UNIVERSITÉ DE LORRAINE

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

THESE

Pour obtenir le grade de

Docteur

de

l'Université de Lorraine

Spécialité : Sciences Agronomiques

Laura MARTIN

le 1er Décembre 2014

Modéliser l'insertion territoriale du *Miscanthus x giganteus* à partir des décisions des agriculteurs : une approche exploitant le modèle du raisonnement à partir de cas

Unité de recherche : INRA, UR 055, ASTER-Mirecourt, F-88500, Mirecourt
Ecole doctorale : Sciences et Ingénierie des Ressources, Procédés, Produits, Environnement (RP2E)

Composition du jury

Jean-Marc MEYNARD, Directeur de recherche, **INRA**	Rapporteur
Alain MILLE, Professeur, **Université Claude Bernard Lyon 1**	Rapporteur
Nathalie GIRARD, Directrice de recherche, **INRA**	Examinatrice
Jean LIEBER, Maître de conférences, **Université de Lorraine**	Examinateur
Maxime MARIE, Maître de conférences, **Université de Caen Basse-Normandie**	Examinateur
Marc BENOIT, Directeur de recherche, **INRA**	Directeur de thèse
Florence LE BER, Directrice de la recherche, **ENGEES**	Directrice de thèse

Remerciements

Il y a quatre ans presque jour pour jour, je commençais ma thèse par une visite de parcelle de miscanthus, dans le cadre d'une journée technique co-organisée par la DRAAF de Bourgogne et l'INRA de Mirecourt. Je ne me doutais pas à ce moment-là que ce miscanthus, que je venais de découvrir, n'allait plus me quitter et être le principal objet de mes réflexions… pour une très longue méditation !

Je ne me doutais pas non plus de la résonance qu'allaient avoir pour moi, toutes tentatives d'explications de ce que pouvait être une thèse par mes deux encadrantes de stage de fin d'études, Florence Hellec et Fabienne Barataud, qui m'ont alors soutenue dans mes choix et que je remercie vivement pour m'avoir donné à découvrir et à comprendre le monde de la Recherche.

Quatre ans donc après que le top départ m'ait été donné, j'aperçois enfin les rivages de mon arrivée. Ma traversée a été parfois périlleuse (j'étais avertie !), mais elle a aussi et surtout été une expérience professionnelle et personnelle très forte, pour laquelle je tire de précieux enseignements. Je remercie ainsi chaleureusement mes directeurs de thèse, Marc Benoît et Florence Le Ber, de m'avoir permis de vivre cette expérience unique et de m'avoir donné leur confiance pour mener à bien ce travail. Je les remercie pour leurs pensées, jugements et critiques, faits dans un état d'esprit positif et encourageant, me permettant une prise d'initiatives importante dans une certaine sérénité. Je les remercie aussi pour la valorisation continue de mon travail, leur forte implication pour appuyer le positionnement scientifique de ma thèse et défendre ainsi l'intérêt du raisonnement à partir de cas dans les sciences agronomiques. Merci à vous également pour toutes les réunions passées ensemble par des moyens divers entre Strasbourg et Mirecourt et pour vos multiples relectures et corrections des derniers mois. Enfin, merci à toi Florence de m'avoir accueillie à tes côtés à l'ENGEES pendant plusieurs mois.

Cette expérience, je la dois aussi à Julie Wohlfahrt qui a permis mon recrutement, ainsi que le recrutement d'autres renforts dans l'équipe biomasse énergie d'ASTER (Kamal, Davide et Guillaume) pour lequel je lui suis très reconnaissante compte tenu des liens personnels forts qui en ont découlé auprès d'eux ! Je te remercie Julie également pour ton entrain, les débats scientifiques que tu as su initier, ton encadrement étroit au démarrage de ma thèse et ton exigence me poussant à un approfondissement des choses, bénéfique pour le positionnement scientifique de ma thèse.

C'est ainsi qu'au terme de ce parcours, je souhaite adresser mes remerciements particuliers aux membres du jury qui m'ont fait l'honneur d'accepter d'évaluer ce travail : les rapporteurs Jean-Marc Meynard et Alain Mille, les examinateurs Nathalie Girard, Jean Lieber et Maxime Marie.

Bien sûr, d'autres personnes ont étroitement contribué à la réalisation de cette thèse. Je pense notamment aux membres de mon comité de pilotage de thèse, Christian Brassac, Thomas Houet, Delphine Leenhardt, Jean Lieber et Julie Wohlfahrt, que je remercie pour l'attention particulière qu'ils ont accordé à mes travaux, pour leurs conseils et pistes de travail, ainsi que pour leurs nombreux encouragements. Je pense aussi à mon stagiaire en informatique, Salah Eddine Lacheheb, que je remercie encore pour sa grande implication dans la conception d'un premier prototype de raisonnement à partir de cas développé dans la thèse, et aussi pour sa rigueur et pour sa bonne humeur permanente !

Je voudrais également exprimer toute ma gratitude à plusieurs collectifs qui de près ou de loin m'ont apporté une aide appréciable à différentes étapes de mon parcours de thèse. Ainsi, je remercie la communauté francophone du raisonnement à partir de cas, plus particulièrement Alain Mille et Béatrice Fuchs pour leur initiation (en cours particulier) au logiciel ReMind, Amélie Cordier et Jean Lieber pour la passation de l'organisation du 20e Atelier du Raisonnement à Partir de Cas qui m'a permis une très bonne intégration dans la communauté. Je remercie aussi le MODELISAD auprès de qui j'ai pu présenter et discuter pour la première fois, des productions abouties de mon travail, et qui m'ont accordé un accueil très favorable. Je remercie le CATISAD également pour avoir collaboré dans l'encadrement du stage de Salah Eddine. Enfin, je remercie aussi les animateurs et doctorants que j'ai pu rencontrer au cours des Journées des Doctorants du SAD (les fameuses JDD !) qui ont été d'un grand bénéfice dans mon parcours de thèse.

Je remercie les membres du Projet FUTUROL dans lequel ma thèse s'est inscrite, ainsi qu'OSEO pour leur soutien financier. Je remercie plus particulièrement Hubert Boizard pour l'animation du module Ressources du Projet FUTUROL, Jean Tayeb et Corina Pruna pour leur aide au respect de différentes procédures de relecture et de soumission des communications scientifiques. Je souhaite aussi adresser mes remerciements particuliers aux autres doctorants du module Ressources : merci notamment à Géraldine Bocquého, Claire Lesur et Karine Dufossé pour la mise en commun de nos données et pour les bonnes relations que nous avons su tisser à distance.

Par ailleurs, ce travail n'aurait pas pu aboutir sans la collaboration de plusieurs partenaires. Ainsi je remercie très chaleureusement Philippe Béjot (coopérative Bourgogne Pellets, Côte-d'Or) pour notre collaboration dans la spatialisation des parcelles implantées en miscanthus dans le secteur d'Aiserey. Je remercie aussi Dominique Garnaud (coopérative de Déshydratation de Baigneux-les-Juifs) pour le temps consacré en entretien. Je remercie également Marie-Sophie Petit et Françoise Pierson (Chambre Régionale d'Agriculture de Bourgogne) pour leur présentation du territoire, leur expertise sur les systèmes de culture et le développement des filières énergétiques, ainsi que pour l'ensemble des documents mis à ma disposition ! Enfin, j'adresse mes sincères remerciements à tous les agriculteurs rencontrés durant mes enquêtes, pour le temps qu'ils m'ont consacré, les connaissances qu'ils m'ont apportées, mais aussi et surtout, pour le déclic qu'ils m'ont donné à vouloir accompagner les agriculteurs dans leur perfectionnement technique et l'innovation.

Outre la Côte-d'Or (zone d'étude de mes enquêtes), cette thèse m'a conduite à poser mes bagages en Lorraine et en Alsace. Je remercie alors toute l'équipe de l'ENGEES m'ayant reçue dans leurs locaux pendant cinq mois. Merci pour les discussions enthousiasmantes durant nos déjeuners à la cantine de la Poste et devant vos cafés (n'en buvant toujours pas à l'époque) avenue de la Marseillaise. Merci pour vos pamphlets dithyrambiques prenant la défense des mots-croisés en voie de disparition dans la presse quotidienne. Merci également à Florence et Christian de m'avoir aidée à trouver un logement et de m'avoir permise de rencontrer Astrid et Pierre. Merci à mes collègues de bureau et tout particulièrement à Xavier Dolques, dont l'aide à la finalisation de mon travail par le développement du prototype SAMM (présenté dans ce mémoire) est inestimable !! Merci aussi à toi, Xavier, pour cette belle amitié. A titre personnel, je remercie également très chaleureusement Astrid et Pierre de m'avoir accueillie chez eux. Merci pour cette très belle rencontre, merci de m'avoir fait découvrir l'univers artistique et littéraire dans lequel vous baignez et merci pour votre TRES grand soutien, peut-être à un des moments les plus déterminants de mon parcours de thèse.

De l'autre côté de la frontière, dans les « plates Vosges », je remercie tout d'abord Catherine Mignolet dans son rôle de Directrice d'Unité et par suite pour toutes les démarches menées dans mon intérêt afin que je bénéficie des meilleures conditions de travail possibles. Je la remercie plus personnellement pour son écoute en tout moment, sa compréhension et ses conseils avisés. Je souhaite aussi adresser mes remerciements particuliers à Corine Boitouzet (Gestionnaire d'Unité) ainsi qu'à Valérie Bichet, Stéphanie Fombaron et Jessica Renaudin, pour toutes les procédures administratives (et autres) que j'ai gérées parfois par anticipation mais aussi souvent dans l'urgence, leur valant à toutes de m'avoir sauvé la mise plus d'une fois ! A vous quatre : merci beaucoup. Merci aussi à toute l'équipe ! Merci notamment à Fabienne Barataud pour la relecture de certains passages du mémoire et pour le temps qu'elle m'a ensuite consacré pour en discuter. Merci à Céline Schott pour son aiguillage sur les bases de données géographiques. Merci à André Blouet et Jean-Louis Fiorelli pour leurs conseils et recommandations bibliographiques. Merci à Jean-Marie Trommenschlager et Damien Foissy pour les coups de pouce informatiques et pour nos (trop rares) discussions passionnantes sur les pratiques agricoles « alternatives ». Merci à mes « co-voitureuses », pour nos trajets faits dans la bonne humeur et pour leur soutien aux derniers mois de la thèse. Merci à David pour toutes ces multiples attentions et pour tous les sachets de thé que je t'ai dévalisés. Merci aussi aux stagiaires et contractuels avec qui j'ai passé de très bons moments à la Vosgienne et autres QG (la liste est longue, ils se reconnaîtront !). Merci aussi à toute l'équipe de l'installation expérimentale, qui à un moment où à un autre m'a donné un coup de main et merci à Jacqueline pour sa bonne humeur de bon matin. Du côté post-doctorants et doctorants, pour qui j'ai une attention très particulière en ce jour, je vous remercie de tout cœur pour les moments forts d'entraide, de soutien et d'amitié partagés ensemble. Davide je te remercie pour ton investissement sans faille dans nos recherches menées collectivement. Je te remercie pour ton sens du partage et pour l'exemple que tu as été pour moi ! Ying, je te remercie pour tous les moments forts de nos vies que nous avons partagés ensemble. Je te remercie pour cette chance incroyable que d'avoir pu découvrir et « vivre » la Chine depuis mon bureau à Mirecourt. Je te souhaite à présent le meilleur dans ta nouvelle vie et entière satisfaction dans ta carrière professionnelle. Kamal, je te remercie tout simplement pour cette belle amitié qui est née au 562 avenue Louis-Buffet ! Merci pour nos discussions tout aussi enrichissantes qu'apaisantes. Merci pour le couscous du midi qui dure jusqu'à 1h00 du matin sans que l'on ne voie le temps passer. Merci pour ton analyse et ton soutien. Margot, merci pour ton peps, tes questions « tordues » qui dévoilent les choses sous de nouvelles perspectives et pour le sacré coup de fraicheur que tu as mis dans notre bureau. Je te souhaite une fin de thèse productive et sereine. Enfin merci à Matthieu, qui dans une grande discrétion, a toujours veillé sur moi et m'a été d'un très grand soutien tout au long de ce parcours de thèse (merci aussi pour le relais pain et autres victuailles !).

Du point de vue personnel, je souhaite adresser mes derniers remerciements à ma famille ainsi qu'à la famille Godfroy (au sens TRES large !) et à mes amis. De tout cœur, merci à mes parents qui malgré la distance ont su m'aider et me soutenir dans les étapes difficiles de cette thèse. Merci à vous deux de m'avoir fait confiance, d'avoir compris et accepté mon absence pour pouvoir aller au bout de ce travail. Merci à toi, maman, pour les kilomètres parcourus le temps d'un week-end. Merci à toi mamie de t'être toujours souciée du bon déroulement de mon travail. Merci aussi à la famille Godfroy pour ces bons moments passés dans le Saintois. Merci pour cette belle manière de voir et de partager la vie avec vos proches. Votre présence et votre soutien ont beaucoup compté pour moi, je vous en remercie vivement. Merci enfin à celui qui m'a accompagnée tous les jours dans ce périple. Merci pour toutes les casquettes que je t'ai fait porter les dernières semaines ! Merci d'avoir laissé autant de place à ce projet et d'y avoir cru jusqu'au bout !! Je n'ai donc plus qu'une chose à te dire : « Entends-tu le chant des sirènes ? (…) Compagnon de fortune, allez viens, fuyons dans la brume ». Ca y est, je suis là ! Parée pour hisser les voiles d'une nouvelle aventure, à deux, parce que « c'est mieux »…

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE 9

1. Des enjeux de l'insertion territoriale du miscanthus à la nécessité d'une anticipation par modélisation 11

2. Moyens de recherche et objectif de la thèse 13

3. Plan du mémoire de thèse 14

PARTIE 1 : ETAT DE L'ART 15

Chapitre 1 Connaissances sur les processus de décision des agriculteurs relatifs aux pratiques agricoles et au cas particulier de l'insertion territoriale du miscanthus 17

1. Les processus de décision des agriculteurs relatifs aux pratiques agricoles 19

1.1. Caractéristiques principales des processus de décision relatifs au pilotage de l'EA 21

1.2. Caractéristiques des processus de décision relatifs à la localisation des productions 25

2. Connaissances sur les processus de décision des agriculteurs relatifs au consentement à produire du miscanthus et à son insertion dans le territoire 29

2.1. Les déterminants économiques relatifs à l'EA 31

2.2. Les déterminants socio-économiques relatifs à l'EA 33

2.3. Les déterminants territoriaux 33

3. Discussion sur les connaissances existantes sur les décisions relatives à l'insertion territoriale du miscanthus 37

Chapitre 2 Modèles spatialement explicites de l'utilisation des terres reposant sur les processus de décision des agriculteurs : principaux enjeux et perspectives de recherche 39

A. Principaux enjeux et perspectives de recherche des modèles spatialement explicites du changement d'utilisation des terres induit par les cultures énergétiques 43

1. Enjeux méthodologiques de la modélisation du changement de l'utilisation des terres 43

1.1. Objectif des modèles de changement de l'utilisation des terres : le couplage des systèmes sociaux et environnementaux 43

1.2. Difficultés méthodologiques du couplage des systèmes sociaux et environnementaux 45

1.3. Démarches générales de modélisation des systèmes sociaux et environnementaux 47

2. Nouvelles démarches de modélisation du changement de l'utilisation des terres induit par les cultures énergétiques 55

2.1. Vers une modélisation plus fine de l'organisation territoriale au niveau local ? 55

2.2. Vers une modélisation plus fine des processus de décision des agriculteurs ? 57

3. Nouvelles perspectives de recherche pour modéliser le changement de l'utilisation des terres 61

3.1. Le couplage de démarches de modélisation top-down et bottom-up 61

3.2. La méta-analyse d'études de cas 63

3.3. La dissémination horizontale des processus de décision 65

B. Principaux enjeux et perspectives des méthodes de dissémination horizontale des décisions spatialement explicites des agriculteurs relatifs à l'utilisation des terres 67

1. Intérêts et limites des principales méthodes de dissémination horizontale des décisions 67

1.1. La modélisation générique pour une application à une diversité de situations locales 67

1.2. La typologie pour une modélisation fine des spécificités locales 69

2. Intérêts et limites du couplage des règles de décision et des régularités spatiales 70

3. Intérêts potentiels du raisonnement à partir de cas comme nouvelle méthode possible de dissémination horizontale des décisions spatialement explicites du changement de l'utilisation des terres 71

3.1. Principes généraux du raisonnement à partir de cas 71

3.2. Les motivations au développement du système ROSA 72

3.3. Conclusions des auteurs sur les intérêts potentiels du RàPC pour transposer des décisions d'une EA à une autre 73

Chapitre 3 Raisonner à partir de cas pour modéliser les décisions des agriculteurs relatives à l'insertion territoriale du miscanthus : quels méthodes, intérêts et difficultés potentiels? 75

1. Structure du modèle de raisonnement à partir de cas 79

1.1. Base de connaissances du modèle de RàPC 81

1.2. Module de raisonnement à partir de cas 85

2. Intérêts du raisonnement à partir de cas 89

2.1. Une modélisation sans connaissance complète du domaine 89

2.2. Une modélisation sans montée en généricité des expériences particulières 89

2.3. Un système informatique apprenant 91

2.4. Un système informatique interactif avec son utilisateur 91

3. Applications du raisonnement à partir de cas en agronomie et en géographie 93

3.1. L'application de Bosch et al. (1997) : exemple d'une prise en compte des processus de décision des agriculteurs via une démarche participative d'acquisition de connaissances 93

3.2. ROSA : une application du RàPC modélisant des décisions à la fois spatiales et fonctionnelles des agriculteurs relatives à l'organisation de leur territoire 95

3.3. CARMA : exemple de dissémination spatiale de connaissances expertes pour la lutte contre les sauterelles ravageuses des prairies 97

3.4. Implications pour la thèse 98

4. Difficultés du raisonnement à partir de cas 98

4.1. Difficultés de modélisation du domaine et de définition d'un cas 98

4.2. Difficultés de définition de la similarité et des connaissances d'adaptation 99

4.3. Implications pour la thèse 101

PARTIE 2 : PROBLEMATIQUE ET DEMARCHE GENERALE 103

Chapitre 4 Problématique et démarche générale de la thèse 105

1. Positionnement scientifique de la thèse 106

2. Problématique de la thèse 107

3. Démarche générale de la thèse 108

3.1. Un processus itératif d'acquisition des connaissances 108

3.2. Une zone d'étude aux territoires pédoclimatiques et agricoles contrastés 109

PARTIE 3 : RESULTATS 117

Chapitre 5 Les déterminants de l'insertion territoriale du miscanthus au niveau de l'exploitation agricole 119

1. Introduction 121

2. L'enjeu d'amélioration des modèles d'usage des sols 122

3. Matériel et méthode 123

3.1. Zone d'étude 123

3.2. Choix de l'échantillon d'enquêtes 125

3.3. Conduite des entretiens 125

3.4. L'analyse des entretiens 125

4. Résultats 127

4.1. Point de vue commun des enquêtés sur les potentialités du miscanthus 127

4.2. Les motivations et les freins à l'insertion du miscanthus dans le territoire 127

4.3. Les pratiques de localisation du miscanthus par les agriculteurs enquêtés 131

4.4. L'avenir du miscanthus dans les territoires : la prospective des agriculteurs 133

5. Discussion - conclusion 133

Chapitre 6 Les règles de décision de l'insertion territoriale du miscanthus prises au niveau de la parcelle agricole 137

1. Limites du prototype de RàPC 1 et implications sur la méthodologie des enquêtes 2 139

1.1. Une base de connaissances construite à partir d'EA enquêtées trop distinctes entre elles pour identifier facilement les liens de dépendance de chaque cas 139

1.2. Des cas représentés à un niveau de décision trop agrégé pour modéliser une insertion territoriale du miscanthus de manière spatialement explicite 140

2. Matériel et méthode ou exemple d'un protocole d'échantillonnage et de conduite d'enquêtes élaboré pour une modélisation spatialement explicite par RàPC 141

2.1. Choix de l'échantillon des EA à enquêter 141

2.2. Conduite des entretiens et formalisations du discours 145

3. Résultats 151

3.1. Une insertion du miscanthus déterminée par une pluralité de variables, de territoires et de niveaux d'organisation des territoires 151

3.2. Un processus de décision complexe dans la perspective d'une modélisation spatialement explicite 156

Chapitre 7 Conception d'un prototype de raisonnement à partir de cas : depuis des enquêtes en exploitation agricole à l'élaboration d'un outil informatique 169

A. Matériel et méthode 173

1. Structure générale du prototype SAMM 173

1.1. Base de connaissances du prototype SAMM 173

1.2. Module de raisonnement du prototype SAMM 175

1.3. Environnement informatique de programmation et d'utilisation du prototype SAMM 179

2. Démarches et justifications des choix de construction du prototype SAMM 181

2.1. Construction de la base de cas 181

2.2. Construction des connaissances de similarité 185

2.3. Construction de la procédure de remémoration 187

2.4. Construction des connaissances d'adaptation 187

B. Résultats 191

1. Paramètres d'évaluation du système 191

1.1. Construction d'un jeu de données expérimental 191

1.2. Paramètres d'expérimentation 191

2. Analyse des performances du système 195

2.1. Analyse du niveau de comparaison de descripteurs des cas 195

2.2. Evaluations de la remémoration 195

2.3. Evaluations de l'adaptation 199

2.4. Evaluation des prédictions finales du système 203

2.5. Conclusions sur la calibration du prototype SAMM 205

PARTIE 4 : DISCUSSION GENERALE 207

Chapitre 8 Discussion générale de la thèse 209

1. Apports et limites des résultats d'enquêtes de la thèse pour comprendre, modéliser et anticiper les dynamiques d'insertion territoriale du miscanthus 211

1.1. Apports des résultats d'enquêtes pour comprendre, modéliser et anticiper les dynamiques d'insertion territoriale du miscanthus 211

1.2. Limites des résultats d'enquêtes pour comprendre, modéliser et anticiper les dynamiques d'insertion territoriale du miscanthus 215

1.3. Conclusion des apports et limites des résultats d'enquêtes et perspectives de recherche 217

2. Intérêts et limites du raisonnement à partir de cas pour modéliser le changement de l'utilisation des terres à partir des décisions d'agriculteurs 218

2.1. Le RàPC pour modéliser un phénomène nouveau à partir des décisions des agriculteurs ? 218

2.2. Le RàPC pour disséminer un processus de décision très contextualisé d'une parcelle à une autre, au sein d'une étude de cas 221

2.3. Le RàPC pour disséminer des processus de décision sur de nouveaux territoires et fournir une aide pour anticiper le changement de l'utilisation des terres induit par les cultures énergétiques ?..... 223

2.4. Conclusion des intérêts et limites du raisonnement à partir de cas pour modéliser le changement de l'utilisation des terres à partir des décisions d'agriculteurs 225

CONCLUSION..... 227

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 231

ANNEXES 245

INDEX DES FIGURES, TABLEAUX, GRAPHIQUES, CARTES ET ENCADRES..... 257

INTRODUCTION GENERALE

1. Des enjeux de l'insertion territoriale du miscanthus à la nécessité d'une anticipation par modélisation

Depuis le 20 août 2014, l'Humanité a commencé à vivre « à crédit » pour le reste de l'année, selon l'ONG Global Footprint Network, ONG qui est en charge depuis le Sommet de la Terre de 1992 de calculer tous les ans le « jour de dépassement », à partir duquel l'empreinte écologique[1] de l'Humanité dépasse la biocapacité[2] de la planète à reconstituer ses ressources et à absorber les déchets, y compris le CO_2 (Le Monde, le 19 août 2014). Au vu de la précocité de cette date évaluée depuis 1993, passant du 21 octobre, en 1993, au 22 septembre, en 2003 puis au 20 août en 2014, l'ONG tire la sonnette d'alarme. Par ailleurs, le récent rapport de l'IPCC, confirme que la majorité des augmentations de la température moyenne observées depuis le milieu du 20ème siècle est liée à une augmentation de la concentration atmosphérique de gaz à effet de serre, issus d'activités anthropogéniques, telles que relatives à la consommation énergétique (IPCC, 2011), pouvant alors causer une augmentation de la température globale de 2°C à 6°C en 2100 (GIEC, 2007 ; IPCC, 2013).

