engagement dans des systèmes d'innovation négociée.

L'engagement des parties potentiellement affectées par l'innovation, représentées par des associations, pose également problème. La négociation demande un équilibre au niveau des compétences et des connaissances. Les associations environnementales ou organisations de représentation des consommateurs (par exemple) ont parfois un capital de mobilisation des médias qui rééquilibre, même très faiblement, leurs moyens financiers. Cependant, ces organisations sont fort loin d'avoir actuellement les ressources (personnes, compétences, connaissances, moyens financiers) nécessaires pour être des acteurs à part entière d'une négociation de l'innovation¹⁵⁷. L'hypothèse de systèmes d'innovation négociée nécessite donc de mieux doter les organisations qui seraient jugées représentatives des citoyens et des enjeux potentiellement affectés par l'innovation, pour qu'elles soient en mesure de discuter à armes égales avec les acteurs innovateurs.

De même, si l'on souhaite une participation des chercheurs des institutions publiques, il faut inclure ce type d'engagement dans leurs missions.

La seconde piste de réflexion est d'intégrer l'existence de plusieurs voies d'innovations dans le concept de système d'innovation négociée. On a vu que la situation actuelle est celle d'un déséquilibre entre voies d'innovation, par exemple entre génie génétique et génie agroécologique (Chapitre 7.2.). Il existe en effet des voies d'innovations ou des sous-voies pour lesquelles il n'y a pas aujourd'hui d'acteurs innovateurs forts. C'est le cas de l'agroforesterie, des mélanges variétaux, etc. Pour démarrer la négociation, il faut donc sur-représenter les acteurs de ces voies d'innovations (ce point est développé plus loin, voir p 435). Pour faire émerger ces acteurs à terme, il faut lier la proposition de systèmes d'innovation négociée à celle de politiques de sortie de lock-in et à celle d'expérimentalisme démocratique. Le soutien à des scénarios de développement particuliers, ayant des besoins particuliers d'innovation, pourrait aboutir à renforcer les acteurs actifs sur ces voies d'innovation, à créer des acteurs forts. La subsidiation de systèmes agroforestiers (sur base de leur contribution en terme de stockage de carbone ou de biodiversité) est par exemple susceptible de faire émerger des coopératives, firmes ou groupes d'agriculteurs qui vont se spécialiser dans l'installation, la gestion de tels systèmes, et donc entraîner également un besoin de recherche sur ceux-ci.

Ces politiques de type « procédurales » (comme celle des systèmes d'innovation négociée), peuvent être cohérentes et complémentaires aux politiques visant des objectifs normatifs (subsidiation d'un objectif particulier, comme le stockage de carbone dans les systèmes agricoles).

D'autres dimensions de cette proposition restent à discuter et à construire, comme notamment le développement de ce type de système à l'échelon international (afin d'avoir un réel impact sur l'activité des plus grandes entreprises innovantes) ou l'articulation de ces systèmes avec ceux d'innovation 'ascendante' ou '*open-source*' (Fondation Sciences Citoyennes, 2006).

¹⁵⁷ A titre d'exemple, on peut citer Inter-Environnement Wallonie qui a un seul employé pour gérer l'ensemble des questions liées à la ruralité, à l'agriculture et les forêts, à la biodiversité et la pollution des sols.

E. Décisions et moratoires sur les commercialisations de plantes transgéniques

L'approche systémique modifie-t-elle la décision politique dans les cas où les responsables publics doivent prendre des décisions tranchées, par exemple en matière de commercialisations de plantes transgéniques ?

Actuellement, la décision politique d'**acceptation ou de refus de plantes transgéniques** peut se faire uniquement sur base de l'existence prouvée de risques de biosécurité (et *théoriquement* sur base de motivations éthiques tels que le refus de la technologie en soi ou refus de la transgression de la barrière des espèces).

Il faut rappeler que c'est la possibilité de refus de plantes transgéniques qui fonde la légitimité de l'acceptation des plantes transgéniques dans une logique démocratique.

L'approche développée dans cette thèse élargit le choix politique. Trois autres motifs peuvent justifier l'acceptation ou le refus d'une plante transgénique pour laquelle l'évaluation du risque de biosécurité serait favorable (absence de risques) mais dont l'approche systémique et une approche prospective permettrait de juger :

- qu'elle favoriserait le(s) scénario(s) de développement jugé(s) contraire(s) aux objectifs publics définis collectivement,
- qu'elle défavoriserait le(s) scénario(s) de développement jugé(s) souhaitable(s) par rapport aux objectifs publics définis collectivement,
- qu'elle entraînerait des irréversibilités ou créerait des situations de lock-in, restreignant la capacité de nos systèmes à réagir aux enjeux actuels ou à faire d'autres choix technologiques dans le futur.

Ces critères peuvent aussi être traduits en mesure de gestion du risque. Il a en effet été montré que la réglementation actuelle privilégie la prise de mesure de gestion du risque pour éviter des interdictions pures et simples des plantes transgéniques dont l'évaluation du risque n'est pas nulle. La logique est que c'est l'utilisation de la plante qui entraîne des risques et non la plante en elle-même (cfr Chapitre 1). Ce principe peut être appliqué à l'approche développée dans ce chapitre : une approche systémique pourrait légitimer des mesures de 'gestion des voies d'innovations et des scénarios de développement'. Plutôt que d'interdire des plantes transgéniques qui favoriseraient un scénario non-souhaitable, les pouvoirs publics pourraient les accepter 'sous conditions'.

Ces deux propositions bouscule le principe de l'OCDE en matière de régulation des plantes transgéniques, qui consistait à '*encadrer sans entraver*'. Une politique d'innovation doit *orienter* et pas seulement *encadrer*, et peut *entraver* une innovation *pour encadrer* le changement.

Si la politique entrave le génie génétique, elle doit cependant être particulièrement cohérente. C'est le cas pour un grand nombre d'entités (régions ou états) qui ont choisi d'imposer sur leurs territoires un **moratoire aux OGM**. 160 des 268 régions européennes se sont par exemple déclarées « *Zones sans OGM* » depuis 2003 et plusieurs Etats et régions du monde ont des moratoires sur l'utilisation d'OGM. Ces moratoires sont souvent décidés explicitement sur base des risques posés sur la coexistence des cultures mais parfois implicitement sur base d'une estimation que les plantes transgéniques n'entrent pas dans les voies de développement que souhaitent suivre ces entités.

Outre le fait que l'approche systémique donne un cadre pour vérifier, légitimer ou contredire ce choix, ces entités devraient mener des **politiques d'innovation cohérentes** si ces choix concernent des périodes longues.

Le choix d'un moratoire sur la culture des plantes transgéniques, même s'il n'interdit pas les recherches en laboratoire, est en effet un refus partiel de créer des conditions propices à une voie d'innovations donnée. C'est une entrave symbolique à une voie d'innovations. Les entreprises de biotechnologies agricoles iront probablement s'installer dans des territoires plus accueillants et donneront une priorité aux projets de R&D qui concernent d'autres systèmes agricoles.

Ces régions et pays, plus que d'autres, devraient s'engager dans une réflexion sur leurs politiques d'innovation. Un choix politique pourrait être d'investir dans d'autres voies d'innovations pour contrebalancer leur refus des OGM, de manière complémentaire aux efforts de recherche fondamentale en génomique végétale qui se poursuivent sur leur territoire. Le refus de toute innovation technologique est en effet presque incompatible avec la nécessité d'une transition vers un développement durable et avec les contraintes de la globalisation. Par contre, le choix des voies d'innovations est possible, même si la marge de manœuvre peut être étroite. Cette réflexion débute légèrement dans le réseau des régions européennes sans OGM (GMO Free Regions, 2006).

La comparaison des choix technologiques proposés dans ce chapitre et les outils proposés dans le chapitre suivant (grille de critères pour l'évaluation de la pertinence des différentes voies d'innovations, évaluation du niveau de développement et du potentiel des différentes voies d'innovations) sont donc particulièrement importantes pour ces Régions. La connaissance de ces outils et des méthodes d'évaluation des technologies les plus pertinentes aurait par exemple permis au Groupe « Durabilité et aspects éthiques » de formuler en 2003 une politique plus cohérente par rapport à la modification de l'évaluation réglementaire des OGM lors de la transposition en droit belge de la directive 2001/18 (voir *L'expérimentation belge d'une évaluation des aspects éthiques et de durabilité* p 56).

3. Une Agence de l'innovation

Remarque : Cette proposition d'Agence de l'innovation se situe à la limite de la définition des objectifs de cette thèse. L'auteur insiste davantage sur les politiques d'innovation qui doivent être menées et les fonctions transversales à ces politiques qu'à l'institutionnalisation de ces fonctions, qui est proposée de manière ouverte et soumise au débat.

« Rien. A la limite on ne sait pas ce qu'ils font ». Telle était la réponse d'un responsable du financement de la recherche agricole wallonne interviewé sur la coordination entre les niveaux régionaux, fédéraux et européens en matière de recherche. Des instances de coordination existent pourtant bien et leur importance va croissant avec la structuration de l'Espace Européen de la Recherche.

Plusieurs **fonctions transversales** qui sont décisives pour les propositions de ce chapitre ne sont pas assurées aujourd'hui de manière satisfaisante en Région Wallonne et en Europe. Ces fonctions sont au nombre de cinq : interface, coordination, évaluation, réflexivité et circulation de l'information.

La fonction d'**interface** est essentielle dans nos sociétés complexes. L'innovation concerne des domaines, des acteurs et des niveaux de pouvoirs différents. Il faut une interface entre les institutions politiques clés de nos sociétés démocratiques (pouvoirs exécutifs et législatifs) et les acteurs concernés par l'innovation (chercheurs, acteurs innovateurs, acteurs des filières agroalimentaires, citoyens-consommateurs, etc) et cela aux différents niveaux de pouvoirs concernés par l'agriculture et les domaines liés à celle-ci (environnement, santé, etc).

La fonction de **coordination** concerne les différentes politiques à mener. Il s'agit :

- de coordonner la mise en oeuvre des processus participatifs et prospectifs,
- de coordonner et superviser les projets d'expérimentalisme démocratique et les systèmes d'innovation négociée
- d'assurer la circulation des résultats de ces processus et la prise en compte de leurs éventuelles conclusions par les pouvoirs politiques (en coordination avec l'organe législatif)
- d'assurer un lien avec les structures de gouvernance des filières agroalimentaires (Conseils de développement des filières)

Au niveau wallon, il s'agirait également d'assurer la création de liens entre les politiques d'innovation (type 'Plan Marshall') et les politiques publiques régionales et fédérales qui impliquent des besoins d'innovation (type 'Plan fédéral de réduction des pesticides').

La fonction d'**évaluation** concerne l'évaluation des politiques d'innovation et celle du développement des innovations.

L'évaluation des politiques est structurellement peu assurée en Belgique et ailleurs (Frédéric Varone, communication personnelle). Plusieurs lacunes ont d'ailleurs été pointées dans l'évaluation de la régulation publique des OGM en Belgique (Jacob et al.,

2003). L'évaluation est pourtant partie intégrante du 'cycle' d'une politique publique et on estime en théorie que 2% du budget d'une politique devrait être affectés à son évaluation (Varone, 2003).

L'évaluation de l'avancement des voies d'innovations (les progrès réalisés dans le temps sur le plan de la recherche et du développement, du laboratoire au champ) n'est, de mémoire des fonctionnaires rencontrés, effectuée ni au niveau régional ni au niveau européen. Une conseillère scientifique à la Division Recherche de la DG Agriculture de la Région Wallonne déclarait même « *On ne pourrait pas répondre à une question du Parlement sur ce à quoi on a attribué l'argent* ». Un entretien avec un haut fonctionnaire ayant travaillé durant plus de 20 ans à la DG Recherche de la Commission européenne a permis de comprendre pourquoi les institutions de recherche n'ont pas une approche réflexive qui consisterait à évaluer les budgets alloués à différentes voies d'innovations et scénarios de développement. A la question de savoir si ce travail avait déjà été fait, il avait répondu : « *No, we are into the future. We only do prospective analysis. We don't assess what has been done in the past.* » (Richard Hardwick, entretien du 04 juillet 2006).

Une évaluation *ex post* des progrès scientifiques 'institutionnalisée' n'est donc pas évidente en soi. Il a cependant été montré dans cette thèse qu'il est possible d'**évaluer le niveau de développement et le potentiel de différentes voies d'innovations** par rapport à des problèmes précis. **Des propositions concrètes** ont été faites pour une évaluation plus approfondie que celle menée dans les études de cas de cette thèse :

- des étapes méthodologiques pour une évaluation du niveau de développement des différentes voies d'innovations par rapport à un objectif ou un problème défini (voir p 384)
- des étapes méthodologiques pour l'évaluation du potentiel futur de ces voies d'innovations (voir p 386)
- une grille de critères pour une évaluation de la pertinence des différentes voies d'innovations (voir p 383).

Ces différentes évaluations, qui ne sont pas faites actuellement, permettraient de prendre du recul sur le potentiel du génie génétique et des autres possibilités d'innovation (potentiel pour résoudre -à court, moyen et long terme- les problèmes concernés en Région Wallonne). Les autorités publiques pourraient en conséquence mieux orienter les politiques de recherche et d'innovation.

L'effort d'évaluation serait particulièrement important lors de sa première réalisation, comme dans le cas de tous les nouveaux exercices d'évaluation (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; IAASTD, 2006). L'évaluation pourrait ensuite se faire à des moments-clés, comme la préparation d'un nouveau programme pluriannuel de recherche (lignes directrices au niveau wallon, programmes-cadres européens).

Cette évaluation *ex post* et *ex ante*, historique et prospective, serait en particulier approfondie sur les cas représentatifs d'innovations scientifiques par rapport aux enjeux décisifs de la période concernée (Pour les cas représentatifs, voir *Discussion du choix des études de cas* p 296 : diminution de pesticides, adaptation aux changements climatiques, stockage de carbone).

Pour devenir un outil d'aide à la décision publique, l'approche systémique proposée au chapitre 8 devrait combiner des activités et des compétences de l'administration publique et de chercheurs indépendants. En ce qui concerne l'administration, les

services concernés sont ceux qui touchent à la politique scientifique, à l'agriculture, à l'environnement et à l'économie. Au sein des chercheurs, les compétences nécessaires se situent en agronomie et en biologie (toutes les disciplines concernées), en sciences de gestion, en politiques publiques et en sociologie. Une répartition du travail pourrait être faite et inclure des lieux et moments d'échanges, en partant des lieux existants, comme certains workshops scientifiques qui font le lien entre sciences et politique lors de congrès scientifiques.

La fonction de **circulation de l'information**. Il y a aujourd'hui un déficit de production et de circulation de l'information, nécessaires à une politique et une gestion systémique de l'innovation. L'absence de connaissances a même été révélée sur des sujets aussi pratiques que la base génétique des variétés de froment utilisées en Wallonie ou sur les cadres cognitifs des agriculteurs (cfr Chapitre 4). La faible circulation de l'information entre les chercheurs et les acteurs des filières a également été observée à de très nombreuses reprises lors des interviews. L'analyse du *Livre Blanc* démontre également que celui-ci ne fait pas circuler l'information sur plusieurs voies d'innovations, qui sont donc privées de ce canal de diffusion. Le fossé entre les connaissances produites par les scientifiques et les connaissances nécessaires pour la décision publique est d'ailleurs cité dans certains travaux scientifiques comme un enjeu essentiel (Dalgaard et al., 2003).

Ce fossé existe aussi dans la circulation d'information sur les technologies controversées que sont les plantes transgéniques. La directive 2001/18 garantit la publicité d'un certain nombre d'informations minimales sur les dossiers d'autorisations de dissémination d'OGM dans l'environnement (la fiche descriptive 'SNIF'). Cet aspect de la réglementation est vanté comme un effort majeur de transparence de l'information. L'approche systémique démontre que cette information extrêmement simplifiée au public est encore très loin de recouvrir les enjeux de la technologie.

Une plus grande circulation de l'information tant scientifique que socio-technique et socio-économique sur l'évolution des voies d'innovations et de développement doit donc être assurée, tant au niveau local (régional) qu'europpéen, et ce entre citoyens, acteurs des filières, et décideurs publics. Les résultats des processus participatifs, exercices de prospective et projets d'expérimentalisme doivent aussi circuler largement.

La fonction de **réflexivité**, essentielle au développement durable (cfr p 394), doit être renforcée. Il faut soutenir une meilleure capacité d'expertise publique et associative sur les questions d'innovation et doter les acteurs concernés par l'innovation en ressources pour adopter une attitude réflexive par rapport aux processus d'innovation. Le problème des ressources des acteurs associatifs a été évoqué plus haut (Cfr systèmes d'innovations négociés, p 425). Un soutien à ces systèmes d'innovation négociée permettrait d'améliorer cette capacité de réflexivité. A côté de cela, il serait nécessaire de mieux doter en ressources les organisations qui adoptent une approche réflexive sur les sciences et les technologies, comme la Fondation Sciences Citoyennes en France ou le European Science Social Forum Network en Europe (Fondation Sciences Citoyennes, 2003; European Science Social Forum Network, 2005) ainsi que les structures qui améliorent l'accès du public et des associations à la recherche, comme les *science shops* développés aux Pays-Bas (Wachelder, 2003; Fischer et al., 2004).

Cette fonction de réflexivité est complètement sous-estimée dans les grands efforts d'innovation réalisés au niveau régional (Plan Marshall) ou européen (augmentation significative des budgets de recherche et création de l'espace européen de la recherche).

Il semble utile qu'une administration puisse assurer ces cinq fonctions. Cette Agence de l'Innovation devrait idéalement être rattachée non pas aux branches de l'exécutif auxquelles elles sont traditionnellement liées (Ministère de l'Economie ou de la Recherche) mais à celles, émergentes, qui ont un rôle transversal sur les thématiques de développement durable (Cfr 'Ministère du Développement Durable' souhaité en France ou 'task force' développement durable en Belgique).

Rassembler ces fonctions au sein d'une Agence permettrait une plus grande cohérence des politiques d'innovation contrairement à la fragmentation actuelle des décisions, obstacle face aux problèmes systémiques liés au développement durable¹⁵⁸.

Les ressources d'une telle Agence viendraient des structures existantes¹⁵⁹, du budget des politiques scientifiques. Pour les fonctions critiques qui sont si peu assurées aujourd'hui (évaluation, réflexivité, etc), on pourrait par exemple décider d'allouer « 3% des 3% » à ces cinq fonctions (3% de l'objectif des 3% du PIB qui devrait être alloué à la recherche scientifique et technologique). Pour ce qui concerne l'agriculture et l'environnement, des moyens nouveaux pourraient provenir d'une PAC renouvelée, allouant une partie de son budget à la réflexion sur l'innovation ainsi qu'aux systèmes expérimentant d'autres modèles (cfr expérimentalisme démocratique), dans un contexte de transition vers des systèmes durables.

¹⁵⁸ Le problème de la fragmentation des décisions avait été relevé par un fonctionnaire de la DG Agriculture de la Région Wallonne comme obstacle à une institutionnalisation de l'approche systémique proposée lors de la Journée acteurs-chercheurs « *Quelle gestion démocratique des OGM dans le cadre d'une politique de développement durable ?* » organisée en 2005 (Schiffino and Vanloqueren, 2005)

¹⁵⁹ En matière de prospective, des structures existent par exemple déjà : l'Institut d'Etudes Prospectives Technologiques (IPTTS) du Centre Commun de Recherche européen ou l'Institut Wallon de l'évaluation, de la prospective et de la statistique (IWEPS).

4. Démocratie, innovation et durabilité : le trio impossible? Délibérer sur l'innovation

Outre le 'pourquoi' et le 'comment' comparer et décider nos choix technologiques, la dernière question politique est 'qui' doit réaliser cette comparaison. Pour cela, il est nécessaire de revenir à une des questions qui avaient traversé le premier chapitre, celle de la pertinence des approches analytiques ou participatives dans l'évaluation et la gestion des innovations.

1) Experts, citoyens et futurs possibles

Les propositions institutionnelles de ce chapitre concernent autant des approches analytiques que des approches participatives. La complémentarité entre les approches normative et heuristique du développement durable, choisie dans cette recherche, entraîne en effet la recherche d'une **complémentarité** au niveau des procédures de décision. Dans ce domaine, la marge de manœuvre est grande. Une évaluation externe du processus 'GM Nation?' en Angleterre, le plus large effort jusqu'ici pour utiliser en même temps des approches expertes et participatives, a estimé qu'il y avait eu peu de 'fertilisation croisée' (*cross-fertilisation*) entre les trois axes (évaluation experte des aspects scientifiques des OGM, analyse experte des perspectives économiques et large processus de débat public) (The Understanding Risk Team, 2004).

Les procédures expertes sont essentielles parce que l'innovation recouvre des domaines de connaissances complexes. L'utilisation des connaissances des experts est incontournable. A ce sujet, il faut cependant noter que la décision experte reste une décision non scientifique : aucune méthode 'scientifique' de choix entre les voies d'innovations n'est possible. L'utilisation d'approches scientifiques pour des choix sociaux rencontre en effet deux problèmes théoriques fondamentaux sur le strict plan de la rigueur. Le premier est le problème du traitement de l'ignorance, impossible à traduire en termes de probabilités. Le second est celui de l'impossibilité d'Arrow (l'impossibilité d'une agrégation des préférences individuelles en un choix unique, cohérent et démocratique) (Arrow, 1963 ; Stirling, 1999b). Les méthodes scientifiques et expertes ont donc des domaines d'application limités. Etant donné que les voies d'innovations concernent des aspects sociaux, économiques, politiques et culturels, elles ne peuvent faire l'objet de choix uniquement scientifiques.

Les procédures participatives sont cohérentes tant avec l'approche systémique qu'avec l'approche heuristique du développement durable (qui met l'accent sur la durabilité comme un apprentissage social)¹⁶⁰. Une approche se voulant systémique et située dans le cadre du développement durable ne peut donc faire l'économie d'une implication des acteurs concernés (producteurs, consommateurs, filière agroalimentaire, pouvoirs publics, groupes d'intérêt public et scientifique). Selon l'auteur, la comparaison des choix technologiques pourrait être l'objectif d'un exercice de type panel de citoyens et devrait faire l'objet d'exercices de prospective. C'est essentiellement sur ce second type de procédure que porte la discussion.

¹⁶⁰ Pour l'approche systémique, voir Whitmore (1998). Pour l'approche heuristique du développement durable, voir Section I.B. de ce Chapitre

L'organisation de **panels de citoyens** ou conférences citoyennes sur les enjeux liés à aux choix scientifiques et technologiques est utile. En Région Wallonne, l'organisation de panels est très récente et a surtout été stimulée par des organisations telles que la Fondation pour les Générations Futures (FGF) ou Trace!. Le premier a eu lieu seulement en 2001 (sur l'aménagement du territoire). En Flandre, l'organisation de dispositifs participatifs est institutionnalisée dans les missions du VWITA (Vlaams Instituut voor Wetenschappelijk en Technologisch Aspectenonderzoek). Leur organisation peut être prévue de manière répétée dans le temps pour des controverses persistantes. Ces procédures peuvent donc être davantage institutionnalisées, mais elles ne sont pas suffisantes (Cfr. Avantages et inconvénients des procédures participatives, voir Chapitre 1).

L'organisation **d'exercices de scénarisation prospective** doit équilibrer l'orientation positiviste des prospectives technologiques, qui sont d'ailleurs déjà menées par des think-tank internationaux, des organisations scientifiques et des organismes publics. Deux formules peuvent être envisagées : la formule experte qui implique des experts et les parties prenantes (*stakeholders*) et la formule participative, avec des citoyens profanes.

La prospective est restée essentiellement une méthodologie 'experte' et non 'participative'. La prospective technologique implique des scientifiques, des industriels et des experts des technologies tandis que la scénarisation prospective implique des experts et des représentants des principales organisations des domaines concernés. Les citoyens profanes n'y ont actuellement que peu ou pas de place.

L'implication des citoyens dans les questions scientifiques et technologiques est pourtant devenue un thème majeur de la réflexion sur la 'démocratie technique' depuis une dizaine d'années (Callon, 1998; Wilsdon et al., 2005; Nature editorial, 2004). Les savoirs peuvent être co-produits, surtout dans les cas où la définition des problèmes et des solutions implique autant des connaissances scientifiques que des connaissances pratiques et une bonne organisation¹⁶¹. Les questions environnementales sont un important domaine de co-construction des savoirs tout comme les questions d'alimentation qui sont forcément un domaine où l'implication de chaque consommateur est capitale.

La prospective serait-elle cependant imperméable à l'implication des citoyens ? Les processus délibératifs expérimentés jusqu'ici ont essentiellement été des panels de citoyens et des conférences de consensus. Ceux-ci émettent des avis sur les questions à prendre en compte et des recommandations d'action, mais ne construisent pas des scénarios. Les exercices de prospective participative impliquant des citoyens profanes sont rares, mais quelques exceptions existent, par exemple des prospectives territoriales (Stassart et al., 2007; Stassart et Louviaux, 2007)¹⁶².

L'implication de citoyens profanes a **deux objectifs**.

Le premier objectif est instrumental. L'implication de citoyens permet une meilleure médiatisation de l'exercice prospectif, ce qui est crucial parce que les médias

¹⁶¹ L'exemple de la co-construction de savoirs par des scientifiques et des associations de patients souffrant de maladies 'orphelines' est souvent cité (Callon, 1998).

¹⁶² Le principal atout de ces derniers est de réaffirmer la question agricole comme une question territoriale dont l'avenir doit être débattu et imaginé publiquement.

influencent de manière importante l'agenda politique (Eraly, 2003). Les ateliers de prospective participative pourraient contribuer à médiatiser la question de choix d'innovation et de scénarios de développement. La **médiatisation** est donc essentielle pour que la prospective soit une question politique et également pour permettre aux citoyens et aux acteurs des filières de se former des images de scénarios pour l'avenir. Cette médiatisation est donc une condition du succès de la prospective.

Le second objectif est substantiel. Pour construire des scénarios crédibles et souhaitables, la seule représentation des principaux acteurs d'aujourd'hui n'est pas suffisante. L'implication de citoyens permet de ne pas tomber dans les travers qui résulteraient de la seule implication des acteurs existants. Une prospective qui serait construite uniquement par les acteurs actuels des filières agroalimentaires serait en effet influencée par leurs intérêts actuels et futurs, qui peuvent différer de ceux de la société dans son ensemble ou même y être opposés. On touche donc à la question de la **représentativité** omniprésente dans le débat sur la démocratie participative. L'exemple des voies d'innovations et son application à la prospective lui donne un aspect particulier. Comment, en effet, imaginer des scénarios futurs qui ne seraient basés que sur la participation des acteurs les plus représentatifs aujourd'hui, quand on observe que ces acteurs sont aujourd'hui coresponsables des situations de lock-in particulièrement dans les filières agroalimentaires (Voir *Durabilité vs. Lock-in !* p 404).

Les acteurs du génie génétique dominant certaines filières agroalimentaires, ils sont bien structurés et disposent d'une excellente capacité de lobby dans les enceintes nationales et internationales. Il en est de même pour les organisations d'agrofourmure de la filière céréalière wallonne, comme Aveve et la SCAM. Ces organisations sont donc 'représentatives' des filières et de l'innovation. Elles devraient donc être incluses dans les exercices de prospective et leur influence serait sans doute importante étant donné leurs ressources. Qu'en est-il par contre du génie agroécologique ? Cette voie d'innovations n'est pas du tout aussi représentative, quantitativement parlant, dans les filières et les activités d'innovation (Voir p 328, 335). Elle est cependant d'importance cruciale pour le développement durable, et appréciée par le public.

La question de la représentativité des acteurs, en matière de prospective, ne peut donc pas être pensée de manière simpliste sur base des seuls acteurs présents aujourd'hui et de leur importance. Une prospective équilibrée doit donc trouver les moyens de mettre sur le même pied, dans la construction des scénarios, les acteurs des différentes voies d'innovations et voies de développement estimés souhaitables par les citoyens et/ou représentants élus. Une hypothèse à discuter est celle de citoyens pouvant jouer le rôle d'un médiateur pour évaluer la place et l'importance de ces différentes voies d'innovations et scénarios de développement.

Ces exercices participatifs devraient par ailleurs trouver une bonne **articulation** entre participation des citoyens et utilisation du savoir des experts, sans quoi une bonne partie de la valeur ajoutée de la prospective serait perdue.

Bien que de tels exercices n'aient pas encore été menés à la connaissance de l'auteur, il n'y a pas de raisons pour que des exercices de prospective participative ne soient pas réalisés à une échelle plus large, par exemple celle de la Région Wallonne ou d'autres

régions européennes¹⁶³. La prospective pourrait porter sur les scénarios pour l'agriculture, l'alimentation, l'environnement et donc les filières agroalimentaires de toute une région. Baser cet exercice sur une échelle territoriale bien définie permet aussi de réinscrire les territoires et leur avenir dans la globalisation économique. Ils doivent en priorité être menés par rapport à certains enjeux-clés comme la nécessité de réduire l'utilisation de produits phytosanitaires ou celle d'adapter les systèmes agricoles aux conditions du réchauffement climatique et d'une hausse du prix de l'énergie.

2) Participation vs. mobilisation ?

Les méthodes participatives ont récolté un grand capital de sympathie ces dernières années. Certaines sont incluses dans les propositions faites dans ce chapitre. Elles ne sont cependant pas présentées comme une panacée car elles doivent être replacées dans des conceptions plus larges de la politique.

L'implication de citoyens profanes dans les méthodes participatives n'est en effet pas neutre. Si elle remet les citoyens aux commandes, elle exclut la dimension collective de la société et de ses dynamiques sociales. Ces dynamiques sont portées par des groupes et mouvements sociaux qui sont les moteurs du changement et de la 'production de la société' au sens de la production de modèles culturels, de rapports sociaux et de pratiques (Touraine, 1973).

Les groupes qui se mobilisent dans une controverse comme celle des OGM participent donc à l'évolution de la société, en particulier de ses choix scientifiques et technologiques. Cette mobilisation sociale nourrit une exploration collective des intérêts et des valeurs explicites des acteurs impliqués dans la production d'une innovation, tout comme des intérêts et valeurs implicitement contenus dans la réglementation d'une innovation technologique comme une plante transgénique.

Plusieurs processus participatifs ont pour objectif la **recherche d'un consensus** (comme les conférences de citoyens et conférences de consensus). Or, la recherche du consensus diminue ou nie l'existence et l'importance de valeurs et d'intérêts qui peuvent être inconciliables et qui doivent être tranchés politiquement. Plusieurs associations françaises opposées aux OGM ont par exemple publiquement critiqué une procédure participative –l'évaluation technologique interactive qui sera discutée dans le chapitre suivant- car elle créait une arène qui ne tenait pas compte de la contestation sociale des essais de plantes transgéniques (Nature et Progrès et al., 2003). Ces processus sont éminemment utiles car ils permettent d'enrichir le débat public et la décision publique mais ils ne remplacent pas la décision politique : « *Un tel dispositif [les conférences de consensus] ne doit pas être utilisé comme une alternative à la société civile (...) ce serait organiser une forme de pseudo-démocratie* » (Joly et al., 2000).

¹⁶³ Ces initiatives pourraient être prises en charge par des organismes existants. Des organismes spécialisés dans la prospective existent : par exemple l'Institut Jules Destrée au niveau wallon et l'Institut d'Études prospectives technologiques (IPTS) au niveau européen. Des groupes privés existent également, comme Futuribles.

Les exercices de prospective par scénarios effectués de manière participative sont préférables. Au lieu de rechercher le consensus, ils permettent d'imaginer des futurs possibles à partir de l'existence d'intérêts divergents pour finalement laisser la décision finale entre les mains des responsables politiques. Cette démarche a un plus grand potentiel de politisation des choix de développement et de réhabilitation de la décision politique.

La décision politique peut être influencée de plusieurs manières par la prospective par scénarios. L'influence la plus faible est la simple création d'une vision de l'avenir qui peut être médiatisée et influencer le débat public. L'influence la plus forte est une application du principe de la méthode du '*backcasting*', qui consiste à définir un état souhaitable à un horizon temporel choisi et à définir ensuite l'ensemble des politiques et programmes nécessaires pour réaliser cet état souhaitable dans l'échelle de temps donné. En sciences de gestion ou en politiques publiques, on parle de fixer des objectifs '*SMART*' (Spécifiques; Mesurables; Ambitieux; Réalistes; définis dans le Temps). Entre ces deux opposés, la création des scénarios contribue à aider les décideurs publics à mieux comprendre les implications d'un grand nombre de décisions apparemment non reliées entre elles.

3) *Retour au politique*

La prospective et la comparaison des choix technologiques n'ont pas pour objectif d'aboutir à des réponses finales qui soient soit tranchées (accepter ou refuser telle technologie), soit quantifiées (investir 15% des ressources dans telle voie d'innovations et 45% dans telle autre), bien que les recommandations issues de ces méthodes puissent contenir ce type de propositions.

Les choix technologiques sont des choix de société (Sclove, 2003) : les décisions sont avant tout politiques.

Les propositions d'innovations politiques et institutionnelles présentées dans ce chapitre ont pour finalité d'aider à la décision publique. Elles permettent une **meilleure 'méthode de réflexion politique'** sur l'innovation, dans la perspective du développement durable comme heuristique politique. Une mise en œuvre de ces propositions incitera les responsables politiques à **justifier leurs décisions** en matière d'innovation en fonction de scénarios de développement définis collectivement et des trois composantes du développement durable, et ce vis-à-vis des différents acteurs concernés. L'importance de la justification de la décision est mise en lumière par Boltanski et Thévenot (1991) ainsi que Collingridge (2002).

Les différentes propositions recréent également des opportunités pour que le pouvoir législatif joue un plus grand rôle, alors qu'il est aujourd'hui peu impliqué sur les questions d'innovation technologique (Joly et al., 2000). L'Agence de l'innovation pourrait en effet être amenée à présenter tous les deux ou trois ans l'évaluation des politiques d'innovation, des systèmes d'innovation négociés et des expériences (niches, etc) devant le Parlement. Le Parlement serait également amené à se positionner par rapport aux exercices de prospective, et des élus pourraient participer aux exercices de prospective participative tout comme ils ont été inclus dans la rédaction du projet de Constitution européenne.

La comparaison des voies d'innovation, la prospective par scénarios et les systèmes d'innovation négociés peuvent permettre à nos sociétés de s'engager dans des choix

d'innovation et de développement plus solides, plus légitimes et plus aptes à relever les défis écologiques, économiques et politiques actuels.

Remarque : la conclusion finale de la thèse sur les questions de politiques publiques se trouve dans les conclusions de cette thèse.

5. Choix éthiques et politiques à l'intérieur des laboratoires

Il n'y a pas de relations de pouvoir sans constitution corrélatrice d'un champ de savoir, ni de savoir qui ne suppose et ne constitue en même temps des relations de pouvoir.

Michel Foucault.

Remarque : Cette section se situe à un niveau différent du reste du chapitre, centré sur les choix politiques. Elle concerne les choix individuels des chercheurs et les choix collectifs des chercheurs aux niveaux de leurs institutions.

Qu'en est-il des choix de recherches que les chercheurs font individuellement et collectivement, en dehors des orientations des politiques scientifiques ? Cette recherche-ci permet d'alimenter la réflexion sur cette question, qui est généralement située dans le champ de l'éthique de la recherche.

Certains considèrent d'une part que l'éthique est un frein à la science car elle lui impose des limites et d'autre part que les questions éthiques ont davantage de pertinence pour les recherches appliquées, en lien direct avec les implications sociales des connaissances scientifiques que pour les recherches fondamentales visant uniquement à la compréhension du monde (Feltz, 2003a).

Le constat fait dans cette thèse que les recherches scientifiques s'insèrent, chacune plus ou moins fortement, dans des voies d'innovations différentes vient invalider cette double simplification. Si on peut relier chaque recherche -fondamentale et appliquée- avec une ou plusieurs voies d'innovation, et qu'on peut également relier ces voies d'innovations avec des voies de développement ayant des dimensions sociales, économiques, culturelles et politiques, alors les choix de recherches sont également des choix de société¹⁶⁴.