Ceci explique le renforcement progressif des politiques énergétiques, depuis le traité international du protocole de Kyoto mis en vigueur en 2005[3], en passant par le Paquet Energie Climat de la Directive Européenne de 2009[4], jusqu'aux politiques nationales, telles que les nouvelles lois allemandes sur les énergies renouvelables (loi EEG, 2012 et 2014) permettant la mise en marche d'une transition énergétique depuis le 9 juin 2011. En France, ces politiques se sont déclinées successivement *via* le Plan Biocarburant[5] de 2004, les lois Grenelle I et II de 2009 et 2010 se fixant les objectifs d'un facteur 4[6], et plus récemment encore, par le projet de loi *« de programmation de la transition énergétique pour la croissance verte »*, adopté par le Conseil des ministres le 30 juillet 2014.

Ces politiques énergétiques ont toutes comme point commun de vouloir augmenter la part d'énergie renouvelable dans la production d'énergie, jusque-là largement dominée par les énergies fossiles, qui représentent en 2011, 81 % de la production mondiale d'énergie primaire (IEA, 2013). Ces politiques induisent alors un fort enjeu de mobilisation de la biomasse énergie, première source d'énergie renouvelable mondiale, représentant en 2008 10 % de l'énergie primaire mondiale et 77% des énergies primaires renouvelables (IEA Bioenergy, 2009 ; IPCC, 2011).

La biomasse énergie est « la fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture, y compris les substances végétales et animales issues de la terre et de la mer, de la sylviculture et des industries connexes, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et ménagers » (loi du 13 juillet 2005[7]). Ainsi, les sources de biomasse énergie sont diverses - bois,

---

[1] L'empreinte écologique est « une mesure de la quantité d'espace biologiquement productif (terrestre ou marin) dont une personne, une population ou une activité ont besoin pour produire toutes les ressources consommées et pour absorber tous les déchets produits, compte-tenu des technologies disponibles et des pratiques de gestion mise en œuvre » (Global Footprint Network, 2013).

[2] La biocapacité est « la capacité des écosystèmes à régénérer les ressources et services écologiques. Cette régénération inclut la matière biologique utile à l'humanité et l'absorption des déchets générés par les sociétés humaines, compte-tenu des systèmes de gestion et des techniques d'extraction actuels » (Global Footprint Network, 2013).

[3] Le protocole de Kyoto incite à réduire les émissions de six gaz à effet de serre de 5,5% en moyenne par rapport à 1990 sur la période 2008-2012.

[4] La Directive Européenne 2009/28/EC prévoie de diminuer les émissions de gaz à effet de serre de 20% par rapport à 1990, d'obtenir 20% d'efficacité énergétique et de porter la part d'énergies renouvelables à 20% (European Commission, 2009).

[5] Le Plan Biocarburant de 2004 fixe des objectifs d'incorporation de biocarburants dans les carburants traditionnels d'origine fossile, pour la période de 2005 à 2010 ; pour 2010, le taux d'incorporation fixé en objectif était de 7% (Cours des comptes, 2012).

[6] Les objectifs du facteur 4 consiste en une diminution de 75% des émissions de CO_2 d'ici 2050 (Cours des comptes, 2013).

[7] Article 29 de la loi n°2005-781 du 13 juillet 2005 de programme fixant les orientations de la politique énergétique, dite loi POPE.

résidus de l'exploitation forestière (houppier, branchage), déchets de bois de l'agriculture (piquets, poteaux), bois de rebut (palette, cageot, caisse), cultures agricoles riches en sucres et en amidon (betterave, céréales), cultures lignocellulosiques dédiées à l'énergie (cf. paragraphes suivants), déchets urbains renouvelables, etc. - et fournissent plusieurs types d'énergies secondaires, comme la chaleur et l'électricité, par la biocombustion, la méthanisation et la cogénération, et comme les carburants, par transformation en bio-raffinerie (Vernier, 2012).

Cependant, malgré la diversité de ces ressources et la capacité par exemple des co-produits agricoles et forestiers à répondre à une large part de la demande énergétique selon Monforti *et al*. (2013), les objectifs de réduction de gaz à effet de serre des politiques énergétiques tendent indirectement à « favoriser » l'insertion de cultures énergétiques dédiées, de manière à réduire les émissions de gaz à effet de serre des systèmes existants d'utilisation des terres (Brandão *et al.*, 2011 ; Don *et al.*, 2012).

Parmi les cultures énergétiques dédiées, les cultures lignocellulosiques pérennes, comme le *Miscanthus x giganteus*[8] et le Taillis à (Très) Courte Rotation de saule ou de peuplier, présentent un fort intérêt selon plusieurs études (Clifton-brown *et al.*, 2004 ; Hastings *et al.*, 2008 ; Hillier *et al.*, 2009 ; Bessou *et al.*, 2011). En effet, grâce à des faibles besoins en fertilisation et à une bonne capacité de mobilisation de l'azote, ces cultures permettraient par exemple d'émettre 40 à 99% d'émissions de N_2O en moins que celles des cultures annuelles conventionnelles, selon les estimations de Don *et al.* (2012).

Les autres avantages de ces cultures, présentés dans la littérature scientifique et par les instituts techniques, sont leur pouvoir calorifique équivalent à celui du bois (RMT Biomasse, 2010) et une forte productivité de biomasse (Hastings *et al*., 2009 ; Dohleman et Long, 2009). Pour le cas du miscanthus, cette forte productivité s'explique par son métabolisme en C4, lui permettant d'avoir une meilleure efficience d'utilisation des ressources en eau et en azote que les plantes en C3. Elle s'explique aussi par la présence d'un rhizome et la translocation à l'automne des ressources azotées. Elle s'explique enfin par une faible pression sanitaire (RMT Biomasse, 2013). Cette culture permet alors une production importante de biomasse à l'hectare avec peu d'intrants (Cadoux *et al*., 2012), permettant un rendement moyen de 15 à 25 tonnes de matière sèche par hectare en récolte de fin d'hiver, sur sols profonds et humides (RMT Biomasse, 2013).

Ainsi, bien que faiblement produites à ce jour en Europe, *i.e.* autour de 3% de la biomasse énergie européenne (Don *et al*., 2012), ces cultures intéressent vivement les industriels, la profession agricole et d'autres acteurs du territoire. Ceci explique qu'en France, une dynamique assez importante d'implantation du miscanthus ait été observée depuis 2006, avec une surface de production passant progressivement de 200 ha (Gurtler *et al*., 2009), à 2000 ha en 2009 (Association France Miscanthus, 2009) et 3000 ha en 2011 (AEBIOM, 2013).

Mais en dépit de ce fort intérêt, le miscanthus est porteur d'un certain nombre d'incertitudes (RMT Biomasse, 2012). D'une part cette culture énergétique dédiée, à insérer dans le territoire, n'échappe pas aux risques d'une concurrence alimentaire/non alimentaire de l'utilisation des terres (Rajagopal *et al*., 2007 ; Tilman *et al*., 2009 ; Fritsche *et al*., 2010 ; Valentine *et al*., 2012). D'autre part, sans que l'on connaisse encore bien les risques de cette espèce particulière à se comporter comme une espèce invasive (Schnitzler, 2011), le miscanthus est caractérisé par une grande taille (2 à 4 m de haut) entraînant un risque de fermeture du paysage (Pointerau *et al*., 2009), dont les conséquences sur la biodiversité et l'environnement ne sont pas encore bien connues (Spencer et Raghu, 2009 ; Williams *et al*., 2009 ; Dauber *et al*., 2010 ; Dale *et al*., 2010).

[8] *Miscanthus x giganteus* est une des trois espèces cultivées en Europe du genre Miscanthus (Lewandowski *et al*., 2000 ; Zub et Brancourt-Hulmel, 2010). Pour faciliter la lecture, nous ferons référence à cette espèce par son nom commun, miscanthus, dans la suite de ce mémoire.

Ces dynamiques d'implantation soulèvent alors des enjeux majeurs de réorganisation pérenne des territoires. C'est pourquoi de nombreux travaux de recherche tentent de modéliser l'insertion territoriale de cette culture pour permettre une évaluation *ex ante* de l'impact de ces réorganisations, en vue d'une anticipation. C'est notamment l'objectif du PROJET FUTUROL.

2. Moyens de recherche et objectif de la thèse

Cette thèse s'inscrit dans le PROJET FUTUROL, projet de recherche et développement français, lancé en 2008 pour une durée de huit ans. Ce projet a pour objectif de mettre sur le marché un procédé durable de production d'éthanol de deuxième génération par voie biochimique, à l'horizon 2016. Le PROJET FUTUROL est soutenu par OSEO et regroupe 11 partenaires industriels, agricoles, financiers, et de R&D, associés dans une structure commune portant le projet et nommée SAS PROCETHOL 2G.

Le PROJET FUTUROL est plus particulièrement composé de six modules de recherche : cinq portent sur le procédé industriel de fabrication de l'éthanol de deuxième génération (modules prétraitement, hydrolyse, fermentation, production d'enzymes, intégration et coproduits et recyclage) et un porte sur les Ressources lignocellulosiques. C'est à ce dernier module que participe la thèse.

Le module Ressources a pour objectif de fournir des méthodes et des connaissances nécessaires à la mise en place de cultures dédiées et utilisables dans des contextes pédoclimatiques variés, en vue de la constitution des futurs bassins d'approvisionnement d'unités de production. Ce module se décompose lui-même en trois volets : « choix et comportement des cultures dédiées en termes de productivité et de qualité technique » (Lesur, 2012) ; « impact environnemental de l'introduction de ces nouvelles cultures » (Dufossé, 2013) ; « mise en place de ces cultures dans les exploitations agricoles et le territoire » (Bocquého, 2012). La thèse s'est inscrite dans ce dernier volet.

Du point de vue scientifique, l'étude de la mise en place des cultures dédiées dans les exploitations agricoles et les territoires renvoie à de nombreux travaux portant sur l'évaluation de la durabilité des bassins d'approvisionnement d'unités de collecte/production de biomasse énergie. Ces travaux reposent sur deux démarches d'évaluation différentes (Gabrielle *et al*., 2014) : (i) la première démarche consiste à évaluer la production de la biomasse sans tenir compte du contexte économique et social, et en reposant uniquement sur l'évaluation de zones où les cultures énergétiques peuvent être implantées, au vu des potentialités biophysiques de ces territoires et selon des règles arbitraires de localisation des cultures énergétiques ; (ii) la deuxième démarche consiste quant à elle à évaluer la production de la biomasse en tenant compte à la fois des facteurs spatiaux, économiques et sociaux, selon des hypothèses et les processus de décision des agriculteurs et d'autres acteurs locaux. Jugés plus réalistes dans leurs estimations, les travaux du deuxième groupe peinent néanmoins à prendre en compte les processus de décision des agricultures (Gabrielle *et al*., 2014). Ceci s'explique par des difficultés méthodologiques de modélisation et d'acquisition de connaissances.

Dans ce contexte, l'objectif de la thèse est à la fois (i) de fournir des connaissances sur les processus de décision des agriculteurs relatifs à l'insertion territoriale du miscanthus et (ii) de proposer un nouveau cadre de modélisation empirique pour coupler des variables humaines et biophysiques de ces processus, souvent absentes des modèles existants. Le nouveau cadre de modélisation empirique que nous avons alors choisi et étudié dans cette thèse est celui du raisonnement à partir de cas (Riesbeck et Schank, 1989 ; Osty *et al*., 2008).

3. Plan du mémoire de thèse

Ce mémoire de thèse s'articule en quatre parties, décomposées en huit chapitres.

La première partie présente l'état de l'art du domaine où s'inscrit la thèse.
Elle se compose de trois chapitres portant sur :

- les connaissances existantes sur les processus de décision des agriculteurs relatifs aux pratiques agricoles et au cas particulier de l'insertion territoriale du miscanthus (chapitre 1),
- les enjeux et perspectives de recherche de la modélisation spatialement explicite de l'utilisation des terres reposant sur les processus de décision des agriculteurs (chapitre 2),
- le modèle, les intérêts et les difficultés potentiels du raisonnement à partir de cas pour modéliser l'insertion territoriale du miscanthus (chapitre 3).

C'est à l'issue de cet état de l'art que nous présentons, **en deuxième partie, la problématique et la démarche générale de la thèse**, à travers le chapitre 4.

La troisième partie présente les principaux résultats de la thèse.
Cette partie est composée de trois chapitres portant sur :

- les déterminants de l'insertion territoriale du miscanthus au niveau de l'exploitation agricole[9] (chapitre 5),
- les règles de décision de l'insertion territoriale du miscanthus prises au niveau de la parcelle (chapitre 6),
- la conception et l'évaluation d'un prototype de raisonnement à partir de cas modélisant l'insertion territoriale du miscanthus (chapitre 7).

Enfin, **la quatrième partie de cette thèse présente une discussion générale** sur les apports de la thèse concernant deux points principaux : (i) l'acquisition de connaissances sur les processus de décision des agriculteurs permettant l'amélioration des modèles existants et (ii) les intérêts et limites du cadre formel du raisonnement à partir de cas pour modéliser le changement spatialement explicite de l'utilisation des terres, à partir des processus de décision des agriculteurs.

La thèse s'achève par une conclusion qui dresse quelques perspectives à ce travail. Des compléments d'information sont également présentés en annexes de ce mémoire.

[9] Pour faciliter la lecture du mémoire, nous emploierons le sigle EA pour nous référer au terme « exploitation agricole ».

PARTIE 1 : ETAT DE L’ART

Chapitre 1

Connaissances sur les processus de décision des agriculteurs relatifs aux pratiques agricoles et au cas particulier de l'insertion territoriale du miscanthus

Définition de l'approche globale de l'EA

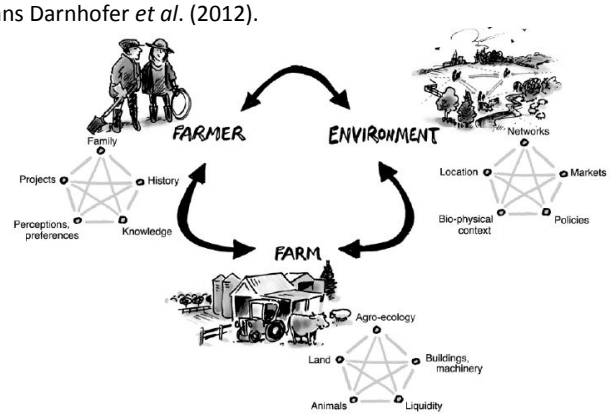
« L'approche globale de l'EA est l'étude d'un complexe de décisions et d'actions qui sont le fait de personnes-individus ou groupes agissant dans un environnement en vue de satisfaire des finalités fixées à cette EA. Cette étude débouche sur la formulation d'un diagnostic de fonctionnement de l'EA. L'étude du fonctionnement est fondée sur deux principes clefs : (i) l'EA est vue comme un système, (ii) les agriculteurs ont des raisons de faire ce qu'ils font » (Bonneviale *et al*., 1989).

Définition de l'approche systémique de l'EA

L'EA vue comme un système consiste à définir l'EA comme « un tout organisé qui ne répond pas à des critères simples et uniformes d'optimisation » (Osty, 1976), autrement dit cela consiste à considérer que « l'EA n'est pas la simple juxtaposition de processus productifs, mais un système organisé, aux multiples interactions, finalisé par le projet de groupe » (Bonneviale *et al*., 1989).

Définition des systèmes agricoles

Les systèmes agricoles sont définis comme « les manières de produire, d'organiser la production ou de gérer l'espace agricole à différentes échelles » (Meynard *et al*., 2006). De manière plus globale, les systèmes agricoles désignent : « les systèmes de culture, les systèmes d'élevage, les itinéraires techniques appliqués à une culture ou à un lot d'animaux, les systèmes fourragers, les systèmes de production, mais aussi l'organisation spatiale, les interactions et les coordinations qui existent entre ces divers systèmes au niveau des territoires » (Meynard *et al*., 2006), comme illustré dans Darnhofer *et al*. (2012).



« When analysing farming system, at least three sets of interacting factors need to be taken into account : the various members of the farm family, with their individual preferences, projects and history ; the farm with its resources and assets ; and the environment which is constituted by social networks, economic opportunities, political incentives and biophysical context. This means that the farming system is understood as constructed by the farmer, while being dependent on material resources and structures. As such, a farming system is an emergent property of material conditions and social construction"

Darnhofer *et al*., 2012

Encadré 1.1 : définitions relatives à l'approche globale de l'EA

Définition de l'agronomie des territoires

L'agronomie des territoires a pour objectif d'expliquer comment et pourquoi les territoires modifient les pratiques agricoles et comment et pourquoi ces pratiques modifient en retour les territoires (Benoît, Rizzo *et al*. 2012). L'agronomie des territoires est à ce jour reconnue comme une nouvelle discipline de recherche située à l'interface entre l'agronomie et la géographie. Elle mobilise des pratiques d'analyse des liens entre agriculture et territoire relevant de la géographie des pratiques proposée par Soulard (2005) et Bülher *et al*. (2010) « dont le projet est d'identifier et de confronter les catégories spatiales et temporelles que les acteurs mobilisent pour formuler et résoudre un problème d'environnement » (Soulard, 2005).

Présentation de trois approches

L'agronomie des territoires est déclinée en trois approches : (i) la géoagronomie initiée par Deffontaines (1996), consistant à analyser les pratiques agricoles d'organisation de l'espace par observation, (ii) la *landscape agronomy* proposée par Benoît, Rizzo *et al*. (2012), consistant à étudier les liens entre processus environnementaux et systèmes de production agricole au niveau des territoires agricoles et (iii) la *territority agronomy* introduite par Lardon *et al*. (2012), consistant à analyser ces processus sous l'angle des jeux d'acteurs (Rizzo *et al*. 2013).

Encadré 1.2 : définitions relatives à l'approche territoriale de l'EA (Benoît, Rizzo *et al*. 2012)

<u>Préambule</u> : Dans cette thèse, nous considérons qu'étudier les processus de décision des agriculteurs relatifs à l'insertion territoriale du miscanthus équivaut à étudier une pratique agricole, i.e « les manières concrètes d'agir des agriculteurs » (Milleville, 1987). Sans constituer un objet d'étude en soi, nous faisons également l'hypothèse que cette pratique est a priori innovante, dans le sens commun où elle entrainerait « un degré de changement par rapport à un produit ou une technique existante » (Meynard et al., 2006).

Les pratiques agricoles (innovantes ou non) ont été étudiées dans de nombreux travaux menés en agronomie et en géographie selon deux approches : l'approche globale (cf. encadré 1.1) portée par les « agronomes systèmes » (Bülher *et al*., 2010) et l'approche territoriale, portée par l'agronomie des territoires et la géographie des pratiques (cf. encadré 1.2). Ainsi, les études menées par ces approches apportent de nombreuses connaissances sur les processus de décision des agriculteurs, notamment en termes de pilotage de l'EA[10], incluant des décisions relatives à l'adoption des cultures et en termes d'assolement[11], incluant des décisions relatives à la localisation des cultures dans le territoire de l'EA. Néanmoins, aucune étude n'a à ce jour été menée par ces deux communautés scientifiques, sur l'insertion territoriale du miscanthus : il n'existe donc pas de connaissances disponibles pour la thèse concernant le cas particulier du miscanthus.

Les connaissances sur le cas particulier du miscanthus sont, elles, portées par une autre communauté scientifique, dont l'objectif est d'étudier le consentement des agriculteurs à produire des cultures énergétiques. Cette communauté de recherche n'est pas constituée d'agronomes ni de géographes et repose majoritairement sur des théories économiques relatives à l'innovation.

Pour présenter les connaissances existantes sur l'insertion territoriale du miscanthus, nous avons donc choisi de présenter tour à tour : (i) les connaissances des agronomes et géographes sur les processus de décision des agriculteurs relatifs aux pratiques agricoles et (ii) les connaissances des économistes[12] sur l'adoption de nouvelles cultures énergétiques. L'objectif de ce double regard est de pouvoir discuter des intérêts et limites des connaissances particulières existantes sur le miscanthus.

1. <u>Les processus de décision des agriculteurs relatifs aux pratiques agricoles</u>

Les recherches menées en agronomie depuis les années 1970's sur la gestion des EA montrent que les décisions des agriculteurs reposent sur plusieurs niveaux temporels et que ces décisions sont de plusieurs natures (Petit, 1971, d'après Bonneviale, 1989) : ainsi, les décisions sont opérationnelles quand elles sont prises pour des actions se déroulant sur une journée voire sur une semaine, elles sont tactiques quand elles concernent des actions se déroulant sur une saison culturale et elles sont enfin stratégiques quand elles concernent des actions se déroulant sur une voire plusieurs années (Le Gal *et al*., 2010 ; Dury *et al*., 2012).

Ces recherches montrent aussi que les décisions des agriculteurs sont prises à plusieurs niveaux d'organisation, *i.e.* au niveau de portions de parcelle, au niveau de la parcelle elle-même, au niveau d'un groupement de parcelles, au niveau du territoire de l'EA et du village (Benoît, 1985 ; Le Gal *et al*., 2010 ; Dury *et al*., 2012).

---

[10] Le pilotage de l'EA correspond au niveau des prises de décision de l'EA et équivaut à « un processus continu d'adaptations successives, selon les aléas, les évolutions économiques et techniques » (Bonneviale, 1989).

[11] L'assolement désigne la somme des surfaces occupées par les différentes espèces cultivées et leur répartition spatiale sur le territoire de l'EA ; elle implique le choix des espèces à cultiver, des surfaces à allouer et de leur localisation (Aubry, 1998 ; Benoît *et al*., 2002).

[12] Nous verrons dans la partie 2 de ce chapitre que les travaux sur le consentement à produire du miscanthus ne sont pas tous portés par des économistes ; néanmoins ils le sont dans leur très grande majorité. Pour simplifier l'affectation de ces recherches à un courant disciplinaire dominant, nous nous référons donc ici à la discipline de l'économie.