Le cas des recherches fondamentales reste différent de celui des recherches appliquées. Les immenses efforts de génomique peuvent en effet aboutir à la création de plantes transgéniques stériles portant en elles un important potentiel de modification de la structure des filières agricoles. Mais ils peuvent également mener à l'identification de gènes de résistances aux maladies ou de marqueurs moléculaires qui peuvent être utilisés comme simples outils non intrusifs de reconnaissance des variétés les plus intéressantes dans des programmes d'amélioration variétale (sélection assistée par marqueurs), des découvertes potentiellement cruciales pour développer des systèmes agricoles plus durables au Nord comme au Sud.

¹⁶⁴ Il avait été montré comment le génie génétique progresse, en tant que voie d'innovations, par une division du travail, la recherche fondamentale étant exécutée par des institutions publiques et les recherches appliquées par des entreprises privées. Cette division ne s'observait pas par contre pour les innovations agroécologiques (Voir Chapitre 7 p 338).

La position des chercheurs en biologie moléculaire est donc un exemple particulièrement intéressant. Comme leurs recherches peuvent s'ancrer dans des projets très différents et aboutir tant à renforcer les multinationales des biotechnologies qu'à créer des variétés de plantes utiles aux paysans du Sud, leurs choix de recherches sont-ils réellement des choix éthiques et politiques ? L'indétermination de l'utilisation des connaissances n'invalide-t-elle pas cette réflexion ?

L'insertion des connaissances scientifiques dans le régime économique et politique du moment est en effet déterminante. Mais les chercheurs et leurs institutions peuvent justement poser des choix à ce niveau-là. Au sein d'une même voie d'innovations, des choix s'offrent en effet au chercheur.

Prenons l'exemple de la génomique des plantes et de l'amélioration variétale, où deux types de modèles (au moins) ont émergé ces dernières années. Le premier est représenté par le partenariat signé en 1998 entre l'Université de Californie (Berkeley) et l'entreprise Novartis. Celui-ci impliquait un important subside financier (25 millions de dollars sur cinq ans) au Département de Biologie végétale et microbienne en faveur de la recherche fondamentale en génomique agricole ainsi qu'un accès aux technologies et bases de données d'ADN de la firme, en échange de collaborations étroites de travail entre les deux organisations et un accès privilégié pour Novartis dans la négociation des découvertes commercialisables, dans des termes cependant favorables à l'Université (University of California, 1998). Le second modèle est représenté par MASwheat, un consortium d'institutions publiques de recherche dont l'objectif est d'améliorer le blé grâce aux techniques de la sélection assistée par marqueurs (MAS). Ce consortium s'est fait connaître pour rendre publiques toutes ses séquences de marqueurs et protocoles de recherche (Knight, 2003). Le premier modèle renforce à la fois les capacités de recherche de Novartis (maintenant Syngenta) et celles du département de Biologie végétale tout en restant dans le régime des brevets, tandis que la seconde approche s'assimile davantage à une approche '*open-source*' adaptée à la biologie moléculaire et destinée à renforcer l'attrait d'une voie d'innovations en perte de vitesse face au génie génétique aux Etats-Unis.

On pourrait citer d'autres exemples plus proches, toujours dans le même domaine de l'amélioration des plantes, comme la plateforme française 'Génoplante' associant instituts publics et entreprises privées (françaises et multinationales), les réseaux « Semences paysannes » où des paysans ont repris des projets d'amélioration des céréales, ou la sélection 'participative'.

Les implications sociales, économiques et politiques de ces différents modèles varient beaucoup. La définition du bien public par exemple est complètement différente dans chaque modèle. Une évaluation du partenariat entre l'université de Californie (Berkeley) et Novartis a par exemple montré que la définition du bien public était influencée par ce partenariat dans un sens qui tendait à assimiler la définition des biens publics à celles des biens privés, comme l'obtention de brevets par exemple (Busch et al., 2004)¹⁶⁵.

¹⁶⁵ La même université a récemment signé un contrat de recherche pour 500 millions de dollars avec la firme BP, portant sur la recherche sur les biocarburants. De manière similaire, ce partenariat peut avoir un impact déterminant sur le type d'agriculture promu par cette production d'énergie verte (2691 Altieri)

Prise de brevet sur ses découvertes ou mode de travail ‘open-source’, biologie moléculaire ou recherche-action sur les filières agroalimentaires durables, génie génétique ou génie agroécologique, les choix de recherche individuels et collectifs n’ont pas les mêmes conséquences sur la progression des différentes voies d’innovation, sur les possibilités de développement offertes aux sociétés et sur les différentes catégories d’acteurs, qui peuvent être renforcés ou déforçés¹⁶⁶.

Il est également possible de relier chacun de ces modèles à des voies de développement (Voir à ce sujet le *Tableau 39 : Construction d’une prospective par scénarios (2) Caractéristiques et tendances de changement et d’innovations* dans les modèles dominants et alternatifs p 32). Des principes pour évaluer ces modèles en fonction d’une conception démocratique des choix technologiques ont même été proposés, bien que l’intérêt pour ce type d’approche de la gouvernance des sciences reste marginal (Sclove, 1995).

Les liens entre technologies (le génie génétique en particulier), régimes de protection intellectuelle et pouvoirs économiques sont prépondérants pour déterminer l’influence des connaissances scientifiques sur les voies de développement. Une réflexion approfondie sur ces questions est d’autant plus importante pour les organisations de recherche publique. Bertrand Hervieu, Président de l’Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), s’exprimait en 2005 en ces termes sur les implications de ces liens pour l’institut français:

*Effectivement, ce volet économique met en oeuvre des technologies extrêmement avancées... auxquelles le grainetier du coin ne peut accéder. L’investissement, à la fois intellectuel et industriel, nécessaire pour que l’innovation soit diffusée, est tel que seuls quelques groupes disposant de capitaux suffisants peuvent le faire. **Par conséquent, nous faisons de la science, de fait et sans le vouloir, un outil au service d’une globalisation dominée par la préoccupation financière et boursière** (Mission Agrobiosciences, 2005).*

Les propos de Bertrand Hervieu synthétisent bien la question éthique et politique de l’activité scientifique dans le domaine des biotechnologies agricoles à l’heure d’une globalisation essentiellement régulée par le capitalisme financier. Dans ce contexte, le choix d’un biologiste moléculaire -de l’INRA ou du CRA-W en Belgique- de poursuivre des recherches dans sa discipline, mais de dénoncer l’appropriation privée du vivant par le brevetage de gènes et de travailler à l’émergence d’autres formes de régimes d’innovation, comme par exemple celui de MASwheat est un choix cohérent avec une démarche éthique (au sens de moteur de l’action) et politique.

Un aspect crucial de ses propos repose cependant dans le ‘nous’ utilisé par Bertrand Hervieu (dans la partie mise en gras dans l’extrait). Le ‘nous’ peut faire référence aux choix individuels des chercheurs (chaque chercheur séparément) comme aux choix collectifs des institutions. C’est certainement à ce stade qu’il faut faire une distinction. Si au niveau individuel, le chercheur est souvent guidé par une passion et des choix non consciemment reliés à un projet de société, il en va tout autrement au niveau des institutions, qui ont potentiellement toutes les ressources pour faire émerger une réflexion collective sur leurs activités. L’allocation de ressources (budgétaires et humaines) dans les institutions aux différentes trajectoires est un choix qui n’a rien de

¹⁶⁶ Voir aussi Vanloqueren (2006).

scientifique. Ce type de décision se situe à un niveau politique, celui d'une politique scientifique. A ce titre, il peut être relié à des choix de développement.

Deux conclusions peuvent finalement être tirées de cette recherche-ci. Il s'agit d'une part de réaffirmer un principe en matière d'éthique de la recherche et d'autre part de soutenir une proposition sur la science 'citoyenne, responsable et solidaire'.

La première conclusion est de réaffirmer que l'éthique n'est pas frein mais un moteur de l'action (Feltz, 2003a). Actuellement, dans le domaine qui nous concerne, l'éthique de la recherche n'est envisagée que comme un frein (ou un filtre). On crée des comités d'éthique pour évaluer les éventuels 'problèmes' éthiques posés par des recherches sur les sciences qui touchent au vivant, des « matrices éthiques » sont proposées pour évaluer les dimensions éthiques d'une nouvelle technologie (Mepham, 2000). Ces nouvelles méthodes et institutions sont nécessaires et même cruciales, mais complètement insuffisantes car elles ne représentent que le premier volet de l'éthique.

Le second volet de l'éthique est de poser des objectifs à l'action (et pas uniquement des freins). Ce volet est lié à la capacité de l'homme de maîtriser son action, d'en déterminer les objectifs, et de se donner des moyens d'atteindre ceux-ci (Feltz, 2003a). Ce deuxième volet est particulièrement important pour des organismes publics de recherche s'il est reconnu que les recherches s'insèrent dans des voies d'innovation. Les concepts de 'connaissance critique' et de 'démarche critique' de Jean Ladrière est ici fort utile¹⁶⁷. Reformulée par Feltz (2003b), une connaissance critique est une « *connaissance consciente du caractère limité de son point de vue propre et capable de rendre compte à la fois de son aire de pertinence et de ses limites* ». Une démarche critique est « *une démarche qui se dédouble, qui survole à chaque instant ce qu'elle est en train d'accomplir, qui sait exactement, à tout moment, quelle est la portée de ce qu'elle affirme, effectue ou projette* » (Ladrière, 1977). Appliqué à l'agronomie, cette démarche implique de situer la recherche et ses éventuelles applications potentielles en fonction des différentes voies d'innovations et de développement dans lesquelles elle peut s'insérer.

Ceci nous mène à la seconde conclusion : l'approche systémique effectuée dans cette recherche conduit à soutenir des propositions concrètes qui ont été faites pour traduire en principes cette 'démarche critique'. En 1999, l'UNESCO a adopté une « *Déclaration sur la science et l'utilisation du savoir scientifique* » ainsi qu'un agenda et cadre d'action pour la science (UNESCO, 1999b; 1999a). Pierre Calame, directeur de la Fondation Charles Léopold Mayer a proposé un '*Manifeste pour une science citoyenne, responsable et solidaire*' en écho à ces textes, dans le cadre de l' '*Alliance pour un monde responsable, pluriel et solidaire*' (Callame, 1999). Ce manifeste propose cinq fondements pour une science 'citoyenne, responsable et solidaire'. Sans entrer dans le débat sur l'ensemble de ces propositions, on mentionnera que cette recherche aboutit à réaffirmer la nécessité de ce type de nouveau contrat entre la science et société ainsi que celle de nouveaux principes guidant l'activité scientifique. Or, ces questions cruciales ne s'insèrent que très rarement dans la réflexion stratégique et politique des institutions scientifiques au niveau wallon, belge ou européen.

¹⁶⁷ "Une connaissance critique doit être en mesure de se juger, de discerner ce qui en elle est pertinent par rapport à l'entreprise même qu'elle constitue, et par le fait même aussi de se prononcer sur la valeur et les limites de validité de ce qu'elle finit par proposer (Ladrière, 1977).

Chapitre 10: Transgenèse et systémique (Discussion épistémologique)

Go for the messes- that's where the action is

Steven Weinberg.

“Four Golden Lessons – Advice to students at the start of their scientific careers” (2005)

Systems of knowledge and belief about the natural world are not built independently of the social worlds within which they are embedded.

Sheila Jasanoff

Designs on Nature (2005)

Ce chapitre est réflexif. Il revient sur la thèse en tant qu'activité scientifique à interroger.

Cette thèse est née d'un contexte particulier, la création d'un centre de recherche interdisciplinaire sur les liens entre sciences et sociétés (le Centre de recherche interdisciplinaire CITES (Techniques, Sciences et Sociétés), et a suivi un parcours particulier car interdisciplinaire dans une faculté traditionnellement habituée à des approches expérimentales.

Les cinq hypothèses qui avaient été initialement posées pour structurer cette recherche sont d'abord discutées une à une (**Section 1**). L'interdisciplinarité comme posture de recherche est ensuite discutée, d'abord en portant un regard sur le fait d'avoir mené une recherche à partir d'un point de vue indépendant et extérieur aux filières étudiées et ensuite en portant ce regard sur l'importance du cadre institutionnel dans le cas de recherches interdisciplinaires (**Section 2**). La présentation des quatre voies de recherches qui ont été explorées au cours de cette thèse mais n'ont pas été menées à leur terme pour diverses raisons permet de mieux comprendre le cheminement de la recherche et la difficulté de combiner des approches qualitatives (systémiques) et quantitatives (analytiques) (**Section 3**). Plusieurs autres perspectives de recherche sont proposées pour poursuivre la recherche, de manière complémentaire aux 'voies explorées mais non abouties' (**Section 4**). Enfin, le chapitre se clôt par un bref retour sur les mémoires d'étudiants supervisés durant cette thèse. La supervision de ceux-ci et la réflexion qui s'en est suivie aboutit à une proposition de créer des mémoires destinés à la production de savoirs interdisciplinaires (**Section 5**).

1. Discussion des quatre hypothèses forçant la transdisciplinarité

Quatre hypothèses ont cadré cette thèse. Elles sont validées par l'expérience des études de cas, leur comparaison ainsi que par les analyses qui ont permis une certaine généralisation des résultats au cours du Chapitre 7. Cette section discute ces quatre hypothèses (les deux premières hypothèses seront discutées conjointement).

Hypothèses 1 et 2: L'approche systémique est l'approche épistémologique adéquate pour étudier les innovations en agriculture et nécessite le développement d'une méthodologie adaptée

La première hypothèse avançait que «*L'approche systémique est l'approche épistémologique essentielle pour étudier les innovations en agriculture et leur gestion au sein des filières, de manière complémentaire aux approches réductionnistes expérimentales*». La seconde hypothèse découlait partiellement de la première : «*L'application de l'approche systémique à l'étude des innovations dans les filières agroalimentaires implique un enjeu méthodologique : le développement d'une méthode qui intègre et synthétise les connaissances existantes à deux niveaux, à savoir les connaissances scientifiques publiées et les connaissances des acteurs de terrain, non publiées*».

L'importance de l'approche systémique a déjà été discutée dans les Chapitres 2 et 6. On peut cependant conclure que cette approche, appliquée à des cas de 'problèmes du monde réel' qu'on ne peut étudier avec des approches disciplinaires traditionnelles, permet en effet d'aboutir à des propositions d'améliorations du système. Le choix de l'approche systémique était juste. Ni la recherche expérimentale, qu'elle soit effectuée en laboratoire, en serre ou en champ d'essais, ni la modélisation n'étaient adaptées aux objectifs de cette recherche. Les approches réductionnistes, par nature, sont incapables d'intégrer de manière cohérente les connaissances des sciences 'naturelles' entre elles, celles des sciences sociales et celles que les acteurs possèdent sur l'organisation des filières agricoles dans lesquelles ils travaillent.

Il n'existait pas de méthodologie adaptée au sujet et aux objectifs de la recherche. Une méthodologie a donc été développée, testée sur une première étude de cas, discutée et améliorée, puis appliquée à une seconde étude de cas. Elle a produit des résultats comparables pour plusieurs cas (les deux études de cas de cette thèse et trois études de cas effectuées par des étudiants dans leur mémoire de fin d'études).

Cette méthodologie s'inspire très largement de l'approche systémique (par rapport à l'approche réductionniste ou analytique). Elle n'en suit pourtant pas l'ensemble des principes. La discussion qui suit porte sur l'application des principes fondamentaux de la systémique comme théorie et comme pratique méthodologique.

L'application des principes fondamentaux

La recherche a respecté les quatre grands principes (interaction, totalité, organisation hiérarchique, complexité). Ceci est bien entendu extrêmement difficilement

démontrable : les différentes parties du système ont été analysées dans le contexte de leurs interactions avec d'autres parties, mais cette analyse découle de l'étude des réponses des acteurs lors des entretiens, des publications scientifiques et de l'observation participante lors des forums sur l'innovation scientifique.

On peut par contre plus aisément démontrer l'utilisation faite des concepts essentiels de la pensée systémique (*systems thinking*) selon Checkland (2004) : l'émergence et la hiérarchie d'une part et la communication et le contrôle d'autre part.

De ces quatre concepts, c'est l'**émergence** qui a été le plus enrichissant. Les systèmes observés (filières et systèmes de recherche) ont effet plusieurs propriétés émergentes.

Les deux principales qui ont été analysées ici sont la dépendance au chemin (*path-dependence*) et le verrouillage technologique (*lock-in*). Ces deux concepts sont des concepts systémiques. Ils décrivent des phénomènes qui sont bien des propriétés émergentes, c'est-à-dire des propriétés qui ne sont pas liées à une partie spécifique du système mais qui émergent du système en lui-même. Le « blocage » du génie agroécologique dans les systèmes de recherche n'est pas planifié de manière consciente, il émerge d'une multitude de facteurs. Les situations de lock-in ont été observées dans les deux filières¹⁶⁸.

L'analyse des déterminants d'innovation (qui influencent les différentes voies d'innovations pour gérer les maladies cryptogamiques dans les champs de froment, ou qui influencent le génie génétique et le génie agroécologique dans les systèmes de recherche agronomique) est également une conséquence du choix de l'approche systémique. Comme Ison et al. (1997) le font remarquer, les facteurs organisationnels, institutionnels et socio-économiques sont habituellement considérés comme 'extérieurs' au système étudié dans de nombreux projets qui impliquent les interfaces entre la technologie, les gens et l'environnement, alors qu'ils ne le sont pas dans une approche systémique (Ison et al., 1997).

La proposition d'analyser des 'voies d'innovation' plutôt que des innovations provient également de la perspective systémique. Cette proposition de 'voies d'innovation' provient du souci d'hiérarchiser les types d'innovations en fonction de leurs propriétés. Les innovations ne sont en effet pas isolées : des ensembles d'innovations possèdent des propriétés émergentes. Les innovations doivent donc être analysées au niveau de ces ensembles que sont les voies d'innovations.

Enfin, il y avait une réelle pertinence à porter une attention particulière aux innovations agroécologiques dans ce parcours de recherche qui est parti d'innovations spécifiques par rapport à des problèmes spécifiques et aboutit à considérer le développement de voies d'innovations comme des possibilités 'globales' d'innovation. L'agroécologie est en effet l'approche qui considère le mieux un système agricole dans sa dimension systémique, en tentant d'améliorer l'ensemble du système. Le contraste entre cette approche et celle du génie génétique (qui n'a pour objectif que l'amélioration d'un seul composant du système) paraît donc évident dans une approche systémique.

Selon Checkland (2004), l'**information** est l'idée la plus puissante du mouvement systémique et son importance est comparable au concept d'énergie dans la

¹⁶⁸ Cfr non-développement des variétés de pommiers résistantes à la tavelure et des variétés rustiques de froment adaptées à des systèmes à intrants réduits .

thermodynamique. Le concept de communication a été étudié, mais pas exactement dans le sens entendu dans la théorie systémique, où ce sont la structure et le fonctionnement de l'information ainsi que les boucles de rétroaction qui sont étudiées (cybernétique). Dans cette thèse, l'analyse a essentiellement porté sur le contenu et la qualité de l'information. Ceci a été fait via l'analyse systématique de la littérature grise du secteur (cfr analyse du Livre Blanc), la revue bibliographique et l'observation participante. Cette recherche a démontré que l'information joue en effet un rôle important dans le système étudié. L'information (sur les problèmes agricoles et les innovations) qui existe ou n'existe pas, qui circule ou ne circule pas, qui est jugée valable ou non, a bien un rôle essentiel. L'observation de cette importance a d'ailleurs conduit à faire un parallèle entre la situation analysée dans les filières agroalimentaires ainsi que les systèmes de recherche et la théorie de la communication de Cohen (cfr p 173 et 340).

L'analyse de l'information a par ailleurs porté sur les flux d'information (publication du Livre Blanc, analyse des forums, etc) mais pas sur les stocks d'information (voir *Quantifier l'analyse sur les voies d'innovations* p 457).

La pratique méthodologique de la systémique

Les deux types de problèmes étudiés -la gestion des maladies et celle des innovations- appelaient bien à des approches soft systems et non une approche hard systems. Dans ces deux problèmes, il existe en effet des incertitudes tant sur ce qui constitue le problème que sur ce qui est une solution acceptable, deux propriétés des systèmes pour lesquels l'approche *soft systems* est pertinente (Bawden et al., 1985). L'ingénierie de systèmes (approche hard systems) n'est possible qu'une fois le système connu, décrit dans ses interactions, et les objectifs définis clairement (Whitmore, 1998). Dans les cas étudiés, une approche *soft systems* préalable était nécessaire.

La méthodologie développée a apporté des réponses aux trois questions auxquelles une approche soft systems doit tenter de répondre lorsqu'elle est appliquée à des systèmes d'activités humaines et à des problèmes de gestion : 1) *Quelles sont les caractéristiques du système ?* 2) *Ce système peut-il être amélioré ou modifié ?* 3) *Si oui, comment ?* (Checkland, 2004).

Par contre, la méthodologie développée et utilisée n'a pas suivi tous les principes de la systémique, entre autres celui d'une interaction beaucoup plus forte avec les acteurs du système étudié. Dans l'approche systémique, le chercheur fait lui-même partie du système qu'il étudie. La position d'observateur n'est donc pas cohérente avec une vision systémique de la recherche car elle nie ce fait. L'approche *soft systems* induit donc une recherche-action (Checkland, 2004) ou une recherche-intervention (Hatchuel, 2000) dans laquelle le chercheur prend une part active dans le système étudié et où la recherche elle-même est menée de façon collective¹⁶⁹.

L'approche systémique appliquée à l'agriculture conduit d'ailleurs, selon Bawden (1991) à des 'systèmes de recherche-action', à un apprentissage participatif (il n'y a pas

¹⁶⁹ Dans la recherche-action (Checkland, 2004), la demande de recherche part d'une organisation, avec un objectif précis ou une volonté d'améliorer le fonctionnement du système. Dans la recherche-intervention (Hatchuel, 2000), la recherche part du chercheur, sans demande de la part des acteurs du système étudié : « on crée la demande ».

d'un côté les agriculteurs et de l'autre les chercheurs). De nombreuses utilisations des méthodologies systémiques dans le domaine de la gestion des ressources naturelles ont démontré que, quand la participation des acteurs n'était pas prévue dans le processus de recherche, soit elle a émergé au cours de celui-ci, mais en étant alors perçue comme problématique, soit elle n'a été reconnue comme un fait qu'à la fin de la recherche. (Ison et al., 1997). Les praticiens systémistes insistent d'ailleurs sur le fait que des améliorations durables par rapport à des situations problématiques sont plus susceptibles d'être amenées par la participation des acteurs concernés dans le processus.

Cette recherche n'a pas été initiée comme une recherche-action ou recherche-intervention et l'approche systémique n'a pas été conçue comme un apprentissage collectif entre un chercheur et les acteurs des systèmes étudiés (filiales et systèmes de recherche). La participation des acteurs a émergé durant la recherche et a posé des questions épistémologiques (Voir dans ce chapitre *Phase d'interaction avec les acteurs des filiales* p 460 dans *Voies explorées mais non abouties (Parcours de recherche)*).

Si l'on considère, comme Alroe et Kristensen (2002) que la systémique a deux dimensions méthodologiques générales, d'une part le degré d'entièreté du monde étudié (*wholeness-oriented research*) et d'autre part le degré d'implication dans le monde de la recherche, on peut considérer que la méthodologie de cette thèse est fortement systémique sur la première dimension et peu sur la seconde¹⁷⁰.

Hypothèse 3 : Le point de départ doit être l'objectif auquel répond l'innovation et non l'innovation en elle-même

La troisième hypothèse découle également de la première : « *Si l'innovation en agriculture est étudiée de manière systémique, alors le point de départ adéquat de l'analyse est l'objectif sous-jacent à l'innovation (par exemple, le problème auquel elle répond) et non l'innovation en elle-même* ».

Cette hypothèse sur le point de départ de l'analyse a eu des conséquences qui distinguent cette approche des travaux existants sur l'innovation en agriculture. Lorsque l'analyse d'une innovation a pour point de départ l'innovation en elle-même, elle aboutit à deux questions : « Quels sont les avantages de cette innovation ? » et « Quels en sont les risques ? ». Cette perspective débouche sur des analyses de risques et des analyses coûts-bénéfices. Or, l'analyse du risque maintient la gestion de l'innovation hors de la multiplicité des voies d'innovations par rapport à un problème ou un objectif donné, et donc de l'existence de choix technologiques. Les approches centrées sur l'innovation maintiennent également la gestion de l'innovation hors du monde réel, en omettant la prise en compte et l'analyse des interactions entre innovations, système économique et contexte socio-politique. Le référentiel du risque comme cadre central et souvent unique d'analyse est donc incomplet.

Lorsque le point de départ est le problème, la question initiale de recherche est « Quel est ce problème ? ». Cette perspective ouvre sur l'analyse des causes et conséquences de ce problème, et de sa gestion actuelle. Dans les deux études de cas, cela a permis de

¹⁷⁰ Elle est davantage du type « detached observational knowledge » que « involved experimental action ».

démontrer que plusieurs possibilités existantes par rapport à ce problème n'étaient pas exploitées à leur juste potentiel. Ensuite, cette perspective ouvre l'horizon de l'analyse en forçant à la comparaison entre les différentes innovations qui peuvent résoudre le problème. L'exemple de l'analyse des facteurs de développement de chaque type d'innovation provient de cette modification de point de départ et c'est un des points sur lesquels la recherche a le plus d'originalité.

Le choix de se centrer sur le problème plutôt que sur l'innovation était donc justifié dans le cadre d'une approche systémique.

En revanche, ce choix n'est pas sans poser d'autres enjeux car il suppose la définition des objectifs et problèmes 'légitimes' à prendre en compte. Ceux-ci peuvent être très différents en fonction des points de vue : les objectifs agronomiques pour lesquels sont développées des plantes transgéniques ? les objectifs financiers, commerciaux et stratégiques des firmes ? ceux dénoncés par les organisations de protection de l'environnement ? ceux définis dans les rapports des autorités publiques ? Qui définit les problèmes légitimes et comment ? Le choix du « problème » comme point de départ n'est pas sans conséquences.

L'approche centrée sur le problème, n'étant pas axée sur les risques (pour la santé et l'environnement), ne tient pas compte des éventuelles différences entre voies d'innovations sur ce plan des risques. Elle analyse sans à priori des voies d'innovations qui ont peut-être des conséquences fort différentes en termes de risques. L'approche centrée sur les problèmes ne remplace donc pas l'approche centrée sur le risque : elle la complète.

Enfin, les deux approches (centrées sur l'innovation ou sur l'objectif) ont un inconvénient commun : elles se concentrent sur des études de cas spécifiques, comme la gestion d'une ou quelques maladies, qui ne sont qu'un parmi des multiples problèmes d'un verger ou d'un champ. Ce faisant, elle sous-investissent chacune l'analyse des différents systèmes agricoles dans lesquels ces innovations s'insèrent. L'approche centrée sur l'innovation omet complètement cette dimension tandis que l'analyse centrée sur le problème n'ouvre que partiellement ce chantier. C'est cette constatation qui a mené à vouloir dépasser les études de cas par le haut et à faire l'analyse en termes de voies d'innovations, en comparant génie génétique et génie agroécologique (cfr chapitre 7).

Par ailleurs, il est problématique de n'évaluer les innovations que par rapport à un problème spécifique car les multiples problèmes agronomiques et les choix d'innovations par rapport à chacun d'entre eux sont interconnectés. Les interactions entre les maladies et d'autres éléments de la production (fertilisation, choix variétal, travail du sol, ...) sont multiples. Le choix d'une nouvelle variété de pommiers ou de froment se fait en fonction des critères relatifs à différentes maladies et à d'autres facteurs. Les traitements fongicides sont généralement faits pour plusieurs maladies en même temps. Il n'est donc pas pertinent d'étudier une maladie seule, et des innovations par rapport à un objectif seul (réduction du coût et/ou des impacts des fongicides).

Adopter un point de départ aussi restreint qu'une maladie permet tout de même d'analyser la manière dont la filière gère un problème technique parmi d'autres.

Une approche systémique de la gestion des maladies orientée vers l'action publique pourrait être centrée sur deux dimensions combinant des objectifs privés et publics : la poursuite de l'optimum économique avec celle de l'optimum agro-environnemental

(limitation des impacts environnementaux de la production agricole). Cette approche pourrait également être intégrée à une approche plus large, combinant l'ensemble des autres objectifs publics.

Par ailleurs, l'approche systémique de l'utilisation des stratégies de lutte et de prévention est surtout intéressante dans la perspective d'une agriculture mettant davantage en œuvre les stratégies préventives (choix variétal, rotations, etc) et moins dépendante des stratégies d'intervention (fongicides). Cette perspective est favorisée par ceux qui estiment que les pesticides de synthèse posent de sérieux problèmes de santé publique et environnementaux et que leur utilisation doit donc être minimisée.

Il faut donc aller vers une évaluation de systèmes (agricoles et agroalimentaires), et de l'insertion d'innovations et de voies d'innovations dans ces systèmes, en fonction des objectifs publics (cfr Chapitre 8).

Dans une approche systémique plus large, il faudrait donc mettre le terme 'objectif' au pluriel dans l'énoncé de cette hypothèse.

Hypothèse 4 : La filière agroalimentaire est un système pertinent pour étudier la gestion de l'innovation

La quatrième hypothèse avançait « *Si l'innovation en agriculture est étudiée de manière systémique, la filière agroalimentaire est un des niveaux pertinents d'analyse* ».

La délimitation initiale du système, centrée sur une filière et une échelle régionale, est satisfaisante à plusieurs égards mais n'est pas complètement idéale.

Le niveau régional n'est pas le niveau pertinent pour toutes les étapes de la recherche. Cette échelle est pertinente pour étudier comment les acteurs d'une filière réfléchissent par rapport à un problème agronomique, promeuvent les stratégies de contrôle existantes actuellement et réfléchissent par rapport aux innovations.

L'approche systémique a, dans notre cas, considéré plusieurs systèmes. Le système considéré dans l'enquête (une filière régionale) n'est pas le même que celui de l'analyse de la littérature (bases de données internationales). Les interactions entre les deux ont été nécessaires. Une analyse qui aurait été strictement restreinte aux limites régionales n'aurait pas permis, dans certains cas, la simple identification de la gamme des innovations possibles par rapport au problème concerné.

Une analyse des processus d'innovation, pour être complète, requiert l'étude des activités de recherche et de développement et des politiques publiques menées à un niveau plus large.

La recherche scientifique est menée à l'échelon international, avec même une certaine division internationale du travail (très large en sciences biologiques, plus restreinte en sciences agronomiques vu la différence des contextes agro-météorologiques et des systèmes de culture). Le niveau régional n'est donc pas optimal pour étudier le niveau de développement des innovations ou les efforts de recherche publics et privés dans chaque type d'innovation. Mais ce niveau international (ou au minimum européen) n'est à son tour pas adapté à l'enquête par entretiens telle que réalisée au niveau régional, à moins d'être effectuée par un vaste réseau de recherche européen.

Les politiques publiques qui influencent la gestion de l'innovation dans les filières sont situées, elles aussi, hors du système étudié (politiques agricoles, politiques économiques, etc). Celles-ci n'ont pas été prises en compte dans les études de cas, puis l'ont été, mais incomplètement, dans le chapitre 7.

Il faut aussi noter que la filière de l'agriculture biologique n'a pas été réellement analysée, alors qu'elle se situe dans le niveau régional étudié. L'essentiel du travail s'est concentré sur la filière conventionnelle et la filière bio n'a été étudiée qu'à travers les acteurs de la filière conventionnelle. Presqu'aucun acteur de la filière bio n'a été rencontré et la bibliographie spécifique à cette filière n'a pas été explorée. L'objectif était initialement d'étudier la gestion de l'innovation dans cette filière dans un second temps, mais cela n'a pas été réalisé. Une analyse approfondie de la gestion de l'innovation en agriculture biologique, voire une comparaison des deux filières sur la question de l'innovation, aurait cependant constitué une thèse en soi, à réaliser à des échelles sensiblement plus larges.

2. L'interdisciplinarité, riche mais fragile posture de recherche

Ingénieur agronome orienté en économie rurale, thèse en sciences agronomiques menée dans une unité de génétique, sujet de recherche interdisciplinaire et choix épistémologique de l'approche systémique, souhait personnel qu'une partie de la recherche contribue à une meilleure orientation de la politique et de la gestion publique de l'innovation, choix d'effectuer le DEA accompagnant le doctorat en sciences sociales de l'environnement.

Quels ont été les avantages et les inconvénients du contexte institutionnel de cette thèse ?

Un des principaux avantages est d'avoir abouti à des résultats relativement originaux, grâce à l'application de concepts issus d'autres disciplines qui n'avaient pas ou peu été appliqués au domaine de l'agronomie. Une recherche classique aurait été de tester les effets réels d'une culture transgénique ou de réaliser une évaluation de risque environnemental d'une culture transgénique précise ou encore de faire une analyse coûts-bénéfices ex ante d'une plante qui pourrait concerner la Région Wallonne par exemple. Ce type de recherche aurait très certainement été plus sécurisant et plus productif en termes de publications. Le choix de l'interdisciplinarité a comme revers **deux difficultés** : la complexité des connaissances à acquérir et à gérer (comprendre aussi bien les problèmes de la maladie que ceux de la diffusion d'innovations ou des choix philosophiques de politique sous-jacents à l'évaluation des innovations) et la production de résultats qualitatifs qui nécessiteraient une seconde étape d'analyse quantitative pour être réellement reconnus par la communauté scientifique.

Cette section aborde deux points particuliers : le fait d'avoir étudié une filière dont mon unité de recherche était complètement indépendante et les difficultés liées au cadre institutionnel.

A. Indépendance par rapport aux filières agricoles étudiées

Le fait de mener cette thèse dans une unité de recherche de génétique n'ayant aucun lien avec les deux filières étudiées a été à la fois une source d'avantages et d'inconvénients.

Du côté des avantages, cette posture de recherche a permis une complète autonomie et indépendance tant par rapport aux acteurs qu'aux enjeux de cette filière. La distance a également permis de pouvoir comparer les deux filières. Il ne fait pas de doute que le recul des chercheurs d'une unité de grandes cultures ou de phytopathologie ne pourrait pas être égal à celui qui a pu être développé dans cette thèse. Cette extériorité par rapport aux filières a été positive durant les enquêtes : les acteurs interrogés ont été très ouverts : disponibles et curieux de ma recherche et sans à priori sur celle-ci. Un chercheur de la filière étudiée n'aurait sans doute pas pu bénéficier d'une telle attitude de la part de ses collègues. Il n'aurait pas non plus pu se permettre d'adopter une attitude critique par rapport au fonctionnement de la filière et de la gestion de l'innovation scientifique, étant lui-même acteur du système, dépendant de relations interpersonnelles ou de financements directs de recherche.

Du côté des inconvénients, cette autonomie par rapport à la filière a évidemment un revers. L'éloignement entraîne l'absence de la richesse et des échanges formels et informels d'informations (conversations de couloir, échanges d'articles, etc.) qui auraient sans conteste été des sources d'information intéressantes.

B. Difficultés liées au 'système recherche' peu adapté à l'interdisciplinarité

Une conjoncture tout à fait particulière a fait éclore cette thèse : d'une part le dynamisme initial du Centre de recherche interdisciplinaire Techniques, Sciences et Sociétés (CITES) et d'autre part un financement initial et intermédiaire de l'UCL (bourse des Fonds Spéciaux de Recherches). Ce contexte a été favorable à une approche de recherche ouverte, qu'elle a rendu possible.

Cependant, le **cadre institutionnel** au sens large n'est pas adapté à une recherche interdisciplinaire. Depuis les instances officielles de financement de la recherche jusqu'aux contraintes '*publish or perish*', en passant par l'encadrement des jeunes scientifiques, le 'système recherche' est construit pour des approches monodisciplinaires et a imposé à la thèse une certaine fragilité.

La tension entre sciences naturelles et sciences sociales a été constante. La recherche d'un 'équilibre' entre ces deux cadres épistémologiques s'est posée à plusieurs moments de la thèse, principalement sur les questions méthodologiques. Elle a donc consommé une bonne partie de l'énergie de recherche nécessaire à cette thèse. Le soutien moral à l'intérêt de l'interdisciplinarité a été très clair, venant de personnalités de divers horizons.

La fragilité dont il est question provient de l'absence, au quotidien, d'un 'système recherche' adapté aux enjeux de l'interdisciplinarité en termes de :

- réseaux de compétences : aucune structure d'encadrement, telle les Ecoles doctorales, n'est adaptée pour faciliter la diffusion des méthodologies et connaissances adaptées aux enjeux de l'interdisciplinarité,
- ressources : l'Université n'est parfois même pas abonnée aux quelques rares revues pertinentes sur les approches multidisciplinaires liés aux enjeux agroalimentaires ou agri-environnementaux,
- nombre de chercheurs : une masse critique minimale assurant un dynamisme de recherche,
- traditions : la thèse semble aller à contre-courant, ce qui pousse à l'originalité mais freine parfois la prise de risques..