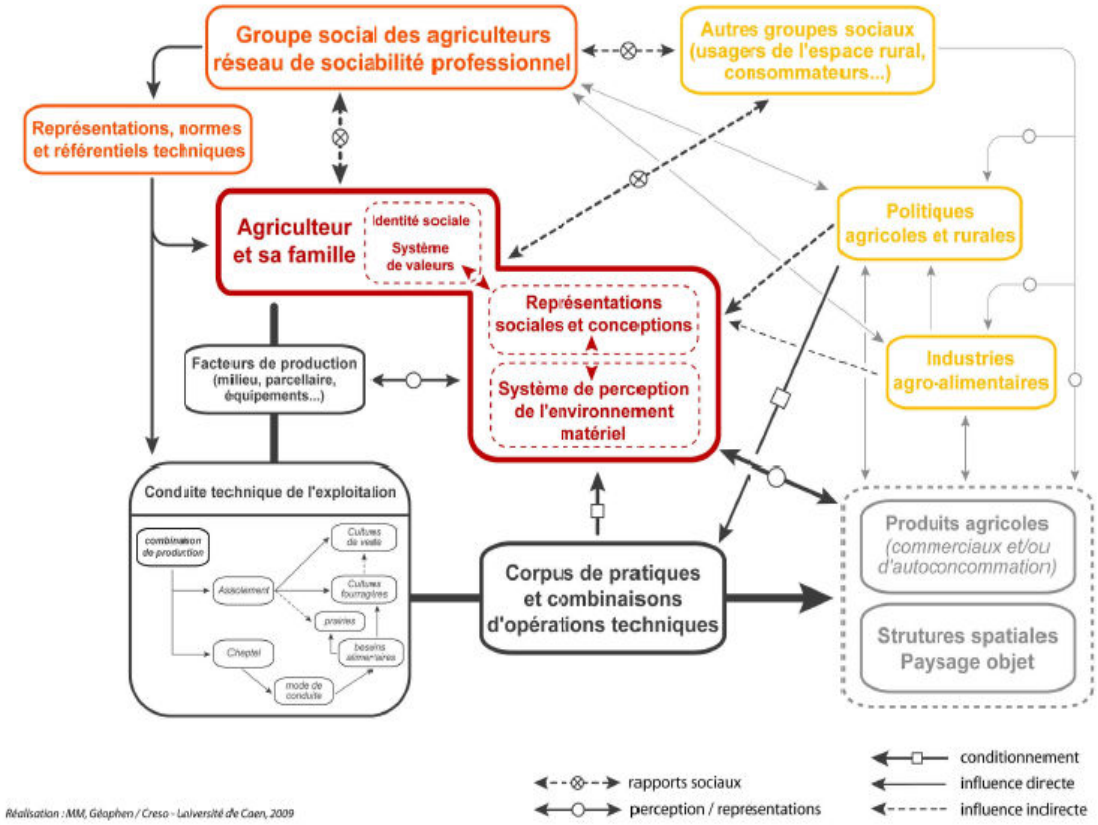


Figure 1.1 : essai de formalisation de l'approche des pratiques des agriculteurs (Marie, 2009)

1.1. Caractéristiques principales des processus de décision relatifs au pilotage de l'EA

1.1.1.Des décisions fondées sur une rationalité limitée et des représentations sociales

Une des principales caractéristiques des processus de décision des agriculteurs ressortant des études menées dans les années 1970's par les agronomes, consiste à démentir la rationalité parfaite prêtée aux agriculteurs, par d'anciens courants de pensées menés en agronomie et par les courants actuels de pensée des économistes (Sebillotte et Soler, 1990).

Le modèle de la rationalité parfaite s'appuie sur l'hypothèse que l'agriculteur (i) a une vision claire de toutes les alternatives qui s'offrent à lui, (ii) a une connaissance parfaite de toutes les conséquences, de tous les choix possibles et (iii) qu'il a la capacité de ranger ces conséquences selon une échelle de préférence fixe, lui permettant d'identifier la meilleure solution. Le processus de décision issu de ce modèle consiste alors à considérer l'agriculteur comme (i) pleinement rationnel, (ii) à la recherche de la meilleure décision, (iii) poursuivant une finalité unique et (iv) mettant en œuvre pour atteindre cette finalité des moyens appropriés (Sebillotte et Soler, 1990).

Or des études agronomiques signalent que les connaissances des agriculteurs sont souvent implicites et incertaines ne permettant pas à l'agriculteur d'avoir les moyens les plus appropriés pour atteindre leur finalité (Brossier, 1989 ; Cerf et Sebillotte, 1997 ; Aubry *et al*., 1998 ; Schaller, 2011). D'autres études montrent que l'EA n'est pas conduite par une seule finalité et que des compromis, intégrés à la prise de décision, ne permettent pas toujours de prendre la meilleure décision au regard de ces multiples finalités (Petit, 1981). En cela, le modèle de la décision à rationalité limitée de Simon (1955) est souvent préféré à celui de la rationalité parfaite (Sebillotte et Soler, 1990).

Des travaux portés par des sociologues, anthropologues et géographes, montrent par ailleurs que les décisions des agriculteurs reposent sur des représentations sociales, remettant elles aussi en cause la théorie de la rationalité parfaite. Darré (2004) explique en effet que le milieu social et culturel définit des conceptions de pratiques agricoles, qui déterminent à leur tour des actions ne coïncidant pas forcément avec les intérêts économiques de l'agriculteur. Par exemple, les travaux du GERDAL (Groupe d'Expérimentation et de Recherche : Développement et Actions Localisées) montrent que les processus de décision des agriculteurs sont sous l'influence : (i) d'un réseau local de sociabilité professionnelle[13], (ii) d'un réseau de connaissances dépassant la sphère de sociabilité professionnelle (famille, voisinage, association, etc.) et (iii) d'une position sociale qui détermine un point de vue sur les choses (cf. figure 1.1) (Marie, 2009).

Pour Darré (2004) et pour les géographes des pratiques (Soulard, 2005), l'identification de ces représentations sociales est nécessaire à la compréhension des processus de décision des agriculteurs, dans la mesure où ces représentations conditionnent la manière de penser et d'interpréter une situation donnée et qu'elles justifient ainsi « aux propres yeux de l'agriculteur » une pratique agricole (Marie, 2009). Cette identification implique notamment l'étude du sens donné aux mots par un agriculteur pour décrire et évaluer un acte (Darré, 2004). Cette étude peut se faire par des enquêtes (Matthieu, 2005) selon une approche compréhensive des pratiques (Kaufmann, 1996), par l'emploi de supports graphiques, voire de manière plus originale, par l'emploi d'appareils photos jetables (Caillault et Marie, 2010).

Ces études montrent alors un lien fort entre représentations sociales, historiques et insertion locale de l'EA. Ces travaux révèlent ainsi l'influence du territoire sur les décisions des agriculteurs.

[13] Le réseau local de sociabilité professionnelle est défini comme un groupe d'interconnaissance constitué d'individus ayant des activités semblables au sein duquel des échanges concernant les dites activités ont lieu, avec une inscription locale (GAEC, CUMA, Organisation professionnelle ou syndicale, etc.) (Marie, 2009).

	Définition	Types d'activités agricoles associées
Utilisation du territoire	Ensemble des interventions de l'agriculteur sur son territoire, s'inscrivant dans le temps court, de l'ordre de la campagne	- Implantation de cultures - Entretien des cultures - Récoltes de cultures - Affectation des surfaces
Configuration du territoire	Résultat de l'ensemble des interventions de l'agriculteur sur son territoire, s'inscrivant dans le long terme, de l'ordre de la décennie	- Constitution du territoire (achat, vente, location) - Mise en place d'aménagements (abris, clôtures) - Mise en valeur des parcelles (défrichement)

Tableau 1.1 : concepts de l'organisation des territoires d'après Naïtlho *et al*. (2003)

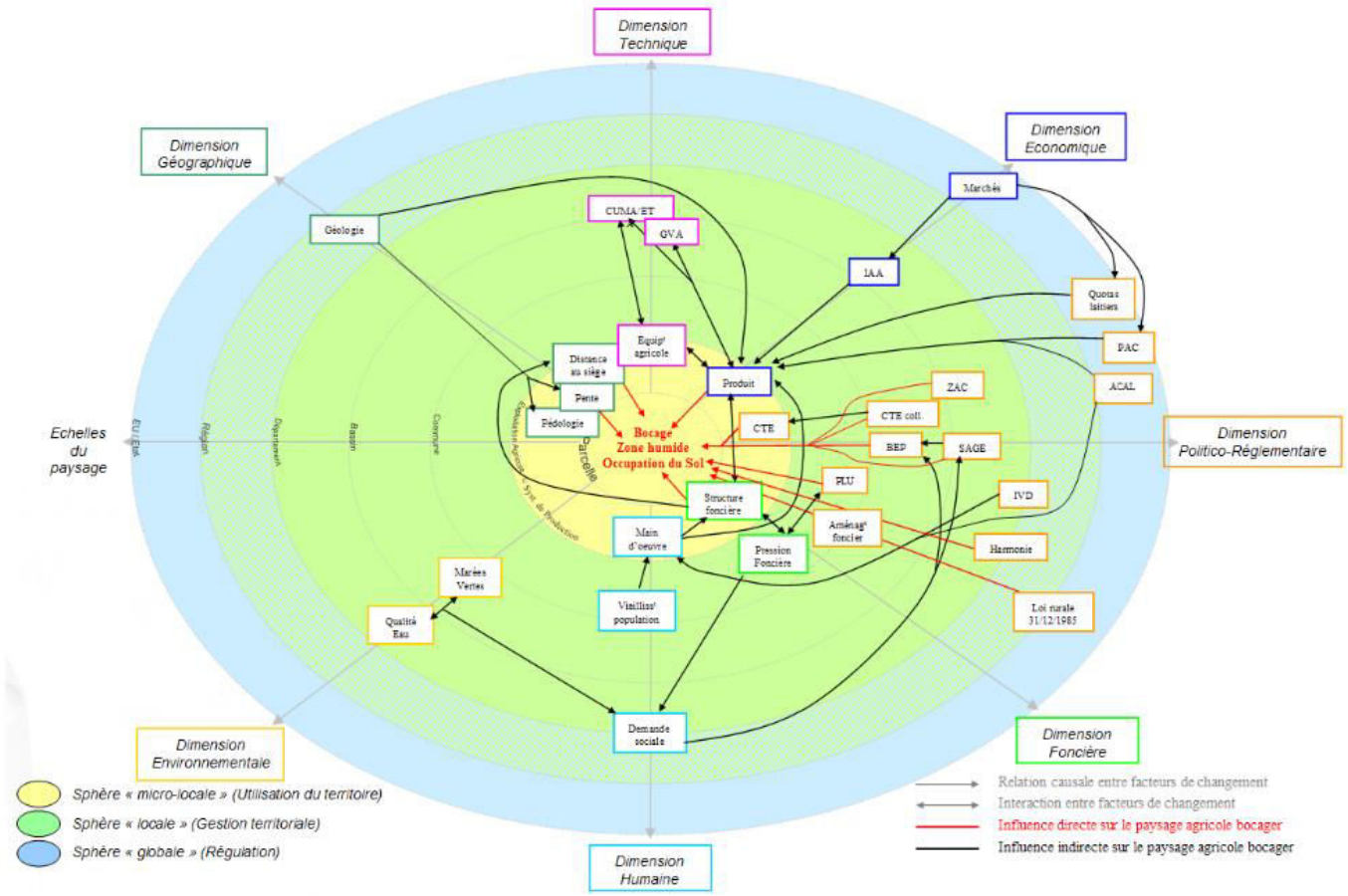


Figure 1.2 : représentation systémique du fonctionnement d'un territoire agricole bocager (Houet *et al*., 2008)

1.1.2. *Des décisions fondées sur l'organisation territoriale des pratiques agricoles, porteuse de multifonctionnalité*

La deuxième grande caractéristique des processus de décision des agriculteurs est qu'ils s'inscrivent dans des territoires, porteurs de multiples fonctionnalités.

Dans le cadre français, le territoire est une notion polysémique selon son sens politique, sociologique et géographique. Néanmoins, trois définitions sont couramment admises par les agronomes et géographes étudiant les liens entre l'agriculture et le territoire : la première définit le territoire comme un espace support, facteur et produit des activités agricoles (Landais et Deffontaines, 1990 ; Lardon *et al*., 1990) ; la seconde définit le territoire comme un espace approprié par un ou plusieurs acteurs (Benoît *et al*., 2006) ; la troisième définit le territoire comme un espace multifonctionnel, *i.e.* un espace principalement porteur de fonctions économiques, sociales et environnementales (Bonin, 2001 ; Laurent *et al*., 2003 ; Papy et Torre, 2003 ; Soulard, 2005 ; Bühler *et al*., 2010).

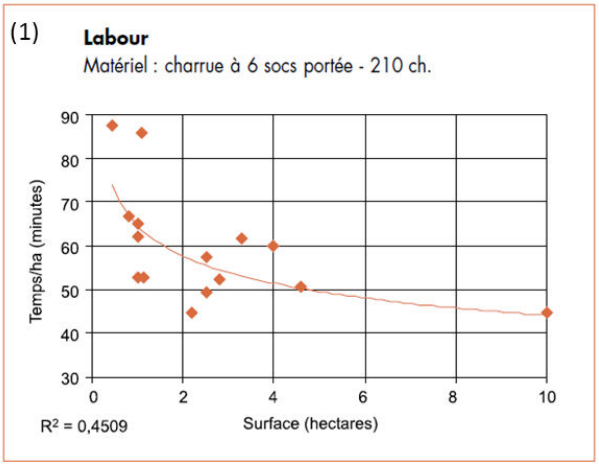
Comme présenté dans les travaux du traité IGAT (Information Géographique et Aménagement du Territoire) intitulé « Agricultures et Territoires » et paru en avril 2005 sous la direction de Laurent et Thinon, les liens entre agriculture et territoire sont multiples, complexes et interdépendants, comme expliqué dans les travaux précurseurs de Deffontaines (1996). Globalement, les liens entre agriculture et territoire se matérialisent sous le concept d'organisation territoriale de l'EA (Benoît, 1985 ; Benoît, 1990 ; Benoît *et al*., 2006). Ainsi, l'organisation territoriale de l'EA peut être définie comme « la façon dont les pratiques d'utilisation et de configuration du territoire (cf. tableau 1.1) transforment le territoire par la modification de ses caractéristiques et de ses arrangements spatiaux, pour mieux répondre aux stratégies des agriculteurs » (Naïtlho *et al*., 2003).

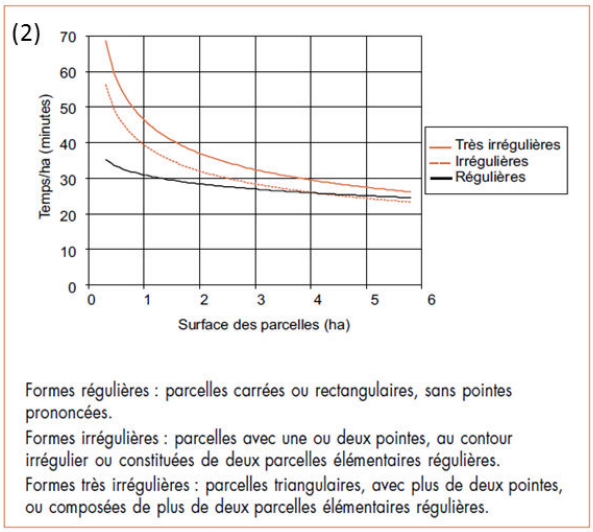
De nombreux travaux montrent que l'organisation du territoire est ainsi au cœur des processus de décision des agriculteurs (Benoît, Rizzo *et al*. 2012 ; Rizzo *et al*., 2012). Ces travaux montrent que les décisions relatives à l'organisation territoriale des pratiques agricoles sont tactiques et stratégiques (Benoît, 1985). Ils montrent aussi que ces décisions ne sont pas portées par les agriculteurs seuls, mais aussi par différents partenaires, comme : (i) le propriétaire « qui participe à la définition des conditions d'utilisation du patrimoine » (Benoît *et al*., 2002), (ii) les prescripteurs qui « imposent des contraintes d'application des techniques » (Benoît *et al*., 2002), orientent la localisation des cultures (Le Bail *et al*., 2005) et influencent la diversification des territoires agricoles (Meynard *et al*., 2013) et (iii) la société, qui dans le cadre de la multifonctionnalité de l'agriculture et des territoires fait « pression pour satisfaire un intérêt collectif » (Benoît *et al*., 2002 ; Papy et Torre, 2003). Par suite, ces travaux montrent que les décisions relatives à l'organisation territoriale de l'EA portent sur des territoires emboîtés à celui de la structure même du territoire d'EA, qu'elles sont le fruit de multiples décisions prises à différents niveaux d'organisation (cf. figure 1.2) et qu'elles reposent sur des dimensions d'ordres technique, géographique, environnemental, humain, foncier, politico-réglementaire et économique (cf. figure 1.2).

Considérant que les décisions relatives à l'organisation territoriale de l'EA sont des décisions situées (Brassac et Le Ber, 2005) et que les représentations des agriculteurs intègrent les multiples niveaux de décision représentés dans le modèle systémique de fonctionnement de l'EA de Houet *et al*. (2008), de nombreux auteurs étudient les processus de décision des agriculteurs par une approche centrée sur l'agriculteur et l'EA. Ils étudient alors plus spécifiquement les liens entre l'organisation territoriale des pratiques agricoles et la structure du territoire, définie par « le parcellaire d'usage, le réseau de chemins et de voies de communication, le bâti, les caractéristiques du relief, du sol et de la végétation en lien avec l'occupation du sol ». Ce sont les résultats de ces travaux que nous allons présenter dans la partie suivante, par l'exemple des processus de décision des agriculteurs mis en œuvre pour localiser les productions dans leur territoire d'EA.

	PRES			PRES-VERGERS			MAIS et CEREALES			GLOBAL				
	-	- +	+	-	- +	+	-	- +	+	- -	-	+ -	+	+ +
terres pauvres et peu épaisses		■			■		■				■			
terres caillouteuses		■				■		■				■		
argiles à silex		■				■		■				■		
terres limoneuses et argilo-limoneuses			■		■				■				■	
terres rouges			■			■			■					■
terres noires saines			■			■			■					■
terres argileuses		■			■			■				■		
terres lourdes et collantes	■			■			■			■				
terres mouillantes			■		■			■					■	
terres humides de fonds de vallée			■	■			■				■			

Tableau 1.2 : représentation des qualités agronomiques des sols et localisation des productions (Marie *et al*., 2008)





(1) : Temps de travail par hectare en fonction de la surface des parcelles
(2) : Temps de travail par hectare d'une ensileuse à 6 rangs en fonction de la surface et de la forme des parcelles

Figure 1.3 : effets de la taille et de la forme de la parcelle sur le temps de travail (Francart *et al*., 1998)

1.2. Caractéristiques des processus de décision relatifs à la localisation des productions

Pour présenter les principales caractéristiques des processus de décision des agriculteurs relatifs à la localisation des productions, nous reprendrons les trois potentialités territoriales définies par Auricoste *et al*. (1983). Nous présenterons donc les décisions fondées sur les potentialités pédoclimatiques, puis les décisions fondées sur les potentialités techniques, *i.e.* reposant sur des facteurs morphologiques, et enfin celles fondées sur les potentialités agricoles, *i.e.* reposant sur des facteurs topologiques et d'organisation, comme l'équipement.

1.2.1.Des décisions fondées sur les potentialités pédoclimatiques

Les potentialités pédoclimatiques (définies par Auricoste *et al*., 1983) déterminent la capacité de production des couverts végétaux exploitant idéalement le milieu, selon (i) des facteurs pédologiques « commandant le régime hydrique saisonnier et le chimisme du sol » et (ii) des facteurs climatiques « commandant le bilan radiatif saisonnier ».

Dans l'étude des perceptions des sols des agriculteurs et de la gestion de l'espace parcellaire, Marie (2009) montre que les facteurs pédologiques décrits par les agriculteurs sont multiples et perçus en termes de « bonnes terres » ou de « mauvaises terres ». Dans la mesure où les sols sont observés par les agriculteurs dans leur travail, certains facteurs relèvent à la fois de potentialités pédoclimatiques et techniques ; néanmoins il ressort de cette étude que les mauvaises terres soient un indicateur de contraintes pédoclimatiques locales. Ainsi globalement, les facteurs pédoclimatiques relatifs à ces contraintes (dont les occurrences varient selon la zone étudiée) sont : la granulométrie, le drainage, le comportement mécanique (ex : « terres lourdes », « terres collantes »), la profondeur, la situation (ex : « terres de vallée », « terres de plateau »), la pierrosité, la fertilité du sol et ses caractéristiques chimiques (pH).

Ces potentialités pédoclimatiques entrainent des décisions relatives à la localisation des productions très largement étudiées. Ainsi, ces études montrent que les potentialités pédoclimatiques déterminent : (i) le choix des cultures à produire, (ii) leur surface d'allocation, (iii) leur localisation (cf. tableau 1.2), (iv) leur itinéraire technique et (v) l'organisation de chantiers culturaux *via* des pratiques de regroupement de parcelles en unités de gestion ayant une similarité d'usage, comme pour les lots et blocs de cultures par exemple (Aubry *et al*., 1998 ; Maxime *et al*., 2005).

1.2.2.Des décisions fondées sur les potentialités techniques

Les décisions fondées sur les potentialités techniques ont elles aussi fait l'objet de plusieurs études. Les potentialités techniques déterminent la capacité de production des couverts végétaux compte tenu de la mise en œuvre de techniques, selon (i) des facteurs pédologiques « commandant la réalisation de l'implantation et de l'entretien du couvert végétal, la réalisation des récoltes, le séjour des animaux au pâturage » et (ii) des facteurs morphologiques (étendue et forme de la parcelle, accessibilité et hétérogénéité de terrain) (Auricoste *et al*., 1983).

Les facteurs pédologiques déterminant les potentialités techniques du territoire sont pour partie communs avec les facteurs déterminant les potentialités pédoclimatiques (ex : drainage, situation, pierrosité, comportement mécanique) comme expliqué précédemment. Les facteurs morphologiques quant à eux sont spécifiques aux potentialités techniques. Ces facteurs sont principalement étudiés par la surface et la forme des parcelles. Les répercussions des facteurs morphologiques concernent essentiellement l'organisation et le coût du travail et sont décrites par des indicateurs de temps et de coût (cf. figure 1.3). Le temps et le coût du travail sont ainsi des critères pris en compte dans les processus de décision des agriculteurs relatifs à la localisation des cultures, comme en témoigne la figure 1.4 qui montre par exemple que la localisation du pâturage des vaches laitières est définie

Tableau IIIa. GAEC D. Répartition des parcelles, avec l'excès d'eau comme première contrainte. Les rectangles représentent les surfaces des parcelles, et leur contiguité (dans une même case du tableau), à l'exclusion de toute autre caractéristique. P: pâturage (L vaches laitières, T vaches taries, G génisses, B mâles boucherie); E: ensilage; F: foin; R: regain; V: affouragement en vert (Z luzerne, H herbe); C: cultures en rotation (M incluant maïs ensilage). Une flèche mince indique un changement d'utilisation ou de caractéristiques.

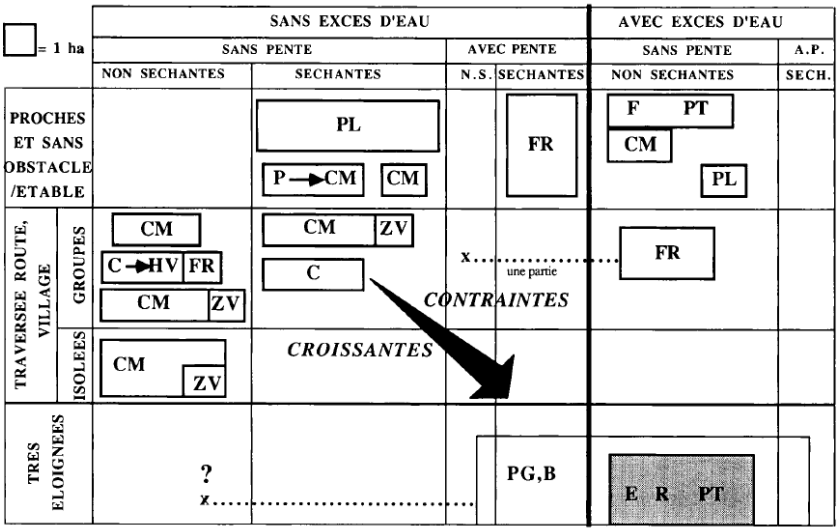


Figure 1.4 : représentation de l'organisation d'un parcellaire d'EA (Morlon et Benoît, 1990)

Définition des unités spatiales de gestion (d'après Aubry *et al.*, 1998)

Lot de culture : ensemble de parcelles ayant le même itinéraire technique durant tout le cycle cultural.
Bloc de culture : ensemble de parcelles ayant la même succession culturale.
Blocs de parcelles : ensemble de parcelles proches, séparées des autres par les obstacles importants tels que les cours d'eau, les grandes infrastructures routières ou ferroviaires…

Encadré 1.3 : définition des unités spatiales de gestion de l'EA (d'après Aubry *et al.*, 1998)

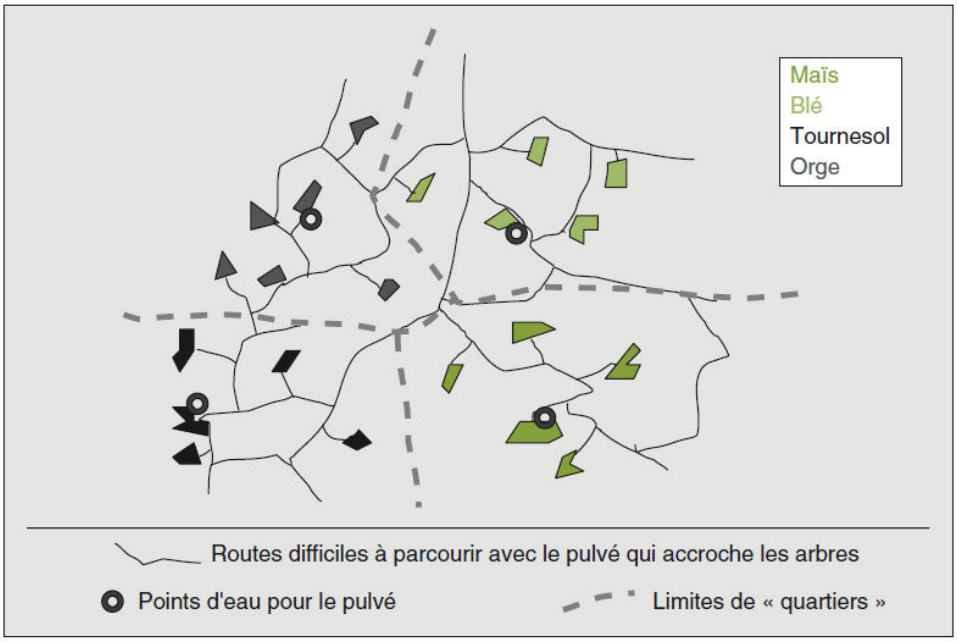


Figure 1.5 : représentation schématique des quartiers centrés autour de chaque point d'eau pour le remplissage du pulvérisateur (Morlon et Trouche, 2005)

pour partie par l'absence de pente et que la localisation des cultures en rotation est définie pour partie par l'absence de pente et d'excès d'eau. Les potentialités morphologiques du territoire déterminent donc bien la localisation des productions mais aussi l'organisation de chantiers culturaux *via* des pratiques de regroupement par blocs de parcelles (cf. encadré 1.3) (Benoît, 1985 ; Jacopin, 2011).

La figure 1.4 représentant sur l'axe vertical le niveau d'accessibilité des parcelles en termes de distance et de franchissement d'obstacle, montre aussi que ces chantiers sont déterminés par des potentialités agricoles, telles que définies par Auricoste *et al*. (1983).

1.2.3.Des décisions fondées sur les potentialités agricoles

Les potentialités agricoles déterminent la capacité de production des couverts végétaux compte tenu de la mise en œuvre de techniques au niveau d'une parcelle, incluse dans une EA, selon des facteurs (i) pédologiques, (ii) morphologiques, (iii) topologiques en termes de distance et de situation dans le parcellaire et (iv) de facteurs d'organisation en termes de possibilités (équipements) et de besoins (budget fourrager) de l'EA (Auricoste *et al*., 1983).

Les facteurs topologiques ont fait l'objet de nombreuses études et ont donné lieu à des modèles théoriques d'organisation des territoires d'EA. Les études sur les facteurs d'organisation en termes de possibilités et de besoins de l'EA sont en revanche beaucoup plus rares. Pourtant les travaux de Morlon et Trouche (2005) démontrent leur actualité. Ils rappellent que « la diversité du système de culture, tant en effectif de parcelles à traiter qu'en diversité des opérations techniques à pourvoir, implique de nombreux déplacements de l'agriculteur, des bâtiments de stockage aux lieux de production, et de lieu de production en lieu de production » et que les processus de localisation des productions intègrent nécessairement une dimension logistique, comme illustrée par la figure 1.5, montrant l'impact de la localisation des points d'eau pour le remplissage du pulvérisateur sur la localisation des productions dans le territoire d'EA.

1.2.4.Des décisions fondées sur des perceptions du territoire en termes d'atouts et de contraintes pour le système en place

L'ensemble des travaux portant sur les processus de décisions des agriculteurs montre que les potentialités du territoire sont évaluées en termes de contraintes, d'atouts ou d'éléments perçus comme neutres pour les actions de l'agriculteur (Bonnevial, 1989 ; Morlon, Benoît, 1990 ; Aubry *et al*., 1998 ; Marie, 2009) (cf. encadré 1.4). Ils montrent plus particulièrement que le processus de décision des agriculteurs repose sur une hiérarchisation des objectifs, des atouts et des contraintes.

Encadre 1.4 : définitions des contraintes, atouts et éléments neutre d'un territoire d'EA

- Une contrainte est définie comme « tout élément de situation qui, en limitant le champ des décisions possibles, freine l'atteinte des finalités du système d'EA. Les contraintes résultent de l'environnement ainsi que de l'histoire de l'EA et de la famille ; elles n'ont de sens que mises en relations avec les finalités » (Bonnevial, 1989). Ces contraintes relèvent de facteurs internes au système de culture et de facteurs externes pouvant être endogènes (ex : systèmes de production) ou exogènes (ex : exigence du collecteur) (Aubry *et al*., 1998).
- Un atout est quant à lui défini comme « tout élément de situation qui, en augmentant le champ des décisions possibles, favorise l'atteinte des finalités du système d'EA. Les atouts résultent de l'environnement ainsi que de l'histoire de l'EA et de la famille ; ils n'ont de sens que mis en relation avec les finalités » (Bonnevial, 1989).
- Un élément neutre lui est défini comme « tout élément de situation qui n'augmente ni ne limite le champ des décisions possibles compte tenu des finalités du système d'EA » (Bonnevial, 1989).

Dans cette première partie du chapitre, nous venons de présenter les processus de décision des agriculteurs relatifs au pilotage et à la localisation des productions, *via* les études d'agronomes et de géographes. Il convient donc maintenant d'identifier les processus de décision relatifs au cas plus particulier de l'insertion territoriale du miscanthus, *via* les études économiques disponibles.

Références bibliographiques	Cultures énergétiques étudiées	Principaux facteurs d'adoption étudiés	Zone d'étude	Protocole d'enquêtes	Méthode d'analyse
Sherrington *et al*., 2008 Sherrington et Moran, 2010	Miscanthus et TCR de saule	Economiques Socio-économiques	United Kingdom	Groupes de discussion avec des agriculteurs producteurs ou futurs producteurs de miscanthus	**Modèle de programmation linéaire** Objet d'étude : impacts de la marge brute sur l'adoption Hypothèses : maximisation du profit et absence de freins à l'adoption
Bocquého et Jacquet, 2010 Bocquého *et al*., 2011 Bocquého *et al*., 2012 Bocquého, 2012	Miscanthus et switchgrass	Economiques Socio-économiques	France : région Bourgogne	Enquêtes dans 111 EA (sur plus de 500 variables) et démarche expérimentale (loterie)	**Modèle économétrique Tobit** Objet d'étude : impacts du risque et de la préférence des agriculteurs liée au temps sur l'adoption Hypothèses : cf. encadré 1.5
Jensen *et al*., 2007	Switchgrass	Socio-économiques	USA : Etat du Tennessee	Enquêtes par courriers auprès de 15000 EA (analyse sur 3499 enquêtes retournées et complètes).	**Modèle économétrique Tobit** Objet d'étude : impacts du profit sur l'adoption et sur la superficie implantée Hypothèses : maximisation de l'utilité
Paulrud et Laitila, 2010	TCR de saule, chanvre, reed canary grass, cultures énergétiques de 1ère génération	Socio-économiques	Suède (4 régions)	Enquêtes par courriers auprès de 2000 EA reposant sur deux mises en situation expérimentales	**Modèle des choix expérimentaux** Objet d'étude : impacts des choix sur l'adoption et sur la superficie implantée Hypothèses : maximisation de l'utilité
Clancy *et al*., 2011	Cultures énergétiques au sens large	Socio-économiques	Irlande	Utilisation des données d'enquête nationale NFS (National Farm Survey) 2006 pour 998 EA	**Modèle économétrique Tobit** Objet d'étude : impacts des facteurs socio-économiques sur l'adoption Hypothèses : maximisation de l'utilité
Gedikoglu, 2012	Miscanthus et switchgrass	Socio-économiques	USA : Etats du Missouri et de l'Iowa	Enquêtes par courriers auprès de 2995 EA	**Modèle économétrique Tobit** Objet d'étude : impacts des facteurs socio-économiques sur l'adoption Hypothèses : maximisation de l'utilité
Augustenborg *et al*., 2012	Miscanthus et autres cultures énergétiques	Socio-économiques	Irlande	Enquêtes par courriers auprès de 543 EA (analyse sur 172 enquêtes retournées et complètes).	**Analyse statistique descriptive** Objet d'étude : impacts des facteurs socio-économiques sur l'adoption Analyse : test de Fisher, test de Student, test du Chi²
Glithero *et al*., 2013	Miscanthus et TCR	Socio-économiques Territoriaux	Angleterre	Enquêtes dans 244 EA *via* la Farm Business Survey (FBS)	**Analyse statistique descriptive** Objet d'étude : impacts des facteurs socio-économiques sur l'adoption Analyse : test du Chi²
Ostwald *et al*., 2013	Cultures de 1ère génération, saule, chanvre et peuplier	Economiques Socio-économiques Territoriaux	Suède	Méta-analyse de publications scientifiques	**Méta-analyse de publications scientifiques** Mots-clef: bioenergy, energy crop, agriculture, attitude, and Sweden Années : 1990-2009
Rossi et Hinrichs, 2011	Switchgrass	Sociaux Territoriaux	USA: Etats de Iowa et Kentucky	Enquêtes qualitatives auprès de 48 acteurs locaux	**Analyse de discours**

Tableau 1.3 : principales études menées sur le consentement à produire des cultures énergétiques dont le miscanthus

2. Connaissances sur les processus de décision des agriculteurs relatifs au consentement à produire du miscanthus et à son insertion dans le territoire

L'insertion territoriale du miscanthus fait l'objet de nombreuses publications sur les prescriptions idéales de localisation de la culture : (i) pour optimiser sa production selon les potentialités du milieu et les conditions d'approvisionnement d'une usine de collecte et (ii) pour anticiper la concurrence de l'utilisation des terres (Fischer *et al*., 2010 ; Valentine *et al*., 2012), en préconisant par exemple une localisation sur des terres abandonnées (Campbell *et al*., 2008 ; Tilman *et al*., 2009), sur des terres marginales (Liu *et al*., 2011 ; Shortall, 2013) ou des terres en surplus (Dauber *et al*., 2012).

En revanche, **la localisation du miscanthus dans le territoire telle que choisie par les agriculteurs ne fait l'objet d'aucune publication scientifique**.

Dans la littérature, les travaux sur les processus de décision des agriculteurs portent uniquement sur le consentement à produire. Ces travaux sont principalement menés par des économistes, qui dans un premier temps ont employé de nombreuses analyses de coûts (reposant exclusivement sur des variables économiques) et qui dans un deuxième temps, ont employé et emploient encore à ce jour, de nombreux modèles économétriques intégrant des variables socio-économiques (Bocquého, 2012) (cf. tableau 1.3). Ces travaux ont également été menés dans une démarche empirique, de manière plus récente et plus rare, procédant majoritairement à des analyses statistiques et minoritairement à des analyses de discours (cf. tableau 1.3).

Sans analyser les processus de décision des agriculteurs relatifs à la localisation du miscanthus dans le territoire, certains auteurs cités dans le tableau 1.3 ont étudié l'impact de la qualité des terres de leur exploitation sur le consentement à produire du miscanthus (Paulrud et Laitila, 2010 ; Bocquého, 2012; Glithero *et al*., 2013) ainsi que l'impact de la distance de l'EA à une usine (Ostwald *et al*., 2013). Ces rares analyses ne sont pas compréhensives et n'apportent donc pas d'explication sur les liens de causalité entre les variables territoriales et le consentement à produire, néanmoins, il convient d'en présenter les faits pour évaluer les connaissances disponibles pour la thèse.

Pour ce faire, notre état de l'art porte sur les principaux travaux sur le consentement à produire du miscanthus, *i.e.* sur les travaux les plus fréquemment cités dans la littérature (cf. tableau 1.3). Il porte notamment sur le miscanthus, mais aussi sur d'autres cultures énergétiques (switchgrass, TCR, chanvre, etc.) du fait : (i) d'études parallèles sur le consentement à produire du switchgrass dont les caractéristiques relatives à l'innovation sont similaires (nouvelle culture à vocation énergétique et pérenne) et (ii) du fait d'études comparatives portant sur plusieurs cultures énergétiques.

Compte tenu des fortes « réticences » à produire du miscanthus révélées dans ces études (cf. citation ci-dessous), nous avons choisi de porter notre état de l'art à la fois sur les déterminants favorables à l'adoption du miscanthus, dits « motivations » et sur les déterminants défavorables à l'adoption, dits « freins ».

"Despite attractive crop establishment grants for dedicated energy crops (DECs) in the UK, **uptake remains low**. Drawing on results from an on-farm survey with 244 English arable farmers, **81.6% of farmers would not consider growing miscanthus**, while respectively, 17.2% would consider growing and 1.2% were currently growing these crops", (Glithero *et al*., 2013)

Ainsi, nous présenterons dans une première partie les déterminants économiques faisant consensus entre les auteurs, puis dans une deuxième partie les déterminants socio-économiques, qui bien que fortement étudiés, ne sont pas encore bien établis, puis enfin, nous présenterons dans une troisième partie les rares déterminants territoriaux pris en compte dans ces études.

Hypothèses et résultats des modèles économétriques de Bocquého (2012)

Hypothèses
- les variables d'allocation n'évoluent pas au cours du temps
- le gain des cultures céréalières ne dépend pas du temps
- le choix de l'allocation consiste à sélectionner les terres pour maximiser la valeur prospective de la parcelle
- cette maximisation dépend du revenu de l'agriculteur et de ses valeurs exprimées par sa « référence » (ex : le prix des céréales ou le prix des betteraves)
- la maximisation est contrainte par un nombre fixe de terres totales
- les terres doivent toutes être utilisées

Résultats

Principaux freins à l'adoption du miscanthus

1. la proximité de la retraite
Les résultats de Bocquého (2012) montrent que plus les agriculteurs sont proches de la retraite, plus la probabilité d'adoption du miscanthus est faible. L'auteur explique ce frein par la réduction de « l'horizon temporel » d'activité de ces agriculteurs, ne leur garantissant donc plus un retour possible sur investissement.

2. l'élevage
Pour Bocquého (2012), les « terres marginales » des éleveurs (*i.e.* les moins rentables de l'EA) sont souvent déjà mises en pâture ou utilisées pour la fauche. Ainsi l'auteur explique que ces derniers auraient moins besoin d'améliorer la rentabilité de ces terres, comparé aux céréaliers pour lesquels, le besoin d'augmenter la rentabilité des « terres marginales » est beaucoup plus fort.

3. la localisation de l'EA dans le nord du département
Les résultats de Bocquého (2012) montrent que moins la zone pédoclimatique est favorable au développement du miscanthus, plus la probabilité d'implantation est faible.

4. la préférence pour les évènements extrêmes
Les résultats de Bocquého (2012) signalent que plus les agriculteurs accordent de l'importance aux évènements extrêmes, plus la probabilité d'implantation du miscanthus est faible. L'auteur explique alors que même si le revenu tiré du miscanthus présente moins de risque que celui du blé (revenu minimum garanti de 70€ par tonne de matière sèche), l'échec de l'implantation du miscanthus est perçu comme un risque extrême.

5. l'actualisation standard
Les résultats de Bocquého (2012) montrent que moins les agriculteurs dévaluent leur revenu sur le long terme (comparativement au revenu sur le court terme) plus la probabilité d'adoption est faible.

Principales motivations à l'adoption du miscanthus

1. la taille de l'exploitation agricole
Pour Bocquého (2012), plus la taille de l'EA est grande, plus la probabilité d'adoption du miscanthus est forte, considérant que plus l'EA est grande, plus les agriculteurs disposent d'une avance de trésorerie.

2. la présence de terres marginales dans le parcellaire
Pour Bocquého (2012), plus l'EA possède des « terres marginales », plus la probabilité d'adoption du miscanthus est forte puisque les agriculteurs cherchent à travers le miscanthus à rendre plus rentable leurs « terres marginales ».

3. l'actualisation long-terme
Les résultats de Bocquého (2012) montrent que plus les agriculteurs dévaluent leur revenu sur le long terme (comparativement au revenu sur le court terme) plus la probabilité d'adoption est forte.

Encadré 1.5 : hypothèses et résultats des modèles économétriques de Bocquého (2012)

2.1. Les déterminants économiques relatifs à l'EA

2.1.1.Les principaux déterminants économiques

Les principaux déterminants économiques relatifs au consentement à produire du miscanthus sont présentés dans les travaux de Sherrington *et al*. (2008) et Sherrington et Moran (2010) : ces déterminants ont été identifiés à partir de groupes de discussion entre agriculteurs. Les résultats de ces études ont par la suite été très largement confirmés par d'autres travaux. Il y a donc un fort consensus sur la détermination du consentement à produire du miscanthus au regard de variables économiques.

Ainsi, les auteurs s'accordent à décrire un processus de décision singulier dans son ensemble, en raison de la nouveauté de la culture et de sa pérennité.

Ils montrent tout d'abord que le consentement à produire du miscanthus est freiné par un coût d'opportunité important, en raison des incertitudes des agriculteurs concernant l'évolution du prix de la culture et la pérennité de son marché, encore peu développé comparativement au marché de cultures annuelles conventionnelles.

Ces travaux montrent également que le consentement à produire est freiné par le délai et le niveau du retour sur investissement espéré. En effet, l'avance de trésorerie et la perte de flexibilité de l'assolement constituent des freins importants pour adopter du miscanthus. Ces freins sont d'autant plus forts que le retour sur investissement pour le miscanthus prend plusieurs années et que par suite, la rentabilité sur le long terme de cette culture est particulièrement incertaine. Les auteurs expliquent aussi que plus que la recherche d'une maximisation de la marge brute, le retour sur investissement est essentiellement attendu pour permettre une sécurisation du revenu, notamment par la voie de la contractualisation.

Les auteurs expliquent par ailleurs que la perception du niveau de retour sur investissement est fortement déterminée par l'aversion aux risques des agriculteurs. Les risques identifiés par les auteurs sont les risques de rendement, les risques de prix, les risques réglementaires issus des politiques agricoles et énergétiques (arrêt des subventions) et les risques institutionnels (arrêt des paiements par contractualisation).

En dépit de ce fort consensus sur l'effet avéré de l'aversion aux risques dans la prise de décision des agriculteurs, très peu d'études prennent en compte ces risques dans leur analyse pour identifier les caractéristiques socio-économiques des EA productrices ou non de miscanthus (cf. partie 2.2). Les travaux de Bocquého (2012) se présentent donc comme une exception, qu'il convient de présenter.

2.1.2.Le comportement des agriculteurs face aux risques et aux préférences liées au temps

Dans sa thèse, Bocquého (2012) étudie l'impact du risque et de la préférence des agriculteurs liée au temps, sur le consentement à produire du miscanthus. Par des modèles économétriques reposant sur la théorie des perspectives, l'auteur montre que le consentement à produire du miscanthus est à la fois déterminé par l'aversion aux pertes et par la perception des évènements extrêmes.

Ces modèles, dont les hypothèses et résultats sont présentées dans l'encadré 1.5, reposent sur un calcul de maximisation du profit considérant que l'adoption du miscanthus au niveau de l'exploitation agricole renvoie à un problème d'investissement où les terres sont allouées pour mettre en compétition la technologie traditionnelle (équivalant aux cultures céréalières) et les innovations (équivalant au miscanthus). L'analyse des résultats de ces modèles montrent que les principaux freins à l'adoption du miscanthus sont : la proximité de la retraite, l'activité d'élevage, la

localisation de l'EA dans le nord du département, la préférence pour les évènements extrêmes et l'actualisation standard (cf. encadré 1.5). *A contrario*, les principaux leviers à l'adoption du miscanthus sont : la taille de l'exploitation agricole, la présence de terres marginales dans le parcellaire et l'actualisation long-terme (cf. encadré 1.5).

2.2. Les déterminants socio-économiques relatifs à l'EA

Les variables socio-économiques utilisées par Bocquého (2012) et par de nombreux économistes pour analyser le consentement à produire, sont les variables classiquement utilisées dans la théorie de l'innovation. Cependant les résultats de différents travaux se contredisent sur leurs effets induits sur le consentement à produire des cultures énergétiques, comme illustré par le tableau ci-dessous.

Variables socio-économiques	Effet déterminant	Effet neutre
Activité principale de l'EA	Clancy *et al*., 2011	Paulrud et Laitila, 2010 Augustenborg *et al*., 2012 Glithero *et al*., 2013
Taille de l'EA	Paulrud et Laitila, 2010 Clancy *et al*., 2011 Glithero *et al*., 2013	
Age de l'agriculteur	Clancy *et al*., 2011 Glithero *et al*., 2013	Paulrud et Laitila, 2010 Gedikoglu, 2012
Niveau d'étude général	Paulrud et Laitila, 2010 Gedikoglu, 2012	Clancy *et al*., 2011 Glithero *et al*., 2013
Revenus non agricoles	Gedikoglu, 2012	Clancy *et al*., 2011

Tableau 1.4 : disparité des résultats de plusieurs travaux sur les déterminants socio-économiques du consentement à produire du miscanthus

2.3. Les déterminants territoriaux

Comme nous l'avons présenté en introduction de cette partie, les déterminants territoriaux relatifs à l'adoption du miscanthus sont très peu analysés. Seules quatre études prennent explicitement en considération ces déterminants, sans les définir néanmoins et sans apporter de conclusions communes.