Il est évident que des innovations sur ces quatre plans seraient utiles.

Les **instances de financement de la recherche**, le Fonds pour la Recherche dans l'Industrie et l'Agriculture (FRIA) en l'occurrence, sont très peu enclines à l'interdisciplinarité de par leur structure, leur fonctionnement et leur tradition. Il n'existe pas de commissions liées aux enjeux interdisciplinaires dans les instances d'allocation des bourses FRIA. Deux fois, la candidature à cette bourse a abouti dans la commission « Biochimie et Physiologie végétale ». Elle a donc été évaluée par des scientifiques ayant pour référentiel épistémologique principal le réductionnisme

expérimental et non l'approche systémique ou l'interdisciplinarité. La bourse de recherche FRIA, reçue après un premier échec, serait d'ailleurs la première octroyée sur un sujet de recherche non expérimental de l'histoire du FRIA. « *Prouvez-nous que ce que vous faites est comparable à un protocole expérimental* » avait conseillé le rapporteur du comité, interrogé sur ce qui posait problème dans le projet de recherche¹⁷¹.

L'objectif d'aide à la décision publique, dans le projet de recherche, était même presque un inconvénient car il amenait les membres de la commission à penser que les services publics fédéraux concernés devraient être alors les financeurs légitimes d'une telle recherche. Le choix de prendre comme horizon le long terme était également un inconvénient pour certains membres du jury :

Monsieur Vanloqueren, je lis dans votre projet de thèse écrit que vous comptez analyser les innovations à long terme, vous parlez de 2005-2015, de comparer des alternatives. Mais, comme vous le savez, la situation des maladies cryptogamiques change chaque année dans les champs de froment. On arrive difficilement à prédire si c'est Fusarium culmorum ou Fusarium graminearum qui sera plus important l'année prochaine, au sein du complexe de pathogènes de la fusariose. Pourquoi vouloir faire du long terme ? Pourquoi ne pas se centrer sur le court terme, les deux prochaines années par exemple ? » Un membre de la commission, 7 novembre 2005.

On ne peut que suivre ceux qui observent que les recherches interdisciplinaires ou systémiques qui incluent les aspects humains et sociaux des systèmes agraires sont considérées comme moins scientifiques que les approches analytiques conventionnelles (Nissani, 1997 ; Alroe and Kristensen, 2002).

La **pression à la publication des résultats** a également été un facteur de tension avant qu'un équilibre ait pu être trouvé sur ce sujet. Le problème vient d'abord de l'extérieur : les journaux scientifiques sont éminemment monodisciplinaires dans leur plus grande majorité. Il est cependant entretenu de l'intérieur : dans une faculté d'ingénierie biologique, agronomique et environnementale, on attend des chercheurs des publications dans des revues de sciences exactes, du meilleur niveau possible, et non dans des revues de sciences humaines. Or les revues scientifiques, en sciences exactes, n'ont qu'un intérêt minimal voire nul pour les recherches sortant du cadre expérimental classique (laboratoire, modélisation informatique, traitement statistique des données). Les recherches interdisciplinaires sont par contre plus fréquemment publiées dans des revues de sciences humaines.

Par rapport aux enjeux liés à l'interdisciplinarité, l'écart entre le contexte du comité d'encadrement de la thèse et les instances plus larges a été fondamentalement différent de celui décrit ci-dessus. L'interdisciplinarité faisait partie de l'objectif initial et était donc un problème à gérer. Le soutien a été témoigné sous forme de confiance, de souplesse et de disponibilité (essentiellement pour donner un avis sur des textes intermédiaires), ce qui a permis de recueillir à plusieurs moments des réactions de personnes de disciplines et d'horizons très divers sur plusieurs parties du travail (en particulier le Chapitre 4 sur l'étude de cas 'froment' et le Chapitre 7 sur les voies d'innovations). Le produit final de la thèse est l'aboutissement de la recherche d'un

¹⁷¹ « Vous aviez un gros grade, vous n'étiez pas classé mauvais...4ième, 5ième peut-être. Le principal, c'est que vous ne faisiez pas de manipulations. (...) Montrez-nous que ce que vous faites est proche du labo. » Membre A. « Vous avez déjà vu un agro qui ne fait pas d'expérimental ? » Membre B.

équilibre entre les objectifs initiaux et les conseils et avis des membres du comité d'encadrement, qui n'ont cependant pas pu être tous réalisés car ils correspondaient à des élargissements du système étudié ou des approfondissements méthodologiques trop conséquents¹⁷².

La création de cadres de recherche adaptés spécifiquement à l'interdisciplinarité est en cours dans de nombreuses institutions. A la Columbia University (New York), la direction a créé un centre de recherche interdisciplinaire ayant pour objectif de faire le lien entre science et décision politique (*Earth Institute*). Comme d'autres institutions, cette université s'est réellement saisie du concept du développement durable pour modifier ses pratiques institutionnelles. Elle a été jusqu'à assouplir le concept de discipline au niveau des thèses doctorales en ouvrant des '*Ph.D. in sustainable development*' (au sein de l'Ecole de Management Public) comparables aux "*Ph.D. in Governance and Sustainable Development*" de l'Université de Twente, Pays Bas¹⁷³.

¹⁷² Ces souhaits non rencontrés ont été par exemple d'élargir l'enquête aux multinationales semencières (ce qui aurait supposé d'étudier le système à son échelle européenne au minimum) ; d'approfondir l'analyse des réseaux (quels sont les acteurs importants ? quels sont les acteurs périphériques ? qui est en relation avec qui ? qui a quelque chose à dire sur l'innovation ? quel est le degré de consensus ?), de situer le rôle de l'Etat (Est-ce que l'Etat est un acteur indépendant de la filière, un acteur parmi d'autres ou bien la filière s'autorégule-t-elle ?) ou de mener l'étape d'interaction avec les acteurs pour les confronter à l'analyse faite sur leur filière, en considérant cette étape comme intrinsèque à l'approche systémique (est-ce que l'interaction produit quelque chose ? Est-ce que le sujet est discutable ? Qu'est ce que cela donne de mettre des gens autour des résultats de l'approche systémique ?)

¹⁷³ Voir aussi les centres de *Science & Technology Studies* (STS) ou le département de Systems Analysis de l'Open University (Londres).

3. Voies explorées mais non abouties (Parcours de recherche)

Quatre voies de recherche pertinentes à une compréhension systémique des processus d'innovation ont été explorées dans cette thèse, parfois intensément, mais sans avoir pu être menées à leur terme pour être intégrées dans le manuscrit final.

La réflexion sur celles-ci fait cependant partie de cette thèse.

Les voies « explorées mais non abouties » sont généralement absentes du manuscrit final d'une thèse. Il est en effet d'usage de présenter la thèse de la manière la plus formelle possible. Ceci n'est cependant pas la meilleure manière de procéder, ni par rapport à la réalité de cette recherche (dont la définition a été en constante évolution entre février 2003 et juin 2006), ni par rapport à la communauté scientifique, qui gagne à connaître la science 'en action' (Latour, 1989).

Ces quatre voies suivent **trois axes de recherche**:

- Quantifier l'analyse des processus d'innovation en termes de 'voies d'innovations' par l'utilisation du concept de stocks de connaissances (analyse bibliométrique et analyse de l'allocation des budgets de recherche publics),
- Mener une méthodologie d'évaluation de la pertinence d'innovations par les acteurs des filières,
- Organiser une phase d'interaction avec les acteurs des filières pour valuer et discuter les résultats produits dans les études de cas.

A. Quantifier l'analyse sur les voies d'innovations

L'analyse des processus d'innovation en termes de 'voies d'innovations' représente une importante partie de la thèse, que ce soit au niveau des études de cas ou dans la comparaison des dynamiques à l'œuvre autour du génie génétique et du génie agroécologique dans les systèmes de recherche agronomique (Chapitre 7.2).

Un approfondissement de l'analyse a cependant été jugé souhaitable et des possibilités de recherche ont été explorées à cette fin. Il s'agissait essentiellement de mieux caractériser le niveau de développement des voies d'innovations et les efforts effectués dans le passé sur chaque voie d'innovations : *Qu'est ce qui a déjà été réellement expérimenté et qui n'a pas marché, qu'est ce qui n'a jamais été expérimenté, et quelles sont les voies d'innovations qui sont en train de prendre de l'importance ?*. Ces propositions de méthodologies ont rapidement été présentées en fin de Chapitre 8, mais il est nécessaire de détailler ici comment elles ont été explorées au cours de la thèse, ce qui permet en même temps d'en présenter mieux l'utilité.

Deux voies de recherche semblaient particulièrement intéressantes. La première possibilité de mesurer les efforts de recherche sur les voies d'innovations était de faire une analyse bibliométrique (scientométrique) des publications scientifiques en sciences biologiques et agronomiques. La seconde possibilité était de mesurer les dépenses de recherche directement affectées à celles-ci. Ce type d'analyse aurait permis d'appliquer la notion de '**stocks de connaissance**' (*knowledge stocks*) (Cfr Chap 7 p 349) à

l'analyse en termes de voies d'innovation, c'est à dire en différenciant les stocks de connaissances accumulées sur le génie chimique, le génie génétique et le génie agroécologique. La quantification des efforts de recherches passés existe en effet, mais pas en comparant plusieurs voies d'innovations entre elles. Cette différenciation aurait été inédite. Il s'agissait aussi de pouvoir apporter des éléments quantitatifs à l'approche qualitative réalisée dans les études de cas, ce qui aurait été un pas vers la robustesse des approches et aurait permis par ailleurs de pouvoir publier plus facilement les résultats.

1) Analyse bibliométrique

L'hypothèse sous-tendant le projet d'analyse bibliométrique était que les publications internationales sont une bonne approximation de l'importance des efforts de recherche sur un sujet particulier ou dans voie d'innovations donnée.

Une analyse bibliométrique devait donc permettre de quantifier les efforts de recherche effectués sur chacune des voies d'innovations considérées, et de quantifier l'argumentation qualitative avançant que les innovations agroécologiques sont sous-investies dans les systèmes de recherche. Une telle analyse devait également permettre d'analyser les tendances historiques ou géographiques dans ces processus d'innovations. Ce type d'analyse n'existe pas : seules quelques tentatives d'évaluer l'importance des publications sur l'agriculture biologique ou l'usage du terme agroécologie dans la littérature ont été recensées (Dalgaard et al., 2003 ; Bonneuil, non publié). L'analyse des publications citées dans les brevets biotechnologiques et la comparaison des efforts de recherche en génomique des grands pays innovateurs (USA, UE et Japon) fait par contre l'objet de travaux de la part d'une petite communauté active de chercheurs (de Looze and Joly, 1996; de Looze et al., 2001 ; Graff, 2003; Graff et al., 2003).

Une phase d'analyse bibliométrique a été menée durant le printemps 2006. Elle a porté sur le contenu des bases de données *CAB Abstracts* et *ISI-Web of Science* sur la période 1987-2005 et 1973-2005. Cette analyse a abouti à la production de plusieurs résultats utilisés dans le Chapitre 7.2. ainsi qu'à une communication orale portant sur la comparaison de deux voies d'innovations permettant de diminuer les problèmes des maladies cryptogamiques dans un champ de froment : le génie génétique et les mélanges variétaux (Vanloqueren and Baret, 2006).

Le travail a principalement consisté à la compréhension du contenu réel des bases de données et à la caractérisation des voies d'innovation, divisées en sous-voies d'innovations (agroforesterie, mélanges variétaux, lutte biologique, etc) par une liste de mots-clés pertinents (la lecture d'articles de review ou des articles les plus cités permet d'identifier les mots-clés les plus fréquemment utilisés). Cette définition de mots-clés est prépondérante car déterminante pour les résultats, mais excessivement complexe, car chaque mot-clé pèse. Un autre degré de complexité était de pouvoir séparer, pour une même voie d'innovations, les travaux relativement fondamentaux des recherches appliquées. Cet enjeu est crucial : connaître l'importance des recherches fondamentales sur les éliciteurs de résistance systémique induite est peu utile sans savoir en même temps si des recherches appliquées ont réellement tenté de découvrir des produits efficaces pour telle culture et telle maladie. Il en est de même pour la lutte biologique, où les recherches en écologie sont abondantes, tandis que la recherche appliquée est elle très inégale : importante pour la lutte biologique 'active' (lâchers massifs d'insectes prédateurs) mais quasi-inexistante pour la lutte biologique 'passive' (seulement une

dizaine de publications en tout et pour tout sur l'application des 'beetle banks' en grandes cultures).

Une opération de tri manuel des articles après la présélection automatique sur base de mots-clés se révélait cruciale. En effet, l'omission de certains travaux par la présélection automatique n'était pas un problème car les listes de mots-clés obtenues étaient devenues relativement précises. Par contre, le problème résidait dans les articles présélectionnés qui ne représentaient pas un travail de recherche sur la voie d'innovations considérée. Il est par exemple impossible de distinguer, sur base de recherche automatique par liste de mots-clés, les publications concernant des recherches sur le potentiel des insectes bénéfiques pour une éventuelle réduction des pesticides (recherche sur une innovation agroécologique) des recherches analysant les impacts des pesticides sur ces insectes bénéfiques (recherche sur les impacts du génie chimique).

Par ailleurs, une tentative d'analyser les publications scientifiques spécifiques au secteur céréalier a également été faite durant la seconde étude de cas, afin d'avoir un équivalent de l'analyse systématique du *Livre Blanc*. Le travail a consisté à sélectionner les dix principales revues scientifiques en matière de pathologie des céréales, définir les mots-clés, et les possibilités d'analyser les articles sélectionnés sur base de ce processus. C'est à cette étape (770 articles sélectionnés) que le problème résidait, car une analyse manuelle était impossible, étant donné le faible accès à certaines de ces revues.

Ces tentatives d'analyses bibliométriques auraient donc demandé un investissement plus important (et donc une décision sur la priorité de leur importance) sur le travail manuel de tri des articles ainsi que sur les bases théoriques de cette approche (pour maîtriser parfaitement les outils existants facilitant éventuellement le travail).

2) Analyse des budgets de recherche publics

L'analyse quantitative des dépenses de recherche était la seconde solution pour mesurer les efforts de recherche directement effectués sur les voies d'innovation. En particulier, c'était l'analyse des dépenses publiques de recherches qui était souhaitée, pour pouvoir directement évaluer l'utilisation par les pouvoirs publics de cette marge de manœuvre directe.

On se rappellera qu'il avait été observé que les administrations de politique scientifique ne font pas ce travail d'évaluation ex ante (cfr « *Non, on ne pourrait pas répondre à une question du Parlement sur ce à quoi on a attribué l'argent* » et « *We only do prospective analysis. We don't assess what has been done in the past* », p 431).

La seule récolte des données brutes nécessaires à l'analyse s'est avérée, pour les niveaux régional et européen, très complexe. Au niveau régional, les données existent bien, mais elles sont disséminées dans plusieurs institutions, étant donné que la recherche agronomique a été réorganisée puis régionalisée durant les quinze dernières années¹⁷⁴. Au niveau européen, des données existent sur une base de données en ligne (*Cordis Search*), mais celle-ci n'est pas complète, surtout pour les programmes-cadres datant d'avant 1995. Les informations budgétaires sur les projets financés n'étaient en

¹⁷⁴ Il faut noter que la fonctionnaire responsable de ces dossiers, Madame Pourtois, était tout à fait ouverte pour aider à l'analyse de ces dossiers. Aucune mauvaise volonté ou refus d'autorisation d'accès à ces données n'a été rencontré, au contraire : les personnes étaient plutôt favorables à la recherche.

effet pas systématiquement disponibles avant une certaine date. Etant donné que le soutien européen aux biotechnologies a été initié en 1982, les données de tous les programmes-cadres depuis cette date étaient pourtant nécessaires. Enfin, il aurait fallu vérifier également si des projets de ‘développement’ (R&D) n’étaient pas financés via la DG Agriculture ou la Politique Agricole Commune.

La récolte des données brutes s’est donc avérée presque impossible, à moins, à nouveau, d’adopter une stratégie à long terme, de stage à la Commission par exemple, et de reconstruire les bases de données introuvables. Cela aurait constitué une autre thèse.

Enfin, pour obtenir des données réellement intéressantes, il aurait fallu faire une recherche internationale qui inclue les budgets de recherche nationaux. Les budgets européens ne représentent en effet que 5% des budgets de recherche totaux : les budgets nationaux gardent une importance prépondérante.

Cette analyse quantitative n’a pas été estimée nécessaire à la thèse : l’approche qualitative des études de cas, permettant de comprendre les logiques à l’œuvre derrière les choix de recherche était favorisée par les membres du comité. L’auteur estime cependant que l’analyse quantitative des financements publics de recherche serait une suite cohérente et complémentaire qui donnerait une base empirique quantitative permettant de renforcer les conclusions de cette thèse. Le plus intéressant serait certainement de mener cette évaluation à la fois sur les budgets de recherche et sur les subsides agricoles, en fonction des voies d’innovations et des scénarios de développement qu’ils soutiennent¹⁷⁵.

B. Réalisation d’une évaluation avec les acteurs d’une filière (MCMA)

Après l’étude de cas sur les pommiers, qui avait démontré l’importance d’évaluer une plante transgénique en la comparant avec les autres possibilités d’innovations, il avait été décidé avec le comité d’accompagnement d’explorer les différentes pistes de méthodologies concrètes pour évaluer ces différentes possibilités d’innovations : Quels sont les critères d’évaluation ? Quelles sont les méthodes pour évaluer ? Qui devrait mener cette évaluation ?

Cette partie de la recherche avait essentiellement abouti à un travail d’adaptation de la ‘*multi-criteria mapping analysis*’ de Stirling et Mayer (1999). Cette méthode (présentation voir p 379) permet de faire évaluer différents scénarios d’innovation par plusieurs personnes (par exemple les acteurs d’une filière). Il a finalement été décidé que ce travail d’adaptation (résumées p 379) était un résultat de la recherche mais ne devait pas être réalisé concrètement sur une ou plusieurs études de cas.

C. Phase d’interaction avec les acteurs des filières

Le troisième axe sur lequel des progrès étaient souhaitables était celui d’approfondir la dimension d’interaction avec les acteurs des filières. Comme expliqué dans la

¹⁷⁵ Voir l’illustration de la scénarisation prospective par l’exemple de trois scénarios de développement pour l’agriculture et les filières agroalimentaires (Chapitre 9, Section 3)

discussion des hypothèses, l'interaction avec les acteurs est liée à l'approche systémique (communiquer les résultats aux acteurs de façon organisée et large, intégrer leurs commentaires, orienter la recherche en fonction de ceux-ci, intervenir sur leurs activités, etc.) (voir p 446).

La présentation des résultats de la recherche aux acteurs des deux filières sous forme de rencontre collective et interactive a été un important sujet de réflexion durant la thèse, bien que cela n'avait pas été défini initialement comme un objectif de la thèse.

Trois objectifs étaient visés par cette volonté de mettre en place une interaction organisée :

- obtenir un feedback sur la validité de l'analyse (la présence d'erreurs ou d'imprécisions),
- discuter avec les acteurs de l'intérêt de l'approche développée et des conclusions qu'il y a lieu d'en tirer
- analyser les réactions des acteurs à la présentation de l'analyse.

Ce souhait a rencontré des difficultés d'ordre méthodologique et de priorités de recherche.

Les différents problèmes méthodologiques identifiés étaient la taille du document présentant les résultats (125 pages), la disponibilité des acteurs par rapport au temps nécessaire pour discuter de ces résultats, la pertinence d'organiser une telle interaction de manière collective (les acteurs vont-ils avoir des réponses franches sur le travail en présence de leurs pairs ?) et l'analyse des données d'une telle interaction. Outre la possibilité d'une adaptation de la '*multi-criteria mapping analysis*' de Stirling en réalisant une seconde salve d'entretiens avec les mêmes acteurs, une autre piste considérée était l'organisation d'une matinée de rencontre avec un ensemble d'acteurs de la filière, pour présenter les résultats et organiser une discussion à partir de ceux-ci.

La présentation des résultats de la recherche était considéré comme 'un plus', mais une interaction plus poussée avec les acteurs du système étudié n'a pas été reconnue comme composante de recherche en tant que telle dans une posture de recherche de sciences exactes, malgré un intérêt partagé pour l'organiser. La recherche-action et la recherche-intervention n'entrent pas dans les traditions, la culture et les compétences existantes dans une faculté d'ingénierie biologique, agronomique et environnementale. Elles sont des '*terra incognita*' du fait de la prépondérance des méthodes analytiques et expérimentales.

Dans ce contexte, il est difficile pour un chercheur individuel de faire le choix constant de naviguer hors du courant principal, ou même à contre-courant, sans l'assurance sur la recherche menée et sans réseau de compétences adéquat.

Plusieurs activités d'interaction avec certains acteurs ont tout de même été initiées pour valider les résultats. Ces activités (relecture du travail par des acteurs de la filière, organisation d'une journée acteurs-chercheurs sur la gestion des OGM...) ont été présentées au Chapitre 6 (pp 308-312). Elles ont permis de vérifier aussi bien la crédibilité des résultats spécifiques par rapport aux problèmes étudiés que celle de l'approche méthodologique générale.

Un travail collectif avec les parties prenantes (acteurs des filières et pouvoirs publics), entrant dans le cadre de la recherche-action ou recherche-intervention, initié dès le

départ de la recherche, serait utile pour améliorer l'approche systémique. Il faciliterait la construction des questions importantes sur lesquelles travailler, entraînerait des interactions plus fréquentes et donc plus enrichissantes. Il permettrait certainement que les résultats de l'approche aient une réelle utilité pour les acteurs, en dehors de la création de connaissances scientifiques en soi.

* * *

Ces quatre voies de recherche sont à la fois utiles et originales. Bien que relevant de disciplines spécifiques, elles sont des réelles perspectives de recherche.

4. Perspectives de recherche pour une meilleure compréhension des processus d'innovation

Une thèse systémique ouvre des perspectives de recherches multiples et passionnantes. Outre les « voies explorées mais non abouties » (section précédente), plusieurs perspectives de recherche ont déjà été présentées implicitement au chapitre 6 (autres choix d'études de cas, voir p 296) et au chapitre 8 (propositions d'amélioration des méthodologies, voir p 357).

Voici cependant les principales perspectives de recherches de la thèse qui permettraient une meilleure compréhension des processus et politiques d'innovation :

- **Etudier les conditions d'émergence des voies d'innovations agroécologiques.** Certaines voies d'innovations agroécologiques font l'objet d'efforts de recherche, dans les systèmes de recherche agronomique des pays occidentaux généralement acquis à l'amélioration incrémentale de systèmes agricoles intensifs 'modernes'.
 - Quelles sont les conditions d'émergence qui expliquent les succès de 'niches d'innovation' sur l'agroforesterie, les mélanges variétaux, les systèmes à intrants réduits, l'aménagement des champs pour une lutte biologique 'passive', etc.? Quel est le rôle des chercheurs, des instances de financement de la recherche, des associations agricoles ? Comment fonctionnent ces 'régimes d'innovation', sont-ils différents des régimes du modèle dominant ?
 - Les conditions proposées dans cette thèse sont-elles vérifiées (cfr *Ouverture aux innovations secondaires dans des 'niches'* p 292) ?
 - Dans quelles conditions le génie agroécologique peut-il produire des innovations utilisables par les agriculteurs ?
- **Mener une recherche-action sur la possibilité d'une vision intégrée et prospective du génie agroécologique** et de la convergence des différentes innovations agroécologiques (cfr *Absence de vision intégrée* sur les voies d'innovations agroécologiques p 291)
- **Réaliser un exercice de prospective participative par scénarios pour l'agriculture wallonne, belge et européenne** et qui tienne compte des principaux enjeux actuels (changements climatiques, diminution des pesticides, souhait d'une amélioration de la qualité de l'alimentation) (Cfr Chapitres 8 et 9)
- **Approfondir l'étude des 'communautés épistémiques'** dans la recherche agronomique. les communautés épistémiques sont des communautés de chercheurs partageant des objectifs, valeurs et projet de recherche (Voir Godard (2004b) sur l'importance des différentes communautés épistémiques autour de la question des changements climatiques et les politiques publiques qui sont proposées par les membres de ces communautés).
- **Approfondir l'étude des partenariats public-privé (PPP)** et leur influence sur le type de recherche menée, le type d'innovations qui en résulte et les scénarios de développement implicites liés à ceux-ci. Des exemples de PPP importants à étudier sont les partenariats entre de l'Université de Californie avec les

entreprises Novartis et BP, la plate-forme *Génoplante* en France, le modèle *MASwheat* de biologie moléculaire ‘opensource’ (cfr p 441), ainsi que les clubs variétaux en arboriculture (en particulier Les Naturianes) et les projets de ‘sélection participative’ en froment.

- **Tester l’hypothèse de Richard Sclove (1995) que les technologies peuvent soit renforcer, soit diminuer, soit être neutres pour la démocratie en elle-même.** Analyser en quoi les différentes voies d’innovations contribuent à augmenter ou réduire la vitalité de nos systèmes démocratiques.
- **Etudier si les 160 régions européennes ‘Zones sans OGM’ modifient leurs politiques d’innovations** de manière différenciée de l’ensemble des régions européennes (268 régions) que cela soit en matière de voies d’innovations technologiques (génie agroécologique, ‘*smart breeding*’ ?) ou institutionnelles (autres modèles de protection de la propriété intellectuelle ?) (cfr p 428).

5. Des ‘mémoires Méta’: développer des outils pour la formation de scientifiques critiques

L’approche systémique développée dans cette thèse a été utilisée dans **trois travaux de fin d’études de bioingénieurs** à l’UCL (voir p 297). L’expérience de ces mémoires permet de dresser une brève évaluation des avantages et inconvénients de l’utilisation de cette approche dans le cadre de mémoires et d’avancer la proposition de ‘mémoires Méta’.

La conclusion de l’expérience est que les mémoires ‘systémiques’ permettent

- la construction de connaissances scientifiques
- la formation de l’étudiant-chercheur à une approche scientifique d’intégration des faits et connaissances
- la formation de l’étudiant-chercheur à une **démarche critique** (au sens positif proposé par Jean Ladrière¹⁷⁶).

Les mémoires effectués sont dans la lignée des quelques cours qui promeuvent une pensée systémique dans une formation d’ingénieur par ailleurs fortement composée, par tradition et par nécessité, de cours parfois très spécialisés, orientés surtout vers les dimensions scientifiques et techniques de l’agronomie¹⁷⁷.

Dans ce contexte, il y a une importante **valeur ajoutée en terme de formation** à proposer à des étudiants de mener une approche systémique sur les questions d’innovation autour de problèmes agronomiques concrets comme l’émergence d’une maladie nouvelle en culture de betteraves, les conséquences de l’interdiction d’un herbicide toxique en Belgique et les innovations qui permettraient de le remplacer au mieux, ou l’évolution rapide des systèmes agricoles argentins vers une monoculture de soja résistant à un herbicide total.

L’étudiant-chercheur apprend à appréhender un sujet dans sa globalité, par exemple la gestion des mauvaises herbes dans un champ, depuis les dimensions agronomiques directes de ce problème concret jusqu’aux modes de réflexion des acteurs et chercheurs sur les possibilités d’innovation par rapport à ce problème, en passant par la construction historique de celui-ci et ses implications sociales (la rhizomanie, une ‘maladie honteuse’) ou économiques et géopolitiques (la concentration des exploitations et la transformation de l’agriculture en Argentine). Grâce à cette approche systémique, l’étudiant peut développer une attitude critique et ouverte par rapport à l’innovation : réflexion en terme de gamme d’innovations, compréhension des interactions entre logiques scientifiques, logiques de marché et logiques culturelles. La méthodologie permet aussi aux étudiants de s’ouvrir à un milieu professionnel réel (enquête auprès des acteurs d’une filière) tout en explorant en même temps les connaissances scientifiques de pointe (entretiens avec des chercheurs et revue bibliographique sur le sujet traité).

¹⁷⁶ Voir *Choix éthiques et politiques à l’intérieur des laboratoires*, p 440.

¹⁷⁷ Les cours qui intègrent une approche systémique sont par exemple ceux d’exercices intégrés, d’agroécologie ou d’ingénierie de la biosphère.

Ces **compétences d'intégration** des dimensions et des connaissances (le concept d'intégration est au cœur du développement durable) sont de plus en plus cruciales dans la formation des bioingénieurs, dont un nombre croissant est d'ailleurs ensuite engagé dans des sociétés d'études et de consultance. Un des trois étudiants -une étudiante en fait- a d'ailleurs entamé après son mémoire une formation en journalisme.

Les mémoires permettent donc d'aborder certains enjeux qui ont été peu étudiés durant la formation, ce qui est extrêmement positif pour l'aspect formatif du mémoire, mais qui entraîne par contre des difficultés dans l'aspect recherche du mémoire. Les étudiants bioingénieurs sont essentiellement formés à l'approche expérimentale. Dans les mémoires utilisant l'approche systémique, les acquis des multiples cours et travaux pratiques qui forment l'étudiant à celle-là sont moins utilisés, tandis que les compétences utiles à l'approche systémique sont lacunaires.

Les **principales difficultés** rencontrées ont été i) le fait que les étudiants ne sont pas formés à la recherche bibliographique, qui est essentielle dès le début de la recherche dans ce cas-ci, ii) la nouveauté de l'enquête par entretiens comme méthode pour les étudiants, iii) la nouveauté pour les étudiants de la rédaction de rapports sur des sujets complexes (la rédaction d'un mémoire 'systémique' diffère complètement de la rédaction de rapports de laboratoires) et surtout, iv) le fait que les capacités de réflexivité des étudiants *sur des enjeux impliquant des questions techniques, sociales et économiques* (savoir être critique de manière argumentée et constructive) sont très hétérogènes et ne sont pas nourries par un cursus à la hauteur des enjeux (épistémologie des sciences, histoire des sciences, agriculture comparée, éthique économique et sociale, politique agricole).

Ces difficultés peuvent être surmontées relativement facilement. La marge de manœuvre pour améliorer ce type de mémoires est en effet grande, étant donné que l'expérience sur ceux-ci est encore limitée, et que la réflexion sur ces mémoires ne constituait pas un objectif de la thèse.

Ces mémoires, à condition d'être mieux structurés et encadrés, pourraient être institutionnalisés en '**mémoires Méta**'.

Le concept "méta" fait référence aux 'Cours Méta' proposés au début des années nonante conjointement par l'Assemblée des Etudiants de Louvain (AGL), quelques professeurs et chercheurs pionniers et l'Association des professionnels et chercheurs du Sud (Approches) (Capart et al., 1994). Le cours Méta est une séance de cours où un intervenant d'une autre discipline, ou un praticien, est invité dans un cours universitaire, sur base d'une initiative étudiante. La rencontre des disciplines, ou de la théorie et de la pratique, permet d'interroger une problématique particulière soit à partir d'une perspective différente de celle de la discipline du cours, soit à partir d'un de ses contextes d'application. Le cours est alors l'occasion pour les étudiants de voir la diversité des approches et des savoirs, et pour les enseignants et chercheurs de confronter leurs points de vue et concepts. L'objectif des cours Méta était de créer de réels espaces d'apprentissage de l'interdisciplinarité au sein des cursus académiques.

Les mémoires méta viseraient à transposer cette interdisciplinarité au travail de fin d'études que doivent effectuer les étudiants. Un mémoire méta regrouperait des étudiants de plusieurs facultés (sociologie, gestion, développement, etc), en se basant sur le modèle déjà connu à l'UCL des mémoires 'Création d'entreprises', où des trios formés d'un juriste, d'un ingénieur (civil ou bioingénieur) et d'un ingénieur commercial

travaillent ensemble à la création d'une entreprise virtuelle dans ses dimensions technologiques, juridiques et commerciales. L'objectif des mémoires méta serait par exemple la création de connaissances critiques (au sens de Ladrière) sur les interactions technologiques, sociales et économiques d'un sujet particulier¹⁷⁸.

La coordination de ce type de mémoires, effectués en plus grand nombre, par un centre de recherche interdisciplinaire, serait également hautement positive. A l'UCL, il pourrait s'agir du Centre de recherche interdisciplinaire Sciences, Techniques et Sociétés (CITES) et/ou de coopérations renforcées avec l'Institut de Développement (SPED). Un effet d'apprentissage sur la méthode permettrait d'enrichir celle-ci. Une certaine « économie d'échelle » permettrait de justifier la création d'un mini-séminaire intensif de préparation au mémoire (effectuer une recherche bibliographique, travailler dans une équipe de recherche, mener des interviews, traiter des données qualitatives, structurer un mémoire, pratiquer l'interdisciplinarité...). Au point de vue méthodologique, des améliorations seraient certainement possibles à partir de l'expérience acquise à l'ULB par les séminaires d'exploration de controverses initiés conjointement par Jean-Claude Grégoire et Isabelle Stengers à l'ULB (Denys et Trussart, 2004; Denys, 2006).

Cette proposition est cohérente avec les conclusions des travaux de la Fondation Charles Mayer qui, en marge de la Conférence mondiale sur la science en 1999 organisée par l'UNESCO et le CIUS (Conseil International des Unions Scientifiques) a émis lors d'un séminaire sept propositions pour refonder le contrat entre science et société (FPH, 1999). Plusieurs de celles-ci concernent la formation des scientifiques :

1. renforcer l'enseignement sur les relations humaines
2. améliorer les représentations sur les savoirs scientifiques et considérer la possibilité d'un enseignement sur l'histoire et l'anthropologie des sciences et des savoirs « *Les sociétés scientifiquement avancées pensent encore trop peu l'activité scientifique. La pensée permet de prendre de la distance par rapport aux savoirs et d'intégrer les enjeux socio-culturels qui les entourent : normes, croyances, institutions, raisonnement économique, rendement, compétition internationale, domination (...)* Cette capacité de penser les sciences nécessite une formation en histoire, en philosophie, en anthropologie, en politique, en sociologie, en droit, en lettres, en psychologie. »
3. donner une plus grande importance à une formation sur les liens entre activités scientifiques et activités économiques.

¹⁷⁸ Sur la différence entre connaissances innovantes et connaissances critiques, et le problème du décalage entre l'acquisition des premières et des secondes, voir Godart (2004).

CONCLUSION

Ré-encastrer l'innovation

"Réglementer et diriger, cela peut être la manière de réaliser la liberté non seulement pour quelques-uns, mais pour tous."

Karl Polanyi

Ré-encastrer l'innovation

La construction d'une démocratie plus forte passe aujourd'hui par son extension à quatre domaines: la technologie, l'économie, l'information et les espaces supranationaux. L'innovation est à l'intersection de ces domaines.

Cette thèse est partie de deux postulats qui peuvent être reliés à l'idéal d'une démocratie plus forte. Le premier avançait que le décalage entre les avancées technologiques du génie génétique et les avancées institutionnelles pour réguler celles-ci avait été trop important pour que la maîtrise de nos choix technologiques soit réelle. Par conséquent, il était nécessaire d'innover sur le plan des politiques et de la gestion de l'innovation. Le second postulat affirmait que la compréhension des liens complexes entre innovations technologiques et filières agroalimentaires nécessitait une approche épistémologique adaptée à cette complexité : une approche systémique.

Cette conclusion part du second postulat, en établissant l'intérêt de l'approche systémique et sa contribution pour l'étude des processus d'innovation dans un contexte de développement durable. Elle aboutira sur la question des décisions politiques en matière d'innovation à l'heure de la mondialisation.

L'approche systémique comme choix épistémologique

L'approche systémique a permis d'ouvrir un peu plus la porte de la remise en question du progrès et de l'innovation en agriculture. Le génie génétique a en effet fait entrer pleinement l'agriculture dans la **société de la connaissance**¹⁷⁹. Cette thèse contribue à démontrer que le plus important, dans la société de la connaissance, n'est pas la seule production de connaissances scientifiques, mais l'orientation, la gestion et l'utilisation de celles-ci. Maintenir la seule production de connaissances comme objectif, c'est poursuivre le projet moderniste, basé sur l'hypothèse d'un lien direct entre progrès des connaissances et progrès de l'humanité. Cette hypothèse, initialement suggérée par Condorcet, ne tient plus. A côté de la production de 'connaissances innovantes', le développement d'un niveau adapté de 'connaissances critiques' sur le développement des sciences et technologies est crucial¹⁸⁰.