2.3.1.La « qualité » des terres

Ainsi, les travaux récents de Augustenborg *et al*. (2012) et de Glithero *et al*. (2013) montrent que la qualité des terres impacte le consentement à produire : par exemple, dans Augustenborg *et al*. (2012), l'inadéquation de la qualité des terres constitue un frein à l'adoption du miscanthus pour 19% d'agriculteurs enquêtés. Sans chercher à identifier ce qu'est cette qualité des terres pour les agriculteurs enquêtés, ni même à expliquer pourquoi elle est tantôt favorable à l'adoption du miscanthus et tantôt défavorable, ces deux études prouvent l'importance de ce facteur dans les prises de décision des agriculteurs.

Pour approfondir la définition de la qualité des terres et ses liens de causalité avec l'adoption de cultures énergétiques, Paulrud et Laitila (2010) ont analysé la proportion d'implantation des cultures énergétiques selon la localisation géographique de l'EA. Les résultats de cette étude montrent alors que le niveau d'implantation est bien déterminé par la localisation géographique de l'EA. Les auteurs expliquent cette détermination par le contexte agricole, *i.e.* (i) par l'effet de la demande en énergie liée à une filière régionale, mais aussi, (ii) par l'effet des caractéristiques pédoclimatiques des terres induisant un niveau de compétitivité entre les cultures. Ainsi, par ce deuxième effet, les zones ayant les plus hauts rendements moyens en céréales sont celles dont le niveau d'implantation observé est le plus bas.

	Surface cumulée		Obs.
	ha	%	
Parcelles marginales, dont[a]:	164	56	79
qualité du sol	105	36	46
éloignement	86	30	28
taille	61	21	50
pente	3	1	2
forme	48	16	23
autre	158	54	55
Parcelles non marginales	128	44	44
Total	292	100	123

[a] Une même parcelle est le plus souvent marginale pour plusieurs raisons à la fois.

Tableau 1.5 : description des parcelles marginales implantées en miscanthus d'après les enquêtes de Bocquého (2012)

Liens entre marginalité des terres et insertion territoriale du miscanthus parmi l'échantillon d'enquêtes de Bocquého (2012)

Part des terres marginales dans le territoire d'EA des producteurs de miscanthus
- **92% des producteurs de miscanthus ont des terres marginales dans leur EA**
- ces terres marginales représentent en moyenne 11% de la SAU

Part des terres marginales parmi les parcelles implantées en miscanthus
- **les terres marginales représentent 56% de la surface implantée en miscanthus** (cf. tableau 1.5)

Part des principales pratiques d'insertion territoriales du miscanthus selon le niveau de marginalité des terres
- **49% des producteurs ont inséré le miscanthus sur des terres marginales**
- 37% des producteurs ont inséré le miscanthus sur des terres non-marginales
- 14% des producteurs ont inséré le miscanthus sur des terres mixtes

Interprétation du lien entre marginalité des terres et insertion territoriale du miscanthus de Bocquého (2012)
« On en déduit qu'en moyenne le miscanthus est préférentiellement implanté sur des parcelles marginales, mais qu'il ne s'agit pas d'une condition générale à l'adoption du miscanthus » (Bocquého, 2012).

Encadré 1.6. Répartition de la localisation du miscanthus sur les terres marginales et non marginales de l'échantillon enquêté (Bocquého, 2012)

2.3.2.La « marginalité » des terres

De nombreuses publications montrent que la marginalité des terres est un concept difficile à définir. Récemment, Shortall (2013) a montré que ce concept relevait d'une imbrication de trois points de vue distincts : le point de vue ambigu de la qualité des terres, le point de vue des capacités de production, et le point de vue de la rentabilité économique de la parcelle. Ainsi, à notre connaissance, les liens de causalité entre la marginalité des terres et le consentement à produire du miscanthus n'ont fait l'objet que d'une seule étude menée par Bocquého (2012) à travers (i) une enquête descriptive des caractéristiques des parcelles jugées marginales par les agriculteurs enquêtés et (ii) la conception d'un modèle économétrique d'adoption du miscanthus en fonction de la marginalité des terres.

L'enquête descriptive de Bocquého (2012) s'est faite en demandant aux agriculteurs d'identifier les causes d'éventuelles difficultés de travail de certaines parcelles implantées ou non en miscanthus. Les critères prédéfinis et proposés aux agriculteurs pour décrire ces causes étaient : la qualité du sol, l'éloignement de la parcelle, sa taille, son niveau de pente et son niveau d'irrégularité dans la forme.

Ainsi, l'analyse des résultats d'enquêtes de Bocquého (2012) montre d'une part « qu'en moyenne le miscanthus est préférentiellement implanté sur des parcelles marginales, mais qu'il ne s'agit pas d'une condition générale à l'adoption du miscanthus » (cf. tableau 1.5 et encadré 1.6). Elle montre d'autre part que globalement, la caractérisation de la marginalité des terres pose des difficultés : (i) car une parcelle peut être marginale pour une ou plusieurs raisons combinées et (ii) car pour Bocquého (2012), la notion de marginalité est « subjective et relative », dépendant des préférences de l'agriculteur et de ses perceptions, ainsi que du contexte même de l'EA.

La modélisation de Bocquého (2012) montre par ailleurs que la détermination du consentement à produire du miscanthus diffère selon le type de terre, *i.e.* selon si la parcelle est marginale ou non. Ainsi, l'auteur montre que pour les terres marginales, l'adoption est déterminée par l'âge, le revenu non agricole, l'élevage et l'actualisation standard, tandis que sur les terres non marginales, l'adoption est déterminée par l'ancienne production ou non de betteraves et par les évènements extrêmes.

2.3.3.L'organisation spatiale du territoire et l'impact paysager

Les travaux de Augustenborg *et al*. (2012) montrent que le consentement à produire du miscanthus est déterminé par l'organisation du territoire en termes d'infrastructures mises à disposition et en termes de conditions d'accès et de transports des récoltes de miscanthus jusqu'à l'usine de collecte. Ainsi, ces déterminants constituent respectivement un frein à l'adoption du miscanthus pour 35% et 29% des enquêtes. Malgré ce résultat qui tend à montrer que l'organisation spatiale du territoire impacte sur le consentement à produire du miscanthus, aucun travail connu à ce jour ne prend en compte ces déterminants pour comprendre les prises de décision des agriculteurs.

Par ailleurs, la méta-analyse de Ostwald *et al*. (2013) portant sur les études réalisées en Suède sur quatre cultures énergétiques (miscanthus exclu), montre que les déterminants territoriaux sont très peu étudiés pour les nouvelles cultures énergétiques alors que les impacts de ces déterminants ont été prouvés pour les cultures énergétiques plus anciennes (cf. tableau 1.6). L'impact paysager de l'insertion de ces cultures en termes d'appréciation esthétique et en termes de régulation de processus écologiques fait partie de ces déterminants d'ores et déjà reconnus pour impacter l'adoption des premières cultures énergétiques. Ces déterminants ont été étudiés par Haughton *et al*. (2009), *via* des groupes de discussion et par Dockerty *et al*. (2012) *via* des simulations de paysage présentées auprès de populations locales (cf. figure 1.6). En revanche, aucune étude ne porte sur les liens entre la perception paysagère des agriculteurs eux-mêmes et l'insertion territoriale du miscanthus.

MOTIVATIONAL FACTORS	POSSIBLE BARRIERS AND DRIVERS
Values	1) Aesthetic • Attractive landscape [11, 18, 38] • Hunting opportunities (e.g. going from annual cropping systems to perennial plantation systems) [39] 2) Moral • Fields for food: 32% state that "you cultivate to grow food – not energy" [18] • Fields for preservation [33] 4) Ecological (could indirectly also be an economic factor if it brings a service with advantages or involves subsidies) [10, 33] • Reduced nutrient leaching [10, 38] • Less pesticides use [10] • Increased biodiversity [38] • Wind shelter against erosion and snow [38] • Organic soil component recovery [38] • Cadmium uptake [10] • Energy efficiency [29, 40, 41] 5) Quality of life • Self-rule, development [33] • Lack of time [33] • Age reasons [33] • Cultivation for own needs [33]
Legal	1) Property rights • Tenure conditions for perennial crops [8, 11, 18] 2) Cultivation licence/specification of variety (hemp) [31, 38] 3) Complicated regulation systems [33]
Knowledge	1) Knowledge of cultivation methods [11, 18] 2) Knowledge of alternative crops [11] 3) Policy support (e.g., research, and extension) [8, 11] 4) Knowledge of the market: access, sell, agreements, and contracts [33] 5) Energy knowledge [33] 6) Machines and equipment [30]
Economy	1) Risk and risk management • Risk [18] and perceived risk (i.e., market risks, production risks, and political risks) [11, 18, 33] • Risk management (i.e., possibilities for a crop portfolio perspective) [11] 2) Cost of changing production system [18, 33] 3) Economy of scale[11] and vertical integration in the biomass supply chain [8, 11, 31] 4) Time perspective (discount rate) [18] 5) Net profit [18, 30, 31, 33] 6) Market conditions • existence and type of market for output [8, 30, 42] • contract farming as a requirement for receiving subsidies (salix) [11, 18] 7) Economic policies • Common Agricultural Policy of the European Union [11, 18] • Rural Development Programme support [10] 8) Alternative use of relatively expensive production factors • land (i.e., other crops [8, 36, 38] and fallow [8, 18, 36]) • labour [11, 38] 9) Productions costs [42]

Tableau 1.6 : déterminants du consentement à produire des cultures énergétiques (Ostwald *et al*., 2013)

Figure 2: Computer-generated images used to represent different planting distributions

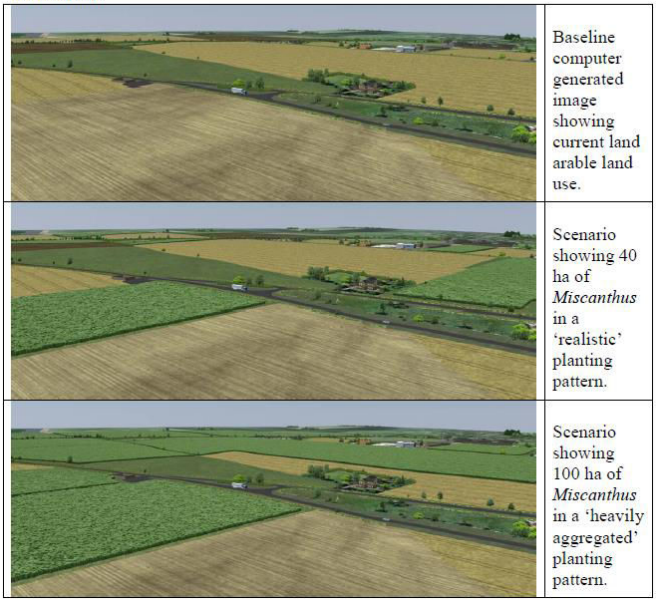


Figure 1.6 : paysages simulés pour étudier l'impact paysager du miscanthus sur l'acceptabilité sociale (Dockerty *et al*., 2012)

Ainsi, l'ensemble des travaux existants n'est pas suffisant selon Ostwald *et al*. (2013). Une approche plus compréhensive des processus de décision est nécessaire selon eux.

"Finally, there are knowledge gaps in the literature as to why farmers decide to keep or change a production system. Since the Swedish government and the EU intend to encourage farmers to expand their energy crop production, this knowledge of such motivational factors should be enhanced" (Ostwald *et al*., 2013).

Les conclusions de Bocquého (2012) montrent aussi que le consentement à produire du miscanthus est lié aux caractéristiques spatiales du parcellaire de l'agriculteur et que cette question est donc à explorer de manière fine, compte tenu des difficultés de caractérisation des terres marginales et du lien entre la marginalité des terres et l'adoption.

3. Discussion sur les connaissances existantes sur les décisions relatives à l'insertion territoriale du miscanthus

Plusieurs études déductives, reposant principalement sur des théories économiques, apportent des connaissances sur les liens de causalité entre les caractéristiques générales de l'EA et de l'agriculteur, et les surfaces de miscanthus mises en production dans l'EA.

Néanmoins, les rares travaux s'intéressant aux caractéristiques des terres allouées au miscanthus (*i.e.* à leur niveau de marginalité économique) peinent à modéliser le lien entre la marginalité de ces terres et l'insertion territoriale du miscanthus (Bocquého, 2012). Il en est de même pour les études empiriques, qui trop souvent limitent leurs enquêtes fermées à une exploration sommaire des déterminants de l'adoption du miscanthus liés au territoire. Ces études ne permettent donc pas non plus de comprendre en finesse les processus de décision des agriculteurs relatifs à l'insertion spatialement explicite du miscanthus dans le territoire.

Plus globalement, ces études ignorent la dimension territoriale des décisions des agriculteurs et la rationalité limitée de leurs décisions, pourtant démontrée dès les années 1970's par des travaux d'agronomes et de géographes. En effet, les travaux d'agronomes et de géographes montrent plus particulièrement des liens forts entre les processus de décision des agriculteurs liés à la gestion de l'EA et : (i) le contexte économique de l'EA (modes de commercialisation, etc.), (ii) le contexte social de l'agriculteur (contextes familial, partenarial, etc.), (iii) mais aussi, son contexte environnemental (contextes pédoclimatique, paysager, etc.). Or les travaux portant sur le miscanthus n'étudient pas les liens potentiels entre l'insertion du miscanthus et les différents contextes territoriaux de l'EA.

Par ailleurs, les méthodes d'investigation du lien entre la qualité des terres et l'adoption du miscanthus ne semblent pas s'adapter aux référentiels des agriculteurs portant davantage sur une perception du territoire en termes de contraintes et d'atouts que de marginalité (cf. parties 1.2.4 et 2.3.2).

Ainsi, pour modéliser l'insertion territoriale du miscanthus à partir des décisions des agriculteurs, une étude préalable sur les processus de décision des agriculteurs nous semble nécessaire pour appréhender la dimension territoriale de leur choix (cf. chapitre 4). Cette étude constituera le premier enjeu d'acquisition de connaissances de la thèse.

Chapitre 2

Modèles spatialement explicites de l'utilisation des terres reposant sur les processus de décision des agriculteurs : principaux enjeux et perspectives de recherche

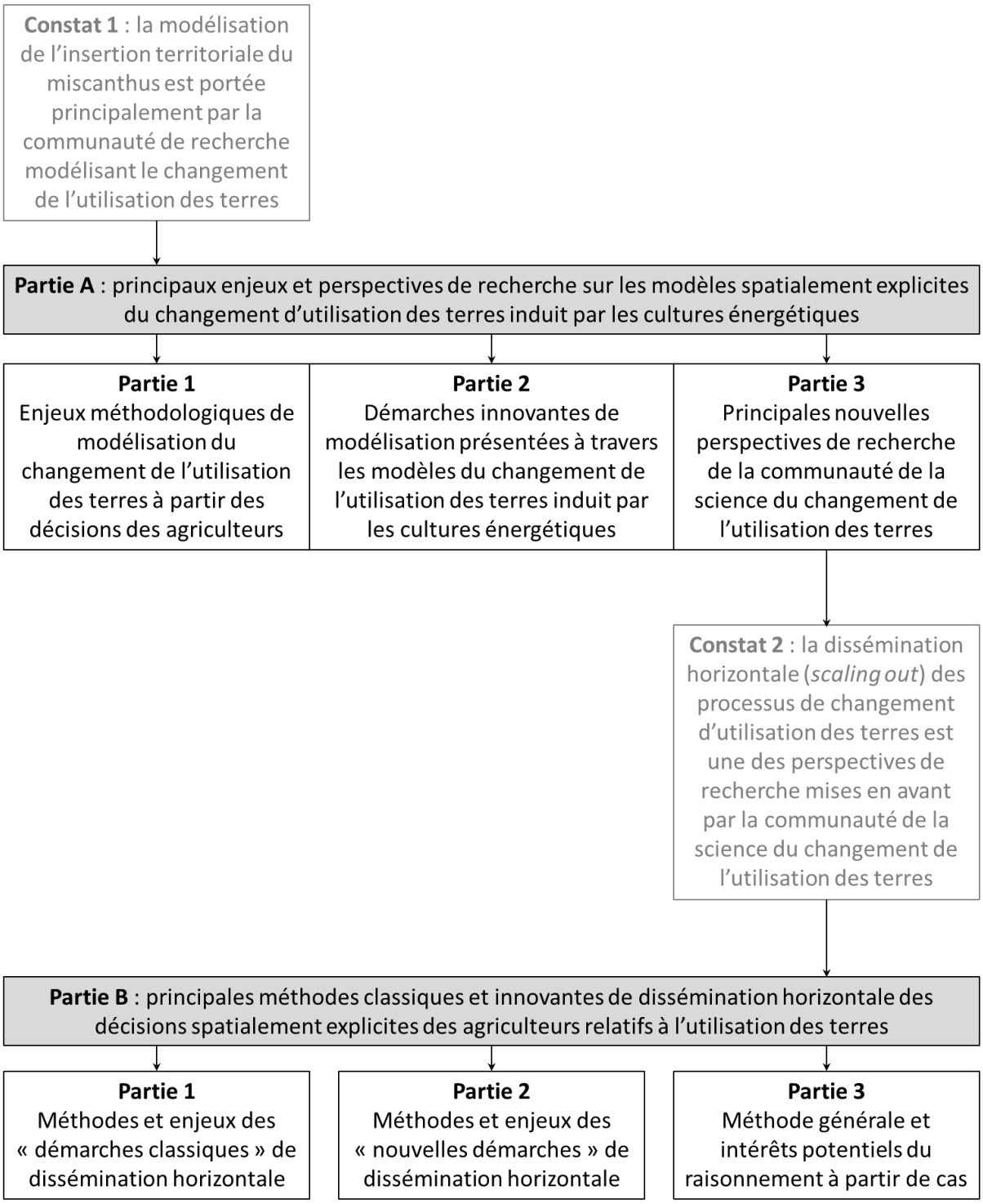


Figure 2.1 : plan du chapitre 2

Une revue bibliographique récente (Li *et al*., 2013) montre que l'insertion territoriale des cultures énergétiques, dont le miscanthus, est principalement modélisée par la science du changement de l'utilisation des terres - *Land Change Science* en anglais - plus récemment nommée aussi science du système de l'utilisation des terres - *Land System Science* en anglais - (Rindfuss *et al*., 2004 ; Turner *et al*., 2007 ; Rounsevell *et al*., 2012a ; Verburg *et al*., 2013a).

Cette science repose sur une communauté interdisciplinaire (ex : géographie, économie, sociologie) et internationale de recherche. Elle a pour objectifs : (i) d'observer et de surveiller les changements de l'utilisation des terres à l'échelle mondiale, (ii) de comprendre ces changements par l'analyse de déterminants humains et environnementaux, (iii) de fournir des modèles spatialement explicites du changement de l'utilisation des terres et (iv) d'évaluer l'impact de ces changements en termes de vulnérabilité, de résilience et de durabilité de la planète (Turner *et al*., 2007). Le projet de recherche LUCC, pour Land Use and Land-Cover Change, mené de 1995 et 2005 et le projet GLP, pour Global Land Project, mené de 2005 à 2015 ont respectivement eu comme objectifs de recherche : d'identifier les déterminants environnementaux et humains du système de l'utilisation des terres (Rindfuss *et al*., 2004) puis de comprendre les dynamiques interactives et rétroactives de ces systèmes (GLP, 2005 ; (Turner *et al*., 2007) et d'en proposer des modèles.

C'est ainsi que les changements d'utilisation des terres induits par les cultures énergétiques sont à ce jour au cœur des recherches de cette communauté, compte tenu des enjeux environnementaux et socio-économiques qu'ils sous-tendent (cf. introduction). Un large panel de cultures énergétiques est alors étudié, comprenant à la fois des cultures énergétiques de première génération, généralement déjà insérées dans les territoires pour une utilisation alimentaire (maïs, colza, betterave, soja, tournesol) et des cultures énergétiques de seconde génération dédiées à l'énergie et qui sont généralement en début d'insertion dans les territoires étudiés (miscanthus, switchgrass, TCR de saule, TCR de peupliers) (Hellmann et Verburg, 2011).

Or les travaux de recherche de cette communauté scientifique, plus particulièrement ceux portant sur la modélisation spatialement explicite du changement de l'utilisation des terres (objet de ce chapitre) révèlent d'importes difficultés méthodologiques pour observer, comprendre et modéliser ce changement, par le couplage des systèmes sociaux et environnementaux qui le déterminent. Les modèles plus spécifiquement développés à ce jour pour le cas des cultures énergétiques sont alors des exemples de nouvelles méthodes mises en œuvre pour parer ces difficultés. Cependant, les dernières publications faisant le bilan des avancées du projet GLP soulignent l'insuffisance de ces travaux pour réussir à modéliser les processus de décision des agriculteurs et autres acteurs locaux, sans compromettre les capacités de ces modèles à fournir des évaluations d'impact au niveau global, afin d'être un outil d'aide à la décision politico-réglementaire. Dans ces dernières publications, de nouvelles perspectives de recherche sont alors proposées. Parmi ces perspectives, deux nécessitent la mise au point de nouvelles démarches et de nouveaux outils de modélisation : la méta-analyse d'études de cas et la dissémination horizontale des processus de décision locaux. Or différents travaux de recherche menés en agronomie, notamment au département des Sciences pour l'Action et le Développement de l'INRA, sont au cœur de ces problématiques de recherche et fournissent d'ores et déjà des démarches et outils pouvant répondre aux perspectives de recherche de la communauté internationale du changement de l'utilisation des terres en vue d'en améliorer leurs modèles.

Afin de justifier le choix du raisonnement à partir de cas pour modéliser de manière spatialement explicite l'insertion territoriale du miscanthus à partir des processus de décision des agriculteurs et afin aussi de positionner ce cadre de modélisation parmi les différents travaux existants, nous avons choisi de présenter tour à tour, de manière synthétique, les principales méthodes et enjeux de recherche existants pour les modèles de la science du changement de l'utilisation des terres et pour les solutions méthodologiques potentielles fournies par les agronomes, selon le plan de la figure 2.1.

Catégories de modèles de changement de l'utilisation des terres	Modèles représentatifs
Statistical and Econometric Models	- Linear Regression Models - Econometric Models - Multinomial Logit Models - Canonical Correlation Analysis Models
Spatial Interaction Models	- Potential models - Intervening Opportunities Models - Gravity/Spatial Interaction Models
Optimization Models	- Linear Programming Models (Single and Multi objective) - Dynamic Programming - Goal Programming, Hierarchical Programming, Linear and Quadratic Assignment problem, Nonlinear Programming Models - Utility-Maximization Models - Multi-Objective/Multi-Criteria Decision Making Models

Integrated Models	- Econometric-Type Integrated Models
	- Gravity-Spatial Interaction-Based and Lowry-Type Integrated Models
	- Simulation Integrated Models
	  - Urban/Metropolitan Level Simulation Models
	  - Regional Level Simulation Models
	  - Global Level Simulation Models
	- Input-Output-Based Integrated Models

Other Modeling Approaches	- Natural-Sciences-Oriented Modeling Approaches - Markov Modeling of Land Use Change - Gis-Based Modeling of Land Use Change

Tableau 2.1 : classification des modèles de changement de l'utilisation des terres (Briassoulis, 2000)

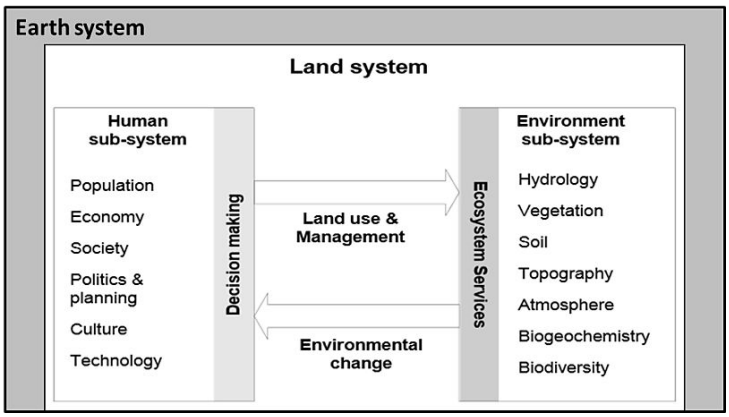
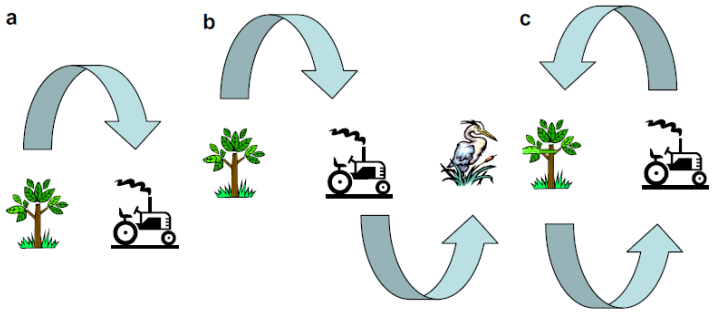


Figure 2.2 : représentation schématique du système de l'utilisation des terres (Schaldach et Priess, 2008)



« Three approaches to linked systems : natural to social (a), natural, social, nature, (b), and fully linked (c)

Figure 2.3 : exemples de couplages des systèmes sociaux et environnementaux (Parker *et al.*, 2008b)

A. Principaux enjeux et perspectives de recherche des modèles spatialement explicites du changement d'utilisation des terres induit par les cultures énergétiques

1. Enjeux méthodologiques de la modélisation du changement de l'utilisation des terres

Les modèles spatialement explicites de changement de l'utilisation des terres sont définis comme des outils servant à représenter, analyser et à comprendre les causes et les conséquences du changement de l'utilisation des terres (Verburg *et al*., 2004). Ces modèles sont des outils d'aide à la décision et servent à l'évaluation *ex ante* de l'impact de politiques réglementaires relatives à l'utilisation des terres (politique agricole, conservation des espaces naturels, politiques énergétiques...) (Rounsevell *et al*., 2012a). Pour ce faire, ces modèles ont pour objectifs de quantifier et de localiser le changement de l'utilisation des terres, sous différents scénarios politico-réglementaires, mais aussi d'expliquer les causes du changement de l'utilisation des terres, afin de faciliter l'identification de leviers d'action. Les modèles spatialement explicites alors employés sont de plusieurs types : (i) ils peuvent avoir une finalité descriptive ou prédictive (Verburg *et al*., 2004), (ii) s'appuyer sur des observations empiriques ou sur des théories (Overmars *et al*., 2007), (iii) ils peuvent s'appliquer du niveau local au niveau global et (iv) s'appuyer sur une diversité de méthodes, comme présentées dans Briassoulis (2000) (cf. tableau 2.1) et comme présentées dans d'autres revues bibliographiques (Agarwal *et al*., 2002 ; Verburg *et al*., 2004).

Comme justifié en introduction, l'objet de cette première partie n'est pas de présenter l'exhaustivité des modèles existants mais les principaux enjeux méthodologiques rencontrés lors de leurs élaborations et usages. Nous commencerons donc par présenter les objectifs méthodologiques de ces modèles, les difficultés associées et les principales démarches de modélisation mises en œuvre.

1.1. Objectif des modèles de changement de l'utilisation des terres : le couplage des systèmes sociaux et environnementaux

Différentes études montrent que le changement de l'utilisation des terres est le résultat de l'activité humaine, déterminée par un système social et un système environnemental (Briassoulis, 2000 ; Lambin *et al*., 2001 ; Lambin *et al*., 2003). Ainsi, schématiquement, le système de l'utilisation des terres se situe à l'interface entre le système social, représenté par les processus de décision des individus et le système environnemental, représenté par des services écosystémiques (cf. figure 2.2). Ainsi, modéliser les changements de l'utilisation des terres implique de modéliser les processus de décision des individus et des collectifs (ex : village), en les couplant aux processus environnementaux rétroactifs qu'ils sous-tendent (GLP, 2005 ; Young *et al*., 2006 ; Turner *et al*., 2007; Schaldach et Priess, 2008).

Pour ce faire, le couplage des systèmes sociaux et environnementaux, appelés aussi systèmes socio-environnementaux (Musters *et al*., 1998; Young *et al*., 2006) peut se décliner sous deux formes principales. La première consiste à modéliser les processus du changement de l'utilisation des terres par le couplage de variables humaines et environnementales (Schaldach et Priess, 2008) ; la deuxième consiste quant à elle à modéliser les interactions entre les deux systèmes (Liu *et al*., 2007b; Lambin et Meyfroidt, 2010; Priess et Schweitzer, 2012), selon trois types d'interactions et de rétroactions possibles identifiés par Parker *et al*. (2008b) : (i) l'interaction ouverte nature-société, (ii) l'interaction ouverte nature-société-nature et (iii) l'interaction fermée nature-société impliquant la prise en compte de phénomènes rétroactifs (cf. figure 2.3).

Comme expliqué dans plusieurs publications, la complexité de ces interactions et plus globalement, la diversité et la complexité des relations entre les déterminants du système d'utilisation des terres, font que ces objectifs sont porteurs de nombreuses difficultés méthodologiques.

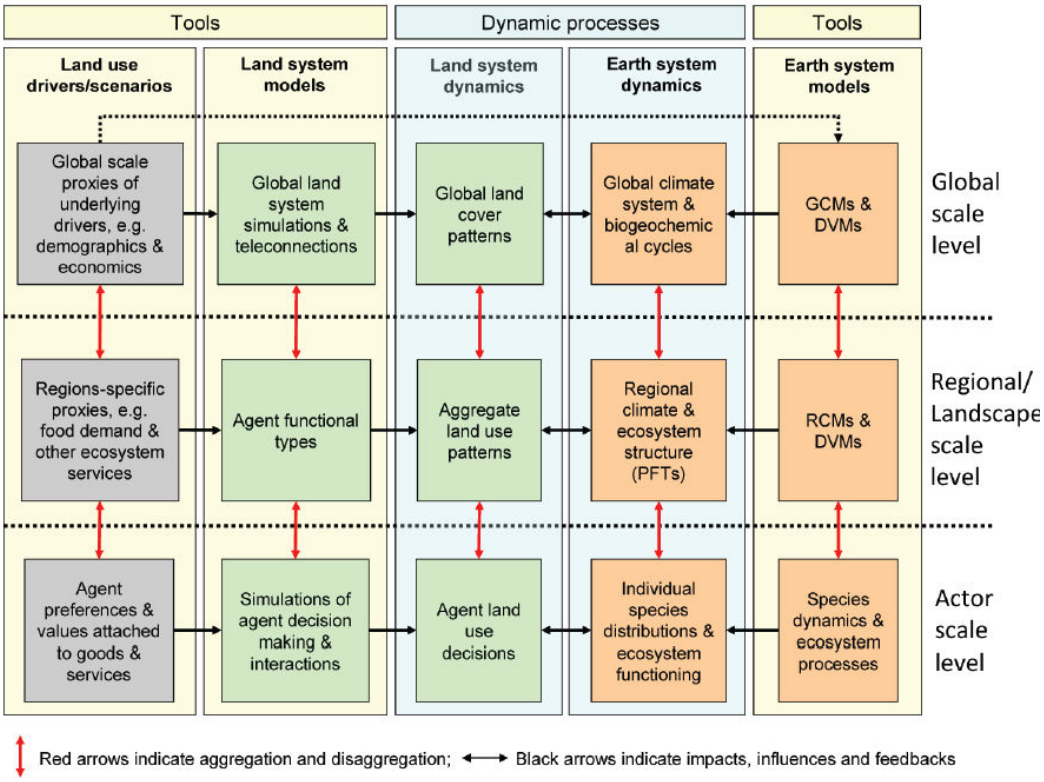


Figure 2.4 : représentation schématique des composants des systèmes d'utilisation des terres et des systèmes climatiques à différents niveaux d'organisation (Rounsevell *et al.*, 2012b)

1.2. Difficultés méthodologiques du couplage des systèmes sociaux et environnementaux

Différentes études montrent que les facteurs explicatifs/déterminants du changement de l'utilisation des terres, appelés forces motrices[14], sont multi-niveaux (Turner II *et al*., 1990 ; Lambin *et al*., 2003 ; Lambin et Meyfroidt, 2010). Cette organisation hiérarchique des forces motrices a alors trois conséquences.

Cela signifie premièrement, que les forces motrices émergent à différents niveaux d'organisation[15] d'un territoire. Par exemple, au niveau local les forces motrices sont souvent dominées par les valeurs et préférences de l'individu, alors qu'au niveau régional, les forces motrices sont souvent dominées par la distance au marché *via* les ports ou aéroports (Verburg *et al*., 2004) (cf. figure 2.4). Cela signifie deuxièmement que ces forces motrices interagissent entre ces niveaux (Turner II *et al*., 1990 ; Lambin *et al*., 2003 ; Lambin et Meyfroidt, 2010). Enfin, cela signifie aussi que les forces motrices sont soumises : (i) à la théorie de la hiérarchie qui suggère qu'un processus qui se déroule à un certain niveau d'organisation est contraint par les conditions environnementales et sociales des niveaux supérieurs et inférieurs et (ii) à la théorie de l'émergence qui suggère que certaines propriétés apparaissent au niveau macro sans qu'elles ne puissent être observées au niveau micro, auprès d'individus isolés.

Ainsi, pour modéliser le changement de l'utilisation des terres, les forces motrices du système de l'utilisation des terres doivent être observées (*i.e.* sélectionnées et quantifiées) et modélisées à de multiples niveaux d'organisation.

Or la première difficulté est que la prise en compte de tous les niveaux d'organisation n'est pas dans les traditions d'observation et de modélisation de certaines disciplines (Verburg *et al*., 2004). En sociologie par exemple, les observations portent sur le comportement des individus au niveau local, tandis qu'en géographie, les observations s'effectuent au niveau macro et sont souvent couplées à des théories (ex : théorie des organisations).

La deuxième difficulté est que la modélisation de plusieurs niveaux d'organisation implique de développer des modèles ayant une structure complexe (cf. le modèle CLUE dans la partie 1.3.1) et étant par suite difficile à concevoir pour coupler en son sein, ces différentes niveaux.

Enfin, la troisième difficulté est que l'observation et la modélisation de plusieurs niveaux nécessitent une quantité importante de données d'entrées et de connaissances nécessaires au paramétrage du modèle, alors même que ces données sont difficiles à acquérir aux différents niveaux (« Features that can be observed in case studies with a small extent are generally not observable in studies for larger regions. (…) And local studies often lack information about the context of the case study area that can be derived from the coarser scale data" (Verburg *et al*., 2004)).

---

[14] Les forces motrices (*driving forces*, *drivers* ou *determinants* en anglais) sont des facteurs explicatifs du changement de l'utilisation des terres (Turner *et al*., 1994 ; Lambin *et al*., 2001). Ces forces ont été regroupées en trois catégories : les forces biophysiques, les forces socio-économiques et les forces directes du système d'utilisation des terres des acteurs (Verburg *et al*., 2004). Ces forces sont ainsi de deux natures : sous-jacentes pour les deux premières catégories *(underlying* en anglais) et directes pour la dernière (*proximate* en anglais) (Lambin *et al*., 2003). Par ailleurs, ces forces sont à la fois des caractéristiques, *i.e.* des variables descriptives (ex : âge, revenu des ménages) et des processus (ex : changement de technologie, marché, organisation et système de valeurs d'une communauté, etc.) (Briassoulis, 2000).

[15] Le niveau d'organisation (*level* ou *scale level* en anglais) se réfère à un niveau hiérarchique d'action ou de décision comme celui de l'exploitation agricole, d'un bassin versant, d'un état, etc. Le niveau d'organisation n'est pas à confondre avec l'échelle (*scale* en anglais) qui équivaut à la dimension ou au point de vue utilisé pour étudier un système, comme la dimension spatiale et la dimension temporelle du changement de l'utilisation des terres. Enfin, le niveau d'organisation n'est pas non plus à confondre avec la résolution spatiale (*resolution* en anglais) qui se réfère au degré de précision de la représentation du système comme l'hectare, ni même avec l'étendue (*extent* en anglais), qui elle, se réfère à la taille de l'échelle (Gibson *et al*., 2000 ; Evans *et al*., 2002).

		Démarches		
		Observation	**Modélisation**	**Changement de niveau d'organisation**
Courants	**Top-down**	Déductive	Orientée par la demande	Descendant
	Bottom-up	Inductive	Orientée par l'offre	Ascendant

Tableau 2.2 : présentation des démarches de modélisation des systèmes sociaux et environnementaux

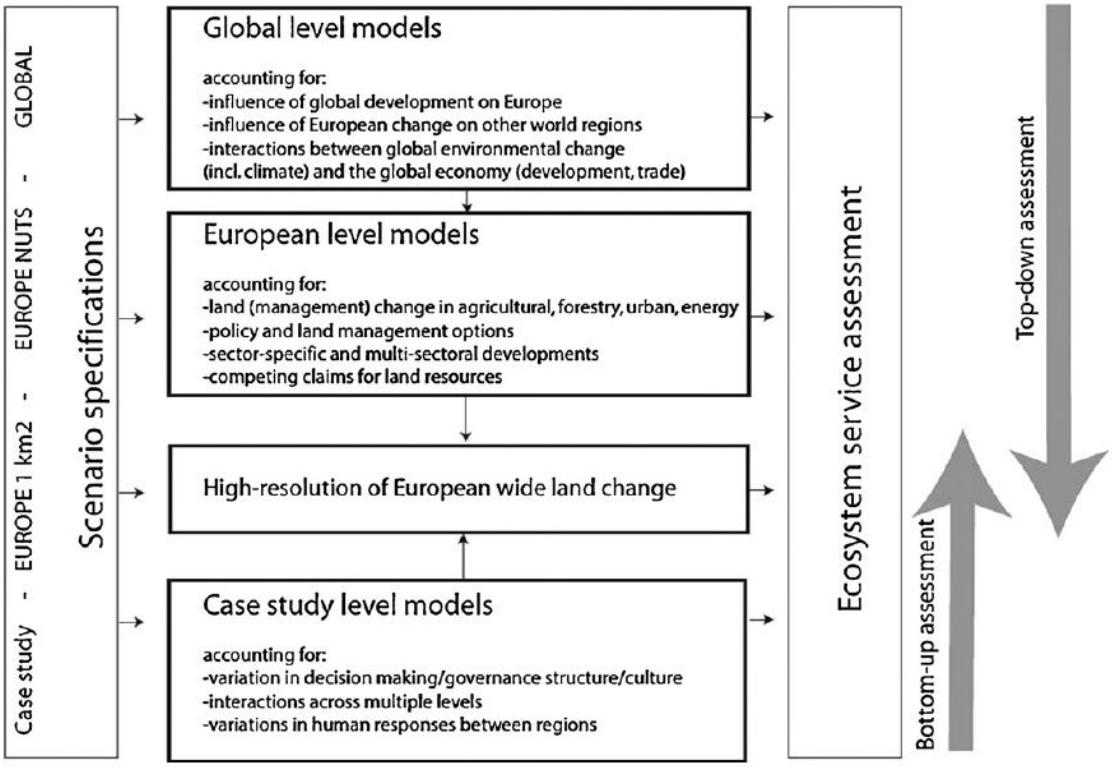


Figure 2.5 : démarches de changement de niveaux d'organisation (Rounsevell *et al.*, 2012a)

Category of Theorization Tradition	*Representative Approaches*
Urban and Regional Economics (and Regional Science) *(see Table 3.1b)*	• *Micro-Economic Theoretical Approaches* • *Macro-Economic Theoretical Approaches* • *Other Theoretical Approaches in Regional Science*
Sociological (and Political Economy) *(see Table 3.1c)*	• *Functionalist – Behaviorist Theoretical Approaches* • *Institutionalist-Structuralist Theoretical Approaches* • *Core-Periphery Theories* • *Unequal Exchange Theories* • *Uneven Development – Capital Logic Theories*
Nature-Society (Man-Environment or Human-Nature) *(see Table 3.1d)*	• *Humanities-Based Theories* • *Natural Science-Based Theories* • *Social-Science-Based Theories*

Tableau 2.3 : classification des théories utilisées dans les modèles de changement de l'utilisation des terres (Briassoulis, 2000)

Les conséquences de ces difficultés sont que la majorité des modèles de changement de l'utilisation des terres repose sur un seul niveau d'observation et de modélisation des processus, correspondant *de facto* à une simplification de la représentation des forces motrices humaines (cf. figure 2.4). Des procédures de changement de niveau d'organisation pour intégrer les autres forces motrices sont donc couplées aux modèles. Ces procédures sont présentées dans la partie suivante.

1.3. Démarches générales de modélisation des systèmes sociaux et environnementaux

Les principaux courants de modélisation des systèmes d'utilisation des terres sont les courants *top-down*, de haut en bas, et *bottom-up*, de bas en haut. Ces deux courants se décomposent en trois démarches (cf. tableau 2.2) : (i) une démarche d'observation, *i.e.* de sélection et de quantification des forces motrices, (ii) une démarche de modélisation des processus de changement de l'utilisation des terres à partir de forces observées et (iii) une démarche de changement de niveau d'organisation des processus observés, à des niveaux supérieurs ou inférieurs, non observés (cf. figure .2.5).

Dans cette partie, ce sont donc les principales méthodes de ces trois démarches que nous allons présenter tour à tour pour les deux courants de modélisation. Pour faciliter la lecture, les forces motrices humaines, qui pour rappel englobent à la fois des variables descriptives et des processus seront distinguées par les termes « variables humaines » et « processus de décision ».

1.3.1.Principales démarches du courant top-down

Méthodes d'observation

La démarche principale d'observation du courant *top-down* est déductive. Elle consiste à déduire des hypothèses à partir d'une théorie et à en tester la validité en les confrontant à la réalité (Overmars *et al*., 2007). Pour les modèles de changement de l'utilisation des terres, les théories utilisées sont multiples et de différentes natures (économiques, sociales, politiques, etc.). Néanmoins les théories les plus couramment utilisées sont économiques. Ces théories économiques peuvent être spécifiques à l'utilisation des terres (cf. tableau 2.3 et Briassoulis, 2000), comme la théorie micro-économique de von Thünen (appelée aussi théorie de la rente foncière[16]) et/ou s'appuyer sur des théories générales, comme la théorie micro-économique de la rationalité parfaite (cf. chapitre 1) et la théorie macro-économique de l'équilibre général[17]. Ces théories micro et macro-économiques s'appliquent au niveau d'observation local et global. Ainsi, selon ces deux niveaux d'observation, les variables humaines et les processus de décision observés diffèrent (cf. partie précédente).
Néanmoins, pour ces deux niveaux, les processus de décision sont représentés par des hypothèses uniformes de maximisation du profit ou de l'utilité (cf. chapitre 1 et partie suivante pour le modèle de l'équilibre général).

Méthodes de modélisation

Dans le courant *top-down*, la majorité des modèles d'utilisation des terres employés correspond à des modèles macro-économiques, orientés par la demande : parmi ces modèles, celui de l'équilibre général CGE (pour Computable General Equilibrium) étendu au modèle GTAP (Global Trade Analysis Project) est le plus utilisé.

[16] La théorie de la rente foncière de J.H. von Thünen (datant de 1826) suggère que l'allocation des productions agricoles est déterminée par la maximisation de la rente foncière. Cette rente est elle-même évaluée selon le niveau de revenu de la parcelle et selon son niveau d'éloignement au siège d'exploitation, en imputant un coût de transport : ainsi, « le bénéfice tiré par unité de surface décroît du centre vers la périphérie ». « Ce principe (…) dicte alors l'organisation des productions sous la forme d'auréoles concentriques et spécialisées » (Charvet et Sivignon, 2002).

[17] La théorie de l'équilibre général cherche à expliquer comment se fixent les prix, le niveau de production et de consommation des biens dans une économie.

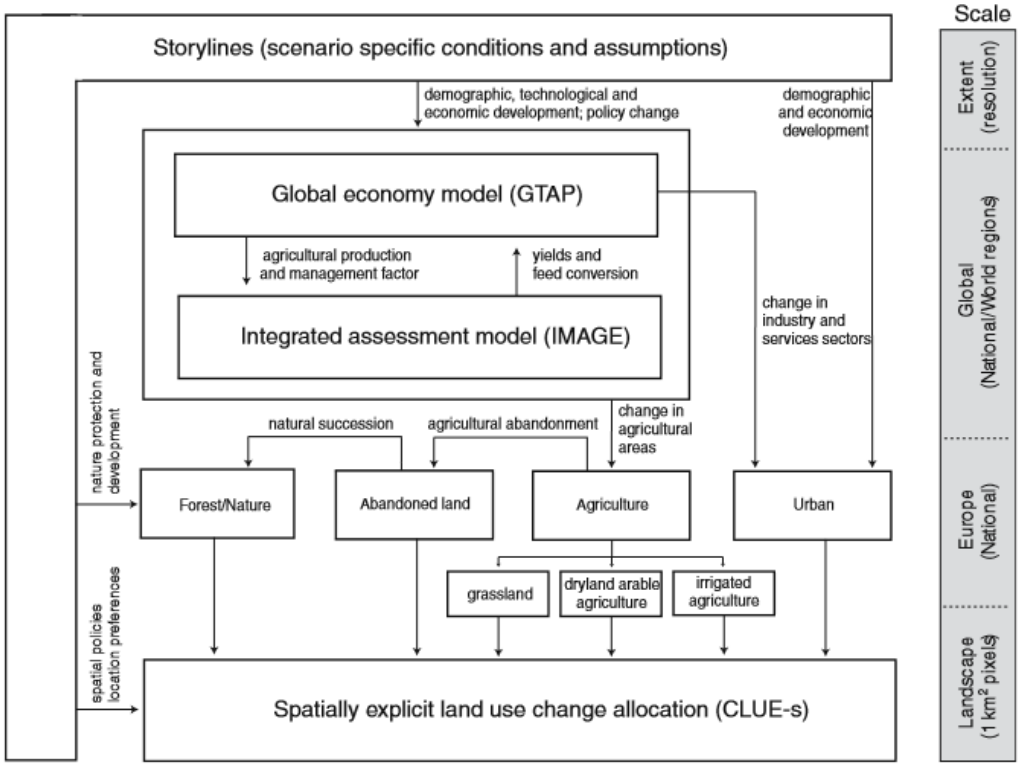


Fig. 2 Schematic representation of the modelling procedure over different scales

Figure 2.6 : structure du modèle de Verburg *et al*. (2008) couplant plusieurs modules appliqués à différents niveaux d'organisation

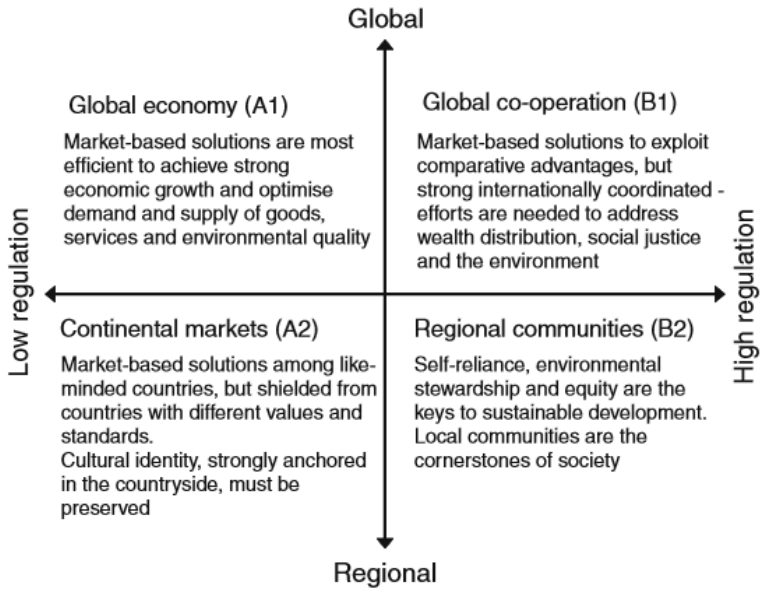


Figure 2.7: scenarios utilisés dans le projet EURURALIS (Verburg *et al.*, 2008)

Le modèle CGE a pour but de quantifier la distribution de la demande de l'utilisation des terres entre plusieurs secteurs économiques, selon différents scénarios politico-réglementaires et sous l'hypothèse d'une concurrence pure et parfaite. Dans la majorité de ces modèles, l'utilisation des terres est représentée comme un facteur de production (comme les facteurs travail et capital) et par un seul type de terres utilisé pour les différents secteurs pris en compte. L'offre des terres est en revanche fixée de manière arbitraire ou modélisée en fonction de sa rente (Rounsevell *et al*., 2012b).
Pour affiner la modélisation de l'offre des terres, ces modèles sont parfois couplés à un modèle d'allocation de cultures spatialement explicite (cf. figure 2.6) : ces modèles sont dits « intégrés » et reposent alors sur une démarche même de changement de niveau d'organisation.