La **contribution empirique** fournie par les deux études de cas permet de démontrer la possibilité d'un travail d'intégration, de mise en commun et d'articulation des connaissances accumulées dans les différents domaines concernés (sciences naturelles,

¹⁷⁹ Les sciences et technologies ont un rôle central dans les sociétés 'avancées' (Stehr, 1994). La production agricole, secteur primaire, n'échappe pas à cette évolution : la production de connaissances y est une des principales sources de richesse et de changement.

¹⁸⁰ Les termes sont de Godart (2004).

agronomie, sciences sociales, savoirs des acteurs des filières) sur un sujet précis (ici la gestion de l'innovation dans deux filières par rapport à des maladies cryptogamiques). L'approche systémique des études de cas permet de rendre visible des processus et des interactions qui ne l'étaient pas¹⁸¹.

Ce travail d'intégration et d'articulation avait très rarement été réalisé dans les travaux existants sur les plantes transgéniques. Il a été reconnu de diverses manières¹⁸².

L'originalité principale de l'approche systémique comme démarche épistémologique est d'avoir abouti à **structurer le questionnement** de l'évaluation de la pertinence d'innovations technologiques en agriculture, comme les plantes transgéniques. L'approche systémique contribue à concrétiser au domaine des innovations en agriculture l'approche qui conçoit le développement durable comme une nouvelle heuristique politique¹⁸³.

La structuration du questionnement, traduite en méthodes et en propositions¹⁸⁴, permet d'équiper les acteurs d'une filière agroalimentaire, les chercheurs et les institutions de recherche pour une attitude critique et réflexive sur leurs activités de recherche, sur les processus d'innovation et sur des enjeux agronomiques qui ont des implications qui dépassent *le champ*.

En structurant les questions, elle permet aussi d'améliorer l'information fournie aux décideurs publics. Le cadre formé par ces propositions permet de distinguer des choix d'innovations, de mieux comprendre leurs implications, mais aussi d'introduire la nécessité de les justifier. L'approche est complémentaire aux évaluations du risque de biosécurité, qu'elle ne remplace pas. Elle leur donne un cadre plus cohérent. Dans cette recherche, l'accent est d'ailleurs mis sur la prospective et sur les voies d'innovations, pour ancrer la réflexion politique en amont du processus d'innovation et non pas uniquement au moment précis de l'évaluation d'innovations déjà conçues.

Le sens du questionnement est donc double : d'une part les scientifiques peuvent (et doivent) pouvoir appréhender et questionner comment les connaissances et technologies qu'ils produisent s'insèrent dans la société et dans des politiques d'innovation, et d'autre part les responsables politiques doivent pouvoir questionner les connaissances scientifiques qui leur sont soumises.

Les résultats produits par cette approche gagneraient cependant à être davantage confrontés aux points de vue et expériences des acteurs des filières et des systèmes de recherche que cela n'a été possible durant la thèse, tant pour les deux études de cas qu'en vue de structurer le questionnement pour tous les cas. Cette confrontation serait susceptible d'améliorer les résultats et surtout de permettre leur utilisation dans une

¹⁸¹ L'approche systémique a été effectuée en deux temps : d'abord sur des études de cas précises (Chapitre 3 à 6) et ensuite sur les systèmes de recherche agronomique de manière plus générale (Chapitre 7). Pour chaque étude de cas, elle portait sur le(s) problème(s) agronomique(s) que les innovations visaient à résoudre et sur la manière dont les acteurs des filières agroalimentaires pensaient et géraient l'innovation. Pour une discussion approfondie des avantages et inconvénients de l'approche systémique menée au niveau des études de cas, voir pp 295-312.

¹⁸² Voir *Validation des résultats & interaction avec les acteurs de la filière*, p 308.

¹⁸³ Deux approches du développement durable coexistent : les approches heuristique et normative (voir p 392).

¹⁸⁴ Les propositions méthodologiques sont détaillées dans le Chapitre 9 (p **Erreur ! Signet non défini.**) et les propositions politiques dans le Chapitre 8 (p 357)

réflexion collective. Elle pourrait s'envisager dans un cadre de recherche-action ou recherche-intervention¹⁸⁵.

Les propositions en matière de méthodologies de gestion de l'innovation ne sont ni parfaites, ni complètement opérationnelles. Elles ne sont pas, par exemple, aussi précises que les protocoles des évaluations du risque de biosécurité qui sont le cadre de référence dominant pour l'évaluation des innovations, en particulier dans le cas des plantes transgéniques. Il faut cependant accepter que cette relative imperfection est normale, et à double titre. D'abord, il est naturel qu'une approche allant dans le sens d'une plus grande intégration, et prenant en compte des systèmes plus larges, soit moins précise que celles qui réduisent drastiquement le degré de complexité pris en compte. Ensuite, il faut rappeler que la vision positiviste du progrès scientifique influence nos sociétés depuis 300 ans, tandis que les travaux qui démontrent l'ambiguïté du progrès scientifique, qui intègrent les différentes dimensions de la durabilité dans des approches théoriques, et qui traduisent ces préoccupations dans des approches conceptuelles et des méthodologies concrètes n'ont qu'une trentaine d'années. Il reste encore une importante marge de manœuvre d'amélioration et de diffusion de ces approches pour construire une 'démocratie technique' et des choix technologiques démocratiques (Sclove, 1995 ; Callon et al., 2001). Cependant, tout comme les évaluations scientifiques des risques de biosécurité sont d'une précision artificielle, il ne faut pas attendre que les approches systémiques aboutissent à une perfection simulée. Les deux approches, réductionniste et systémique, restent des outils de compréhension du monde et d'aide à la décision au service de la politique, qui est elle-même un art.

Une vision systémique et dynamique de l'innovation

L'approche systémique a abouti à l'application au champ de l'agronomie de plusieurs concepts qui y avaient rarement été utilisés. Il s'agit des *choix technologiques*, des *voies d'innovations* (ou *trajectoires technologiques*), des *déterminants d'innovation*, du *lock-in* (verrouillage technologique) et de la *path dependence* (dépendance au chemin). Issus d'autres disciplines, certains de ces concepts n'ont été appliqués que dans une ou deux études de cas. Leur importance conceptuelle a été peu approfondie pour le domaine de l'étude de l'innovation en agronomie, en particulier pour les voies d'innovations et le lock-in.

La thèse a démontré l'importance de ces concepts pour l'étude de l'innovation en agronomie, en particulier pour le génie génétique. Il n'est plus possible, en arboriculture fruitière, d'expliquer l'échec commercial des variétés résistantes par la seule affirmation que « *ces pommes ne sont pas bonnes, le consommateur ne les apprécie pas* ». Il est indispensable, dans une démarche scientifique d'analyse des processus d'innovation, de déconstruire la signification d'un commentaire du type « *ça semble aller à contre-courant, les mélanges variétaux* ».

Les concepts de voies d'innovations et ceux de *lock-in* et de *path dependence* ont structuré l'approche. Ces concepts sont issus de l'approche évolutionniste de l'économie

¹⁸⁵ Pour plus de détails sur une étape d'interaction avec les acteurs, voir p 460-463.

mais sont aussi des propriétés émergentes des systèmes, filières agroalimentaires ou systèmes de recherche¹⁸⁶.

Le concept de **voies d'innovations**¹⁸⁷ permet de sortir de l'analyse *au cas par cas* qui est omniprésente dans les travaux d'évaluation des plantes transgéniques. Il rend en effet possible une analyse des ensembles d'innovations qui ont une certaine cohérence, complétant ainsi l'approche qui considère les innovations comme des objets isolés. Ce concept permet aussi d'adopter une **vision dynamique** de l'innovation : les innovations viennent de quelque part et vont quelque part, elles s'insèrent dans des voies (ou des trajectoires).

Le **lock-in** et la **path dependence** complètent cette compréhension dynamique des processus d'innovation. Le premier concept est statique (le lock-in décrit une situation actuelle) et le second a une dimension plus dynamique (la path dependence décrit une trajectoire passée)¹⁸⁸. Ces deux concepts ont permis de structurer l'analyse des interactions qui existent entre les voies d'innovations et leur environnement social, économique et politique. Ils ont donné un cadre utile à la compréhension de l'échec ou du succès des voies d'innovations. L'analyse des interactions s'est effectuée par l'identification des déterminants d'innovation, qui permet de comprendre pourquoi une innovation est développée plutôt qu'une autre, et par celle des facteurs d'adoption des innovations, qui permet de comprendre pourquoi cette innovation est diffusée (ou non) du laboratoire au champ. L'accumulation de déterminants d'innovation aboutit à une situation de lock-in, tandis que certains déterminants ou facteurs d'adoption expliquent des situations de path dependence.

La combinaison des concepts de voies d'innovation, de lock-in et de path dependence a **trois implications** pour la compréhension des processus d'innovation et la création de politiques qui influencent ceux-ci.

La première implication est la nécessité de réaliser de **nouveaux allers et retours entre présent, avenir et passé** dans le domaine de l'étude et de la gestion des sciences, technologies et innovations. L'analyse des innovations actuellement en cours de développement dans les laboratoires et champs expérimentaux doit être reliée à celle des innovations existantes et passées qui ont déjà été développées. Cette approche dynamique est nécessaire car les changements climatiques, la question énergétique et les dégradations environnementales sont en train de changer les contextes économiques et

¹⁸⁶ L'économie évolutionniste (*evolutionary economics*) est l'approche de l'économie qui insiste sur une vision dynamique des processus économiques et sur les interdépendances complexes des systèmes économiques, en se centrant en particulier sur les effets des changements technologiques. Cette approche (Schumpeter, Nelson & Winter) est différente de l'école classique qui assure qu'il n'y a qu'une seule possibilité qui peut être atteinte, quels que soient les conditions initiales ou les événements intermédiaires. Sur le fait que ces concepts sont des propriétés émergentes, voir p 447.

¹⁸⁷ Dans cette thèse, le concept de voie d'innovations est préféré à celui de trajectoire technologique (p 328) bien que ce dernier soit plus fréquent dans la littérature. Dans un objectif de comparer des logiques d'innovation aussi différentes que le génie génétique ou l'agroforesterie, il est nécessaire de trouver des termes les plus neutres possibles. Or, en agronomie comme dans d'autres domaines, le terme 'technologique' est linguistiquement connoté à '*high-technology*' (hi-tech). Le choix de 'voie d'innovations' par rapport à 'trajectoire technologique' permet donc de ne pas perpétuer ce travers linguistique qui ancre dans l'étude de l'innovation un à priori favorable aux trajectoires *high-tech* par rapport aux trajectoires *low-tech*, alors que toutes deux peuvent avoir une pertinence équivalente par rapport aux problèmes et objectifs de la société.

¹⁸⁸ Sur les concepts de path dependence et de lock-in, voir en particulier pp 287-288, 348 et 404-405.

politiques qui formaient l'environnement de sélection des innovations d'hier et d'aujourd'hui, mais ne peut être celui des innovations de demain¹⁸⁹. Ce nouveau contexte justifie l'importance d'une vision dynamique par rapport aux innovations du passé qui sont restées marginales mais pourraient avoir une plus grande importance dans un scénario dont l'environnement économique et politique, adapté au nouveau contexte écologique, leur serait plus favorable.

Les analyses des facteurs d'adoption et des déterminants d'innovation dépassent donc la reconstitution historique des processus d'innovation. Elles permettent d'alimenter une prospective par scénarios, approche résolument orientée vers l'avenir. C'est en désacralisant l'échec ou le succès des innovations par une distinction entre les faits scientifiques (la performance d'une variété par exemple) et les influences de l'environnement de sélection (les conditions techniques de l'essai, la manière de calculer cette performance ou encore l'aspect 'contre tendance' des mélanges variétaux) qu'elles permettent d'imaginer des scénarios de régimes d'innovation différents de ceux d'aujourd'hui ou du passé.

Ces allers-retours entre présent, passé et avenir ne sont pas évidents. Aujourd'hui, les instances qui gouvernent les sciences et technologies s'estiment 'tournées vers l'avenir', comme l'exprimait un haut fonctionnaire de la Commission Européenne : "*We are into the future. We only do prospective analysis. We don't assess what has been done in the past*". Cette ambition est une myopie naïve. L'orientation tournée vers le futur des politiques d'innovation est en fait très largement dépendante du passé, même si cet ancrage est souvent non-conscient. Les innovations d'aujourd'hui sont permises par les investissements de recherche d'hier. Or, ceux-ci étaient aussi des choix scientifiques et technologiques (d'autres choix étaient possibles).

Bien que cette thèse soit essentiellement qualitative, il a été montré par ailleurs que les efforts de recherche passés pouvaient être mesurés quantitativement, par une analyse des *stocks de connaissances*¹⁹⁰. L'étude des stocks de connaissance n'a poursuivi jusqu'ici que le seul but de mesurer l'effort scientifique général. Des tentatives ont été faites dans cette thèse pour réaliser une analyse des stocks de connaissances désagrégée en fonction des paradigmes technologiques suivis par les recherches, afin de discerner les efforts réalisés sur les différentes voies d'innovations (lutte biologique, génie génétique, agroforesterie, etc)¹⁹¹. Ces tentatives restent à approfondir, mais elles permettent déjà d'avancer qu'une analyse systématique et désagrégée des stocks de connaissances démontrerait que la productivité de l'agriculture industrielle repose autant sur les importants et bien connus subsides agricoles que sur les moins connus stocks de connaissances scientifiques, créés depuis plus d'un siècle en fonction du paradigme chimique (génie chimique) puis du paradigme génétique (génie génétique).

La deuxième implication de la combinaison des concepts de voies d'innovations et de lock-in est de proposer, avec le terme *génie agroécologique*, une nouvelle vision sur un certain nombre d'applications des principes écologiques aux systèmes agricoles (lutte biologique, mélanges variétaux, agroforesterie, etc.). Actuellement, ces possibilités

¹⁸⁹ Au sujet de ce nouveau contexte, voir p 398-405 Contrainte de changement de paradigme en agronomie.

¹⁹⁰ Aux Etats-Unis, il a été calculé que les stocks de connaissances cumulés depuis 1850 pouvaient être estimés à 11 fois la valeur de la production agricole de l'année 1995. En d'autres termes, chaque dollar de production agricole de 1995 reposait sur 11\$ de stocks de connaissances accumulés (voir p 349).

¹⁹¹ Pour le projet d'analyse désagrégée des stocks de connaissances, voir p 459-460.

écologiques sont vues comme des *pratiques* et on parle d'*agroécologie*. Or, l'analyse des déterminants d'innovation et le concept de lock-in permettent de montrer que ces possibilités agroécologiques ont été bloquées dans leur développement, et le sont parfois encore, pour des raisons non scientifiques, malgré leur potentiel. Dans une approche dynamique et tenant compte du nouveau contexte lié aux changements climatiques, ces possibilités écologiques doivent être considérées comme des *voies d'innovations* qui pourraient être (devront être pour certaines) développées et diffusées dans des scénarios de développement qui présenteront davantage d'incitants que d'obstacles pour ces voies. C'est pour cela que le terme de génie agroécologique a été proposé. La précision linguistique ajoutant le terme *génie* au terme *agroécologie*, plus connu, marque qu'il s'agit bien d'une voie d'innovations au même titre que le *génie génétique*.

Avancer que l'application des principes écologiques à l'agriculture est une voie d'innovations n'est pas anodin. Cela montre que le **changement de paradigme** sur lequel l'agriculture est fondée, demandé par de nombreux auteurs et crucial vu le nouveau contexte écologique global¹⁹², n'est pas un 'retour en arrière' ou un 'refus des progrès scientifiques', mais bien une nouvelle possibilité de fonder la conception des systèmes agricoles sur d'autres bases qu'aujourd'hui. Le génie agroécologique, comme référentiel pour l'agronomie (paradigme technologique basé sur l'écologie, voir p 329), ne rejette théoriquement pas les apports des paradigmes de la chimie et de la génétique, mais il leur donne un cadre dans lequel leur utilisation doit être (re)pensée. Ce référentiel est cependant freiné dans les systèmes de recherche agronomique¹⁹³.

La troisième implication est de porter un nouveau regard sur la notion de **choix technologiques** en agriculture. Le concept de choix technologiques avait été jusqu'ici interprété essentiellement de manière réductrice car il était limité à la question des nouvelles biotechnologies. Il se restreignait à *un choix technologique* (le terme est au singulier, il exprime le choix ou le refus d'une technologie, le génie génétique par exemple), et non pas à *des choix technologiques* (terme au pluriel : des choix parmi plusieurs voies d'innovation pour résoudre les mêmes problèmes et objectifs). Cette seconde signification est plus large, elle englobe la première et la dépasse. Le choix technologique binaire (acceptation ou refus des OGM) avait occulté cette pluralité des choix technologiques.

La manière dont la recherche a abouti à redynamiser cette notion de choix technologiques en agriculture est originale. Effectivement, c'est un éloignement par rapport à l'approche dominante de l'analyse des OGM, centrée sur leurs risques avérés ou potentiels, qui a abouti à l'intérêt pour la gestion des problèmes agronomiques et à la gamme d'innovations qui pourraient permettre de les résoudre demain, plantes transgéniques et autres¹⁹⁴. En démontrant que l'innovation ne doit plus se penser par rapport à elle-même, mais par rapport à l'objectif qu'elle vise, l'approche systémique déplace le référentiel de l'évaluation de l'innovation. Un critère de pertinence vient s'ajouter à celui de biosécurité. La question politique posée par le développement du génie génétique est modifiée.

¹⁹² Voir Chapitre 8, Contrainte de changement de paradigme en agronomie, voir pp 398-405.

¹⁹³ Voir Chapitre 7, Genetic engineering versus agroecological engineering: agricultural research systems as a selection environment for technological paradigms, pp 326-357.

¹⁹⁴ Cette thèse traite en effet de manière tout à fait imparfaite les risques précis des pommiers et des froments transgéniques pour la santé et l'environnement.

Dans deux autres domaines que l'agriculture, la comparaison des différents choix technologiques a émergé comme réelle question politique depuis un certain temps. Le premier est la production d'énergie : la comparaison des modes de production et de consommation (nucléaire, gaz, énergies renouvelables, utilisation rationnelle de l'énergie, etc.) est débattue dans les médias de masse, jusqu'à prendre une place dans les élections présidentielles françaises et législatives belges en 2006-2007. Au niveau scientifique, des scénarios pour l'avenir sont construits sur base des connaissances actuelles et des possibilités de modifier nos systèmes économiques et sociaux.

Le second domaine est celui des produits chimiques. La comparaison des choix technologiques a émergé plus indirectement dans ce domaine, via le débat sur la directive européenne REACH visant à une meilleure régulation des substances chimiques. Une proposition bien particulière visait à y introduire un *principe de substitution*. Ce principe proposait de légitimer une interdiction des substances les plus néfastes pour la santé humaine et l'environnement lorsque des alternatives moins néfastes existaient pour la même fonctionnalité. Cette proposition ambitieuse n'a pas été retenue face au puissant lobby de l'industrie chimique. Elle reposait néanmoins sur le principe d'une comparaison des technologies et aurait introduit un important mécanisme de sélection des innovations. Une version allégée de ce principe a toutefois été retenue : les industries produisant les substances les plus toxiques doivent faire des recherches pour trouver des alternatives à ces substances. Le principe de substitution est donc retenu au niveau de la recherche et du développement de produits mais pas de l'autorisation sur la diffusion des innovations.

Cette thèse contribue à démontrer que la comparaison des choix technologiques a également sa place dans le domaine des innovations agronomiques (agriculture, environnement et alimentation).

L'acceptation de la pluralité des choix technologiques a comme conséquence concrète de renouveler l'utilisation du concept économique de *coûts d'opportunité* dans le débat sur les OGM. Pour démontrer l'intérêt de ceux-ci, une approche est en effet de calculer leur valeur positive pour la société. Ce calcul suit souvent une logique de court terme (les gains à court terme sont survalorisés par rapport aux coûts des éventuels risques à long terme) et en ne tenant compte que des seules dimensions privées (les gains pour l'agriculteur) sans y intégrer les externalités environnementales et socio-économiques (éventuel effondrement de l'efficacité des toxines Bt, concentration des filières agroalimentaires, etc.) ou les incertitudes qui pèsent sur l'innovation. En conséquence, ce type de calcul aboutit souvent à démontrer que refuser les plantes transgéniques équivaudrait à ne pas réaliser le gain économique calculé.

Or, dans un objectif de cohérence, le calcul des coûts d'opportunité doit être symétrique. Si le coût d'opportunité du *refus* des OGM est en effet la valeur de l'ensemble des impacts positifs et négatifs que leur utilisation engendrerait, il faut aussi calculer le coût d'opportunité de l'*acceptation* des OGM (efforts de recherche, promotion, coût de la réglementation, etc). Ce coût est la valeur de l'option non réalisée du fait de ce choix technologique des plantes transgéniques étant donné que, dans une acceptation de la pluralité des choix technologiques, la situation n'est pas « soit les OGM, soit l'agriculture actuelle ». Or, le développement du génie génétique n'est pas neutre sur celui de ses alternatives, celui du génie agroécologique par exemple. Les choix technologiques se traduisent par des effets directs (comme l'allocation des budgets de recherche et le recrutement des chercheurs en fonction de profils particuliers) ou indirects (plusieurs auteurs, cités dans ce travail, estiment par exemple que le génie

génétique retarde la prise de conscience d'une nécessité de changement de paradigme)¹⁹⁵. Les recherches ne peuvent naturellement pas toutes être catégorisées dans l'une ou l'autre voie d'innovations. Les interactions entre voies d'innovations restent à analyser de manière bien plus approfondie pour éviter les simplifications, car les processus d'innovation ne sont pas linéaires. Cependant, en acceptant que le développement du génie génétique entraîne partiellement un sous-développement du génie agroécologique, le calcul du coût d'opportunité du génie génétique doit inclure la valeur de l'ensemble des impacts positifs et négatifs qui auraient été engendrés par les innovations agroécologiques qui auraient été développées et diffusées sans le choix technologique positif du génie génétique. Ce raisonnement ne force pas à des choix binaires (OGM ou agroécologie), mais peut par contre entraîner une meilleure réflexion sur l'innovation en termes de 'portefeuille d'investissements' et de compatibilité ou d'incompatibilité entre les différentes voies d'innovations et de développement.

Agronomie politique

L'approche systémique développée dans cette thèse a été alimentée par différentes disciplines, méthodologies et types d'observations ou informations analysées. Les champs couverts incluent les *agrobiosciences*, de la biologie moléculaire à l'économie rurale en passant par la phytopathologie et l'agriculture comparée. Des concepts et méthodologies d'autres champs disciplinaires ont aussi été utilisés, comme ceux de l'économie de l'innovation ou de la sociologie de l'innovation. L'utilisation de ces nombreux concepts a permis de mieux penser et gérer l'innovation. Les travaux existants sur les plantes transgéniques ne tenaient, en grande partie, pas compte des implications de ces concepts discutés ci-dessus. L'interdisciplinarité a donc bien permis de nourrir la discipline des sciences agronomiques. Elle peut le faire encore davantage.

Cette recherche a jusqu'ici été qualifiée comme une *approche systémique* et elle est aussi interdisciplinaire. On peut cependant associer cette recherche plus précisément à *l'agronomie politique*. Ce terme a été proposé par Jean-Claude Flamant dans un article de réflexion sur ce qu'ont représenté et représentent aujourd'hui l'agronomie ou les sciences agronomiques (Flamant, 2006). Celles-ci sont en pleine évolution depuis cinquante ans, influencées par la modernisation de l'agriculture autant qu'elles l'ont influencée. Flamant affirme que les travaux de René Dumont ou Marcel Mazoyer correspondent à un élargissement de la conception du rôle de l'agronome qui inclut des conceptions politiques sur l'agronomie et sur le rôle de l'agronome¹⁹⁶.

Bien que l'auteur ne le propose pas, cet élargissement appelle à la construction de savoirs spécifiques. L'articulation de l'agronomie politique comme discipline est donc un débat qui doit être lancé.

L'agronomie politique n'aurait pas pour finalité celle des sciences de la nature, la compréhension et la domination de la nature, mais celle des sciences critiques : l'émancipation de la société, c'est-à-dire nourrir la capacité de la société à se réfléchir et

¹⁹⁵ Voir Chapitre 8 pp 398-405.

¹⁹⁶ Voir notamment Mazoyer (2002a et b), Dumont (1973,1974).

à agir sur elle-même¹⁹⁷. Elle aurait des dimensions réflexives, politiques, critiques et d'intégration.

Le domaine concerné par cette discipline serait le triangle agriculture-environnement-alimentation, qui implique forcément des aspects humains (la santé notamment), sociaux et économiques (par exemple le travail et l'emploi dans les filières agroalimentaires). Pour synthétiser brièvement l'importance de ce domaine, il n'est pas inutile de rappeler que l'agriculture couvre la moitié de la superficie du territoire européen et que l'alimentation est le rapport quotidien de l'homme avec la nature.

L'agronomie politique incluerait l'analyse politique des différents choix agronomiques et systèmes agroalimentaires possibles tout comme l'économie politique étudie les différents modes d'organisation de la production des richesses et de leur répartition que les Etats peuvent mettre en œuvre ou influencer. La nécessité d'une approche réflexive et critique vient du fait que l'agronomie est une *science systémique*, c'est-à-dire une science qui influence son propre domaine de recherche (Alroe and Kristensen, 2002). Si l'agronomie influence l'agriculture, l'environnement, l'alimentation, l'économie et la société, elle doit en effet se réfléchir elle-même et développer une approche critique au sens de Ladrière (1977), c'est-à-dire une approche « *survolant à chaque instant ce qu'elle est en train d'accomplir, la portée de ce qu'elle affirme, effectue et projette* ».

Les questions centrales de l'agronomie politique seraient celles des choix technologiques, des choix de systèmes de production alimentaires (filiales agroalimentaires) et de l'intégration de ces systèmes par rapport aux enjeux sociaux, environnementaux et démocratiques. Cette thèse a par exemple montré que les connaissances scientifiques et les technologies s'inséraient dans des voies d'innovations et que celles-ci pouvaient renforcer certaines voies de développement ou certaines catégories d'acteurs dans la société. On sait aussi que les choix technologiques sont des choix de société : ils font partie du champ de la démocratie et l'influencent (Bonneuil et Sintomer, 2003, Sclove, 1995).

Cette finalité réflexive et politique serait complémentaire à celle d'intégration, qui devrait être renouvelée. Etant donné que les sciences agronomiques s'éclatent en sous-disciplines mais que le projet d'un développement durable s'affirme à la fois comme contrainte et comme souhait collectif, l'intégration des savoirs des différentes disciplines -agronomiques et non-agronomiques- est un enjeu crucial, d'ailleurs reconnu comme tel (INRA, 2002). L'agronomie politique aurait des liens étroits avec certaines disciplines existantes (économie rurale, politique agricole, gestion des filières, sociologie de l'environnement, histoire des sciences et aménagement du territoire), mais elle ne s'y restreindrait pas.

C'est à l'intérieur de cette discipline que pourrait s'imaginer la prospective par scénarios et la réflexion sur les futurs possibles des domaines inclus dans le triangle agriculture-alimentation-environnement.

¹⁹⁷ Habermas distingue les différentes sciences en fonction de leurs finalités : la compréhension et la domination de la nature est la finalité des sciences de la nature, l'interprétation est celle de sciences comme la psychanalyse et l'émancipation de la société est celle des sciences critiques comme la sociologie (Haber, 2001). Dans cette thèse, l'analyse des logiques d'innovation à l'œuvre dans des filières agroalimentaires a été effectuée dans un double objectif : une meilleure compréhension des processus d'innovation, mais surtout une amélioration des politiques publiques liées à l'innovation. La finalité est donc bien celle d'une science critique et non des sciences naturelles.

Politiques d'innovations, démocratie et mondialisation

Sur le plan politique, l'application à l'agronomie des approches systémiques et évolutionnistes conduit à renforcer les analyses qui **invalident l'approche néoclassique de l'économie**, si cela était encore nécessaire. Dans une perspective systémique et dynamique, la politique et la gestion de l'innovation ne peuvent être laissées aux modèles basés soit sur le seul progrès des sciences et technologies (modèle *technology push*) soit sur la demande du marché (modèle *market pull*). Ni le *technology push* ni le *market pull* ne peuvent arriver à développer et diffuser optimalement les innovations les plus pertinentes pour faire face aux défis majeurs tels que les changements climatiques, la question énergétique, la dégradation environnementale et l'érosion de la biodiversité. Ces deux modèles rencontrent en effet des échecs de marché (*market failure*) et des échecs systémiques (*system failure*).

L'approche systémique montre que l'action publique (un *regulatory push*) est cruciale pour 'civiliser' le processus de destruction créatrice du progrès scientifique et technologique mis en lumière par Schumpeter¹⁹⁸.

C'est cette conclusion qui a entraîné le travail de propositions de politiques d'innovation liées à cette vision systémique et dynamique de l'innovation. Des politiques 'de sortie de lock-in', des politiques 'anti lock-in' et des politiques expérimentalistes en terme de gestion de l'innovation ont été proposées (voir pp 408-440). La prospective par scénarios y a une place importante (pp 412-414 et 371-379). Ces politiques d'innovation permettent de sortir de la vision 'à géométrie variable' de l'innovation qui prévaut actuellement (pp 320-326).

Les pouvoirs publics peuvent-ils toutefois mettre en œuvre ces propositions dans le contexte actuel de **mondialisation** ?

La mise en compétition des Etats par la finance globalisée contraint aujourd'hui ceux-ci à une série de standardisations qui réduisent drastiquement les marges de manœuvre des pouvoirs publics nationaux. Suite à une vague de déréglementations qu'ils ont eux-mêmes décidées depuis le milieu des années 1970, les Etats doivent aujourd'hui être compétitifs sur le plan de leurs législations économiques, fiscales, sociales et environnementales pour attirer l'investissement extérieur, clé de stabilité ou de croissance dans une économie globalisée et libéralisée. La notion d'**état compétitif** (*competition state*) a d'ailleurs été proposée pour exprimer cette situation (Cerny, 1997). Cette mise en compétition des Etats entraîne une diminution des possibilités de choix démocratiques, c'est-à-dire une érosion de la démocratie elle-même (voir notamment Cerny (1999), Hertz (2002), Stiglitz (2003), Coutrot (2005)).

L'innovation est devenue un des principaux outils de cette compétition. L'état compétitif doit adopter une politique d'innovation compétitive. Un extrait du discours du Président François Mitterrand lors de l'inauguration des bâtiments du Laboratoire de biotechnologies de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) est explicite à ce sujet : « *Nous voulons assigner à notre dispositif de recherche une place*

¹⁹⁸ Le terme 'civiliser le processus de destruction créatrice' est de Godard (2004) : pour lui, le développement durable donne cette mission au progrès scientifique et technologique.

*prééminente dans la guerre économique qui se livre dans le monde et qui décidera de notre statut de grand pays scientifique et industriel »*¹⁹⁹.

Le domaine de l'agriculture ne fait pas exception. Les nouvelles biotechnologies agricoles sont même un des terrain d'enjeux géopolitiques internationaux, comme le démontre la plainte déposée à l'OMC contre le moratoire européen en matière d'OGM. Les Etats sont donc forcés de choisir la ou les voies d'innovations qu'ils peuvent soutenir sur base d'un critère prépondérant : la capacité de ces voies d'innovations à maintenir ou faire progresser leur position concurrentielle sur l'échiquier mondial. L'Union Européenne se réfère d'ailleurs à la nécessité de ne pas se laisser distancier par les Etats-Unis pour justifier ses politiques biotechnologiques. Pour cela, les Etats sont amenés à s'allier aux entreprises privées, entre autres les entreprises multinationales qui les mettent en compétition²⁰⁰.

En d'autres mots, les Etats sont aujourd'hui, comme les agriculteurs, sur un tapis roulant technologique (*technological treadmill*)²⁰¹.

Le génie génétique n'est pas neutre face à cette mondialisation néolibérale.

Les plantes transgéniques s'insèrent en effet parfaitement dans cette vision néolibérale de l'action publique. L'avantage de cette voie d'innovations est en effet que « tout est dans la semence ». La semence est en effet le seul élément du système agricole qui doit être modifié. La promotion et la diffusion de cette voie d'innovations ne nécessitent ni changement de politique agricole ni moyens publics d'encadrement des agriculteurs. Des acteurs privés, pouvant sécuriser leur retour sur investissement grâce à des brevets (et la vente d'intrants de synthèse liés à ces plantes), s'occupent de la diffusion de l'innovation. Pour certains, cette *Révolution Génétique* s'assimile à une poursuite de la Révolution Verte, qui était aussi basée sur la diffusion de semences améliorées et la promotion d'un 'paquet technologique associée à ces semences. Le développement des plantes transgéniques se fait pourtant dans un contexte et selon des logiques totalement différentes de la Révolution Verte. Tandis que la Révolution Verte était un effort d'organisations internationales publiques, la Révolution Génétique est un projet globalement privé, piloté par des multinationales²⁰². Le génie génétique est promu par ces acteurs dominants sur le plan économique et par des acteurs dominants sur le plan géopolitique au niveau mondial comme l'administration américaine²⁰³. La manière dont la technologie de la transgenèse s'insère aujourd'hui dans le modèle économique et politique permet aux acteurs dominants d'asseoir et renforcer leurs pouvoirs, ce qui a par exemple pour effets d'accélérer la concentration de l'industrie agroalimentaire, d'augmenter les situations de monopoles, et d'intensifier la dépendance des agriculteurs²⁰⁴.

¹⁹⁹ Cité par Le Monde, 8 octobre 1988.

²⁰⁰ L'entreprise Monsanto UK Ltd. a par exemple coordonné un programme de bourses européennes Marie Curie sur la génomique du blé en lien avec la fusariose.

²⁰¹ Cochrane (1979) a montré, dans sa théorie sur le *technological treadmill* que la technologie est, pour les agriculteurs, un 'tapis roulant sans fin' (*treadmill*), voir p 421.

²⁰² La comparaison entre les deux est brillamment exposée par Parayil (2003).

²⁰³ Sur les efforts de l'administration américaine pour adapter les législations nationales et internationales aux biotechnologies, pour lesquelles les Etats-Unis avaient un avantage, voir Russel (1999).

²⁰⁴ Voir notamment ESRC (1999), DG AGRI (2000), Levidow (1998), Falck-Zepeda et al. (2002), Kempf (2004).

A l'inverse, les innovations agroécologiques sont susceptibles de renforcer d'autres catégories d'acteurs, à commencer par les agriculteurs et les communautés rurales, et à augmenter nos capacités à faire face aux enjeux écologiques cruciaux. Le développement de ces innovations, au contraire de celui des plantes transgéniques, est associé au maintien et même à une consolidation des capacités des pouvoirs publics dans les domaines de la recherche agronomique, de la diffusion de l'innovation (vulgarisation, encadrement des producteurs) et des politiques agricoles (modification de la politique agricole commune et des accords agricoles internationaux).

Cette seconde approche des politiques d'innovation va à contre-courant du néolibéralisme.

Les propositions politiques qui concrétisent l'approche systémique doivent s'intégrer dans un scénario qui rende aux pouvoirs publics, et non à la finance, le rôle central de traduire les aspirations collectives des citoyens en décisions politiques et réglementations. Elles n'empêchent pas l'utilisation des connaissances acquises par les importants efforts de génomique végétale et de biologie moléculaire, soit par le génie génétique ou par l'utilisation des autres outils liés aux biotechnologies modernes (*smart breeding* par exemple), mais elles leur donne un cadre orienté par le public et non le privé.

Une complémentarité des deux voies d'innovations est possible, mais elle doit être pensée et gérée. Cela nécessite plusieurs prérequis : i) stimuler le développement de la recherche agroécologique afin d'établir un équilibre avec le génie génétique ii) penser le génie génétique à l'intérieur d'un référentiel agroécologique iii) redéfinir la question de la brevetabilité du vivant²⁰⁵, iv) établir un réel bilan des risques sanitaires et environnementaux des plantes transgéniques et v) établir un réel bilan de la possibilité du développement à court terme d'une 'seconde génération' de plantes transgéniques 'durables'²⁰⁶.

Cette seconde approche des politiques d'innovation n'est pas celle suivie par les principaux acteurs agricoles au niveau mondial (Etats-Unis, Europe, Brésil,...). L'engagement total de certains de ces pays dans la seule voie du génie génétique est au contraire un exemple qui illustre bien le **syndrome du fou rationnel**. Ce concept a été proposé par l'économiste Amartya Sen dans une critique des hypothèses de base de la théorie économique classique (Sen, 1977). Sen a décrit l'individu considéré par cette théorie comme un 'fou rationnel' (*rational fool*) : une personne qui prend des décisions dans son seul intérêt et qui sont logiques à court terme. Cette rationalité serait cependant une folie, car ses décisions affectent la société qui l'entoure ainsi que son environnement à long terme. Sen critique sévèrement ces hypothèses. Les individus n'agissent pas systématiquement comme des fous rationnels. Les Etats peuvent par contre être caractérisés comme des fous rationnels en matière environnementale notamment, car ils ne considèrent pas les effets à long terme et les externalités négatives (Ashby, 2002)²⁰⁷.

²⁰⁵ Voir à ce sujet l'importance du choix des modèles de partenariat public-privé, p 337 et 441.

²⁰⁶ Pour les incertitudes sur le potentiel du génie génétique, voir p 29 et 400-405.

²⁰⁷ Hardin (1968) a vulgarisé cette idée d'une autre manière, en expliquant la 'tragédie des biens publics' (*The tragedy of the Commons*). Ashby (2002) a évoqué ce problème spécifiquement pour l'agronomie et l'agriculture.

A cet égard, l'engagement des Etats-Unis ou de l'Argentine dans les plantes transgéniques est une décision rationnelle quand elle est pensée à partir de critères économiques et financiers ne tenant compte que du court terme. Les choix d'autres pays de suivre ces décisions peuvent également sembler rationnelles, dans une logique de maintien de leur compétitivité. Si elles sont analysées sur une base systémique et sur le long terme, ces décisions peuvent cependant être jugées comme des comportements de folie. La culture de plantes transgéniques aux Etats-Unis et en Argentine ressemble en effet à une fuite en avant vers une agriculture destructrice de l'environnement et des communautés rurales, et vers des filières agroalimentaires créatrices d'inégalités, dont les premiers signes avant-coureurs sont inquiétants²⁰⁸. La prise de conscience de cette rationalité tronquée est cependant décalée dans le temps, car les externalités environnementales négatives, les irréversibilités et les conséquences du refus d'autres scénarios de développement émergent tous de manière retardée et diffuse.

La compétition des Etats sur le terrain de l'innovation n'est donc pas automatiquement bénéfique. L'état compétitif est même poussé à être un fou rationnel. Le principe de précaution et le développement durable supposent tous deux d'échapper au syndrome du fou rationnel. Le principe de précaution implique en effet des actions précoces et proportionnelles et une attitude proactive de minimisation des risques (Godard, 2004b) et le développement durable exige de considérer les dimensions économiques, sociales et environnementales. Il faut donc sortir de ce syndrome.

En conclusion, cette thèse contribue à ouvrir une 'fenêtre politique' pour construire une politique d'innovation qui 'ré-encastre' doublement l'innovation. Cette double allusion, à une fenêtre et à un cadre, n'est pas du tout innocente : chaque mot a son poids.

Le terme 'ré-encastrier' vient de l'économiste Karl Polanyi, qui a exprimé en 1944 la nécessité de ré-encastrier l'économie dans la société, car « *l'idée d'un marché s'ajustant lui-même était purement utopique* », un constat qui reste d'une parfaite acuité aujourd'hui²⁰⁹. Pour que l'économie soit ré-encastree dans la société, l'innovation doit également l'être, et doublement. L'innovation, dans le domaine agroalimentaire comme dans d'autres domaines, doit être 'encastree' à la fois dans les aspirations démocratiques des citoyens (l'alimentation concerne chaque citoyen quotidiennement) et dans les enjeux d'aujourd'hui (changements climatiques, question énergétique, sécurité alimentaire, etc).

Le concept de 'fenêtres politiques' (*policy windows*) a été formulé par Kingdon (1984) pour théoriser le fait que les décisions politiques nécessitent la convergence de trois dimensions : la reconnaissance d'un problème, la possibilité de le résoudre par des moyens scientifiques, technologiques et politiques, et la volonté politique de résoudre ce problème. Il suffit qu'une seule de ces trois dimensions fasse défaut pour que la fenêtre reste fermée. Quand elles convergent toutes les trois, une 'fenêtre d'opportunité' s'ouvre pour une prise de décision politique.

L'approche systémique agit sur deux de ces trois dimensions. Elle démontre l'existence d'une pluralité de choix technologiques en agriculture, une question sous-estimée jusqu'ici (reconnaissance de l'existence du problème). Elle avance des propositions

²⁰⁸ Voir Benbrook (2004, 2005) et Bell (2004), Kempf (2004), Friends of the Earth (2007).

²⁰⁹ *La Grande Transformation*, l'ouvrage phare de Polanyi -une étude historique du capitalisme- débute d'ailleurs par la modernisation agricole (Polanyi, 1944).

d'innovations politiques et méthodologiques qui permettent d'analyser ces choix, notamment en articulant les voies d'innovations et les voies de développement dans une prospective par scénarios (possibilités de résolution du problème). Ces propositions peuvent permettre d'échapper à la vision de l'innovation 'à géométrie variable' et au syndrome du fou rationnel en exploitant les minces mais multiples marges de manœuvre (des pouvoirs publics, institutions de recherche et acteurs des filières agroalimentaires) qui existent entre la nécessité de s'adapter au courant dominant et de l'influencer pour le réorienter. La contribution à la dernière dimension (volonté politique de résoudre le problème) a été moins fondamentale²¹⁰.

La fenêtre n'est pas complètement ouverte. Les politiques d'innovation proposées, pour être efficaces et cohérentes, sont indissociables d'autres réorientations des politiques publiques. Cette thèse *contribue* néanmoins à son niveau, à ouvrir une fenêtre d'opportunité pour ré-encastrier l'innovation dans la société.

* * *

²¹⁰ Deux articles d'opinion ont cependant été publiés pour diffuser cette conception de l'innovation (Baret et Vanloqueren, 2006; Vanloqueren, 2006).

Bibliographie

Remarques : Les références bibliographiques des deux études de cas sont situées à la fin des chapitres concernés (p. 115 pour les pommiers et p. 242 pour le froment). Les références de l'article reproduit dans le chapitre 7 sont intégrées ci-dessous.

- Ackhoff, R.L. and Emery, F.E. (1972) On Purposeful Systems. *Aldine/Atherton*, Chicago.
- Adams, J. D (1990) Fundamental Stocks of Knowledge and Productivity Growth. *The Journal of Political Economy*, 98, 673-702.
- Adato, M. and Meinzen-Dick, R. (2002) Assessing the impact of agricultural research on poverty using the sustainable livelihoods framework. *International Food Policy Research Institute*.
- AFSCA (2005) Pesticide Residue Monitoring in Food of Plant Origin, Belgium 2005. Report of Monitoring Results Concerning Directives 90/642/EEC, 76/895/EEC and 86/362/EEC and Commission Recommendation 2005/178/EC. *Report of the Federal Agency for the Safety of the Food Chain (AFSCA)* Available on http://www.favv-afsca.fgov.be/sp/pv-pest-agri/doc_cont/Belgium2005summary.pdf.
- Agence de Coopération Culturelle et Technique (1977) Dictionnaire d'Agriculture et des Sciences Annexes. *La Maison Rustique*, Paris:
- Aggeri, F. et Hatchuel, A. (2003) Ordres socio-économiques et polarisation de la recherche en agriculture : pour une critique des rapports science/société. *Sociologie du travail*, 45, 113-133.
- Aggeri, F., Fixari, D. and Hatchuel, A. (1998) L'innovation à l'INRA : vers de nouveaux principes d'intégration du rapport science/innovation. Cahier n°15. Février 1998. Centre de gestion Scientifique. Ecole des Mines de Paris.
- Alavanja, M.C.R., Samanic, C., Dosemeçi, M., Lubin, J. and others (2003) Use of agricultural pesticides and prostate cancer risk in the agricultural health study cohort. *American Journal of Epidemiology*, 157 (9), 800-814.
- Allaire, G. (2002) Coopération, qualification professionnelle et régimes de responsabilité : la "crise" (ou la difficile mutation) professionnelle agricole. *Cahiers de recherche Sociologie Rurale*, 2002-10.
- Allaire, G. and Wolf, S.A. (2004) Cognitive Representations and Institutional Hybridity in Agrofood Innovation. *Science, Technology, & Human Values*, 29 (4), 431-458.
- Alroe, H.F. and Kristensen, E.S. (2000) Researching alternative, sustainable agricultural systems. A modelling approach by examples from Denmark. *Cybernetics & Human Knowing*, 7(4), 57-78.

- Alroe, H.F. and Kristensen, E.S. (2002) Towards a systemic research methodology in agriculture Rethinking the role of values in science. *Agriculture and Human Values*, 19, 3-23.
- Alston, J. M., Pardey, P. G. and Taylor, M. J. (2001) *Agricultural Science Policy. Changing global agendas*. The John Hopkins University Press, Baltimore and London.
- Alston, J.M., Pardey, P.G. and Roseboom, J. (1998a) Financing agricultural research: International investment patterns and policy perspectives. *World Development*, 26, 1057-1071.
- Alston, J. M., Pardey, P. G. and Smith, V. H. (1998b) Financing agricultural R&D in rich countries: what's happening and why. *The Australian Journal of Agricultural and Resource*, 42, 51-82.
- Alston, J. M., Norton, G. W. and Pardey, P. G. (1995) *Science under scarcity: principles and practice for agricultural research evaluation and priority setting*. Cornell University Press, Ithaca.
- Altieri, M.A. (2000) The ecological impacts of transgenic crops on agroecosystem health. *Ecosystem Health*, 6 (1), 13-23.
- Altieri, M. A. (1995) *Agroecology : the science of sustainable agriculture*. Second edition. Westview Press, Boulder, Colorado.
- Altieri, M. A. (1989) Agroecology: A new research and development paradigm for world agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 27, 37-46.
- Amblard, H., Bernoux, P.H., Herreros, G., et Livian, Y.F. (1996) *Les nouvelles approches sociologiques des organisations*. Seuil, Paris.
- Andersen, I.-E. and Jaeger, B. (1999) Scenario workshops and consensus conferences: towards more democratic decision-making. *Science and Public Policy*, 26 (5), 331-340.
- Anon (2006a) Remarkable Kazak apples: their resistance to disease may boost an entire industry. *Agricultural Research*, January 2006
- Anon (2006b) Travels to gather, improve apples start to bear fruit. *Agricultural Research*, January 2006
- Anonyme (2000) Priorités pour la recherche dans la filière "Grandes Cultures". Document de la Direction de la Recherche de la Direction Générale de l'Agriculture (Région Wallonne).
- Gouvernement fédéral (2000) Plan Fédéral de Développement Durable 2000-2004 (Belgique). Disponible sur <http://www.cidf.fgov.be/pub/PL200004/PL200004fr.pdf>
- Arellano-Hernandez, A. (1998) Non-reproductibilité des schémas de production socio-techniques et innovation (A propos des évolutions des traductions sur l'amélioration scientifique du maïs au Mexique) *Communication au Séminaire du 29 janvier 1998, Ecole des Mines, Paris*.
- Arora, A. and Gambardella, A. (1994) The changing technology of technological change: general and abstract knowledge and the division of innovative labour. *Research Policy* 23, 523-532.
- Arrow, K. (1963) *Social Choice and Individual Values*, Yale University Press, Yale.

- Arthur, W.B. (1989) Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-in by Historical Events. *Economic Journal*, 99 (394), 116-131.
- Ashby, J.A. (2002) Integrating research on food and the environment: an exit strategy from the rational fool syndrome in agricultural science. *Conservation Ecology*, 5 (2).
- Ashoka-Innovators for the Public. (2002) Social Entrepreneurs: Doing Sustainable Development. *The Ashoka Green Paper for the World Summit on Sustainable Development*.
- Auberson-Huang, L. (2002) The dialogue between precaution and risk. *Nature Biotechnology*, 20 (11), 1076-1078.
- Aubertot, J.N., Barbier, J.M., Carpentier, A., Gril, J.J. and others (2005) Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. *Expertise scientifique collective INRA et Cemagref*. Disponible sur <http://www.inra.fr/content/download/5797/62715/file/pesticides-0textec.pdf>
- Auclair, D. and Dupraz, C. (1999) *Agroforestry for Sustainable Land Use. Fundamental Research and Modeling with Emphasis on Temperate and Mediterranean Applications*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Badgley, C., Moghtader, J., Quintero, E., Zakem, E., Chappell, M. J., Avilés-Vásquez, K., Samulon, A. and Perfecto, I. (in press) Organic agriculture and the global food supply. *Renewable Agriculture and Food Systems*.
- Balanya, B., Doherty, A., Hoedeman, O., Ma'anit, A. and Wesselius, E. (2003) *Europe Inc. Regional & Global restructuring and the Rise of Corporate Power*. Pluto Press, London.
- Baret, P.V. et Vanloqueren, G. (2006) L'aigre-doux des plantes transgéniques. *Le Vif-L'Express* (Numéro récapitulatif 2005).
- BASF (2006) BASF Plant Science acquiert CropDesign. *Communiqué de presse BASF* 17 mai 2006.
- Bauer, H. (1990) Barriers against Interdisciplinarity: Implications for Studies of Science, Technology, and Society (STS). *Science, Technology & Human Values*, 15, 105-119.
- Bawden, R.J. (1991) Systems Thinking and Practice in Agriculture. *Journal of Dairy Science*, 74 (7), 2362-2373.
- Bawden, R.J., Ison, R.L., Macadam, R.D., Packham, R.G. and Valentine, I. (1985) A research paradigm for systems agriculture. *Agricultural Systems Research for Developing Countries, ACAIR Proceedings No. 11*, Hawkesbury, Australia, pp. 31-41.
- BCPC (2006) *Pesticide Manual*. 4th Edition. BCPC Publications. Available on <http://www.pesticidemanual.com/>.
- Beekman, V. (2004) Description of Ethical Bio-Technology Assessment Tools for Agriculture and Food Production Interim Report Ethical Bio-TA Tools (QLG6-CT-2002-02594).

- Bell, M.M. (2004) *Farming for Us All. Practical Agriculture and the Cultivation of Sustainability. Rural Studies Series of the Rural Sociological Society. College Station, PA. Pennsylvania State University Press, Philadelphia.*
- Bellon, M.R. (2005) *Participatory Research Methods for Technology Evaluation: A Manual for Scientists Working with Farmers. Mexico, D.F.: CIMMYT.*
- Bellon, S. (2005) *La Production Fruitière Intégrée en France: innovation ou rénovation? Colloque «Agronomes et Innovations», Le Pradel, 8-10 sept 2004.*
- Belz, F. M. (2004) *A transition towards sustainability in the Swiss agri-food chain (1970-2000): using und improving the multi-level perspective, in: Elzen, B., Geels, F. W., Green, K. (Eds), System Innovation and the Transition to Sustainability. Edward Elgar, Cheltenham, UK.*
- Benbrook, C.M. (2005) *Rust, Resistance, Run down soils, and Rising Costs - Problems facing soyabean producers in Argentina. Ag BioTech InfoNet Technical Paper Number 8 january 2005.*
- Benbrook, C.M. (2004) *Genetically Engineered Crops and Pesticide Use in the United States: The First Nine Years. BioTech InfoNet Technical Paper Number 7 October 2004.*
- Benyus, J. (1997) *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature. Harper Perennial, New York*
- Berkhout, F. and Hertin, J. (2002) *Foresight Futures scenarios: developing and applying a participative strategic planning tool. Greener Management International, 37 (Spring 2002), 37-52.*
- Bertrand, A., Joly, P.B., and Marris, C. (2005) *Expérimenter la démocratie technique. L'expérience française d' Evaluation Technologique Interactive des recherches sur les vignes transgéniques. Article soumis pour publication à Ethique Publique.*
- Bijman, J., Tait, J. (2002) *Public policies influencing innovation in the agrochemical, biotechnology and seed industries. Science and Public Policy, 29, 245-251.*
- Blaise, P. and Gessler, C. (1994) *Cultivar mixtures in apple orchards as a mean to control apple scab. Norwegian Journal of Agricultural Sciences, Supplement n°17 (105-112),*
- Blanchet, A. et Gotman, A. (2001) *L'enquête et ses méthodes: l'entretien. Collection Sociologie Nathan Université, 1-115.*
- Bock, A.K., Lheureux, K., Libeau-Dulos, M., Nilsagard, H. and Roddriguez-Cerezo, E. *Scenarios for co-existence of genetically modified, conventional and organic crops in European agriculture. Report by the Institute for Prospective technological Studies (IPTS), Joint Research Centre (2002).*
- Bogdan, R. and Taylor, S.J. (1975) *Introduction to qualitative research methods. John Wiley & Sons, New York.*
- Boltanski, L. et Thévenot, L. (1991) *De la justification: les économies de la grandeur. Gallimard, Paris.*
- Bonneuil, C. et Sintomer, Y. (2003) *Préface. In : Sclove, R. Choix technologiques, choix de société. Editions Charles Léopold Mayer - Descartes & Cie, Paris.*

- Bonneuil, C. et Thomas, F. (2002) Du maïs hybride aux OGM : Un demi-siècle de génétique et d'amélioration des plantes à l'INRA. *Colloque "L'amélioration des plantes, continuités et ruptures"*, Montpellier, octobre 2002.
- Borch, K. and Rasmussen, B. (2002) Commercial use of GM crop technology: Identifying the drivers using life cycle methodology in a technology foresight framework. *Technological Forecasting and Social Change*, 69 (8), 765-780.
- Bornstein, D. (2004) *How to change the world? Social entrepreneurs and the power of new ideas*. Oxford University Press, Oxford.
- Bousquet, P.; Ciais, P.; Miller, J.B.; Dlugokencky, E.J.; Hauglustaine, D.A.; Prigent, C.; et al. (2006) Contribution of anthropogenic and natural sources to atmospheric methane variability. *Nature* 443 (7110):439-443.
- Braibant, M. (2004) Evaluation systémique de la pertinence de la betterave transgénique résistante à la rhizomanie. *Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de bio-ingénieur, Université catholique de Louvain*.
- Brewer, M. J. and Elliott, N. C. (2004) Biological control of cereal aphids in North America and mediating effects of host plant and habitat manipulations. *Annual Review of Entomology*, 49, 219-242.
- Brod, S., Klonsky, K., Tourte, L., Duncan, R., Hendricks, L., Ohmart, C. and Verdegaal, P. (2004) Influence of farm management style on adoption of biologically integrated farming practices in California. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 19, 237-247.
- Bronfort, O. (1993) Comportement et rendement de la culture du mélange de deux variétés de froment d'hiver. Mémoire présenté en vue de l'obtention du titre d'ingénieur agronome. Faculté Universitaire de Sciences Agronomiques de Gembloux.
- Brown, M. (2005) Habitat management to increase biological control of aphids on apple. USDA-ARS, Appalachian Fruit Research Station, Mark W. Brown Research project description. Available on http://esa.confex.com/esa/2005/techprogram/paper_20439.htm.
- Brush, S. and Chauvet, M. (2006) Chapter 6 Assessment of Social and Cultural Effects Associated with Transgenic Maize Production. In : *Maize and Biodiversity: The Effects of Transgenic Maize in Mexico*. CEC Secretariat Article 13 Report.
- Busch, L., Allison, R., Harris, C., Rudy, A. and others (2004) External Review of the Collaborative Research Agreement between Novartis Agricultural Discovery Institute, Inc. and The Regents of the University of California. East Lansing, MI: Institute for Food and Agricultural Standards, Michigan State University. Available on http://www.msu.edu/~ifas/downloads/Berkeley_Final_Report_071204.pdf.
- Cabinet Office Strategy Unit (2003) Weighing up the costs and benefits of GM crops, July 2003. Available on http://www.cabinetoffice.gov.uk/strategy/downloads/su/gm/downloads/gm_crop_report.pdf
- Calame, P. (1999) *Manifeste pour une science citoyenne, responsable et solidaire*. FPH, Paris. Disponible sur http://www.alliance21.org/2003/article.php3?id_article=2125

- Callon, M. (1998) Des différentes formes de démocratie technique. *Annales des Mines*, janvier 1998, 63-73.
- Callon, M. (1986) Eléments pour une sociologie de la traduction. La domestication des coquilles Saint-Jacques et des marins-pêcheurs dans la baie de saint-Brieuc. *L'année sociologique*, 36.
- Callon, M., Lascoumes, et Barthe (2001) *Agir dans un monde incertain. Essai sur la démocratie technique*. Seuil, Paris.
- Canadian Wheat Board (2002) A discussion paper on agronomic assessment of RR wheat.
- Cantley, M. (2004) How should public policy respond to the challenges of modern biotechnology? *Current Opinion in Biotechnology*, 15, 258-263.
- Cantley, M. (1995) The regulation of Modern Biotechnology: A historical and European Perspective. A Case Study in How Societies Cope with New Knowledge in the Last Quarter of the Twentieth Century, In: Brauer, D. (Ed) *Biotechnology. Volume 12. Legal, Economic and Ethical Dimensions*. Second, Completely Revised Edition. VCH, Weinheim.
- Capart, H., Dedeurwaerdere, T., and Yopez, I. (1994) Cours méta et cours métis. *La Revue Nouvelle*, . 99, 10, 41-48
- Carlson, R. (1962) *Silent Spring*. Houghton Mifflin.
- Carr, S. and Levidow, L. (2000) Exploring the links between science, risk, uncertainty, and ethics in regulatory controversies about genetically modified crops. *Journal of Agricultural & Environmental Ethics*, 12 (1), 29-39.
- Cary, J. W. (1998) Institutional innovation in natural resource management in Australia: the triumph of creativity over adversity. In : *Abstracts of the Conference 'Knowledge Generation and transfer: Implications for Agriculture in the 21st Century'*. University of California-Berkeley, June 18-19, 11-13.
- Cerny, P.G. (1999) Globalization and the erosion of democracy. *European Journal of Political Research*, 36 (1), 1-26.
- Cerny, P.G. (1997) Paradoxes of the competition state: the dynamics of political globalization. *Government and Opposition*, 31 (2), 251-274.
- Chable, V., Conseil, M., Desclaux, D., Goldringer, I., et al. (2005) Participatory Plant Breeding for Organic Farming in France. Paper presented at 15th IFOAM Organic World Congress: Shaping sustainable systems, Adelaide - Australie, 20-23 September 2005.
- Chambers, R. (1981) Rapid Rural Appraisal: Rationale and Repertoire. *Public Administration and Development*, 1, 95-106.
- Chataway, J., Tait, J., Wield, D. (2004) Understanding company R&D strategies in agro-biotechnology: trajectories and blind spots. *Research Policy*, 33, 1041-1057.
- Checkland, P.B. (2004) *Systems Thinking, Systems Practice: Includes a 30-Year Retrospective*. Wiley, New York. (First edition in 1981).
- Chevassus-au-Louis, B. (2002) OGM et agriculture : options pour l'action publique. Rapport du groupe présidé par B. Chevassus-au-Louis. La Documentation française, Paris.

- CIVAM (2001) Evaluer la durabilité d'un système de production. Approche globale, méthodes et diagnostics. *Cahiers techniques de l'agriculture durable*.
- Clark, B., Fontes, E.M.G., and Dale, P.J. (2002) Potential for the environmental impact of transgenic crops. *Nature Biotechnology*, 20 (June 2002), 567-574.
- Cochrane, W.W. (1979) *The Development of American Agriculture*. University of Minnesota Press, Minneapolis
- Cockburn, A. (2002) Assuring the safety of genetically modified (GM) foods: the importance of an holistic, integrative approach. *Journal of Biotechnology*, 98 (1), 79-106.
- Cohen, B. C. (1963) *The Press and Foreign Policy*. Princeton University Press, Princeton.
- Collingridge, D. (2002) *Critical Decision Making: a new theory of social choice*. Pinter, London.
- Comité Régional Phyto (2007) *Utilisation de pesticides en Belgique*. Site internet <http://www.fymy.ucl.ac.be/crp/utilisation.html>.
- Comstock, G. (2004) Ethics and Genetically Modified Crops. *Preprints of the 5th Congress of the European Society for Agricultural and Food Ethics "Science, Ethics and Society"*, Leuven, Belgium, September 2-4, 160-164.
- Conseil de Biosécurité (2003) Tentative list of questions addressed to the Group of experts in charge of evaluating the FSE study of October 16th, 2003.
- Conseil de Biosécurité (2004) Report of the scientific experts mandated by the Belgian Advisory Council to evaluate the British report 'On the rationale and interpretation, of the Farm Scale Evaluations (FSE) of genetically-modified herbicide-tolerant (GMHT) crops'. 15 January 2004.
- Conway, G.R. (1999) *The Doubly Green Revolution: Food for All in the Twenty-First Century*. 1-334.
- Conway, G.R. (1987) The properties of agroecosystems. *Agricultural Systems*, 24 (2), 95-117.
- Conway, G.R. (1985) Agroecosystem analysis. *Agricultural Administration*, 20, 31-55
- Cooke, S. (2003) Comments on "The Costs and Benefits of Genetically Modified (GM) Crops – Scoping Note" issued by the Prime Minister's Strategy Unit on 25 September 2002.
- Coutrot, T. (2005) *Démocratie contre capitalisme*. La Dispute. /SNEDIT, Paris.
- Cowan, R. and Gunby, P. (1996) Sprayed to Death: Path Dependence, Lock-in and Pest Control Strategies. *Economic Journal*, 106, 521-542.
- Dale, P.J., Clarke, B., and Fontes, E.M.G. (2002) Potential for the environmental impact of transgenic crops. *Nature Biotechnology*, 20 (June 2002), 567-574.
- Dalgaard, T., Hutchings, N.J., and Porter, J.R. (2003) Agroecology, scaling and interdisciplinarity. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 100 (1), 39-51.
- Dalton, R. (2003) Traditional wheat breeder fights for funding. *Nature*, 423 (6942), 790-790.
- DATAR (2001) *Agriculture et territoires : quatre scénarios pour 2015*, décembre 2001.

- David, P.A. and Arthur, B. (1985) Clio and the Economics of QWERTY. *American Economic Review*, 75, 332-337.
- de Jouvenel, H. (2004) *Invitation à la prospective. An invitation to Foresight.* Futuribles, Paris.
- de Looze, M.A. and Joly, P.B. (1996) An analysis of innovation strategies and industrial differentiation through patent applications: the case of plant biotechnology. *Research Policy*, 25 (7), 1027-1046.
- de Looze, M.A., Coronini, R., and Joly, P.-B. (2001) A note on recent trends in knowledge creation and appropriation through genomics: a scientometric analysis. *International Journal of Biotechnology*, 3 (1/2), 4-22.
- De Rosnay, J. (1975) *Le microscope. Vers une vision globale.* Seuil, Paris.
- De Saedeleer, N. (2004) Avis du CEDRE sur la directive 2001/18.
- de Visser, A.J.C., Nijhuis, E.H., van Elsas, J.D., and Dueck, T.A. (2000) Crops of Uncertain Nature ? *Controversies and Knowledge gaps concerning Genetically Modified Crops.*
- Deblonde, M. (2004) Towards a precautionary policy in the domain of genetically modified crops. *Science, Ethics and Society. Preprints of the 5th Congress of the European Society for Agricultural and Food Ethics.*
- Deblonde, M. and Dujardin, P. (2005) Deepening a Precautionary European Policy. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 18(4): 319-343.
- Demont, M. (1999) The economics of agricultural biotechnology : historical and analytical framework. *Department of Agricultural and Environmental Economics, K.U.Leuven, Leuven. Working Paper*, 53.
- Demont, M. and Tollens, E. (2004) First impact of biotechnology in the EU : Bt maize adoption in Spain. *Annals of Applied Biology*, 145, 197-207.
- Denys, S. (2006) Le séminaire d'exploration de controverses : former des agronomes à la construction collective de savoirs transversaux. Communication au *Colloque interdisciplinaire à l'occasion des cinq ans du Pôle Bernheim « Les savoirs au défi de la paix et de la citoyenneté »*, 10 mars 2006.
- Denys, S. et Trussart, N. (2004) "Séminaires d'exploration de controverses for bioingénieurs students at ULB, taking the web as field of experimentation", *Communication au Network meeting Public Controversies*, Friday, June 4th 2004, École des Mines de Paris.
- DG AGRI (2000) Economic Impacts of Genetically Modified Crops on the Agri-Food Sector A synthesis.
- Didelot, F., Brun, L., Parisi, L. (in press) Effects of cultivar mixtures on scab control in apple orchards. *Plant Pathology*.
- Didelot, F., Brun, L., Castet, S., Clément, S. and others (2004) Efficacité de l'association des mélanges variétaux et d'une lutte chimique raisonnée pour le contrôle de la tavelure du pommier. *Journées Jean Chevaugnon. Vième Rencontres de Phytopathologie/mycologie.* Aussois, France.
- Didelot, F., Delhayé, K., Brun, L., and Parisi, L. (2000) Analysis of 1998 scab epidemic in an experimental apple orchard planted with cultivar mixtures. Workshop on Integrated Control of Pome Fruit Diseases ; 2000/08/24-27 ; Fontevraud (FRA).

- Parisi, L. (Editeur). Proceedings of 5th workshop on Integrated Pome Fruit Diseases. *IOBC/WPRS Bulletin - Bulletin OILB/SROP*.
- Direction de la Recherche (DGA) (2005a) *Après-midi d'études "Lutte intégrée ou biologique en arboriculture fruitière"* organisée par la DG Agriculture, Division de la Recherche, du Développement et de la Qualité. Direction de la Recherche. 14 décembre 2005. Moulins de Beez (Namur).
- Direction de la Recherche (DGA) (2005b) Demandes de subsides à introduire auprès du Ministère de la Région Wallonne - DGA - Direction de la Recherche - projets 2006.
- Dorf, M.C. and Sabel, C.F. (1998) A Constitution of Democratic Experimentalism. *Columbia Law Review* 98, 267-473.
- Dosi, G. (1993) Technological paradigms and technological trajectories : A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy*, 22 (2), 102-103.
- Dosi, G. (1982) Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy* 11, 147-162.
- Dumont, R. (1973) *L'utopie ou la mort!* Seuil, Paris.
- Dumont, R. (1974) *Agronome de la faim*. Laffont. Paris.
- Dunwell, J. (1999) Transgenic Crops: The Next Generation, or an Example of 2020 Vision. *Annals of Botany*, 84, 269-277.
- Dupuis, E. M. (2000) Not in my body: rBGH and the rise of organic milk. *Agriculture and Human Values*, 17, 295.
- Durand, D. (2002) *La systémique*. Que sais-je, Paris.
- Edquist, C. (2001) The Systems of Innovation Approach and Innovation Policy: An account of the state of the art. *Lead paper presented at the DRUID Conference*, Aalborg, June 12-15, 2001, under theme 'National Systems of Innovation, Institutions and Public Policies', Available on <http://www.druid.dk/conferences/nw/paper1/edquist.pdf>.
- Edquist, C. (1997) *Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations*. Pinter/Cassel, London.
- Eraly, A. (2003) *Le pouvoir enchaîné: être ministre en Belgique*. Editions Labor, Mons.
- Ervin, D.E., Batie, S.S., Carpentier, C.L., and Welsh, R. (2001) Transgenic crops and the environment: The economics of precaution. Invited paper, *Western Agricultural Economics Association*, July 10, 2001, Logan (Utah). Available on <http://www.esr.pdx.edu/ESR/docs/papers/EBCW-WAEA-Paper111601.pdf>
- Ervin, D.E., Welsh, R., Batie, S.S., and Carpentier, C.L. (2003) Towards an ecological systems approach in public research for environmental regulation of transgenic crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 99 (1-3), 1-14.
- Esquinas-Alcázar, J., 2006. Protecting crop genetic diversity for food security: political, ethical and technical challenges. *Nature Reviews Genetics* , 6, 946-953.
- ESRC (1999) The politics of GM food: *Risk, science & public trust*. Special Briefing No 5 October 1999.

- Etzkowitz, H. and Leydesdorff, L.(2000) The dynamics of innovation: from National Systems and "Mode 2" to a Triple Helix of university-industry-government relations. *Research Policy*, 29, 109-123.
- European Commission (2005a). Communication from the Commission *Building the ERA of knowledge for growth* [COM(2005)118].
- European Commission (2005b). Proposal for a Decision of the European Parliament and of the Council concerning the seventh framework programme of the European Community for research, technological development and demonstration activities (2007 to 2013) [COM(2005) 440].
- European Commission (2004a) Commission Decision of 24 July 2002 establishing guidance notes supplementing Annex II to Directive 2001/18/EC of the European Parliament and of the council on the deliberate release into the environment of genetically modified organisms and repealing Council Directive 90/220/EEC. (2002/623/EC)
- European Commission (2004b) *Plants for the future: 2025 a European vision for plant genomics and biotechnology*. Directorate-General for Research Food Quality and Safety. <http://www.epsoweb.org/catalog/TP/Plants%20for%20the%20future-Dec04.pdf>
- European Commission (2003) Towards sustainable agriculture for developing countries: options from life sciences and biotechnologies. Conference, 30-31 January 2003, Brussels.
- European Commission (2002) Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the Economic and Social Committee and the Committee of Regions. *Life sciences and biotechnology: A Strategy for Europe* [COM(2002)2].
- European Commission (2001) Directive 2001/18/EC of the European Parliament and of the Council of 12 March 2001 on the Deliberate Release into the Environment of Genetically Modified Organisms and Repealing Council Directive 90/220/EEC, *Official Journal L 106(17.4)* (2001), 1-38. (2001/18/EC)
- European Commission (2000) Communication on the Precautionary Principle, [COM(2000)1].
- European Presidency (2004) Socio-economic considerations. Draft EU position paper, EU 2004 Presidency, The Netherlands.
- European Science Social Forum Network (2005) Framework programme 7: towards a real partnership with society? Available on <http://www.essfnetwork.org/documents/FP7%20critique%20v2.1.doc>
- Falck-Zepeda, J., Cohen, J., and Komen, J. (2002) Impact assessments and agricultural biotechnology – research methodologies for developing emerging and transition economies directorate for food, agriculture and fisherie. *OECD Global Forum on Knowledge Economy - Biotechnology*. Paris, 18-19 November 2002.
- Falck-Zepeda, J., Traxler, G., and Nelson, R.G. (2000) Surplus Distribution from the Introduction of a Biotechnology Innovation. *American Journal of Agricultural Economics*, 82(2000): 360-369.
- FAO (2004) The state of food and agriculture 2003-2004: Biotechnology : meeting the needs of the poor? *FAO Agriculture Series* 35.

- Feltz, B. (2003a) L'éthique et la recherche. *Journée d'étude L'éthique et l'ingénieur*.
- Feltz, B. (2003b) *La science et le vivant. Introduction à la philosophie des sciences de la vie*.
- FGF (2003) Panels de citoyens : des OGM au champ ? Dialogue entre sciences, technologies, politiques et société. Fondation pour les Générations Futures.
- Fiasse, J. (2005) Evaluation systémique de la pertinence du maïs transgénique RR suite à l'interdiction de l'atrazine. *Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de bio-ingénieur*, Université catholique de Louvain.
- Fiorino, D. (1990) Citizen participation and environmental risk: A survey of institutional mechanisms. *Science, Technology and Human Values*, 15 (2), 226-244.
- Firbank, L.G. (2003) Introduction (special issue FSE). *Philosophical Transactions of the Royal Society London*, 358 1777-1778.
- Fischer, C., Leydesdorff, L., and Schophaus, M. (2004) Science Shops in Europe: The Public as Stakeholder. *Science & Public Policy*, 31 (3), 199-211.
- Fischer, G., Shah, M., Tubiello, F.N., and van Velhuizen, H. (2005) Socio-economic and climate change impacts on agriculture: an integrated assessment 1980-2080. *Philosophical Transactions of the Royal Society London*,
- Flamant, J.-C. (2006) L'agriculture et les « agrobiosciences » au coeur des controverses. Groupe de Camboulazet, 17 février 2006, *Lycée Agricole de La Roque (Rodez)*. Edité par la Mission Agrobiosciences. Disponible sur www.agrobiosciences.org.
- Flowers, T.J. (2004) Improving crop salt tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 55 (396), 307-319.
- Fondation Sciences Citoyennes (2006) Savoirs libres et production de biens communs en réseau. *Compte-rendu de la rencontre entre acteurs des semences paysannes et acteurs de projets coopératifs numériques libres* organisée le 3 décembre 2005 par la Fondation Sciences Citoyennes, le Réseau Semences Paysannes et l'Association pour la Promotion et la Recherche en Informatique Libre. Synthèse n° 2 de la Fondation Sciences Citoyennes – janvier 2006. http://sciencescitoyennes.org/IMG/pdf/savoirs_ouverts.pdf
- Fondation Sciences Citoyennes (2003) Quel débat sur les OGM ? Quelle participation de la société civile à l'orientation des politiques de recherche agronomique ? *Note d'actualité n°1 de la Fondation Sciences Citoyennes, Octobre 2003*. http://sciencescitoyennes.org/IMG/pdf/fsc_OGM200310.pdf
- Food Ethic Council, (2004) Just knowledge? Governing research on food and farming. Available on <http://www.foodethicscouncil.org> .
- FPH (1999) Propositions de Villaceaux. Séminaire organisé par la Fondation Charles Léopold Mayer en marge de la Conférence mondiale sur la science. In : Mirenovic, J. (2000) *Sciences et démocratie : le couple impossible ? Le rôle de la recherche dans les sociétés capitalistes depuis la Seconde guerre mondiale : réflexion sur la maîtrise des savoirs*, Ed. Charles Léopold Mayer, Dossier pour un débat n° 108, Paris.
- Friedmann H., McMichael P., (1989). Agriculture and the state system: the rise and decline of national agricultures, 1870 to the present. *Sociologia ruralis* XXIX (2) : 93-117.