Méthodes de changement de niveau d'organisation

Le changement de niveau d'organisation *top-down* équivaut à un changement de niveau descendant. Ce changement de niveau est également appelé *scaling down* dans la littérature anglophone. Il consiste à désagréger la quantification des changements de l'utilisation des terres issue du niveau global (cf. partie précédente) par une allocation de ces changements à un niveau inférieur (souvent régional voire local) selon les caractéristiques biophysiques et spatiales de ce niveau. Le modèle CLUE (pour Conversion of Land Use and Its Effects) est alors couramment employé pour cette démarche.

Par exemple, Verburg *et al*. (2008) dont les travaux cherchent à prédire les changements d'utilisation des terres en Europe selon différents scénarios (cf. figure 2.7), utilisent le modèle CLUE-S[18] couplé au modèle macro-économique GTAP et au modèle global d'évaluation environnementale IMAGE pour changer de niveau (cf. figure 2.6). D'une quantification des changements de l'utilisation des terres au niveau global, ce modèle permet ainsi de descendre au niveau local, à une résolution de 1 km².
Ainsi, le module d'allocation spatiale permettant de descendre au niveau régional porte sur 8 types d'utilisation des terres (terres arables irriguées ou non, prairies, terres abandonnées…) et repose à la fois sur des règles d'allocation empiriques et sur des règles de conversion des terres arbitraires. Les règles d'allocation empiriques proviennent d'une analyse par régression logistique, identifiant les liens entre la présence des 8 types d'utilisation des terres et les variables descriptives du territoire (accessibilité des terres, type de sol, géomorphologie, conditions climatiques, altitude, etc.) ; les règles de conservation arbitraires, elles, sont déterminées par le voisinage de l'unité spatiale (ex : conversion des terres arables en zone bâtie si celles-ci sont voisines à une zone habitée).

Intérêts et limites du courant *top-down*

Selon Overmars *et al*. (2007), l'intérêt de la démarche déductive est qu'elle permet d'expliquer de manière robuste, les causes et les mécanismes du changement de l'utilisation des terres, grâce à l'apport de preuves.
Cependant pour la majorité des auteurs, l'observation et la modélisation des processus au niveau global présentent la limite de ne pas tenir compte de la diversité et de la complexité des processus de décision des individus (Parker *et al*., 2008b). En effet, la modélisation des processus de décision par la maximisation du profit ou de l'utilité sous l'hypothèse d'une rationalité parfaite est jugée trop simpliste pour certains auteurs et inadaptée aux conditions réelles de prises de décisions des individus. Pour Rounsevell *et al*. (2012b), cette simplification induit de nombreuses incertitudes aux résultats apportés et induisent ainsi par exemple, pour Li *et al*. (2013), une surestimation des surfaces de production allouées aux cultures énergétiques. Par ailleurs, Rounsevell *et al*. (2012b) déplorent que la dimension spatiale de ces modèles repose sur des règles arbitraires pas toujours représentatives des décisions locales et que cette dimension spatiale repose sur une distinction grossière de l'organisation des territoires par des types d'utilisation des terres manquant de finesse.

[18] Le modèle CLUE-S se distingue du modèle CLUE originel par son étendue : dans le modèle CLUE l'étendue est nationale voire continentale tandis que dans le modèle CLUE-S sont étendue est régionale voire locale (Verburg *et al*., 2002)

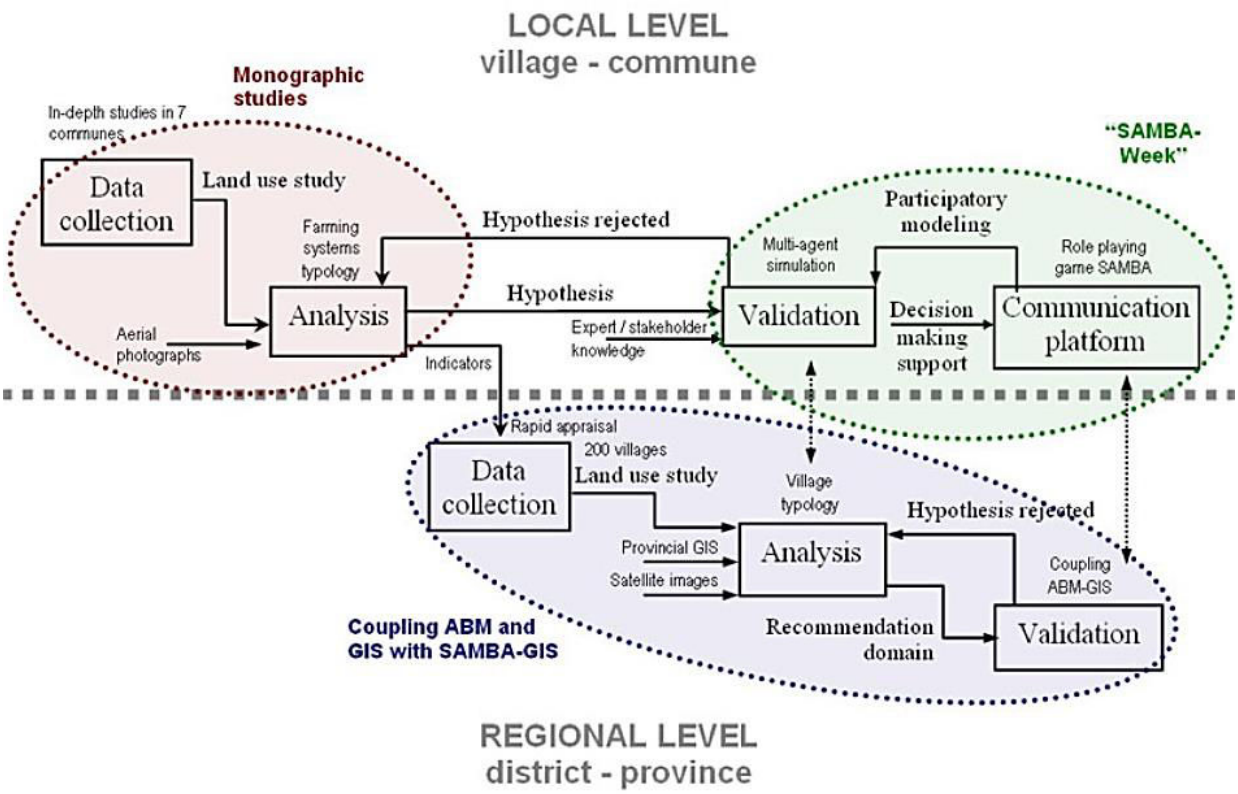
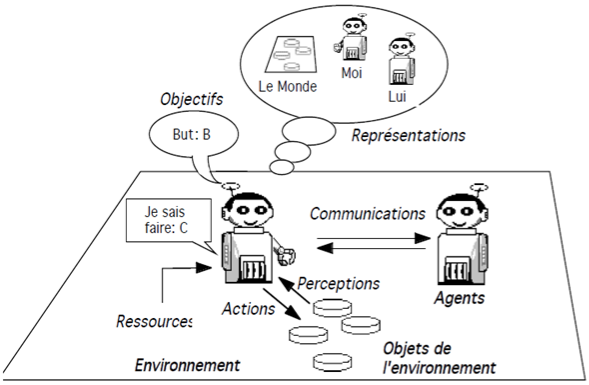


Figure 2.8 : démarche *bottom-up* de Castella *et al*. (2005)



« On appelle agent une entité physique ou virtuelle :
1. qui est capable d'agir dans un environnement,
2. qui peut communiquer directement avec d'autres agents,
3. qui est mue par un ensemble de tendances (sous la forme d'objectifs individuels ou d'une fonction de satisfaction, voire de survie, qu'elle cherche à optimiser),
4. qui possède des ressources propres,
5. qui est capable de percevoir (mais de manière limitée) son environnement,
6. qui ne dispose que d'une représentation partielle de cet environnement (et éventuellement aucune),
7. qui possède des compétences et offre des services,
8. qui peut éventuellement se reproduire,
9. dont le comportement tend à satisfaire ses objectifs, en tenant compte des ressources et des compétences dont elle dispose, et en fonction de sa perception, de ses représentations et des communications qu'elle reçoit », Ferber, 1993.

« **On appelle système multi-agent, un système composé des éléments suivants:**
1. un environnement E, c'est-à-dire un espace disposant généralement d'une métrique.
2. un ensemble d'objets O. Ces objets sont situés, c'est-à-dire que, pour tout objet, il est possible, à un moment donné, d'associer une position dans E. Ces objets sont passifs, c'est-à-dire qu'ils peuvent
être perçus, créés, détruits et modifiés par les agents.
3. un ensemble A d'agents, qui sont des objets particuliers (A O), lesquels représentent les entités actives du système.
4. un ensemble de relations R qui unissent des objets (et donc des agents) entre eux.
5. un ensemble d'opérations Op permettant aux agents de A de percevoir, produire, consommer, transformer et manipuler des objets de O.
6. des opérateurs chargés de représenter l'application de ces opérations et la réaction du monde à cette tentative de modification, que l'on appellera les lois de l'univers.

Figure 2.9 : représentation imagée d'un agent en interaction avec son environnement (Ferber, 1995)

1.3.2.Le courant bottom-up

Méthodes d'observation

La démarche principale d'observation du courant *bottom-up* est inductive. Elle consiste à observer la réalité et à en extraire des régularités (Overmars *et al*., 2007). Cette démarche peut s'appuyer sur des analyses statistiques, souvent menées au niveau régional (Mignolet, 2008 ; Lazrak, 2012 ; Xiao *et al*., 2014) ou sur des dires d'acteurs souvent issus du niveau local (Castella *et al*., 2005 ; Schaller, 2011) (cf. figure 2.8). Par exemple, dans les travaux de Castella *et al*. (2005), les processus de décision des agriculteurs ont été identifiés par des enquêtes individuelles au discours formalisé en monographie et par des jeux de rôles.

Méthodes de modélisation

Dans le courant *bottom-up*, les modèles sont empiriques : ils peuvent êtres statistiques (*pattern-based*) (cf. partie précédente) ou décisionnels (*process-based*) (Castella et Verburg, 2007). Pour modéliser les décisions des individus, le cadre formel le plus utilisé est le Système Multi-Agent (SMA) (Verburg *et al*., 2004 ; Matthews *et al*., 2007 ; An, 2012 ; Rounsevell *et al*., 2012b).

Le Système Multi-Agent (SMA) est un système composé d'agents, interagissant dans un environnement commun (cf. figure 2.9) (Ferber, 1995). Appliqué à l'utilisation des terres, dans sa forme basique, un agent peut être un décideur ayant en gestion une parcelle. Dans sa forme plus avancée, un SMA peut être composé de plusieurs types d'agents : (i) ayant en gestion plusieurs parcelles, (ii) étant en interaction à plusieurs niveaux d'organisation et (iii) intégrant différents effets rétroactifs dans les processus de décision des agents (cf. figure 2.9).
Dans Castella *et al*. (2005), un Système Multi-Agent couplé à un système d'information géographique (SAMBA-SIG) est utilisé pour simuler les impacts de chaque décision sur le territoire communal, puis sur le territoire régional (cf. figure 2.8). Ces simulations ont été réalisées pour différents scénarios élaborés en concertation avec l'ensemble des acteurs locaux.

Méthodes de changement de niveau d'organisation

Le changement de niveau d'organisation *bottom-up* équivaut à un changement de niveau ascendant. Ce changement de niveau est également appelé *scaling up* dans la littérature anglophone. Il consiste à extrapoler l'observation des changements de l'utilisation des terres, à un niveau supérieur. Pour cette extrapolation, la méthode couramment employée est la typologie[19], construite de manière déductive en s'appuyant sur une théorie et/ou sur des dires d'experts ou construite de manière inductive (*clustering*, approche participative) (Rounsevell *et al*., 2012c).

Par exemple, dans Valbuena *et al*. (2008) et Valbuena *et al*. (2010), les typologies employées portent sur les caractéristiques générales internes et externes des exploitations agricoles (agents) et ont été construites à partir de dires d'experts.

A contrario, dans Castella *et al*. (2005), les typologies au niveau du village ont été construites grâce aux dynamiques de changement d'utilisation des terres issues des simulations co-construites avec les acteurs (cf. partie précédente). C'est à partir de ces typologies que les simulations au niveau régional ont ensuite été faites. Ces typologies servent alors à la sélection des variables d'entrée du modèle et à l'analyse de données géographiques (cf. figure 2.8).

[19] Les typologies sont des méthodes comparatives ayant pour objectif de « constituer un jeu de types qui simplifie la réalité tout en respectant les particularités essentielles » (Jollivet, 1965, d'après Mignolet, 2008). Les typologies sont utilisées pour simplifier les systèmes socio-environnementaux quand il y a plusieurs acteurs.

Intérêts et limites du courant *bottom-up*

Concernant l'observation et la modélisation par analyses statistiques au niveau local ou régional, leur principal intérêt est d'observer et de modéliser les forces motrices directes du changement de l'utilisation des terres, en considérant les caractéristiques biophysiques et spatiales du territoire comme des facteurs endogènes du processus de changement de l'utilisation des terres (ce qui n'est pas permis dans les modèles *top-down*). En revanche les inconvénients de l'observation et de la modélisation sont que ces analyses dépendent de l'accès aux données et qu'elles ne permettent pas de comprendre les causes du changement de l'utilisation des terres (Overmars *et al*., 2007).

L'intérêt de l'observation par dires d'acteurs, quant à lui, n'est dans l'absolu jamais contesté car cette observation permet l'identification des processus de décision des individus au plus proche de leurs représentations au niveau local. En revanche comme déjà expliqué, le niveau d'observation local ne permet pas de rendre compte de toutes forces motrices supérieures. Pour cela, des mises en situation pour tirer les acteurs locaux de leur contexte existant, *via* par exemple des scénarios *ex ante* de décisions politico-réglementaires issues de niveaux supérieurs, sont nécessaires.

Concernant la modélisation des processus de décision, les intérêts du SMA sont multiples. Le SMA permet premièrement de modéliser le changement spatialement explicite de l'utilisation des terres à partir des processus de décision des individus (et non à partir de règles arbitraires, comme réalisé dans le courant *top-down*). Il permet deuxièmement de modéliser la diversité des processus de décision des individus grâce à une diversité d'agents intégrés au système. Il permet troisièmement de modéliser la complexité des processus de décision des individus et de l'organisation des territoires grâce à la modélisation d'un environnement et des interactions de l'agent avec cet environnement. Enfin, il permet quatrièmement de modéliser l'effet de forces motrices supérieures sur les décisions locales, *via* des simulations reposant sur des scénarios politico-règlementaires de niveau supérieur. Ainsi, le SMA est un outil qui permet de tenir compte de l'effet de la hiérarchie sur les prises de décision locales et de parer les limites de l'observation de forces motrices locales sans tenir compte de forces motrices sous-jacentes des niveaux supérieurs.

Les limites du courant *bottom-up* reposent alors davantage sur la démarche même de changement de niveau d'organisation plutôt que sur la démarche de modélisation en tant que telle. En effet, les procédures actuelles de changement de niveau ascendant, qu'elles reposent sur une extrapolation par typologie construite par expertise (Valbuena *et al*., 2008) ou construite à partir d'observations locales (Castella *et al*., 2005), ne permettent pas d'identifier et de modéliser les processus de décision émergents, *i.e.* seulement observables à ces nouveaux niveaux d'organisation. Ceci s'explique, par exemple, par les difficultés de déroulement de démarches participatives orientées par l'identification des émergences. En effet, celles-ci se confrontent à deux difficultés principales : (i) l'intégration de nouveaux acteurs appartenant à des niveaux englobants, à cause de possibles rapports de domination des intervenants extérieurs aux dynamiques locales et (ii) la nécessite d'un changement de représentations, voire d'hypothèses, qu'implique le changement de niveau et qui n'est pas sans poser des difficultés pour les acteurs (Ducrot *et al*., 2010).

Ainsi, cette première sous-partie montre que l'objectif des modèles de changement de l'utilisation des terres est de coupler les systèmes sociaux et environnementaux et que cet objectif pose des difficultés méthodologiques pour modéliser finement les processus de décision des agriculteurs et l'organisation du territoire, sans compromettre les capacités du système à changer de niveau pour fournir des résultats adaptés à la prise de décision aux niveaux supérieurs. Face à ces difficultés et aux limites des démarches classiques de modélisation présentées jusqu'alors, de nouvelles méthodes ont été employées pour modéliser le changement de l'utilisation des terres induit par les cultures énergétiques. Ce sont ces nouvelles méthodes que nous allons présenter dans la partie suivante.

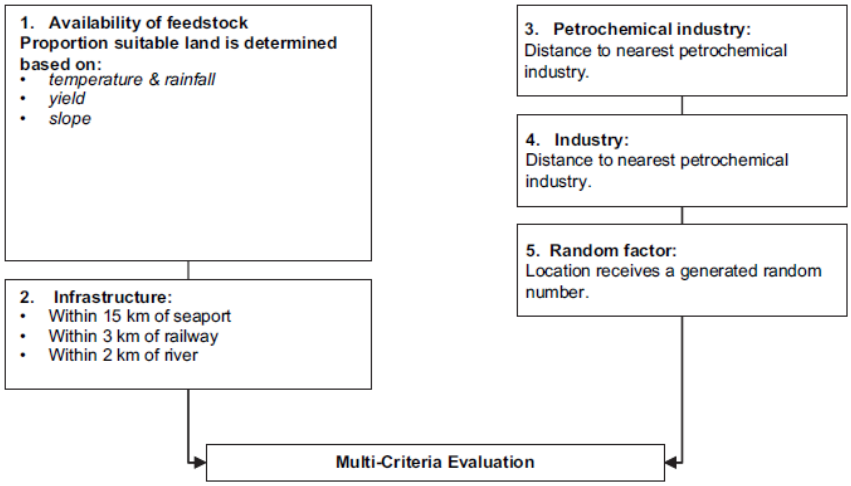


Figure 2.10 : méthode d'allocation des usines de bioéthanol et de biodiesel de 1er et 2ème génération (*)

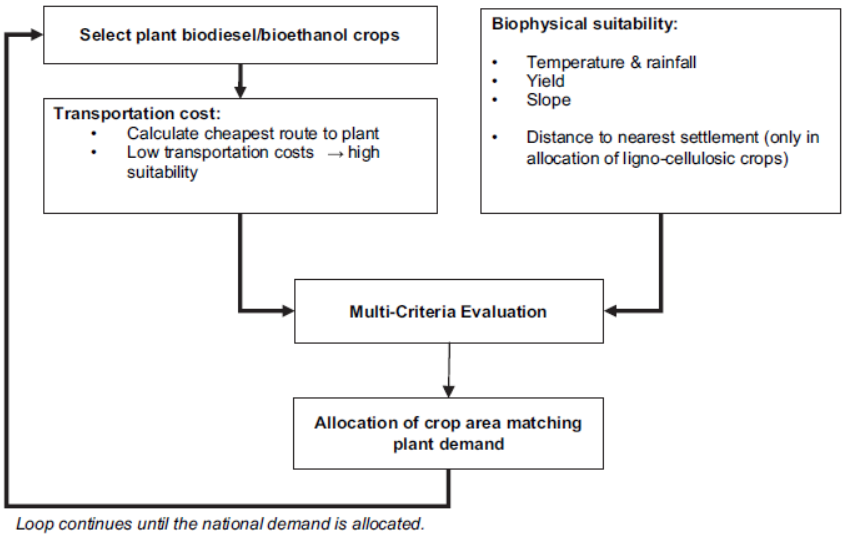


Figure 2.11 : méthode d'allocation des cultures énergétiques de 1ère et 2ème génération (*)

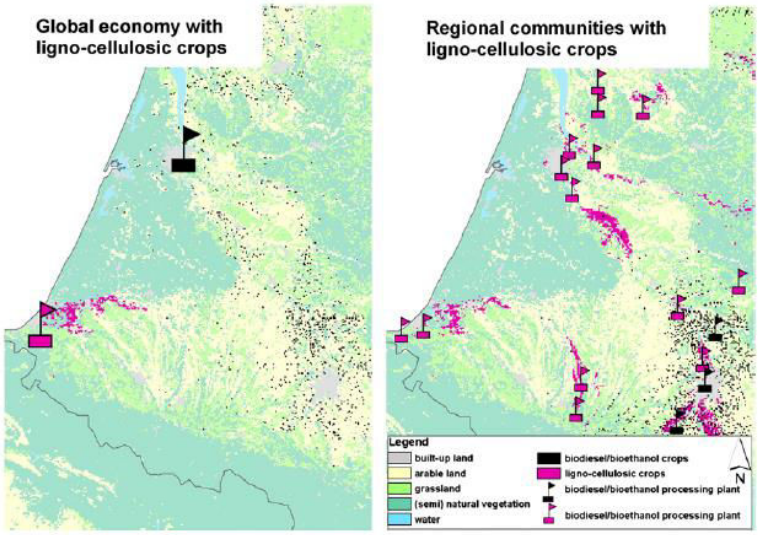


Figure 2.12 : résultats de l'allocation des cultures énergétiques de 1ère et 2ème génération dans le sud-ouest de la France, sous deux scénarios EURURALIS (cf. figure 2.7)

(*) Source : Hellmann et Verburg (2011)

2. Nouvelles démarches de modélisation du changement de l'utilisation des terres induit par les cultures énergétiques

Une revue bibliographique récente recense l'ensemble des modèles de changement de l'utilisation des terres induit par les cultures énergétiques, appliqués en Europe et aux USA (Li *et al*., 2013). Comme expliqué précédemment, il ne convient pas ici de présenter l'exhaustivité de ces travaux, mais ceux que nous jugeons les plus représentatifs des nouvelles approches de modélisation, en vue de mieux modéliser les processus de décision des agriculteurs et de mieux modéliser l'organisation des territoires, sans compromettre toutefois les possibilités de changer de niveau d'organisation, afin de fournir des aides aux décisions politico-réglementaires.