- Friedmann, H., (2005) From colonialism to green capitalism: social movements and emergence of food regimes. *New directions in the sociology of global development. Research in rural sociology and development* (11): 229-267
- Friends of the Earth Europe (2007) Who Benefits from GM crops? An analysis of the global performance of genetically modified (GM) crops 1996-2006. Available on <http://www.foei.org/publications/pdfs/gmcrops2007full.pdf>
- Garrett, H. E. G., Buck, L. (1997) Agroforestry practice and policy in the United States of America. *Forest Ecology and Management*, 91, 5-15.
- Gaskell, G., Allum, N., and Stares, S. (2002) Eurobarometer 58.0 (2nd Edition: March 21st 2003) Europeans and Biotechnology in 2002 *A report to the EC Directorate General for Research from the project 'Life Sciences in European Society'*.
- Geels, F. W. (2004) From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research Policy*, 33, 897-920.
- Geels, F. W. (2002) Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case study. *Research Policy*, 31, 1257-74.
- Georghiou, L. (1996) The UK Technology foresight program. *Futures*, 28 (4), 359-377.
- Gerken, M. (2003) Proposition de loi réglementant la dissémination volontaire dans l'environnement ainsi que la mise sur le marché d'organismes génétiquement modifiés ou de produits en contenant, et abrogeant l'arrêté royal du 18 décembre 1998. Chambre des Représentants de Belgique. 24 septembre 2003.
- Gewin, V. (2003) Genetically modified corn - Environmental benefits and risks. *PLoS Biology*, 1 (1), 15-19.
- Gianessi, L. Sankula, S. and Reigner, R. (2003) Biotechnologie végétale : évaluation des répercussions sur l'amélioration de la lutte antiparasitaire dans l'agriculture européenne. Résumé de trois études de cas. Juin 2003. The National Center for Food and Agricultural Policy
- Gibbons, M., Limoges, C., Nowotny, H., Schwartzman, S., Scott, P. and Trow, M. (1994) *The New Production of Knowledge: The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies.* Sage Publications Inc, London.
- Gliessman, S. (2000) *Agroecology : ecological processes in sustainable agriculture.* Lewis Publishers, Boca Raton.
- GMO Free Regions (2006) 2nd International Conference GMO Free Regions. *Biodiversity and rural development.* Berlin, January 14 - 15, 2006.
- Godard, O. (2004b) Savoirs, risques globaux et développement durable. *Chaire Développement Durable. EDF – Ecole Polytechnique, mai 2004, Cahier 2004–003.* <http://www.ceco.polytechnique.fr/CDD/PDF/Archives%202004/2004-003.pdf>
- Godard, O. (2004a) Le principe de précaution entre souveraineté et coordination. *Conférence dans le cadre de la Chaire Tractebel-Environnement « Développement durable, sciences et sociétés »* 16 décembre 2004, Louvain-la-Neuve.

- Godard, O. (2000) Le principe de précaution. Une nouvelle logique d'action entre science et démocratie. *Philosophie politique*, (11) 'Le risque', PUF, pp. 17-56.
- Godard, O. et Hubert, B. (2002) Le développement durable et la recherche scientifique à l'INRA. *Rapport à Madame la Directrice Générale de l'INRA. Rapport intermédiaire de mission – 23 décembre 2002*. Institut national de la recherche Agronomique.
<http://www.inra.fr/content/download/7884/110457/version/1/file/RapportDevDurableO.+Godard.pdf>
- Godet, M. and Roubelat, F. (1996) Creating the future: The use and misuse of scenarios. *Long Range Planning*, 29 (2), 164-171.
- Goldringer, I., Paillard, S., Enjalbert, J., David, J.L. and others (1998) Divergent evolution of wheat populations conducted under recurrent selection and dynamic management. *Agronomie*, 18 (5-6), 413-425.
- Goodman, D., Watts, M. (1997). *Globalising Food: Agrarian Questions and Global Restructuring*. Routledge, London.
- Goorden, L. (2003) Finding a balance between Technological Innovation and Deliberation: Lessons from Belgian Public Forums on Biotechnology. *Paper prepared for the Session 'New Forms of Citizen Participation in Technology Policy: European perspectives' at the Annual Meeting of the American Political Science Association, Philadelphia, USA, August 28-31, 2003*.
- Goret, S. (2005) Analyse systémique de la pertinence agronomique, environnementale et socio-économique du soja RR en Argentine. *Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de bio-ingénieur*, Université catholique de Louvain.
- Gouvernement fédéral (2000) Plan Fédéral de Développement Durable 2000-2004 (Belgique).
- Graff, G. D (2004) The Division of Innovative Labor among Universities, Entrepreneurs, and Corporations in Generating the Technological Trajectories of Agricultural Biotechnology. *Paper prepared for CIP Symposium 2004, Center for Intellectual Property (CIP), Chalmers Institute of Technology and Göteborg University, Göteborg, Sweden, June 1-3, 2004*.
- Graff, G.D. (2003) Observing technological trajectories in patent data: Empirical methods to study the emergence and growth of new technologies. *American Journal of Agricultural Economics*, 85 (5), 1266-1274.
- Graff, G. D., Cullen, S. E., Bradford, K. J., Zilberman, D. and Bennett, A. B. (2003) The public-private structure of intellectual property ownership in agricultural biotechnology. *Nature Biotechnology*, 21, 989-995.
- Green, K. and Foster, C. (2005) Give peas a chance: Transformations in food consumption and production systems . *Technological Forecasting and Social Change*, 72, 663-679.
- Grin, J., van de Graaf, H., and Hoppe, R. (1997) *Technology assessment through interaction. A guide*. Ratheneau Instituut, Den Haag.
- Guthman, J. (2000). Raising organic: an agro-ecological assessment of grower practices in California. *Agriculture and Human Values*, 17, 257-266.
- Haber, S. (2001) *Jürgen Habermas, une introduction. Au cœur de la pensée de J. Habermas*.

- Hails, R.S. (2002) Assessing the risks associated with new agricultural practices. *Nature*, 418 (August), 685-688.
- Halberg, N., Alroe, H. F. and Kristensen, E. S. (2006a). Synthesis: The potential of organic farming in a globalised world, in: Halberg, N., Alroe, H. F., Knudsen, M. T., Kristensen, E. S. (Eds), *Global Development of Organic Agriculture: Challenges and Prospects*. CABI Publishing.
- Halberg, N., Sulser, T. B., Høgh-Jensen, H., Rosegrant, M. W. and Knudsen, I. M. B. (2006b) The impact of organic farming on food security in a regional and global perspective, in: Halberg, N., Alroe, H. F., Knudsen, I. M. B., Kristensen, E. S. (Eds), *Global Development of Organic Agriculture: Challenges and Prospects*. CABI Publishing, 277-322.
- Hansen, J.W. (1996) Is agricultural sustainability a useful concept? *Agricultural Systems*, 50 (2), 117-143.
- Hardin, G. (1968) The tragedy of the commons. *Science*, 168 1243-1248.
- Hartman, J.R., Paulin, J.P., Parisi, L., and Thomson, S. (2000) INRA and apple disease research in the Loire Valley region of France. *Plant Disease*, 84 (9), 928-936.
- Hatchuel, A. (2000) Recherche, intervention et production de connaissances. *Colloque "Les recherches sur et pour le développement territorial"*, INRA, Montpellier, 12 janvier 2000.
- Hategekimana, B. and Trant, M. (2002) Adoption and diffusion of new technology in agriculture: genetically modified corn and soybeans. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 357-371.
- Hayami, Y. and Ruttan, V. W. (1985) *Agricultural Development: An International Perspective*. Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Heisey, P. W., King, J. L. and Rubenstein, K. D. (2005) Patterns of Public-Sector and Private-Sector Patenting in Agricultural Biotechnology. *AgBioForum*, 8 (2-3), Article 3.
- Hennessy, D.A., Roosen, J., and Jensen, H.H. (2003) Systemic failure in the provision of safe food. *Food Policy*, 28 (1), 77-96.
- Heriart, B. et Sissard, J.C. (2004) Les scénarios de sortie des OGM. *Séminaire CITES*, 12 mars 2004, Louvain-la-Neuve.
- Hertz, N. (2002) *The Silent Takeover- Global Capitalism and the Death of Democracy*. Arrow Books, London.
- Hervieu, B., Flamant, J.-C., and de Jouvenel, H. (2003) Inra 2020. Alimentation, agriculture, environnement : une prospective pour la recherche.
- Hess, C.E. (1991) Resource allocation to state agbiotech research: 1982-1988. *Bio/Technology*, 9, 29-31.
- Hightower, J. (1978) *Hard Tomatoes, Hard Times*. Harpercollins Publishers, New York.
- Hond, F., Groenewegen, P., and van Straalen, N.M. (2003) *Pesticides: problems, improvements, alternatives*. Blackwell Science.
- House of Commons Environmental Audit Committee (2004) GM Foods-Evaluating the Farm Scale Trials Second Report of Session 2003-04 Volume I.

- Hubbell, B. J. and Welsh, R., 1998. Transgenic crops: Engineering a more sustainable agriculture? *Agriculture and Human Values*, 15, 43-56.
- Hubert, B. (2004) Sustainable development ; Think forward and act now. Agriculture and sustainable development. The stakes of knowledge and research attitudes. *Le Dossier de l'environnement de l'INRA (22) : INRA faced with Sustainable Development : Landmarks for the Johannesburg Conference*.
- Huesemann, M. H., 2002. The inherent biases in environmental research and their effects on public policy. *Futures*, 34, 621-633.
- IAASTD (2006) International Assessment of Agricultural Science and Technology for Development. BriefOutline. Available on <http://www.agassessment.org/>
- ICRA (2000) Systems Thinking - Approaches. *ICRA Learning materials*
- ICRAF (1993) International Centre for Research in Agroforestry: *Annual Report 1993*. Nairobi, Kenya.
- Information Systems for Biotechnology (ISB) (2006) Field Test Releases in the U.S (Database). Available on <http://www.isb.vt.edu/cfdocs/fieldtests1.cfm>. Accessed 26 January 2006.
- Ingeborg, A.M. and Traavik, T. (2003) Sustainable Development and Norwegian Genetic Engineering Regulations: Applications, Impacts, and Challenges. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 16 (4): 317-335.
- INRA (2002) Co-construction d'un programme de recherche: une expérience pilote sur les vignes transgéniques. *Rapport final du groupe de travail*.
- Institute for Prospective technological Studies (IPTS) (2004) Prospective Analysis of Agricultural Systems.
- International Council for Science (ICSU) (2003) New Genetics, Food and Agriculture : Scientific Discoveries - Societal Dilemmas. 56 pp.
- International Institute for Applied Systems Analysis and Fischer, G. (2004) *Climate Change and Agricultural Vulnerability*.
- IPCC (2007) Fourth Assessment Report - Climate Change 2007. International Panel on Climate Change. Available on <http://www.ipcc.ch/pub/online.htm>.
- IPCC (2001) Third Assessment Report - Climate Change 2001. International Panel on Climate Change. Available on <http://www.ipcc.ch/pub/online.htm>.
- ISIS (2007) Global GM Crops Area Exaggerated. *ISIS Press Release 29/01/07*.
- Ison, R.L., Maiteny, P.T. and Carr, S. (1997) Systems methodologies for sustainable natural resources research and development. *Agricultural Systems* 55 (2):257-272.
- Jackson, W. (2002) Natural systems agriculture: a truly radical alternative. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 88, 111-117.
- Jacob, S., Schiffino, N. and Varone, F. (2003) Régulation des OGM : Quelle stratégie d'évaluation ?
- James, C. (2005) Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2005. *ISAAA Briefs*, 34. ISAAA: Ithaca, NY.

- James, C. (2007) Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2006, *ISAAA Briefs*, 35-2006.
- James, R.R. (1997) Utilizing a social ethic toward the environment in assessing genetically engineered insect-resistance in trees. *Agriculture and Human Values*, 14 (3), 237-249.
- Jasanoff, S. (1990) *The Fifth Branch : Science Advisers as Policymakers*. Reprint edition (1998) *Harvard University Press*; Cambridge, MA.
- Jasanoff, S. (2005) *Designs on Nature*. Princeton University Press, Princeton.
- Jensen, K.K. (2002) The Moral Foundation of the Precautionary Principle. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 15 (1), 39-55
- Joint Research Centre (2007) Biotechnology and GMOs : Information Website. European Commission Directorate General, Joint Research Centre. Accessed 3 October 2004. <http://gmoinfo.jrc.it/default.aspx>
- Joly, P. B. (2003) La gestion d'une innovation controversée : l'exemple des biotechnologies végétales. In : Mustar, P. et Penan, H. (2003) *Encyclopédie de l'Innovation*, Economica, Paris.
- Joly, P. B. (2000) PITA Project: Policy Influences on Technology for Agriculture: Chemicals, Biotechnology and Seeds. Annex E3: French PSREs in Agrochemicals, Seeds and Plant Biotechnology. Available on <http://technology.open.ac.uk/cts/pita/AnnE3-PSREs-FR.pdf>.
- Joly, P. B., Lemari, S. (2004) The technological trajectories of the agrochemical industry: change and continuity. *Science and Public Policy*, 29, 259-266.
- Joly, P.B. (2001) Les OGM entre la science et le public ? Quatre modèles pour la gouvernance de l'innovation et des risques. *Economie Rurale* 266, 11-29.
- Joly, P.B. (2004) L'agriculture dans la société du risque. Obsession du risque ou émergence d'une démocratie alimentaire ? *XIX^e Congrès Européen pour la Sociologie Rurale, Dijon, 3-7 sept 2001. Société, Nature, Technologie : la contribution de la sociologie rurale*.
- Joly, P.B. et Hervieu, B. (2003) La marchandisation du vivant. Pour une mutualisation des recherches en génomique. *Futuribles* 292, 5-30.
- Joly, P.B., Assoulie, G., Kréziak, D., Lemarié, J. et al. (2000) L'innovation controversée : le débat public sur les OGM en France. Grenoble, *INRA - Rapport à la DGAL*.
- Joly, P.B., Marris, C., et Hermitte, M.A. (2003) A la recherche d'une démocratie technique. Enseignements de la conférence citoyenne sur les OGM en France. *Nature Sciences Societes*, 11 (1), 3-15.
- Karlsson, M. (2003) Ethics of sustainable development. A study of swedish regulations for genetically modified organisms . *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 16: 51-62, 2003.
- Kemp, R. (1997) *Environmental Policy and Technical Change. A Comparison of the technological Impact of Policy Instruments*, Edward Elgar, Cheltenham.
- Kempf, H. (2003) *La guerre secrète des OGM*. Seuil, Paris.
- Kenney, M. (1998) *Biotechnology: The University-Industrial Complex*. Reprint edition 2005, Yale University Press; New Haven, CT.

- Kingdon, A. (1984) *Agendas, alternatives, and public policies*. Little Brown, Boston.
- Kirschenmann, F. (2007) Designing a New Generation of Biodiversity for Agroecosystems of the Future. *Agronomy Journal*, 99:373-376
- Knight, J. (2003) Crop improvement: A dying breed. *Nature*, 421 (6923), 568-570.
- Konnola, T., Unruh, G.C., and Carrillo-Hermosilla, J. (2006) Prospective voluntary agreements for escaping techno-institutional lock-in. *Ecological Economics*, 57 (2), 239-252.
- Kourilsky, P. et Viney, G. (2000) Le principe de précaution. Rapport au Premier Ministre.
- Kuc, J. (2001) Concepts and direction of induced systemic resistance in plants and its application. *European Journal of Plant Pathology*, 107, 7-12.
- Kuhn, T. S. (1962) *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago University Press, Chicago.
- Lacey, H. (2002) Assessing the value of transgenic crops. *Science and Engineering Ethics*, 8 (4), 497-511.
- Lacey, H. (1999) *Is Science Value Free?; Values and Scientific Understanding*. Routledge, London.
- Lacombe, P. (2002) *L'agriculture à la recherche de ses futurs*. Editions de l'Aube-Datar.
- Lacy, W. and L. Busch. (1991) The fourth criterion: Social and economic impacts of agricultural biotechnology. In MacDonald, J.F. (ed.), *NABC Report 3, Agricultural Biotechnology at the Crossroads: Biological, Social and Institutional Concerns*. Ithaca, NY: National Agricultural Biotechnology Council, 153-168.
- Lacy, W. B. (2000) Commercialization of university research brings benefits, raises issues and concerns. *California Agriculture*, 54, 72-79.
- Ladrière, J. (1977) *Les enjeux de la rationalité. Le défi de la science et de la technologie aux cultures*. Aubier-Montaigne-UNESCO, Paris.
- Laenens, M. et Dardenne, M. (2003) Proposition de loi réglementant la dissémination volontaire dans l'environnement ainsi que la mise sur le marché d'organismes génétiquement modifiés ou de produits en contenant, et abrogeant l'arrêté royal du 18 décembre 1998. Chambre des Représentants de Belgique. 16 janvier 2003.
- Landis, D. A., Wratten, S. D. and Gurr, G. M. (2000) Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology*, 45, 175-201.
- Lang, T. and Heasman M. (2004). *Food wars: Public health and the battle for mouths minds and markets*. London: Earthscan, 224 p.
- Laredo, P. et Mustar, P. (2003) Politiques publiques de recherche et d'innovation. In : Mustar, P. et Penan, H. (2003) *Encyclopédie de l'Innovation*, Economica, Paris.
- Laruelle, S. (2006) Discours de Madame Sabine Laruelle, Ministre fédérale de l'Agriculture et des Classes Moyennes (lu par Madame Marielle Foguette) "Biotechnologies: défis économiques et visions de la société". *Journée d'études de l'Association Belge d'Economie Rurale*, 7 juin 2006.

- Lateur, M. (2002) Perspectives de lutte contre les maladies des arbres fruitiers à pépins au moyen de substances naturelles inductrices d'une résistance systémique (Natural compounds used as elicitors of systemic induced resistance offer new prospects to control pome fruit tree diseases). *Biotechnologies, Agronomie, Société et Environnement*, 6, 67-77.
- Latour, B. (2005) *Un monde pluriel mais commun. Entretiens avec François Ewald*. L'Aube, Paris.
- Latour, B. (1996) La modernité est terminée. *Le Monde*, (28 août).
- Latour, B. (1989) *La science en action*. Gallimard, Paris.
- Latour, B. (1987) *Science in action: how to follow scientists and engineers through society*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Latour, B. et Woolgar, S. (1988) *La Vie de laboratoire : la Production des faits scientifiques*. La Découverte, Paris.
- Latz, M. (2007) *Agriculture Var 2020*. Synthèse du projet par Michael Latz, Disponible sur <http://storage.canalblog.com/08/93/209940/10075877.pdf>.
- Le Moigne (1977) *La Théorie du Système général*. Presses Universitaires de France, Paris.
- Lehmann, B., Stucki, E.W., Claeys, N., Miéville-Ott, V., Réviron, S., Rognon, P. (2000) *Vers une agriculture valaisane durable*. Etude réalisée à la demande de l'Etat du Valais par l'antenne romande de l'Institut d'Economie Rurale de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich.
- Lemarié, S., Desquilbet, M., Diemer, A., Marette, S., Levert, F., Carrère, M., Bullock, D. (2004) Les répartitions possibles entre les acteurs de la filière agro-alimentaire des gains éventuels tirés des plantes transgéniques en France. Etude financée par le Commissariat Général au Plan, Juillet 2001.
- Levidow, L. (2000) Genetically modified organisms: When culture determines the laws. *Biofutur*, 2000 (200), 42-47.
- Levidow, L. (1998) Democratizing technology - or technologizing democracy? Regulating agricultural biotechnology in Europe. *Technology in Society*, 20 (2), 211-226.
- Levidow, L., Søgaard, V. and Carr, S. (2004) Agricultural public-sector research establishments in Western Europe: research priorities in conflict. *Science and Public Policy*, 29, 287-295.
- Levie, A., Legrand, M.A., Dogot, P., Pels, C., Baret, P.V. and Hance, T. (2005) Mass releases of *Aphidius rhopalosiphii* (Hymenoptera: Aphidiinae) and strip management to control of wheat aphids. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 105, 172-21.
- Lewis W.J., Van Tereren J.C., and Phatak, S.C. (1997) A total system approach to sustainable pest management. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 94 (November 1997), 12243-12248.
- Liang, W. (1998) Farming systems as an approach to agro-ecological engineering. *Ecological Engineering*, 11, 27-35.
- Liebowitz, S.J. and Margolis, S.E. (1995) Path Dependence, Lock-In, and History. *Journal of Law, Economics and Organization*, 11 (1), 205-226.

- Linacre, N.A., Gaskell, J, Rosegrant, M.W., Falck-Zepeda, J., Quemada, H., Halsey, M., Birner, R. (2005) Analysis for Biotechnology Innovations Using Strategic Environmental Assessment (SEA) *EPT Discussion Paper 140*. International Food Policy Research Institute (IFPRI)
- Linacre, N.A., Gaskell, J, Rosegrant, M.W., Falck-Zepeda, J., Quemada, H., Halsey, M., Birner, R. (2006) Strategic environmental assessments for genetically modified organisms *Impact Assessment and Project Appraisal* 24(1), 35-43.
- Lipton, M. and Longhurst, R. (1989) *New Seeds and Poor People*. Unwin Hyman, London.
- Liu, G. and Fu, B. (2000) Agro-ecological engineering in China: a way towards sustainable agriculture. *Journal of Environmental Sciences – Beijing*, 12, 422-429.
- Longino, H. E. (1990) *Science as Social Knowledge. Values and Objectivity in Scientific Inquiry*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Lowrance, W. W. (1987) *Modern Science and Human Values*. Oxford University Press, Oxford.
- Lugan, J.C. et Flamant, J.C. (1991) Les Chemins de 2010 : Midi-Pyrénées en prospective, *Rapport de synthèse, Editions de la Préfecture de Région Midi-Pyrénées*.
- Lundvall, B.A. (1992) *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive learning*. Pinter, London.
- Ma, S., Ailiang, J., Rumei, X. and Dianmo, L. (1988) Development of Agro-Ecological Engineering in China (Eds), *Proceedings of the International Symposium on Agro-Ecological Engineering* (August 1988). Ecological Society of China, Beijing, 1-13.
- Mahieu, S. (2006) Le contrôle des risques dans la réglementation européenne relative aux OGM : vers un système conciliateur et participatif. In : *La sécurité alimentaire et la réglementation des OGM. Perspectives nationales, européenne et internationale*.
- Marot, J., Godfriaux, J., Maraite, H., et al. (2004) Agriculteurs et pesticides : connaissances, attitudes et pratiques. Résultats d'une enquête menée en fruiticulture, maraîchage et grandes cultures (2002-2003).
- Marra, M.C., Pardey, P.G., and Alston, J.M. (2002) The payoffs to agricultural biotechnology: an assessment of the evidence. *EPTD Discussion Paper 87*. Environment and Production Technology Division, International Food Policy Research Institute (IFPRI).
- Marris, C. (2001) Public views on GMOs: deconstructing the myths. *EMBO Reports*, 2, 545-548.
- Marris, C. and Joly, P.B. (1999) Between consensus and citizens: Public participation in Technology Assessment in France. *Science Studies*, 12 (2), 3-32.
- Marris, C., Wynne, B., Simmons, P., Weldon, S. et al. (2001) Public Perceptions of Agricultural Biotechnologies in Europe. Final Report of the PABE research project funded by the Commission of European Communities Contract number: FAIR CT98-3844 (DG12 - SSMI).

- May, M.J. (2003) Economic consequences for UK farmers of growing GM herbicide tolerant sugar beet. *Annals of Applied Biology*, 142 (1), 41-48.
- Mayer, S. and Stirling, A. (2002) Finding a Precautionary Approach to Technological Developments - Lessons for the Evaluation of GM Crops. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 15(1): 57-71; Jan 2002
- Mayer-Tasch, L. (2005) Annotated bibliography on the economic and socio-economic impact of agricultural biotechnology in developing countries. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Available on <http://www.fao.org/biotech/doc.asp?lang=fr>
- Mazoyer, M. (2002) *Protéger la paysannerie pauvre dans un contexte de mondialisation*. World Food Summit - FAO.
- Mazoyer, M. and Roudart, L. (2002) *Histoire des agricultures du monde. Du néolithique à la crise contemporaine*. Le Seuil Poche, Paris.
- Mazoyer, M. and Roudart, L. (2002) *Histoire des agricultures du monde. Du néolithique à la crise contemporaine*. Seuil, Paris.
- McMillan, G. S., Narin, F., Deeds, D. L. (2000) An analysis of the critical role of public science in innovation: the case of biotechnology. *Research Policy*, 29, 1-8.
- Menrad, K. (1999) Future impacts of biotechnology on agriculture and food processing. *Outlook on Agriculture* 28 (3), 155-161.
- Mepham, B. (2000) A framework for the ethical analysis of novel foods: The ethical matrix. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 12 (2), 165-176.
- Merton, R.K. (1942) *The Normative Structure of Science*. The Sociology of Science. The University of Chicago Press, Chicago (1973 Edition).
- Mignot, J.-P. and Poncet, C. (2001) The industrialization of knowledge in life sciences: convergence between public research policies and industrial strategies. *Cahiers de recherche du Creden* 20/1/2001.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005) *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- Millstone, E., Brunner, E., and Mayer, S. (1999) Beyond 'substantial equivalence'. *Nature*, 401 (6753), 525-526.
- Ministère de l'Agriculture (2005) Catalogue national des espèces et variétés de plantes agricoles Arrêté ministériel du 9 octobre 2002 établissant le catalogue national des variétés et des espèces de plantes agricoles en exécution de l'arrêté royal du 8 juillet 2001 ; Mise à jour du 12/10/2004 reçue de la Direction de la Qualité des Produits du Ministère de la Région wallonne.
- Ministre de l'environnement (2004) Programme fédéral de réduction des pesticides à usage agricole et des biocides en Belgique. http://www.brunotoback.be/user_docs/Programmer%C3%A9duction.doc
- Mission Agrobiosciences. (2005) « Nous avons plusieurs avenir possibles à construire » Dialogue entre Bertrand Hervieu, président de l'Inra et Jean-Claude Flamant, directeur de la Mission Agrobiosciences. Extrait de l'Almanach 2003. Disponible sur <http://www.agrobiosciences.org/IMG/pdf/Hervieu-Flamant.pdf>
- Mitsch, W. J., Yan, J. and Cronk, J. K. (1993). Ecological engineering - contrasting experiences in China with the West. *Ecological Engineering*, 2, 177-191.

- Moens, W. (2004) Le système commun d'évaluation de la Biosécurité: historiques et rôles du Service de Biosécurité et Biotechnologie (SBB) et du Conseil consultatif de Biosécurité (CCB). *Communication à la Journée OGM : Evolution du droit international, européen et belge, 30 novembre.*
- Morin, E. (2005) *Introduction à la pensée complexe.* Seuil. Points essais, Paris.
- Mormont, M. (2005) Rendre les choix technologiques négociables. Communication à la Journée de rencontre acteurs-chercheurs «Quelle gestion démocratique des OGM dans le cadre d'une politique de développement durable?», *Chaire Tractebel-Environnement 2004 «Développement durable, sciences et société».* Louvain-la-Neuve, 4 Février 2005.
- Mormont, M. (2002) Préface : Du concept au mode d'emploi. In : *Zaccai, E. Le développement durable. Dynamique et constitution d'un projet.* Peter Lang, Bruxelles.
- Mormont, M. (2000) Développement durable et relation entre science et société. *Chaire Quetelet*, conférence introductive, 21-24 novembre 2000, Louvain-la-Neuve
- Mormont, M. et Van Huylenbroeck, G. (2001) *A la recherche de la qualité. Analyses socioéconomiques sur les nouvelles filières agroalimentaires.* Synopsis - Les Editions de l'Université de Liège, Liège.
- Mormont, M., Mougnot, C. et Dasnoy, C. (2001) Un modèle de circulation pour une politique expérimentaliste du développement durable. *Programme 'Leviers pour une politique de développement durable' SSTC Convention HL/19/006..*
- Morris, R.M., Blackmore, C. P., Carr, S, Ison, R. L., Lane, A. B. and Maiteny, P. T. (1999) Systems methodology and technological change in agriculture. In: Doppler, W. and Koutsouris, A. (eds) *Rural and Farming Systems Analysis: Environmental Perspectives.* Proceedings of the third FSRE European Symposium March 25-27, 1998, Hohenheim. Margraf Verlag, Berlin.
- Moschini, G., Lapan, H., and Sobolevsky, A. (2006) Roundup Ready Soybeans and Welfare Effects in the Soybean Complex . *Agribusiness*, 16(2000): 33-55.
- Mundt, C. C. (2002) Use of multiline cultivars and cultivar mixtures for disease management. *Annual Review of Phytopathology*, 40, 381-410.
- National Farmers Union (Canada) (2003) Genetically-modified wheat. *A Report by the National Farmers Union to the House of Commons Standing Committee on Agriculture and Agri-Food.*, 1-6.
- National Research Council (2002) *Publicly Funded Agricultural Research and the Changing Structure of U.S. Agriculture.* Report of the Committee to Review the Role of Publicly Funded Agricultural Research on the Structure of U.S. Agriculture, Board on Agriculture and Natural Resources. The National Academies Press, Washington, D.C. Available on <http://www.nap.edu>.
- National Research Council (1999) *Our Common Journey: A Transition Toward Sustainability.* Report of the Board on Sustainable Development. The National Academies Press, Washington, D.C. Available on <http://www.nap.edu>.
- National Research Council (1998) *Designing an Agricultural Genome Program.* Report of the Board on Biology and Board on Agriculture The National Academies Press, Washington, D.C. Available on <http://www.nap.edu>.

- National Research Council (1996) *Understanding Risk: Informing Decisions in a Democratic Society*. The National Academies Press, Washington, D.C. Available on <http://www.nap.edu>.
- National Research Council (1987) *Agricultural Biotechnology: Strategies for National Competitiveness*. Report of the Committee on a National Strategy for Biotechnology in Agriculture. The National Academies Press, Washington, D.C. Available on <http://www.nap.edu>.
- Nature editorial (2004) Going public. *Nature*, (431) 7011, 883.
- Nature et Progrès; Confédération Paysanne; ATTAC; FNAB, Fondation sciences citoyennes, France Nature Environnement, Fédération Rhône-Alpes de Protection de la Nature Ardèche, GIET, Greenpeace, Mouvement de culture Biodynamique et OGM Danger. (2003) *L'expérience pilote OGM-Vigne: Un programme de manipulation de l'opinion*. Disponible sur <http://www.info-gm.org/IMG/rtf/ogmvigne2.rtf>
- Nelson, R. R. (1993) *National Systems of Innovation: A Comparative Study*. Oxford University Press, Oxford.
- Nelson, R. and Winter, S. G. (1982) *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Harvard university Press, Cambridge, MA.
- Nielsen, L., Faber, B.A. (2002) Ethical principles in european regulation of biotechnology - possibilities and pitfalls. Published by BioTIK-Secretariat, National Consumer Agency, The Ministry of Economic and Business Affairs, Denmark 2002. Available on http://www.biotik.dk/myndigheder/bioTIK/Udredninger/etiske_principper/engelsk
- Nihoul, P. et Mahieu, S. (2005) *La sécurité alimentaire et la réglementation des OGM. Perspectives nationales, européenne et internationale*. Larcier, Bruxelles.
- Nissani, M. (1997) Ten cheers for interdisciplinarity: The case for interdisciplinary knowledge and research. *The Social Science Journal*, 34 (2), 201-216.
- OECD (2006) The Bioeconomy to 2030 : designing a policy agenda. *OECD International Futures Programme*. Available on <http://www.oecd.org/dataoecd/7/51/37504590.pdf>
- OECD (2006) Agricultural Policies in OECD Countries at a Glance, 2006 Edition. Available on <http://www.oecd.org/>
- OECD (2003) *Assessing Agricultural Biotechnology in Emerging Economies, OECD Centre for Co-operation with Non-Members, Paris, May 2003*. Available on <http://www.oecd.org/dataoecd/18/33/2081036.pdf>.
- OECD (1993) *Safety Evaluation of Foods Derived by Modern Biotechnology: Concepts and Principles*. Available on <http://www.oecd.org/dataoecd/5/7/1946129.pdf>
- OCDE (2005) Tableau de bord de la science, de la technologie et de l'industrie de l'OCDE 2005. Disponible sur <http://www.oecd.org/sti/tableaubord>
- OCDE (1986) Considérations de sécurité relatives à l'ADN recombiné (Texte plus connu sous le nom de "Livre Bleu").
- ONU (1992) Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques.

- ONU (1987) Notre Avenir à Tous. *Rapport de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'ONU, présidée par Madame Gro Harlem Brundtland.* Disponible sur http://fr.wikisource.org/wiki/Rapport_Brundtland .
- Orsenigo, L. (1989). *The Emergence of Biotechnology*. Pinter, London.
- Pacini, C., Wossink, A., Giesen, G., Vazzana, C. and Huirne, R. (2003) Evaluation of sustainability of organic, integrated and conventional farming systems: a farm and field-scale analysis. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 95 (1), 273-288.
- Paratte, R. (2004) Trajectoire d'un collectif de travail et construction de connaissances autour du pommier. Mémoire de licence en ethnologie. Université de Neuchâtel Institut d'Ethnologie - INRA Avignon Ecodéveloppement, Montpellier BEPC, Toulouse SICOMOR. Disponible sur www.unine.ch/ethno/MEMOIRE/paratte.pdf.
- Parayil, G. (2003) Mapping technological trajectories of the Green Revolution and the Gene Revolution from modernization to globalization. *Research Policy*, 32 (6), 971-990.
- Pardey, P.G. and Beintema, N.M. (2001) Slow Magic Agricultural : R&D a Century After Mendel. Agricultural Science and Technology Indicators Initiative. *International Food Policy Research Institute report*. Available on <http://www.ifpri.org/pubs/fpr/fpr31.pdf>.
- Parrott, N. and Marsden, T. (2002) The Real Green revolution: Organic and agroecological farming in the South. *Greenpeace Environmental Trust*, Canonbury Villas, London.
- Paulitz, T. C. and Belanger, R. R. (2001) Biological control in greenhouse systems. *Annual Review of Phytopathology*, 39, 103-133.
- Pemsl, D., Waibel, H. and Orphal, J. (2004) A methodology to assess the profitability of Bt-cotton: case study results from the state of Karnataka, India. *Crop Protection*, 23 (12), 1249-1257.
- Perry, J.N., Firbank, L.G., Champion, G.T., Clark, S.J. and others (2004) Ban on triazine herbicides likely to reduce but not negate relative benefits of GMHT maize cropping . *Nature*, 428 (18 March 2004), 313-316.
- Perry, J.N., Rothery, P., Clark, S.J., Heard, M.S. and others (2003) Design, analysis and statistical power of the Farm-Scale Evaluations of genetically modified herbicide-tolerant crops. *Journal of Applied Ecology*, 40, 17-31.
- Pestre, D., (2003). Regime of Knowledge Production in Society : Towards a More Political and Social Reading, *Minerva*, 41, 3, 245-261.
- Pew Initiative on Food and Biotechnology (2003) University-Industry Relationships: Framing the Issues for Academic research in Agricultural Biotechnology. *Proceedings from an expert workshop sponsored by the Pew initiative on Food and Biotechnology and the US Department of Agriculture's Initiative for Future Agriculture and Food Systems Project "Public Goods and university-Industry Relationships in Agricultural Biotechnology"*. November 19-20 2002.

- PG Economics (2004) Consultancy support for the analysis of the impact of GM crops on UK farm profitability . Final report Submitted to The Strategy Unit of the Cabinet Office. PG Economics Ltd, Dorchester (Dorset).
- Philipps, E.S. and Pugh, D.S. (2004) *How to get a PhD ? a handbook for students and their supervisors*, Buckingham, Open University Press.
- Pimentel, D. (1997) *Techniques for Reducing Pesticides: Environmental and Economic Benefits*. John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- Polanyi, K. (1944) *The Great Transformation*. Rinehart. & Company, Inc.
- Possas, M. L., Salles, S. and de Silveira, J. M. (1996) An evolutionary approach to technological innovation in agriculture: Some preliminary remarks. *Research Policy*, 25, 933-945.
- Pouteau, S. (2000) Beyond Substantial Equivalence: Ethical Equivalence. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 13 (3-4): 273-291, 2000
- Pretty, J. N., Morison, J. I. L., Hine, R. E. (2003) Reducing food poverty by increasing agricultural sustainability in developing countries. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 95, 217-234.
- Pretty, J. (2002) *Agri-Culture: Reconnecting People, Land and Nature*. Earthscan, London.
- Pretty, J. (2001) The rapid emergence of genetic modification in world agriculture: contested risks and benefits. *Environmental Conservation*, 28 (3), 248-262.
- Pretty, J. (1995) *Regerenating Agriculture : Policies and Practices for Sustainability and Self-reliance*. Earthscan, London.
- Pretty, J.N., Brett, C., Gee, D., Hine, R.E. et al. (2000) An assessment of the total external costs of UK agriculture. *Agricultural Systems*, 65 (2), 113-136.
- Pretty, J. N., Morison, J. I. L. and Hine, R. E. (2003) Reducing food poverty by increasing agricultural sustainability in developing countries. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 95, 217-234.
- Ramakrishnan, P. S. (2006) Globally Important Ingenious Agricultural Heritage Systems (GIAHS): An Eco-Cultural Landscape Perspective. Background Paper. Available on <http://www.fao.org/landandwater/agll/giahs/projdocs-e.stm>
- Reganold, J.P., Glover, J.D., Andrews, P.K., and Hinman, H.R. (2001) Sustainability of three apple production systems. *Nature*, 410 (6831), 926-930.
- Reiss, T. and Strobel, O. (2003) State of the Art Report Life Sciences (Annex 3), Integrating Technological and Social Aspects of Foresight in Europe (ITSAFE). Available on <http://www.supra.ed.ac.uk/Publications/annex3.pdf>.
- Renn, O., Webler, P., and Wiedermann, P. (1995) *Fairness and Competence in Citizen Participation: evaluating models for environmental discourse*. Kluwer Academic Publishers; Dordrecht.
- Rennings, K. (2000) Redefining innovation: eco-innovation research and the contribution from ecological economics. *Ecological Economics*, 32 (2), 319-332.
- Reydelle, S. (2001) L'évaluation au service du développement durable. Utilisation et validation d'un diagnostic de durabilité du Réseau Agriculture Durable.

- Mémoire de fin d'études, Diplôme d'Agronomie Approfondie (D.A.A.), Ecole Nationale Supérieure Agronomique (ENSA), Rennes.
- Robinson, J. (1999) Ethics and transgenic crops : a review. *Electronic Journal of Biotechnology*, 2 (2), 71-81.
- Roqueplo, P. (1997) *Entre savoir et décision, l'expertise scientifique*. Collection INRA "Sciences en question", Paris.
- Roy, A. (2001) *Les experts face au risque : le cas des plantes transgéniques*. Presses Universitaires de France/Le Monde, Paris.
- Royal Society, U.S. National Academy of Sciences, Brazilian Academy of Sciences, Chinese Academy of Sciences, Indian National Science Academy, Mexican Academy of Sciences, Third World Academy of Sciences (2000) Transgenic plants and world agriculture. Available on <http://books.nap.edu/html/transgenic/>.
- Russel, A. (1999) Biotechnology as a Technological Paradigm in the Global Knowledge Structure. *Technology Analysis & Strategic Management*, 11 (2), 235-254.
- SAFE (2005) Silvoarable Agroforestry For Europe (SAFE). Project Final Progress Report. Available on <http://www.montpellier.inra.fr/safe>
- Sager, B. (2001) Scenarios on the future of biotechnology. *Technological Forecasting and Social Change*, 68 (2), 109-129.
- Sartorius, C. (2006) Second-order sustainability--conditions for the development of sustainable innovations in a dynamic environment. *Ecological Economics*, 58 (2), 268-286.
- Schiffino, N. and Varone, F. (2006) *Régulation politique des biotechnologies. Biomédecine et OGM agroalimentaires en Belgique et en France*. Academia Press, Série Science et société, Gand.
- Schiffino, N. et Vanloqueren, G. (2005) Quelle gestion démocratique des OGM dans le cadre d'une politique de développement durable ? *Notes de synthèse, Journée de rencontre acteurs-chercheurs organisée par le Centre de recherche CITES, Chaire Tractebel-Environnement 2004-2005*.
- Schutte, G. (2003) Herbicide resistance: Promises and prospects of biodiversity for European agriculture. *Agriculture and Human Values*, 20, 3, 217-230.
- Sclove, R.E. (1995) *Democracy and Technology*. The Guilford Press, New York.
- Sclove, R.E. (2003) *Choix technologiques, choix de société*. Editions Charles Mayer - Descartes et Cie, Paris.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2000) Cartagena Protocol on Biosafety to the Convention on Biological Diversity.
- SeedQuest (2003) CropDesign receives large IWT grant to develop stress tolerant cereal crops. *SeedQuest News release*. June 26, 2003.
- Sen, A.K. (1977) Rational fools: A critique of the behavioral foundations of economic theory. *Philosophy and Public Affairs*, 6, 317-344.
- Service Public Fédéral de Programmation Politique Scientifique (2005) 2ième plan pluriannuel d'appui scientifique à une politique de développement durable (PADD II). volet 1 : Modes de production et de consommation durables (Problématiques générales - Energie - Transport - Agroalimentaire).

- Shiva, V. (1991) *The Violence of Green Revolution: Third World Agriculture, Ecology and Politics*. Zed Books, London.
- Slaughter, S. and Leslie, L. L. (1997) *Academic Capitalism: Politics, Policies and the Entrepreneurial University*. John Hopkins University Press, Baltimore, ML.
- Slingo, J.M., Challinor, A.J., Hoskins, B.J., and Wheeler, T.R. (2006) Introduction: food crops in a changing climate. *Philosophical Transactions of the Royal Society London B*, 360,1463,1983-1989.
- Snow, A. (2002) Transgenic crops : why gene flow matters. *Nature Biotechnology*, 20, 542.
- Soil Association (2002) Seeds of doubt. North American farmers' experiences of GM crops. Report issued by the Soil Association, September 2002
- Stanley, D. (1996) Testing diversified orchard ecosystems. *Agricultural Research*, January 1996
- Stassart, P. (1999) Du Savoir aux Saveurs. 101 chemins pour une alimentation de qualité. Fondation Universitaire Luxembourgeoise - Vredeseilanden - Coopibo, Arlon-Leuven.
- Stassart, P. et Jamart, D. (2005) Équiper des filières durables ? L'élevage bio en Belgique. *Natures Sciences et Sociétés*, 13 413-420.
- Stassart, P. et Louviaux, M. (2007) Construire des forums locaux d'anticipation territoriale pour l'agriculture (à publier).
- Staver, C., Guharay, F., Monterroso and D., Muschler, R. G. (2001) Designing pest-suppressive multistrata perennial crop systems: shade-grown coffee in Central America. *Agroforestry Systems*, 53, 151-170.
- Stehr, N. (1994) *Knowledge Societies - The Transformation of Labour, Property and Knowledge in Contemporary Society*. London, Sage Publications.
- Stenuit, J. and Van Hammée, M.-L. (2004) *Aperçu sur l'épidémiologie des pesticides*. Disponibles sur <http://www.pesticides.be/pdf/epidemio-pesticides.pdf>.
- Stephens, W. and Hess, T. (1999) Systems approaches to water management research. *Agricultural Water Management*, 40 (1), 3-13.
- Stern, N. (2006) *Stern Review Report on the Economics of Climate Change*. HM Treasury, London.
- Stewart, C.N. and Wheaton, S.K. (2001) GM crop data - agronomy and ecology in tandem. *Nature Biotechnology*, 19 (1), 3-3.
- Stiglitz, J. (2003) *Globalization and Its Discontents*. W.W. Norton & Company, New York.
- Stirling, A. (2006) Precaution, foresight and sustainability reflection and reflexivity in the governance of science and technology. chapter in J. Voss, R. Kemp (eds), *Sustainability and Reflexive Governance*. Edward Elgar. Forthcoming.
- Stirling, A. (2005) Opening up or closing down. Analysis, participation and power in the social appraisal of technology. In Leach, M., Scoones, I. and Wynne, B. *Science, Citizenship and Globalisation*, Zed, London.

- Stirling, A. (1999a) On Science and Precaution in The Management of Technological Risk : Volume II case studies, European Commission Institute for Prospective Technological Studies, Seville, EUR 19056/EN/2, May 1999.
- Stirling, A. (1999b) Risk at a turning point ? *Journal of Environmental Medicine*, 1 (3), 119-126.
- Stirling, A. and Grove-White, R. (1999) Submission to the House of Commons Science and Technology Select Committee inquiry on *The Scientific Advisory System for Genetically Modified Foods*. Appendices to the Minutes of Evidence.
- Stirling, A. and Mayer, S. (1999) Rethinking Risk: A Pilot Multi-Criteria Mapping of a Genetically Modified Crop in Agricultural Systems in the UK. *SPRU Reports*, 21.
- Sunding, D. and Zilberman, D. (2001) The Agricultural Innovation Process: Research and Technology Adoption in a Changing Agricultural Sector, In: Gardner, B. L. and Rausser, G. C. (Eds), *Handbooks of Agricultural Economics* (Volume 1A). Elsevier.
- Tait, J., Chataway, J., and Wield, D. (2001) PITA Project: Policy Influences on Technology for Agriculture: Chemicals, Biotechnology and Seeds. Final Report. January 2001. Available on <http://technology.open.ac.uk/cts/pita/>.
- Tait, J. and Williams, R. (2003) Itsafe project : integrating technological and social aspects of foresight in Europe final report, proposal no STPA -2001-00010, June 2003.
- The GM Science Review Panel (2003) GM Science Review First Report. An open review of the science relevant to GM crops and food based on the interests and concerns of the public. Prepared by the GM science review panel.
- The GM Science Review Panel (2004) GM science Review Second report. An open review of the science relevant to GM crops and food based on interests and concerns of the public.
- The International Commission on the Future of Food and Agriculture (2003). Manifesto on the Future of Food. Available on http://www.smallplanetinstitute.org/about_us/frances_lappe/frances_articles/images/Manifesto_8C592.pdf
- The New York Times (2006). Online archives. Available on <http://www.nytimes.com/> Accessed on 31st October 2006.
- The Understanding Risk Team (2004) A Deliberative Future? An Independent Evaluation of the GM Nation? Public Debate about the Possible Commercialisation of Transgenic Crops in Britain, 2003. Understanding Risk Working Paper 04-02.
- Therivel, R., Wilson, E., Thompson, S., Heaney, D. and others (1992) Strategic environmental assessment . *Earthscan Publication*, 19-20.
- Tisdell, C. (2003) Socioeconomic causes of loss of animal genetic diversity: analysis and assessment. *Ecological Economics*, 45 365-376.
- Touraine, A. (1973) *Production de la société*. Seuil, Paris.
- Trewavas, A. (1999) Much food, many problems. *Nature*, 402 (6759), 231-232.

- Ulrich, W. (1990) What is called 'Critical systems thinking. *Toward a just society for future generations. Proceedings 34th ISSS annual meeting, Vol. 1.*, p. 4-14. (Edited by B. H. Banathy and B. A. Banathy). Pomona, CA: ISSS, California State Polytechnic University.
- UNESCO (1999a) Agenda pour la science-cadre d'action. Texte adopté par la Conférence mondiale sur la science 1er juillet 1999. Disponible sur http://www.unesco.org/science/wcs/fre/principaux_docs.htm
- UNESCO (1999b) Déclaration sur la science et l'utilisation du savoir scientifique. Texte adopté par la Conférence mondiale sur la science 1er juillet 1999. Disponible sur http://www.unesco.org/science/wcs/fre/principaux_docs.htm
- Unger, R.M. (1998) *Democracy Realized. The Progressive Alternative*, London..
- Union of Concerned Scientists (1996) On Research for Sustainable Agriculture. Testimony by Margaret Mellon before the Subcommittee on Resource Conservation, Research and Forestry, US House of Representatives Committee on Agriculture. Available on http://www.ucsusa.org/food_and_environment/sustainable_food/testimony-on-research-for-sustainable-agriculture.html.
- United Nations Development Programme (2001) Human Development Report (2001) Making New Technologies Work for Human Development. Available on <http://hdr.undp.org/reports/global/2001/en/>.
- University of California, B. (1998) Swiss pharmaceutical company Novartis commits \$25 million to support biotechnology research at UC Berkeley. News Release (11/23/98).
- Unruh, G.C. (2002) Escaping carbon lock-in. *Energy Policy*, 28(12), 817-830.
- Unruh, G.C. (2000) Understanding carbon lock-in. *Energy Policy*, 12 (1), 817-830.
- Uphoff, N. (2002) *Agroecological Innovations: Increasing Food Production With Participatory Development*. Earthscan Publications, London, UK.
- Uphoff, N.(2001) Expanding opportunities with agroecological approaches. *Environment and Development Economics*, 6, 527-531.
- Valenduc, G. (2005) L'innovation technologique au service du développement durable *Rapport de synthèse Février 2001 Projet SSTC*.
- Valenduc, G. and Vendramin, P. (2005) Science, Technological Innovation and Sustainable Development International Conference « Science for a Sustainable Society » *Workshop 1: Sustainable Industrial Development Roskilde, 27-29/10/97*.
- Vallavieille-Pope, C. (2004) Management of disease resistance diversity of cultivars of a species in single fields: controlling epidemics. *Comptes Rendus Biologies*, 327, 611-620.
- Van Huylenbroeck, G. (2006) Research and the real world. Learning about sustainability in agriculture and society. *Proceedings of the contact forum "Sustainable Agriculture"*, May 18th, 2006, Bruxelles.
- Vanloqueren, G. (2006) L'innovation scientifique et technologique, voie royale vers la prospérité ? *Science Connection*, 13 (Octobre), 44-45.

- Vanloqueren, G. (2005) Towards a comprehensive assessment of transgenic crops within the Cartagena Protocol and the EU directive 2001/18, pp 89-99 . In : Vromman, D., Vanloqueren, G. et Baret, P.V. (2005) *Mise au point d' une méthodologie d'évaluation des possibles impacts agronomiques et socio-économiques des cultures transgéniques sur les systèmes agraires et les filières agroalimentaires. Projet soutenu par le Service Public Fédéral Santé Publique, Sécurité de la Chaîne alimentaire et Environnement, DG Environnement.*
- Vanloqueren, G. (2003) Le secteur de l'arboriculture fruitière face à l'innovation transgénique et à ses alternatives : le cas des pommiers résistants à la tavelure. Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies en Sciences de l'Environnement. Fondation Universitaire Luxembourgeoise.
- Vanloqueren, G. and Baret, P.V. (submitted 01/2007) Why are 'ecological' disease-resistant wheat cultivars slow to develop commercially? A Belgian agricultural 'lock-in' case study.
- Vanloqueren, G. and Baret, P.V. (submitted 12/2006) Genetic engineering vs. agroecological engineering: agricultural research systems as a selection environment for technological paradigms.
- Vanloqueren, G. and Baret, P.V. (2006) Innovation to reduce fungal diseases in wheat : Are all innovation pathways playing in the same field ? *58th International Symposium on Crop Protection*, May 23rd 2006, Ghent.
- Vanloqueren, G. and Baret, P.V. (2005a) Des pommiers transgéniques pour lutter contre la tavelure? Analyse systémique. *Le Fruit Belge*, 73 (516), 117-123.
- Vanloqueren, G. and Baret, P.V. (2005b) Pourquoi les variétés résistantes à la tavelure tardent-elles à se développer commercialement ? *Le Fruit Belge*, 73 (516), 111-116.
- Vanloqueren, G. and Baret, P.V. (2004a) Systemic "relevance assessment" of transgenic crops: Bridging biotechnology regulations and sustainable development policies ? *Preprints of the 5th Congress of the European Society for Agricultural and Food Ethics "Science, Ethics and Society"*, Leuven, Belgium, September 2-4, 160-164.
- Vanloqueren, G. and Baret, P.V. (2004b) Les pommiers transgéniques résistants à la tavelure - Analyse systémique d'une plante transgénique de "seconde génération". *Le Courrier de l'Environnement de l'INRA*, 52 (Septembre 2004), 5-20.
- Vanloqueren, G. and Baret, P.V. (2004c) Multidisciplinary and systemic-based assessment of transgenic crops : an application to scab resistance in apple tree. *Abstracts of the VIII European Society of Agronomy Congress, Copenhagen, 11-15 July 2004* 695-696.
- Vanloqueren, G., Stassart, P., and Baret, P.V. (2003) Multifunctionality : realities and local stakes construction. *Communication to the XXth Biennial Conference of the European Society for Rural Sociology*, Sligo (Ireland), August 2003.
- Varone, F. (2003) Le cycle d'une politique publique : point de départ pour une analyse de la régulation des OGM. Document interne.
- Veillerette, F. (2002) *Pesticides: Le piège se referme*. Terre Vivante, Mens.

- Wachelder, J. (2003) Democratizing Science: Various Routes and Visions of Dutch Science Shops. *Science, Technology & Human Values*, 28 (2), 244-273.
- Waibel, H., Zadoks, J. C. (1995) Institutional Constraints to IPM. *XIIIth International Plant Protection Congress*. The Hague, July 2 - 7.
- Weiner, J. (2003) Ecology – the science of agriculture in the 21st century. *Journal of Agricultural Science*, (2003), 141, 371–377.
- Welsh, R., Hubbell, B.J., Ervin, D.E., and Jahn, M. (2002) GM crops and the pesticide paradigm. *Nature Biotechnology*, 20 (6), 548-549.
- Wesseler, J.H.H. (2006) Environmental Costs and Benefits of Transgenic Crops. *Wageningen UR Frontis Series*, Vol. 7.
- Wessner, C. E. (2001) Capitalizing on New Needs and New Opportunities: Government - Industry Partnerships in Biotechnology and Information Technologies. *Report of the Board on Science, Technology and Economic Policy*. http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=10281
- Whatmore, S., Stassart, P. (2003) Guest editorial : What's alternative about alternative food networks ? *Environment and Planning*, A 35, 389-391.
- Whitmore, R. (1998) Systems applications in the theory and practice of resource development : a review of the literature. Department of Resource Development, Michigan State University, East Lansing, MI 48824. Occasional Paper RDOP-98-1.
- Wiener, J.B. and Rogers, M. (2002) Comparing Precaution in the US and Europe. *Journal of Risk Research*, 5(4), P. 317-349.
- Wilsdon, W., Wynne, B., and Stilgoe, J. (2005) *The Public Value of Science (or how to ensure that science really matters)*. 1-67.
- Wilson, C. and Tisdell, C. (2001) Why farmers continue to use pesticides despite environmental, health and sustainability costs. *Ecological Economics*, 39 (3), 449-462.
- Wolfe, M. S. (2000) Crop strength through diversity. *Nature*, 406, 681-682.
- Wolfe, M.S. (2004) Ecological Cropping Systems-An Organic Target. Occasional Symposium British Grassland Society - AAB - *Colloquium of Organic Researchers (COR) Conference paper, Session 3: Cropping Systems. Proceedings published as: A. Hopkins (ed.) 2004. Organic Farming: Science and Practice for Profitable Livestock and Cropping. Occasional Symposium No. 37, British Grassland Society, Reading. 167-175.*
- Wolfenbarger, L.L., Phifer, P.R. (2000) The ecological risks and benefits of genetically engineered plants. *Science*, 290 (5499), 2088-93.
- World Resources Institute (2005) Integrating socio-economic considerations into biosafety decisions : the role of public participation. *WRI White Paper*.
- Xia, Y. and Buccola, S. (2005) University Life Science Programs and Agricultural Biotechnology. *American Journal of Agricultural Economics*, 87, 287-293.
- Yan, J. S. and Zhang, J. S. (1993). Advances of ecological engineering in China. *Ecological Engineering*, 2, 193-215.

Zaccai, E. (2002) *Le développement durable. Dynamique et constitution d'un projet.*
Peter Lang, Bruxelles.

Zhu, Y. Y., Chen, H. R., Fan, J. H., Wang, Y. Y., Li, Y., Chen, J. B., Fan, J. X., Yang,
S. S., Hu, L. P., Leung, H. and al. (2000) Genetic diversity and disease control in
rice. *Nature*, 406, 718-722.

Glossaire

Remarque : Si un terme ne se trouve pas dans le glossaire, le numéro de page indiqué en gras dans l'index est celui où le terme est présenté.

Agroforesterie : association de cultures et d'arbres sur une même parcelle

Associations variétales : combinaison de plusieurs espèces dans la même parcelle (différentes céréales ou céréales et légumineuses par ex.)

Bien privé : bien, service ou ressource qui fait l'objet d'échanges durant lesquels sa propriété ou son usage change de mains. Les biens privés possèdent des propriétés d'exclusivité et de rivalité (tout le monde ne peut pas en profiter en même temps).

Bien public : bien, service ou ressource qui bénéficie à tous et se caractérise par la non-rivalité (la consommation du bien par un individu n'empêche pas sa consommation par un autre), et la non-exclusion (personne ne peut être exclu de la consommation de ce bien). La qualité de l'air, le contrôle des épidémies en sont des exemples.

Club (club variétal) : structure commerciale de production, distribution et promotion d'une variété particulière (en arboriculture).

Contribution phytosanitaire au rendement : dans un essai expérimental agricole, taux de "perte" du champ non-traité (avec des fongicides par exemple) par rapport au champ traité, en % ou en kg/ha.

Coût d'opportunité : en économie, mesure des avantages auxquels on renonce en affectant les ressources disponibles à un usage donné (valeur de la meilleure option non-réalisée ; coût d'une action estimé en termes d'opportunités non-réalisées et d'avantages qui auraient pu être retirés de ces opportunités).

Déterminants d'innovation : facteurs sociaux, culturels, économiques ou politiques qui agissent sur le développement des trajectoires technologiques (voies d'innovation) (Edquist, 2001).

Durabilité de la résistance: persistance de l'efficacité de la résistance dans le temps et dans l'espace (nombre de saisons avant un développement important des populations de pathogènes insensibles au mécanisme de résistance)

Économie évolutionniste : (*evolutionary economics*) approche de l'économie qui insiste sur les interdépendances complexes et sur une vision dynamique des processus économiques, en particulier des effets des changements technologiques (Schumpeter, Nelson & Winter). Cette approche est différente de l'école néo-classique de l'économie qui assume qu'il n'y a qu'une seule possibilité qui peut être atteinte, peut importe les conditions initiales ou les événements intermédiaires. (Voir aussi *path-dependance* et *lock-in*)

Eliciteur de résistance systémique induite : produit ou substance qui induit, dans une plante, des mécanismes de résistance systémique.

Externalité : situation économique dans laquelle l'acte de consommation ou de production d'un agent influe positivement ou négativement sur l'utilité d'un autre agent, sans que cette influence ne soit traduite dans les mécanismes de marchés (ex : les pollutions environnementales sont des externalités négatives)

Ex ante et ex post : locutions latines signifiant 'au préalable' et 'après les faits'

Facteurs de développement (des voies d'innovations) : (= *déterminants d'innovation*). dans cette recherche, les

facteurs techniques (obstacles à résoudre dans le processus de développement scientifique de l'innovation) sont distingués des facteurs socio-économiques et socio-politiques.

Facteurs d'utilisation des variétés : facteurs influençant l'utilisation (l'adoption) par les agriculteurs des nouvelles variétés (de froment ou de pommier)

Génomique : étude des génomes

Incertitude : situations dans lesquelles on ne connaît pas tous les états possibles du système. En gestion du risque, risque non ou mal mesurable (du fait notamment de l'absence de statistiques passées fiables permettant de définir des probabilités objectives).

Innovation : 'introduction d'une nouveauté'.

- innovation incrémentale : innovation par incréments (amélioration continue)
- innovation de rupture : innovation qui modifie profondément le système dans lequel elle s'insère (=innovation radicale)
- innovation institutionnelle ou politique : innovation 'non-technologique' impliquant des modifications des normes ou des modes d'organisation (ex : innovations en termes d'information, de gestion du marché ou de politiques agricoles).

Itinéraire technique : ensemble d'opérations qui caractérisent un système agricole. Les itinéraires techniques diffèrent par leur niveau d'intensité en intrants de synthèse (engrais, pesticides, herbicides), le type de variétés utilisées (résistantes, rustiques, hybrides), le type de labour (réduit, non-labour), etc. Les principaux systèmes agricoles sont les systèmes à bas intrants (systèmes combinant utilisation réduite d'intrants (engrais et pesticides) et variétés rustiques), les systèmes

conventionnels (systèmes intensifs en intrants et n'intégrant pas la résistance aux maladies comme une priorité du choix variétal), l'agriculture intégrée et l'agriculture biologique.

Littérature grise : document dactylographié ou imprimé, produit à l'intention d'un public restreint, en dehors des circuits commerciaux de l'édition et de la diffusion et en marge des dispositifs de contrôle bibliographiques (ex : rapports d'études ou de recherches, actes de congrès, thèses, brevets, etc.

Lock-in : (Verrouillage technologique) situation où une technologie dominante empêche le développement de technologies concurrentes et potentiellement supérieures.

Lutte biologique : en agriculture, méthode de lutte contre un ravageur ou une plante adventice au moyen d'organismes naturels antagonistes de ceux-ci.

Maladies cryptogamiques : maladies des plantes occasionnées par des champignons microscopiques.

Mélanges variétaux : culture de mélanges de variétés dans une même parcelle.

Méteil : mélange de froment et de seigle

Modèle linéaire (de l'innovation) : modèle ayant influencé les politiques scientifiques depuis la Seconde Guerre Mondiale, selon lequel les progrès scientifiques issus de la recherche fondamentale influencent les possibilités de technologies, elles-mêmes bénéfiques pour la société, le tout dans un processus linéaire à sens unique (recherche fondamentale → applications industrielles → croissance et emplois → bien commun)

Niche (d'innovation) : espace protégé des contraintes du régime technologique dominant

Obstacles (voir *déterminants d'innovation et facteurs d'utilisation*)

Paradigme : représentation du monde, manière de voir les choses, modèle

cohérent de vision du monde qui repose sur une base définie (matrice disciplinaire, modèle théorique ou courant de pensée).

Paradigme scientifique : ensemble des règles admises et intériorisées comme « normes » par la communauté scientifique, à un moment donné de son histoire, pour délimiter et problématiser les « faits » qu'elle juge dignes d'étude (Selon Kuhn, ensemble d'observations et de faits avérés, de questions en relation avec le sujet qui se posent et doivent être résolues et indications méthodologiques (comment ces questions doivent être posées) et interprétatives (comment les résultats de la recherche scientifique doivent être interprétés)).

Paradigme technologique : modèle et canevas de solution à des problèmes technologiques sélectionnés, basé sur des principes dérivés des sciences naturelles (Dosi) Un paradigme technologique définit une idée de progrès et comprend des prescriptions sur les directions du changement technologique à poursuivre et celles à négliger, ayant en conséquence des effets d'exclusion.

Path dependence : dépendance de technologies concurrentes (visant une même finalité) aux conditions initiales de leur développement, en présence de revenus croissants.

Protéines P-R : protéines synthétisées par les plantes durant l'infection par différents pathogènes. Certaines ont une activité antifongique directe.

Protéomique : science qui étudie les protéomes, c'est-à-dire (ensemble des protéines d'une cellule, organelle, tissu, organe ou organisme).

Organisme génétiquement modifié : organisme, à l'exception des êtres humains, dont le matériel génétique a été modifié d'une manière qui ne s'effectue pas naturellement par multiplication et/ou par recombinaison naturelle (définition de la Directive UE 2001/18).

Résistance (d'une plante): phénomène par lequel des plantes parviennent à résister à des conditions ou à supporter un agent qui leur est normalement toxique. Dans cette recherche, les termes 'résistance', 'tolérance' et 'sensibilité' caractérisent le comportement des variétés (de pommiers, de froment, etc.) aux maladies. Les variétés sont rarement complètement résistantes aux maladies, d'où l'utilisation du terme 'tolérantes'. En froment, la résistance/tolérance aux maladies est évaluée sur des échelles de résistance ou de sensibilité. Le terme 'variétés résistantes' se réfère aux variétés qui sont 'particulièrement tolérantes' à une ou plusieurs maladies.

- horizontale (polygénique, partielle) : résistance basées sur plusieurs gènes de résistances dits mineurs, ayant chacun un effet aditif sur l'expression de la résistance qui est quantitative. Une résistance horizontale est généralement partielle mais s'oppose de manière durable aux attaques de la maladie ou des insectes.

- verticale (monogénique, totale) : résistance basée sur un gène de résistance dit dominant, qui est généralement (presque) totale, mais peut être non durable si des populations de pathogènes contournent le mécanisme de résistance

Résistance systémique induite (RSI) : 'défense immunologique' des plantes ; résistance qui se développe localement ou dans les parties distales de la plante en réponse à un pathogène causant une lésion nécrotique, suite à une infection ou une réaction hypersensitive. Le principe de la RSI comme voie d'innovations est d'activer les mécanismes de défenses naturellement présents dans la plante, mais latents, pour d'augmenter la capacité de la plante à se défendre contre un large spectre d'agents pathogènes. (voir aussi *éliciteurs de-*)

Round-up Ready : résistant au Round-up, un herbicide total

Rusticité : (voir *variétés rustiques*)

Science systémique : science qui influence son propre domaine de recherche

Sélection participative : démarche de sélection variétale qui mixe l'approche fonctionnelle (obtenir des variétés mieux adaptées, c'est-à-dire répondant aux besoins des agriculteurs et, au-delà, d'une filière) et l'approche procédurale qui contribue à renforcer le rôle des agriculteurs dans le système semencier.

Sensibilité variétale : (voir *résistance*)

Systèmes agricoles : (voir *itinéraires techniques*)

Tolérance : (voir *résistance*)

Trajectoire technologique : progrès, avancement en fonction d'un paradigme technologique (Voir *voie d'innovations*).

Transgène : assemblage artificiel de gènes qui est inséré dans la plante-hôte (la plante génétiquement modifiée) et contenant le gène codant pour le phénotype d'intérêt et d'autres gènes nécessaires à la réussite de la transgénèse

Transgénèse : technique consistant à introduire un ou plusieurs gènes dans des cellules menant à la transmission du gène introduit (transgène) aux générations successives.

Venturia inaequalis : champignon causant la maladie de la tavelure

Variétés

- résistantes (voir *résistance variétale*).
- rustiques : variétés sélectionnées pour être performantes dans des systèmes agricoles à intrants réduits grâce à un haut niveau moyen de résistance à toutes les maladies et une bonne productivité en milie peu fertilisé.

- Variété Vf: variété de pommier résistante à la tavelure dont la résistance (monogénique) provient du gène Vf.

Verrouillage technologique : (voir *lock-in*)

Vf : (voir *variétés Vf*)

Voie d'innovations : (= *trajectoire technologique*) ensemble d'innovations qui suivent un même paradigme technologique, une même logique d'innovation. (Dans cette thèse, le concept de voie d'innovations est préféré à celui de *trajectoire technologique* bien que ce dernier soit plus fréquent dans la littérature. Dans un objectif de comparer des logiques d'innovation aussi différentes que le génie génétique ou l'agroforesterie, il est nécessaire de trouver des termes les plus neutres possibles. Or, en agronomie comme dans d'autres domaines, le terme 'technologique' est linguistiquement connoté à 'high-technology' (hi-tech). Le choix de 'voie d'innovations' par rapport à 'trajectoire technologique' permet donc de ne pas perpétuer ce biais linguistique qui ancre dans l'étude de l'innovation un à-priori favorable aux trajectoires high-tech par rapport aux trajectoires 'low-tech', alors que toutes deux peuvent avoir une pertinence équivalente par rapport aux problèmes et objectifs de la société).

Voies de développement : trajectoires que suivent les sociétés, construites par l'accumulation des multiples choix économiques, politiques, sociaux et culturels de leurs différents acteurs, et influencées par leur environnement extérieur physique, politique et économique.

Note : Les définitions sont soit personnelles, soit issues de dictionnaires et encyclopédies. L'encyclopédie libre Wikipédia a permis de trouver des définitions satisfaisantes pour un grand nombre de termes.

Index

- Actor-Network Theory, 71
ADN recombinant, 22, 23
agriculture biologique
 - dans filière céréalière, 224
 - lien avec l'agroécologie, 246, 353agriculture moderne, 198, 400, 416
 - dépendance aux combustibles fossiles, 399
 - problèmes environnementaux, 399
 - systèmes intensifs, 226, 256, 258, 259, 267, 272agroécologie, 377, 415, 416, 447, 458, 465, 476, 478
agroforesterie, 210, 277, 322, 323, 329, 334, 339, 340, 341, 342, 344, 346, 347, 351, 353, 374, 403, 404, 414, 418, 427, 458, 463, 474, 475
agronomie politique, 478, 479
analyse bibliométrique, 89, 120, 306, 385, 457, 458, 459
analyse coûts-bénéfices, 14, 34, 272, 453
analyse de scénarios, 367
analyse multicritères, 37, 38
analyses bibliométriques, 306, 385, 458, 459
ANT, 71, 72, 73, 81
approche 'systèmes d'innovation', 70, 326, 331, 332, 333, 339, 351, 354
approche critique, 479
approche évolutionniste, 474
approche heuristique, 394, 397, 434
approche normative, 393, 394, 396, 397, 409
approche systémique
 - acquis, 405
 - émergence, 447, 463, 474
 - hard systems, 69, 70
 - propriétés émergentes, 68, 288, 373, 375, 390, 433, 442, 447, 463, 465, 474
 - soft systems, 69, 70, 448
 - système étudié, 64, 69, 72, 80, 81, 82, 89, 90, 92, 122, 123, 157, 300, 302, 304, 310, 391, 393, 447, 448, 452, 456, 461Asilomar, 22
associations de cultures, 262, 277
associations variétales, 248, 403
biens privés, 414, 441
biens publics, 412, 414, 415, 441, 482
biosécurité, 13, 32, 41, 42, 45, 50, 52, 53, 55, 57, 58, 59, 64, 98, 114, 360, 363, 428, 472, 473, 476
blés transgéniques
 - alternatives, 178, 262
 - développement, 188
 - essais, 189, 273brevets, 189, 195, 267, 377, 385, 416, 422, 425, 441, 458, 481
cadre cognitif, 134, 279, 432
cas par cas, 15, 23, 41, 56, 76, 317, 359, 360, 474
champs d'essais
 - UE et USA, 25, 273changements climatiques, 13, 58, 79, 210, 297, 310, 365, 369, 374, 393, 394, 398, 399, 400, 404, 412, 414, 418, 463, 474, 476, 480, 483
 - vulnérabilité de l'agriculture, 399choix technologiques
 - exemple de comparaison en agriculture, 374
 - importance d'une comparaison des -, 410
 - insuffisance de la comparaison agronomique, 373
 - voies de développement et -, 374club, 284, 294, 425, 426
co-construction, 115, 376, 395, 409, 435
coexistence, 12, 14, 27, 34, 35, 53, 54, 321, 325, 401, 420, 428
Cohen, 21, 22, 173, 243, 340, 448
Commission Européenne, 27, 28, 46, 54, 321, 367, 424, 475
conférence de citoyens, 359
connaissances critiques, 443, 467, 471
contribution phytosanitaire au rendement, 137, **138**
culture politique, **320**
démocratie, 14, 36, 58, 392, 393, 409, 411, 412, 435, 436, 437, 464, 471, 473, 479, 480
 - et procédures participatives d'évaluation des innovations, 437
 - et prospective, 438
 - Parlement, 16, 27, 290, 319, 431, 438, 459
 - réhabilitation du politique, 438
 - technique, 409, 435, 473déterminants d'innovation, **266**
 - comparaison, 266
 - dans la recherche agronomique, 335
 - génie agroécologique, 335
 - génie génétique, 335
 - mélanges variétaux, 278développement durable

- apprentissage social, 394, 434
 - approche heuristique, **393**, 394, 397, 434
 - approche normative, **392**, 393, 394, 396, 397, 409
- diffusion des innovations, 366, 397, 416
- directive 2001/18, 41, 42, 44, 46, 47, 50, 54, 57, 58, 189, 191, 230, 264, 432
- directive reach, 419, 477
- durabilité de la résistance, **192**
- économie
- approche évolutionniste, 417, 473, 474
 - approche néoclassique, 480
 - coûts d'opportunité, 421, 477
 - externalités, 58, 72, 220, 373, 377, 411, 416, 420, 477, 482, 483
 - syndrome du fou rationnel, 482, 483, 484
- éliciteurs de résistance systémique induite, **203**
- encadrer sans entraver, 23, 53, 428
- équivalence en substance, 24, 27, 44
- étape par étape, 15, 23, 41, 44, 45, 46
- état compétitif**, 480, 483
- Etats-Unis, 12, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 31, 76, 77, 78, 106, 126, 127, 189, 190, 234, 240, 272, 273, 274, 275, 280, 399, 422, 425, 441, 475, 481, 482, 483
- éthique, 31, 32, 38, 46, 47, 56, 57, 58, 310, 440, 442, 443, 466
- étiquetage, 26, 27, 53, 54
- évaluation
- ex ante, 33, 34, 35, 357, 408, 409, 431, 453, 459
 - ex post, 33, 34, 46, 165, 408, 409, 431
- évaluation agronomique, 217
- évaluation des impacts sociaux, 35
- évaluation des innovations
- ouvrir l' -, 359
 - par le marché, 411
 - procédures expertes ou analytiques, 32
- évaluation des risques environnementaux, 27, 44, 45
- évaluation du risque de biosécurité, 63, 428
- évaluation environnementale stratégique, 365
- évaluation technologique interactive, 37, 38, 40, 55, 357, 365, 379, 381, 437
- ex ante*, 33, 34, 35, 357, 408, 409, 431, 453, 459
- ex post*, 33, 34, 46, 165, 408, 409, 431
- expertise, 12, 23, 27, 35, 36, 39, 41, 42, 44, 48, 49, 50, 52, 56, 58, 75, 99, 113, 114, 185, 322, 325, 345, 396, 409, 432
- facteurs de non-développement des variétés résistantes
- comparaison, 255
 - froment, 156
 - pommiers, 102
- Farm Scale Evaluations, 33, 56, 373
- fenêtre politique, 483
- filières de qualité différenciée, 130, 132, 215, 252, 284, 285, 291
- finance, 332, 348, 424, 480
- focus groups, 37, 38, 354
- fongicides
- diminution de traitements (pommiers), 103
 - enjeux, 235
 - risques, 75
 - risques sur la santé et l'environnement, 74
 - traitements, 75
 - traitements (froment), 149
 - traitements (pommier), 103
 - traitements (pommiers), 100
- fou rationnel, 482, 483, 484
- futurs possibles, 324, 367, 368, 369, 370, 434, 438, 479
- génie agroécologique, 319, **329**, 362, 371, 374, 380, 400, 402, 404, 414, 415, 416, 417, 427, 436, 442, 447, 450, 457, 458, 463, 464, 475, 476, 477
- avantages, 403
 - conditions d'émergence, 463
 - déterminants d'innovation (obstacles), 335
 - ex. de systèmes agroécologiques, 329
 - lien avec l'agriculture biologique, 270, 331, 348
 - politique de promotion du -, 414
 - trajectoire technologique, 328
 - vision intégrée (absence de-, nécessité de-), 287, 291, 292, 323, 415, 463
- génie génétique, **328**
- comparaison avec génie agroécologique, 328
 - coûts d'opportunité, 421, 477
 - développement (froment), 273
 - développement (pommiers), 99, 107
 - incertitudes sur potentiel, 28, 400
 - mondialisation néolibérale et-, 481
 - risques, 13, 41, 42, 45, 50, 52, 53, 55, 114, 363, 383, 428, 473, 476
 - subsides au -, 421
 - trajectoire technologique, 328
- génomique, 237, 401, 429, 440, 441, 458, 481, 482
- Géno plante, 441, 464
- gestion de l'innovation
- à géométrie variable, 321, 323, 324, 351, 362, 369, 370, 371, 405, 480, 484

- au service du système dominant, 239, 288
- comparaison filière, 286
- dans les filières bio, 293
- enjeux majeurs (froment), 233
- étape par étape, 15, 23, 41, 44, 45, 46
- filière céréalière, 228
- triple délégation, 289, 362
- visions statique et dynamique, 323
- globalisation, 11, 12, 78, 102, 325, 372, 376, 424, 429, 437, 442
- GM Nation, 39, 56
- heuristique politique, 393, 438, 472
- ignorance, 12, 46, 47, 48, 58, 59, 196, 434
- incertitudes, 12, 34, 39, 47, 48, 59, 98, 100, 127, 140, 223, 253, 377, 400, 412, 448, 482
- innovation
 - diffusion des innovations, 16, 29, 107, 168, 169, 261, 278, 283, 298, 313, 332, 366, 380, 385, 386, 397, 411, 416, 453, 454, 473, 481, 482
 - division du travail public-privé, 338
 - modèle linéaire, 373
 - niches d'-, 106, 223, 224, 240, 284, 287, 291, 292, 293, 294, 322, 327, 348, 351, 353, 362, 377, 408, 414, 417, 418, 438, 463
 - ré-encastrent l'-, 483
 - technological treadmill, 421, 481
 - vision du développement durable, 390
 - vision dynamique, 323, 366, 379, 474, 475
 - vision héritée des lumières, 390
 - vision statique, 321, 323, 324, 379, 380, 474
- innovations agroécologiques, 291, 292, 324, 331, 334, 337, 339, 341, 343, 345, 346, 347, 348, 350, 352, 353, 354, 371, 402, 414, 415, 416, 440, 447, 458, 463, 478, 482
- innovations institutionnelles, **211**
- irréversibilités, 405, 408, 420, 421, 422, 423, 428, 483
 - dans les filières agroalimentaires, 420
 - liées à l'innovation, 421
 - lock-in et-, 420
- itinéraires techniques à intrants réduits, 163, 235, 283, 309
- Jonagold, 97, 102, 103, 105, 256, 259, 260, 261, 426
- justification, 23, 295, 393, 411, 438
- knowledge stocks, **349**, 385, 457
- Les Naturianes, 282, 284, 294, 426, 464
- libéralisme, 52, 53, 54, 58, 376, 390, 424, 482
- littérature grise, 89, 90, 91, 298, 301, 305, 306, 307, 312, 313, 448
- Livre Blanc*, 82, 90, 92, 119, 133, 134, 137, 140, 141, 145, 146, 153, 155, 160, 161, 162, 163, 165, 166, 168, 169, 172, 173, 215, 217, 218, 225, 239, 242, 243, 244, 246, 247, 248, 269, 283, 298, 302, 307, 312, 313, 420, 448, 459
 - analyse, 90, 133
 - analyse des recherches expérimentales présentées, 136
 - décalage avec enquêtes, 172
 - présentation, 133
- Livre Bleu*, 23, 24
- lobbys, 335, 339, 350, 436, 477
- lock-in, 17, 119, 120, 287, 326, 349, 350, 353, 355, 361, 362, 366, 373, 374, 389, 404, 405, 408, 409, 410, 411, 414, 417, 419, 420, 421, 426, 427, 428, 436, 447, 473, 474, 475, 480
 - dans la recherche agronomique, 348
 - dans les filières agroalimentaires, 287
 - durabilité vs -, 404
 - politiques 'anti-' et 'de sortie de-', 414, 420
- lutte biologique, 179, **205**, 206, 230, 231, 262, 266, 277, 280, 290, 292, 293, 294, 322, 323, 374, 375, 403, 404, 415, 458, 463, 475
- lutte biologique 'passive', 458, 463
- marché
 - échec de – (*market failure*), 351, 404, 412, 414, 480
 - et politique publique, 480
 - évaluation des innovations par le -, 52
 - évaluation par le, 52
 - unique européen, 53, 202, 419
- market failure, **351**, 404, 412, 414, 480
- matrice éthique, 38
- médias, 12, 16, 26, 40, 163, 174, 233, 279, 427, 435, 477
- mélanges variétaux, 17, 73, 120, 179, 180, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 206, 212, 215, 222, 223, 227, 231, 233, 240, 262, 264, 265, 266, 268, 277, 278, 279, 282, 285, 286, 294, 301, 306, 309, 322, 323, 375, 386, 403, 404, 414, 418, 427, 458, 463, 473, 475
 - déterminants d'innovation, 278
 - méteil, 198, 202, 220, 227, 277
 - obstacles, 198
 - potentiels, 198
- mesure agri-environnementale, 154, 155, 217, 240, 258, 285
- méthodes analytiques
 - analyse 'Sustainable Livelihoods Framework', 32, 366
 - analyse coûts-bénéfices, 14, 34, 272, 453
 - analyses de surplus, 34
 - évaluation agronomique, 217
 - évaluation des impacts sociaux, 35

- évaluation des risques environnementaux, 27, 44, 45
- évaluations du risque de biosécurité, 32, 59, 472, 473
- modélisation économique, 34
- méthodes participatives
 - analyse multicritères, 37, 38
 - conférences citoyennes, 36, 365, 435
 - conférences de consensus, 36, 359, 365, 409, 435, 437
 - évaluation technologique interactive ou constructive, 37
 - focus groups, 37, 38, 354
 - MCMA, ix, 357, 379, 380, 381, 408, 460
 - panels citoyens, 57
- modèle linéaire, 373
- modélisation économique, 34
- mondialisation, 412, 471, 480, 481
- Monsanto, 25, 26, 189, 190, 191, 230, 264, 275, 340, 352, 376, 391, 481
- moratoire, 22, 26, 27, 28, 408, 428, 429, 481
- multinationales, 12, 24, 78, 189, 230, 267, 269, 276, 280, 376, 377, 421, 422, 425, 426, 441, 456, 481
- New York Times, 340
- niche d'innovation, 106, 223, 224, 240, 284, 287, 291, 292, 293, 294, 322, 327, 348, 351, 353, 362, 377, 408, 414, 417, 418, 438, 463
- niches, **417**
- observation participante, 82, 84, 90, 91, 92, 286, 301, 308, 319, 320, 447, 448
- OCDE, 23, 24, 324, 357, 368, 428
- Pain Bayard, 170, 215, 216, 246, 282, 284, 293, 376
- paradigme
 - changement de, 390, 398, 400, 414, 417, 475, 476, 478
 - chimique, 400, 475
 - écologique, 402
 - génétique, 400, 475
 - industriel, 350, 400
 - scientifique, **328**, 329, 330, 341
 - technologique, **328**, 420, 476
- paradigme industriel, **400**
- partenariats public-privé (PPP), 337, 338, 463
- path dependence, 287, 341, 348, 349, 353, 355, 361, 362, 366, 374, 411, 417, 473, 474
- pertinence, **384**
- pesticides
 - effets sur la santé et l'environnement, 74
- Pink Lady, 102, 252, 256, 291, 376, 425
- politiques 'anti-lock-in', 420
- politiques 'de sortie de lock-in', 414, 480
- politiques d'innovation
 - anti-lock-in, 420
 - coordination (agence de l'innovation), 430
 - culture politique, 320
 - dans la filière céréalière, 228
 - dans les filières, 286
 - de sortie de lock-in, 414
 - proposées, 405
- politiques publiques
 - expérimentalistes, 409, 423
 - fenêtre politique (policy window), 483
 - hyperpragmatisme, 324, 325
 - marges de manœuvre, 369, 381, 424, 480, 484
 - mise en compétition des -, 480
 - vision néolibérale des-, 481
- pommiers transgéniques
 - alternatives, 109, 262
 - champs d'essais, 273
- principe de précaution, 44, 46, 47, 48, 53, 58, 100, 359, 362, 374, 389, 398, 408, 414, 483
- projet moderniste, 390, 391, 398, 471
- propriétés émergentes, 68, 373, 447, 474
- prospective, **367**
 - en agriculture, 369
 - et démocratie, 369, 438
 - par scénarios, 15, 317, 357, 369, 373, 374, 375, 377, 380, 409, 412, 424, 435, 438, 442, 460, 475, 479, 480, 484
 - participative, 435, 436, 438, 463
 - technologique, 35, 377, 391, 398, 412, 435
- Protocole de Carthagène, 12, 26, 41, 50, 53
- recherche
 - 'publish or perish', 343
 - 'system failure', 351
 - cadre cognitif des chercheurs, 345
 - division public-privé de la -, 338
 - éthique de la recherche, 440
 - interdisciplinarité, 343
 - prise en compte de la complexité par la -, 341
- recherche-action, 69, 71, 442, 448, 449, 461, 463, 473
- recherche-intervention, 113, 299, 376, 396, 448, 449, 461, 473
- réflexivité, **395**
 - améliorer la -, 432, 472
 - et développement durable, 394
 - manque de - dans les filières, 291
- régions européennes, 428, 429, 437, 464
- réseau socio-technique, 80, 81, 122
- résistance horizontale, 182, 204, 209, 259, 375

résistance systémique induite, 109, 113, **202**, 205, 210, 265, 277, 280, 294, 374, 458
 - éliciteurs de -, 109, 179, 180, 203, 204, 205, 262, 265, 266, 280, 294, 374, 415, 416, 458
 révolution verte, 372, 481
 risque
 - société du, 11, 13
 robot cueilleur de fruits, 288
 Round-up, ix, 298, 374
 seconde génération, 13, 29, 97, 98, 231, 248, 401, 482
 sélection participative, 293, 464
 sensibilité variétale, 140, 144, 145, 147
 Service de Biosécurité et de Biotechnologie, 56
 smart breeding, 271, 464, 482
 société de la connaissance, 471
 société du risque, 11, 13
 sociologie
 - acteur-réseau, 65, 66, 71, 313
 - de l'innovation, 478
 sociologie de l'innovation
 - actor-network theory, 333, 351
 sociologie des sciences, 71, 72, 101, 312
 stocks de connaissances, 457, 475
 stratégies d'intervention, 451
 stratégies préventives, 83, 128, 129, 131, 141, 161, 176, 212, 213, 215, 216, 219, 239, 254, 282, 284, 288, 293, 307, 312, 314, 451
 system failure, **351**, 412, 480
 système d'innovation
 - approche, 70, 81, 286, 326, 331, 332, 333, 339, 351, 354
 - système d'innovation négociée, 425
 système d'innovation
 - approche, **286**
 systèmes de recherche agronomique, 332
 technology assessment, 31, 36, 37, 317, 379, 381
 Topaz, 97, 102, 105, 252, 376
 trajectoire
 - technologique, **328**
 trajectoire technologique, 266, 319, 366, 367, 374, 473, 474
 Union Européenne, 12, 21, 50, 54, 55, 56, 108, 112, 265, 385, 423, 481
 Université de Californie, 441, 463
 variétés
 - modifier les normes de résistance, 419
 - rustiques, 167, 188, 258, 270, 272, 283, 285, 288, 294, 375, 447
 - vf, 103, 105, 255, 259, 265, 270
 variétés résistantes
 - facteurs de (non) développement (comparaison), 255
 - facteurs de (non) développement (froment), 156
 - facteurs de (non) développement (pommiers), 102
 - facteurs de (non) développement des -, 102
 vergers multivariétés, 277, 278
 verrouillage technologique, 287, 362, 447, 473
 voie de développement, 34, 35, 202, 306, 323, 369, **372**, 373, 375, 376, 377, 412, 425, 428, 436, 440, 442, 479, 484
 - comparaison des différentes voies de -, 375
 voies d'innovations
 - agroécologiques, 291, 292, 324, 371, 402, 414, 415, 416, 440, 447, 458, 463, 478, 482
 - comparaison des différentes -, 262
 - déphasage entre innovations technologiques et innovations institutionnelles, 389, 405
 - déterminants d'innovation, 266
 - développement inégal, 228
 - institutionnelles, 237, 281, 314
 - intégration des - dans les voies de développement, 375
 - niveau de développement des différentes -, 263
 voies d'intervention, **262**
 voies de prévention, **262**
 Zones sans OGM, 28, 428, 464

Table des Matières détaillée

INTRODUCTION	11
GERER LES CHOIX TECHNOLOGIQUES A L'HEURE DU GENIE GENETIQUE	11
PARCOURS DE LECTURE & PLAN DE LA THESE	15
CHAPITRE 1: L'EVALUATION DES INNOVATIONS SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES, UNE CONTROVERSE PUBLIQUE ET SCIENTIFIQUE	21
1. UN QUART DE SIECLE DE CO-EVOLUTION ENTRE INNOVATIONS ET REGLEMENTATIONS	22
2. LES METHODES D'EVALUATION DES INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES	31
A. <i>Méthodes analytiques</i>	32
B. <i>Méthodes participatives</i>	36
C. <i>Avantages, inconvénients et complémentarité des deux types de méthodes</i>	38
3. L'EVALUATION REGLEMENTAIRE DES PLANTES TRANSGENIQUES EN EUROPE	41
4. CRITIQUES DE L'EVALUATION REGLEMENTAIRE.....	44
A. <i>Le choix de l'étalon de comparaison</i>	44
B. <i>Le principe 'étape par étape' et l'hypothèse que tout risque est gérable</i>	45
C. <i>Une interprétation étroite du principe de précaution</i>	46
D. <i>Sciences et expertise, neutres de valeurs ?</i>	48
E. <i>L'absence de participation publique dans les procédures</i>	49
F. <i>L'absence d'évaluation des aspects éthiques et socio-économiques</i>	50
5. L'EVALUATION DE L'INNOVATION REMISE EN QUESTION : UN ENJEU POUR LA RECHERCHE	52
A. <i>Le mode actuel d'évaluation dépend du référentiel politique et économique dominant</i>	52
B. <i>Complexités scientifiques et socio-politiques d'un élargissement de l'évaluation</i>	54
1) Complexités scientifiques.....	54
2) Complexités socio-politiques.....	55
3) L'expérimentation belge d'une évaluation des aspects éthiques et de durabilité.....	56
C. <i>Insuffisance de l'évaluation actuelle par rapport à une approche systémique de l'innovation</i>	58
CHAPITRE 2 : CADRE EPISTEMOLOGIQUE.....	61
1. OBJECTIFS, THESE ET HYPOTHESES	62
A. <i>Objectifs</i>	62
B. <i>Thèse</i>	63
C. <i>Hypothèses</i>	63
2. FONDEMENTS THEORIQUES	65
A. <i>Choix épistémologiques</i>	65

B.	<i>L'approche systémique</i>	66
1)	La systémique, méta-discipline complémentaire au réductionnisme scientifique	66
2)	La systémique, pertinence pour les sciences agronomiques ?	70
3)	L'analyse socio-technique : principes utiles pour l'analyse de l'innovation	71
3.	TERRAIN EMPIRIQUE : CHOIX DES ETUDES DE CAS	74
A.	<i>Deux filières agroalimentaires et deux enjeux significatifs</i>	74
1)	Les problèmes sanitaires et environnementaux des fongicides	74
2)	Le choix du cas du pommier résistant à la tavelure	76
3)	Le choix du cas du froment résistant aux maladies	77
B.	<i>Nombre d'études de cas</i>	79
4.	METHODOLOGIE DEVELOPPEE ET UTILISEE	80
A.	<i>Le système analysé</i>	80
B.	<i>Axes transversaux (Canevas d'analyse)</i>	82
C.	<i>Composantes méthodologiques</i>	84
1)	Etape préparatoire	86
2)	Enquête par entretiens	86
3)	Analyse de la littérature	89
D.	<i>Observation participante aux forums sur l'innovation scientifique</i>	91

CHAPITRE 3 : LES POMMIERS TRANSGENIQUES RESISTANTS A LA TAVELURE : APPROCHE SYSTEMIQUE D'UNE PLANTE TRANSGENIQUE DE SECONDE GENERATION 97

1.	LES POMMIERS TRANSGENIQUES RESISTANTS A LA TAVELURE. ANALYSE SYSTEMIQUE D'UNE PLANTE TRANSGENIQUE DE "SECONDE GENERATION" (ARTICLE PUBLIE)	98
A.	<i>Demandes d'autorisation de vergers expérimentaux de pommiers réducteurs de fongicides</i>	99
B.	<i>Une approche systémique du problème de la tavelure du pommier et des variétés résistantes</i>	101
1)	Choix des producteurs (stratégies de lutte et variétés)	102
2)	Sélection et amélioration	103
3)	Conseils techniques et Jardins d'essais	104
4)	Tavelure et Marché	104
5)	Consommateurs et critères de qualité	105
6)	Variétés résistantes et vente locale	106
C.	<i>Atouts et limites des pommiers résistants transgéniques</i>	107
D.	<i>Prospective autour d'un problème technique et des stratégies d'innovation</i>	108
E.	<i>« OGM ou fongicides ? » L'approche systémique pousse à redéfinir le problème</i>	109

F.	<i>Multiples stratégies de lutte contre la tavelure : complémentarité et concurrence.....</i>	109
G.	<i>Conclusions et perspectives pour la recherche et l'action publique</i>	112
1)	Lien entre plante transgénique, problème technique et environnement socio-économique...	112
2)	Multiplicité du progrès scientifique : des choix à évaluer, orienter et assumer.....	113
3)	Elargir l'évaluation des plantes transgéniques, introduire le critère de pertinence.....	114
2.	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	115
H.	<i>Références bibliographiques</i>	115

CHAPITRE 4 : LA FILIERE CEREALIERE WALLONNE FACE AU PROBLEME DES MALADIES CRYPTOGAMIQUES ET AUX INNOVATIONS POUR LES RESOUDRE ... 119

1.	LA FUSARIOSE, UN PROBLEME D'ACTUALITE EN FROMENT D'HIVER	121
A.	<i>La filière céréalière en Région Wallonne</i>	121
1)	La production céréalière en Wallonie.....	121
2)	La filière céréalière wallonne - Le système étudié	122
B.	<i>La fusariose et les mycotoxines : un problème agricole et de santé publique.....</i>	124
1)	La fusariose de l'épi : situation au champ.....	124
2)	Les mycotoxines : le problème de santé publique.....	125
3)	Réglementation.....	126
4)	Importance du problème en Région Wallonne	126
C.	<i>La fusariose : interactions avec les autres problèmes.....</i>	127
1)	Les maladies cryptogamiques du froment	127
2)	Contexte socio-économique des différents acteurs de la filière.....	128
2.	LA GESTION DES MALADIES CRYPTOGAMIQUES DU FROMENT VUE SOUS L'ANGLE D'UNE ANALYSE SYSTEMATIQUE DU 'LIVRE BLANC', REFERENCE INCONTOURNABLE DE LA FILIERE CEREALIERE....	133
A.	<i>Présentation du Livre Blanc.....</i>	133
B.	<i>Méthode d'analyse et résultats.....</i>	134
3.	LA FILIERE FACE A LA FUSARIOSE AUJOURD'HUI : LES STRATEGIES ACTUELLES DE LUTTE ET DE PREVENTION (2005)	140
A.	<i>Les stratégies conseillées : gamme, utilisation et obstacles directs au niveau des producteurs.....</i>	140
1)	Les stratégies principales	141
2)	Les stratégies secondaires	152
3)	Synthèse des obstacles 'directs' à l'utilisation des stratégies	156
B.	<i>Les facteurs 'systémiques' qui expliquent l'écart entre stratégies conseillées et pratiques réelles</i>	157
1)	L'influence des firmes privées	158
2)	L'encadrement public des producteurs (R&D et vulgarisation)	161
3)	Décalages entre enquête et analyse du Livre Blanc	172

C.	<i>Synthèse : Les obstacles à l'utilisation des stratégies préventives</i>	176
4.	LA FILIERE FACE AUX MALADIES CRYPTOGAMIQUES DEMAIN : LES VOIES D'INNOVATIONS (2005-2020).....	178
A.	<i>Gamme des voies d'innovations technologiques</i>	178
B.	<i>Voies d'innovations technologiques principales</i>	180
1)	Phytopharmacie (Nouveaux fongicides)	180
2)	Amélioration variétale conventionnelle et moderne	182
3)	Génie génétique.....	188
4)	Analyse des facteurs de développement des voies d'innovations principales.....	193
C.	<i>Voies d'innovations technologiques secondaires</i>	196
1)	Mélanges variétaux	196
2)	Eliciteurs de résistance induite	202
3)	Lutte biologique (champignons antagonistes)	205
4)	Analyse des facteurs de développement des voies d'innovations secondaires	207
5)	Voies d'innovations non prises en compte.....	210
D.	<i>Innovations institutionnelles ou politiques</i>	211
1)	Amélioration de la circulation de l'information.....	212
2)	Réglementation publique du marché.....	213
3)	Innovations commerciales (Filières de qualité différenciée).....	215
4)	Politique agricole.....	216
5)	Influence des innovations institutionnelles sur les innovations technologiques.....	221
6)	Analyse des facteurs de développement des innovations institutionnelles.....	223
7)	Innovations non prises en compte	223
5.	LA SOUS-FILIERE DE L'AGRICULTURE BIOLOGIQUE	224
6.	LA GESTION DE L'INNOVATION DANS LA FILIERE	228
A.	<i>Développement inégal des voies d'innovations</i>	228
B.	<i>Absence de politique et de gestion forte de l'innovation face aux maladies</i>	232
C.	<i>Faible réflexivité de la filière sur ses activités</i>	232
1)	Les trois enjeux majeurs pour les acteurs et l'enjeu absent	233
2)	Prévalence des aspects techniques dans la recherche par rapport aux aspects socio-économiques	237
3)	Prise en compte privilégiée d'un seul système	239
D.	<i>La fusariose : une exception en matière de gestion des stratégies et des innovations</i> .	240
7.	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	242
	CHAPITRE 5 : COMPARAISON DES ETUDES DE CAS	249
1.	LES FILIERES ET LES PROBLEMES ETUDIES	251

A.	<i>Les deux filières agricoles</i>	251
B.	<i>Les deux systèmes agricoles</i>	252
C.	<i>Les deux problèmes initiaux</i>	253
2.	LES STRATEGIES DE LUTTE ET DE PREVENTION EXISTANTES (2003-2005)	254
3.	LES VOIES D'INNOVATIONS (2005-2020).....	262
A.	<i>Synthèse des niveaux de développement des voies d'innovation</i>	263
B.	<i>Synthèse des déterminants d'innovations</i>	266
C.	<i>Comparaison en détails pour les voies principales</i>	268
1)	La phytopharmacie.....	268
2)	L'amélioration variétale	270
3)	Le génie génétique.....	273
D.	<i>Comparaison en détails pour les voies d'innovations secondaires</i>	277
1)	La diversité génétique (mélanges variétaux et vergers diversifiés)	277
2)	La lutte biologique	280
3)	Les éliciteurs de résistance systémique induite.....	280
E.	<i>Les voies d'innovations institutionnelles, sociales et politiques</i>	281
4.	LA GESTION DE L'INNOVATION DANS LES FILIERES	286
A.	<i>Existence de situations de lock-in et de path dependence</i>	287
B.	<i>L'innovation au service du système agricole dominant</i>	288
C.	<i>En absence de politique d'innovation forte, gestion de l'innovation par triple délégation</i> 289	
D.	<i>Réflexivité sur la gestion de l'innovation</i>	291
E.	<i>Absence de vision intégrée sur les voies d'innovations agroécologiques</i>	291
F.	<i>Ouverture aux innovations secondaires dans des 'niches'</i>	292
G.	<i>La sous-valorisation de l'agriculture bio dans la gestion de l'innovation</i>	293

CHAPITRE 6 : DISCUSSION DE LA METHODOLOGIE SYSTEMIQUE ET DU CHOIX DES ETUDES DE CAS 295

1.	DISCUSSION DU CHOIX DES ETUDES DE CAS.....	296
2.	APPORTS DES TROIS ETUDES DE CAS DES MEMOIRES	297
3.	FORCES ET FAIBLESSES DE LA METHODOLOGIE DEVELOPPEE ET UTILISEE	299
A.	<i>Forces et faiblesses de la méthodologie en général</i>	299
B.	<i>Discussion composante par composante</i>	301
1)	Enquête par entretiens.....	301
2)	Analyse de la littérature	305
3)	Observation participante aux forums sur l'innovation scientifique en agriculture	308
4)	Synthèse et articulation des composantes	308

5)	Validation des résultats & interaction avec les acteurs de la filière	308
C.	<i>Validation de l'approche au niveau méthodologique</i>	310
4.	DIFFERENCES METHODOLOGIQUES ENTRE LES DEUX ETUDES DE CAS	312
A.	<i>Contexte et objectifs des études de cas</i>	312
B.	<i>Différences composante par composante</i>	313
1)	Enquête par entretien	313
2)	Analyse de la littérature	313
3)	Approche systémique et résultats	314

CHAPITRE 7 : PENSER EN TERMES DE VOIES D'INNOVATIONS PLUTOT QUE D'INNOVATIONS..... 319

1.	ANALYSE DES FORUMS PUBLICS ET SCIENTIFIQUES SUR L'INNOVATION EN AGRICULTURE	320
A.	<i>Une approche non comparative vis-à-vis des possibilités d'innovation</i>	321
B.	<i>Une approche à géométrie variable par rapport à l'innovation en agriculture</i>	323
C.	<i>Réactions aux urgences et adaptation au courant dominant</i>	324
2.	GENETIC ENGINEERING VERSUS AGROECOLOGICAL ENGINEERING: AGRICULTURAL RESEARCH SYSTEMS AS A SELECTION ENVIRONMENT FOR TECHNOLOGICAL PARADIGMS	326
A.	<i>Technological paradigms and trajectories and agriculture</i>	328
B.	<i>Agricultural research systems as a selection environment for innovations: an SI approach</i> 331	
C.	<i>Determinants of innovation inducing an imbalance between genetic and agroecological engineering</i>	335
D.	<i>Discussion</i>	350
E.	<i>Conclusions</i>	355

CHAPITRE 8 : INNOVATIONS METHODOLOGIQUES POUR AMELIORER L'EVALUATION ET LA GESTION DES INNOVATIONS EN AGRICULTURE..... 357

1.	PRINCIPES POUR CE CHAPITRE ET ACQUIS DE L'APPROCHE SYSTEMIQUE	359
A.	<i>Principes</i>	359
B.	<i>Acquis de l'approche systémique</i>	361
2.	LES METHODES D'EVALUATION DES TECHNOLOGIES ANALYSEES A LA LUMIERE SYSTEMIQUE	363
3.	PROSPECTIVE, VOIES D'INNOVATIONS ET SCENARIOS DE DEVELOPPEMENT	367
A.	<i>Les perspectives technologiques sur les biotechnologies et leurs limites</i>	367
B.	<i>Les perspectives sur l'avenir de l'agriculture et leurs limites</i>	369
C.	<i>Pour une prospective par scénarios sur l'innovation</i>	371
1)	Insérer la comparaison des choix technologiques dans des scénarios de voies de développement	372
2)	Identification des objectifs et des choix technologiques	374
3)	Construction des scénarios	375

4. INTEGRER L'APPROCHE SYSTEMIQUE DANS DES METHODES 'OUVERTES' D'EVALUATION DES INNOVATIONS.....	379
A. L'évaluation multi-critères 'cartographique' (MCMA).....	379
B. L'évaluation technologique interactive (ETI).....	381
5. DES METHODES POUR APPROFONDIR L'EVALUATION ET LA GESTION DES INNOVATIONS	383
A. Grille de critères d'évaluation de la pertinence des innovations.....	383
B. Evaluation des niveaux de développement des voies d'innovations.....	384
C. Evaluation du potentiel des voies d'innovations.....	386

CHAPITRE 9 : PROPOSITIONS DE POLITIQUES D'INNOVATION : DU PROGRES DES LUMIERES VERS LA DURABILITE ET LA MAITRISE DES CHOIX TECHNOLOGIQUES

1. L'INNOVATION DANS LE PROJET DU DEVELOPPEMENT DURABLE.....	390
A. La vision du progrès héritée des Lumières.....	390
B. La durabilité : norme ou horizon ?.....	392
C. L'innovation technologique au cœur du développement durable.....	396
D. Contrainte de changement de paradigme en agronomie.....	398
1) Changement de contexte	398
2) Contrainte de changement de paradigme.....	400
3) Durabilité vs. Lock-in !	404
2. PROPOSITIONS DE POLITIQUES D'INNOVATION	405
A. Institutionnaliser une comparaison des voies d'innovations.....	410
1) La triple nécessité d'une comparaison des choix technologiques.....	410
2) De la comparaison de choix technologiques à la prospective par scénarios.....	412
B. Des politiques 'de sortie de lock-in'	414
1) Politique de promotion du génie agroécologique.....	414
2) Politique de soutien aux niches d'innovation.....	417
3) Modifications des normes réglementant les innovations agricoles.....	419
4) Promouvoir l'optimum économique et écologique.....	419
C. Des politiques 'anti-lock-in'	420
D. Politiques publiques expérimentalistes et systèmes d'innovation négociée	423
1) Politiques publiques expérimentalistes.....	423
2) Systèmes d'innovation négociée	425
E. Décisions et moratoires sur les commercialisations de plantes transgéniques.....	428
3. UNE AGENCE DE L'INNOVATION	430
4. DEMOCRATIE, INNOVATION ET DURABILITE : LE TRIO IMPOSSIBLE? DELIBERER SUR L'INNOVATION	434
1) Experts, citoyens et futurs possibles.....	434

2) Participation vs. mobilisation ?	437
3) Retour au politique	438
5. CHOIX ETHIQUES ET POLITIQUES A L'INTERIEUR DES LABORATOIRES	440
CHAPITRE 10 : TRANSGENESE ET SYSTEMIQUE (DISCUSSION EPISTEMOLOGIQUE)	445
1. DISCUSSION DES QUATRE HYPOTHESES FORÇANT LA TRANSDISCIPLINARITE	446
<i>Hypothèses 1 et 2 : L'approche systémique est l'approche épistémologique adéquate pour étudier les innovations en agriculture et nécessite le développement d'une méthodologie adaptée</i>	<i>446</i>
<i>Hypothèse 3 : Le point de départ doit être l'objectif auquel répond l'innovation et non l'innovation en elle-même</i>	<i>449</i>
<i>Hypothèse 4 : La filière agroalimentaire est un système pertinent pour étudier la gestion de l'innovation</i>	<i>451</i>
2. L'INTERDISCIPLINARITE, RICHE MAIS FRAGILE POSTURE DE RECHERCHE	453
A. Indépendance par rapport aux filières agricoles étudiées	453
B. Difficultés liées au 'système recherche' peu adapté à l'interdisciplinarité	454
3. VOIES EXPLOREES MAIS NON ABOUTIES (PARCOURS DE RECHERCHE)	457
A. Quantifier l'analyse sur les voies d'innovations	457
1) Analyse bibliométrique	458
2) Analyse des budgets de recherche publics	459
B. Réalisation d'une évaluation avec les acteurs d'une filière (MCMA)	460
C. Phase d'interaction avec les acteurs des filières	460
4. PERSPECTIVES DE RECHERCHE POUR UNE MEILLEURE COMPREHENSION DES PROCESSUS D'INNOVATION	463
5. DES 'MEMOIRES META' : DEVELOPPER DES OUTILS POUR LA FORMATION DE SCIENTIFIQUES CRITIQUES	465
RE-ENCASTRER L'INNOVATION	469
L'APPROCHE SYSTEMIQUE COMME CHOIX EPISTEMOLOGIQUE	471
UNE VISION SYSTEMIQUE ET DYNAMIQUE DE L'INNOVATION	473
AGRONOMIE POLITIQUE	478
POLITIQUES D'INNOVATIONS, DEMOCRATIE ET MONDIALISATION	480