2.1. Vers une modélisation plus fine de l'organisation territoriale au niveau local ?

2.1.1.Modèle de Helmann et Verburg (2011)

Le modèle de Hellmann et Verburg (2011) s'applique aux cultures énergétiques de 1ère et de 2nde générations. Il repose sur la structure modulaire du modèle multi-échelle de Verburg *et al*. (2008) (cf. partie 1.3.1) ; la démarche consiste : (i) à quantifier les changements de l'utilisation des types de terres au niveau national (par l'utilisation couplée du modèle GTAP et du modèle IMAGE) et (ii) à spatialiser ces changements au niveau régional par l'utilisation du modèle Dyna-CLUE[20] (cf. partie 1.3.1). Malgré cette structure commune, le modèle de Hellmann et Verburg (2011) a bénéficié de l'ajout de deux modules afin de s'appliquer plus spécifiquement au cas des cultures énergétiques.

Le premier module ajouté est un module d'allocation d'usines de collecte/transformation de cultures énergétiques de 1ère et de 2ème génération (cf. figure 2.10). Le deuxième module ajouté porte sur l'allocation des cultures énergétiques (cf. figure 2.11). Cette allocation s'opère à partir de la localisation d'une première usine, faite par le module précédent. Elle consiste : (i) à quantifier les surfaces d'approvisionnement nécessaires pour répondre à la capacité de production de l'usine, (ii) à élaborer des cartes de potentialités pour identifier les surfaces potentielles de production et enfin (iii) à allouer ces surfaces en fonction des quantités de production estimées pour approvisionner l'usine.
La carte de potentialités repose sur une évaluation multicritère. Pour les cultures énergétiques de 2ème génération (ex : miscanthus), ces critères sont biophysiques, mais aussi de manière originale, topologiques. Ainsi, le potentiel d'allocation des cultures énergétiques dépend des caractéristiques biophysiques des terres (température, pluviométrie, pente, rendement) en excluant celles ayant de très mauvais et de très bons rendements. Ce potentiel dépend aussi de la distance des terres à l'usine, en accordant un plus grand potentiel aux terres minimisant les coûts de transport. Il dépend enfin de la distance des terres aux habitations, faisant l'hypothèse que les forts coûts de production de ces cultures incitent les agriculteurs à concentrer leur production au sein d'un même espace et que la localisation de ces espaces à proximité des zones urbaines serait défavorable, en termes d'impact paysager et d'offre de zones récréatives. Ainsi, les terres au plus grand potentiel sont celles situées dans des zones agricoles, éloignées des habitations.

Les ajouts faits au modèle initial de Verburg *et al*. (2008) permettent ainsi une modélisation plus fine de l'organisation spatiale des territoires. Le modèle de Hellmann et Verburg (2011) permet alors de fournir des scénarios d'approvisionnement d'usine plus adaptés aux caractéristiques locales de différentes régions d'Europe, comme dans le Sud-Ouest de la France (cf. figure 2.12). En revanche ce modèle *top-down* n'intègre pas les processus de décision des agriculteurs, rendant alors les résultats de ces simulations incertains.

[20] Dyna-CLUE est une version dynamique du modèle CLUE présentée dans la partie 1.3.1 (Hellmann et Verburg, 2011).

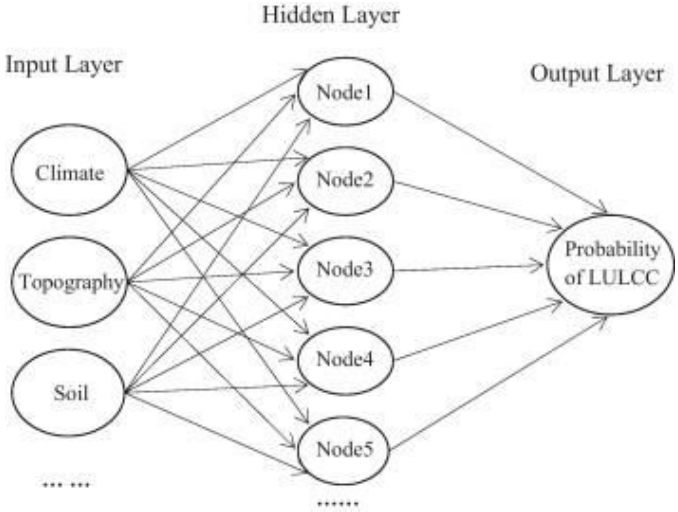


Figure 2.13 : représentation schématique du réseau de neurones utilisé pour observer les pratiques de localisation des cultures au niveau régional (Li *et al*., 2012)

Table 1
Energy crop cost-model parameters.

Cost	Unit	SRC	Miscanthus
Establishment	£ ha^{-1}	1996	1782
ECS establishment grant		798	713
Plantation removal		500	100
EU energy aid payment	£ ha^{-1} yr^{-1}	26	26
Fixed overheads		87	87
Agrochemicals		25	0
Harvesting costs		129	200
Storage costs		21	38

Tableau 2.4 : paramètres utilisés dans le modèle de Bauen *et al*. (2010)

2.1.2.Modèle de Li et al. (2012)

Le modèle de Li *et al*. (2012) repose sur une observation originale des forces motrices induisant la localisation de cultures énergétiques de 1ère génération (maïs et soja) : elle permet de modéliser les changements de l'utilisation des terres à partir d'observations des évolutions de l'organisation des cultures, dans le territoire de la région du Great Plain située aux USA.

Ces évolutions historiques sont observées à partir de quatre séries de données statistiques spatiales et temporelles (de 1990 à 2011), portant sur les cultures mises en place dans le territoire étudié. Un prétraitement est réalisé de manière originale, pour distinguer les évolutions d'organisation des cultures causées par les rotations culturales (évolution court-terme), des évolutions causées par un réel changement d'utilisation des terres (évolution long-terme). L'analyse des forces motrices du changement de l'utilisation des terres s'est ensuite faite par le modèle LTM (Land Transformation Model) reposant sur un réseau de neurones (cf. figure 2.13).

Ainsi, l'originalité de ces travaux est de modéliser le changement de l'utilisation des terres à partir d'observations réelles des évolutions antérieures de l'organisation des cultures dans le territoire. Les auteurs montrent alors l'intérêt de cette méthode pour modéliser de manière indirecte les processus de décisions des agriculteurs. Nous pouvons néanmoins discuter des limites de ce travail constatant que les variables utilisées pour modéliser les processus de changement de l'utilisation des terres sont exclusivement biophysiques (cf. figure 2.13) et ne prennent pas en compte, par exemple, les variables déterminant le consentement à produire du miscanthus présentées dans le chapitre 1. Par ailleurs, le réseau de neurones apparait comme une boîte noire et ne permet pas d'accéder au processus de changement d'utilisation des terres modélisé, compromettant alors la fonction attendue d'un modèle LUC d'aide à la décision. Par l'observation des évolutions historiques de l'organisation des cultures dans le territoire, cette démarche ne permet pas non plus d'intégrer des faits de rupture.

2.2. Vers une modélisation plus fine des processus de décision des agriculteurs ?

2.2.1.Modèle de Bauen et al. (2010)

Le modèle de Bauen *et al*. (2010), portant sur les cultures de 2ème génération dont le miscanthus, présente l'originalité de coupler une évaluation fine des potentialités du territoire (Angleterre et Pays de Galles) à une modélisation des processus de décision des agriculteurs, jusqu'alors absente des deux travaux précédemment présentés.

Dans ces travaux, la cartographie des potentialités du territoire a entre autre été établie à partir d'une classification fine des types de sols, grâce à l'utilisation de la base de données ALC (Agricultural Land Classification), tenant compte : (i) du niveau de rendement des sols, (ii) de la constance de ces rendements, (iii) du coût de production d'une culture donnée et (iv) du niveau d'opportunités du sol pour y produire une diversité de cultures.
La modélisation des processus de décision des agriculteurs a quant à elle été établie par une analyse de coûts permettant de maximiser la rente possible d'une allocation du miscanthus selon les types de sol. Les coûts pris en compte sont des coûts d'implantation, d'entretien, de récoltes, de stockage, de retournement de parcelles, etc. (cf. tableau 2.4).
Ainsi, le modèle de Bauen *et al*. (2010) présente l'originalité de modéliser les processus de décision des agriculteurs. Ce modèle repose sur des variables économiques déterminant le consentement à produire du miscanthus comme présenté dans le chapitre 1. Or comme montré aussi dans le chapitre 1, l'analyse des coûts n'est pas une approche suffisante pour modéliser les processus de décisions des agriculteurs. D'autres variables sont à prendre en compte, comme les variables sociales, logistiques, par exemple.

Table 1 Case study data for *Miscanthus* production in Illinois (USA): these data are common to all the farmers considered in the case study and the references have been provided wherever applicable

Model parameter	Value
Land opportunity cost	\$192/ha [8]
BCAP payment amount	\$45/Mg [40]
BCAP payment duration	2 years [40]
On-farm open storage cost (gravel pad)	\$1.7645/m^2 [12]
On-farm covered storage cost (shed with no walls)	\$10.529/m^2 [12]
Establishment cost	\$3,750/ha [8]
Miscanthus yield—year 1	10 Mg/ha [41]
Miscanthus yield—year 2	15 Mg/ha [41]
Miscanthus yield—year 3	20 Mg/ha [41]
Crop establishment period	3 years [41]
Miscanthus crop rotation duration	15 years
Contract duration	3 years
Transportation cost	\$0.25/Mg km
Percentage of factual farmers	40%
Base land conversion to *Miscanthus*	10%
Minimum percentage of *Miscanthus* area	10% of total farm area
Magnitude of land allocation change	10% of total farm area
Base profit margin	25% of the production cost
Farmer social network size (number of farmers)	10

Tableau 2.5 : variables du modèle de Shastri *et al*. (2011)

2.2.2.Modèle de Shastri et al. (2011)

Le modèle de Shastri *et al*. (2011) a pour objectif de modéliser le consentement des agriculteurs à produire des cultures énergétiques ainsi que les surfaces de production pour évaluer les dynamiques d'approvisionnement d'usines de transformation de biomasse. Il repose sur un SMA.

Outre que ces travaux modélisent le processus même de décision des agriculteurs, son originalité tient en deux points. La première originalité de ce modèle est qu'il repose sur une modélisation dynamique, tenant compte du comportement adaptatif des agents (agriculteurs) grâce à leur capacité d'apprentissage. La deuxième originalité de ce modèle est de modéliser les processus de décision des agriculteurs en couplant des variables économiques utilisées classiquement dans les autres modèles, à des variables socio-économiques et plus encore, au réseau social de l'agriculteur.

Ainsi, les variables socio-économiques descriptives des agents du modèle sont l'âge de l'agriculteur, son niveau d'étude et la taille de l'exploitation agricole. Ces variables sont utilisées pour définir le taux de conversion des terres, à partir d'un taux minimum commun fixé à un seuil de 10%. A partir d'études sur le consentement à produire du switchgrass, les auteurs ont par ailleurs fait l'hypothèse que l'implantation du miscanthus était influencée par le réseau de connaissances de l'agriculteur. Ainsi, dans le modèle de Shastri *et al*. (2011), le réseau social de l'agriculteur a comme rôle de fournir des informations nécessaires à la prise de décision de l'agriculteur (ex : information sur les prix de vente pour négocier le montant des contrats). Par cette fonction, le réseau social permet alors de définir le consentement à produire des agents : ce consentement dépend plus particulièrement d'un nombre minimum d'agriculteurs appartenant au réseau social (cf. tableau 2.5).

Pour les auteurs, ce modèle présente donc l'intérêt de reposer sur un processus de décision plus représentatif des décisions des agriculteurs. Cependant, le processus modélisé repose sur des choix arbitraires relatifs au consentement à produire du switchgrass (et non du miscanthus) compte tenu d'un nombre d'études insuffisant sur le consentement à produire du miscanthus, étudié sous l'angle d'interactions entre acteurs. Ainsi les auteurs conviennent que ce travail n'est pas abouti. Nous pouvons également discuter des limites de ce modèle en constatant que les prédictions du système ne sont pas spatialement explicites et que plus globalement, le processus de décision des agriculteurs ne repose sur aucune variable relative à l'organisation spatiale du territoire.

Ainsi, l'ensemble des modèles employant de nouvelles méthodes pour modéliser plus finement l'organisation des territoires et les processus de décision des agriculteurs relatifs à l'insertion territoriale des cultures énergétiques, montre que de nombreuses difficultés méthodologiques persistent encore. Il convient donc maintenant de présenter les perspectives de recherche en cours d'identification par la communauté du changement de l'utilisation des terres, pour améliorer la modélisation des processus de décision des individus au niveau local, sans compromettre les capacités du modèle à fournir des aides aux décisions politico-réglementaires des niveaux d'organisation supérieurs.

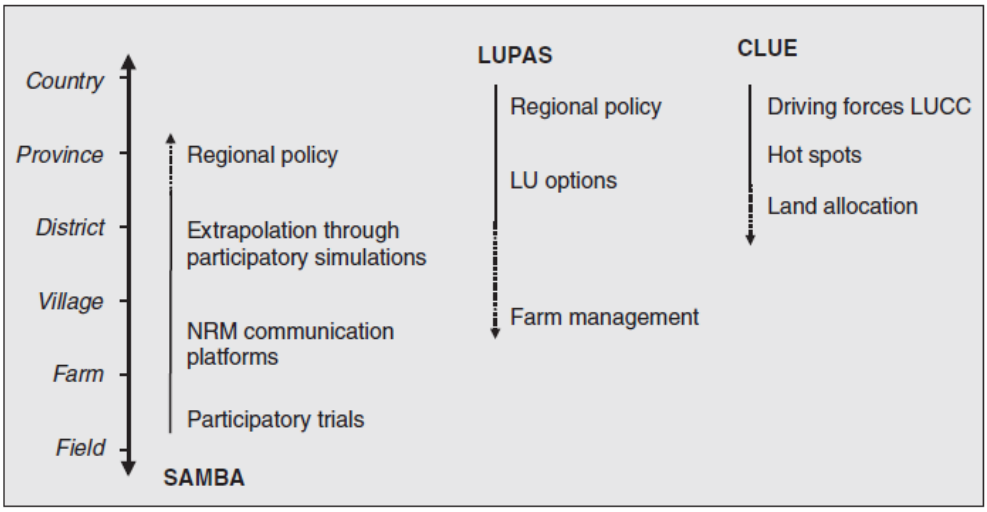


Fig. 2. Combining complementary top-down and bottom-up approaches across scales.

Figure 2.14 : caractéristiques des modèles couplés (Castella *et al.*, 2007)

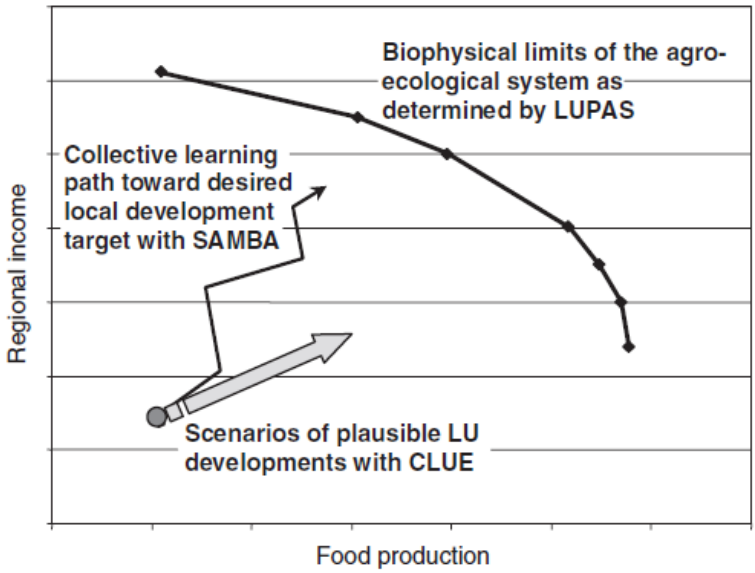


Figure 2.15 : représentation de la complémentarité des résultats des modèles (Castella *et al.*, 2007)

3. Nouvelles perspectives de recherche pour modéliser le changement de l'utilisation des terres

3.1. Le couplage de démarches de modélisation *top-down* et *bottom-up*

Parmi les nouvelles perspectives de recherche, le couplage de modèles aux changements de niveau d'organisation ascendant et descendant présente un grand intérêt. Il permet de mieux comprendre les processus considérant que le changement d'utilisation des terres est soumis à des forces motrices multi-échelles (Castella *et al*., 2007).

"The top-down modeling is better suited to dealing with the biofuels-related LUC from the higher hierarchical scales, whereas the bottom-up approach excels at the simulation of LUC phenomena at local scales. The combination of top-down and bottom-up approaches is needed to better account for multiple factors, processes, and interactions that occur at different scales" (Li *et al*., 2013).

Ce couplage peut prendre plusieurs formes : il peut par exemple se matérialiser dans un algorithme du modèle de Verburg et Overmars (2009) ou prendre la forme d'une démarche comparative de résultats de plusieurs modèles appliqués à une même zone d'étude, comme dans les travaux de Castella *et al*. (2007).

Dans Castella *et al*. (2007), trois modèles ont été utilisés pour prédire le changement de l'utilisation des terres d'une même zone d'étude. Ces trois modèles reposent sur une démarche d'observation et de modélisation différente (cf. figure 2.14). Ainsi, le modèle SAMBA est exploratoire (cf. partie 1.3.2) et repose sur un changement de niveau ascendant. Le modèle CLUE (cf. partie 1.3.1) lui, est descriptif et repose sur un changement de niveau descendant. Enfin le modèle LUPAS est lui prescriptif (il repose sur de l'optimisation de l'utilisation des terres par programmation linéaire selon différents objectifs établis pour différents types d'acteurs) et comme le modèle CLUE, repose sur un changement de niveau descendant (cf. figure 2.14).

Les auteurs montrent alors que le couplage de ces trois modèles, apporte une complémentarité aux différents résultats obtenus, pour fournir une aide complète et opérationnelle à la prise de décisions politico-réglementaires. En effet, les résultats de LUPAS délimitent premièrement une zone de viabilité de l'utilisation optimale des ressources sous contrainte de leur épuisement : ces résultats permettent de visualiser les marges de manœuvre des décideurs politiques pour lever des contraintes de production ; cependant, ils ne montrent pas de démarche à suivre pour améliorer le système actuel d'utilisation des ressources (représenté par un cercle dans la figure 2.15). Les résultats du modèle CLUE, eux le permettent, grâce : (i) à un scénario de la demande défini à partir d'un scénario d'utilisation optimale de la ressource choisi à partir des résultats de LUPAS, (ii) grâce à la simulation dans le temps du changement de l'utilisation des terres et (iii) grâce à des règles arbitraires d'allocation d'utilisation des terres. Enfin, les résultats de SAMBA permettent de tester et d'identifier les pratiques locales d'allocation de l'utilisation des terres les plus adaptées pour répondre aux objectifs régionaux fixés par les décideurs politiques à l'issue des résultats de LUPAS et de CLUE.

Malgré la complémentarité des résultats, les auteurs expliquent néanmoins que le couplage de démarches de modélisation *top-down* et *bottom-up* est difficile à mettre en œuvre. Ils signalent (i) qu'elle nécessite une forte collaboration entre tous les acteurs d'un territoire et différentes équipes de recherche, (ii) qu'elle se confronte aussi aux divergences de points de vue entre acteurs rendant difficiles la comparaison des résultats et enfin (ii) qu'elle ne permet pas d'être répliquée ailleurs ou à d'autres niveaux plus englobants compte tenu de sa spécificité à la zone étudiée (Castella *et al*., 2007). Ceci explique que le couplage des démarches de modélisation reste très marginal dans la littérature.

Présentation de la plateforme en ligne GLOBE développée dans le cadre du projet GLP afin de capitaliser les connaissances locales sur le changement de l'utilisation des terres en vue de méta-analyses
(extrait de Rounsevell *et al*., 2012b)

"Given the already large data demands of global climate and land system models, the additional requirements for parameterising model representations of local decision making processes are particular daunting given the unstructured and multidisciplinary nature of land change case study research. A potential strategy for addressing such challenges, which emerged at a GLP-endorsed global land use workshop in Vienna, Austria in May, 2008, is the creation of an online community to better link the efforts of local, regional, and global land change researchers and facilitate sharing and synthesizing of case studies. To address this need, the recently funded GLOBE project is now working together with the GLP and others in the land change science (LCS) community to develop and implement an online social computational system designed to enhance and accelerate the processes of cross-scale collaboration, data sharing and global knowledge synthesis from local and regional case study observations, models and expertise. The GLOBE system leverages existing global data, such as temperature, land cover, terrain and/or human population density, with an advanced geo-computational system to rapidly identify similar study sites, biases, and observational needs in the selection of sets of case studies for global meta-analysis. A full suite of tools enabling rapid global mapping together with other global data visualizations and social networking would be made available online, together with a large searchable database of LCS case studies to which researchers could contribute their own studies. The development of a networked community of land change researchers and improved access to global physical and socio-economic data will greatly enhance the representation and parameterization of decision making processes in regional and global scale land system models".

Encadré 2.1 : présentation de la plateforme GLOBE comme outil d'aide à la méta-analyse d'études de cas

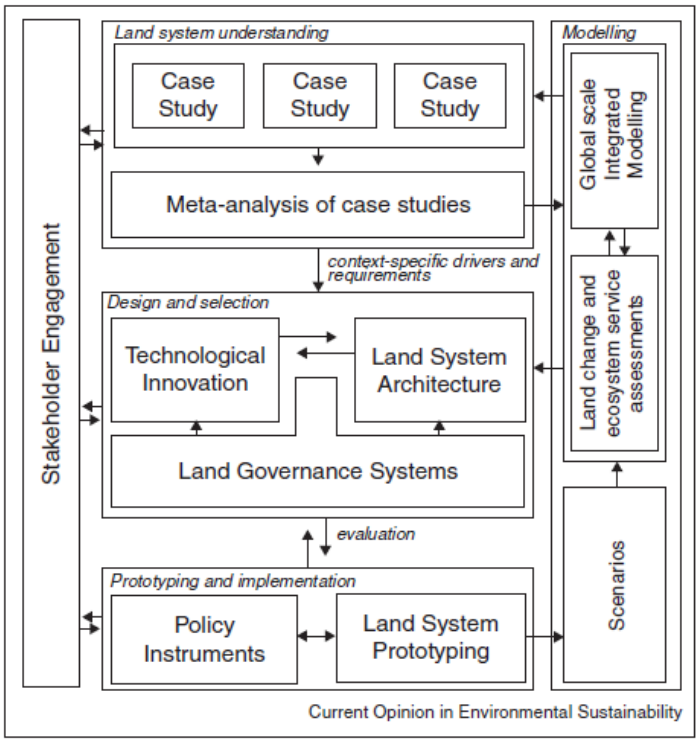


Figure 2.16 : démarche de recherche sur la contribution du système d'utilisation des terres à la sécurité alimentaire (Verburg *et al*., 2013)

3.2. La méta-analyse d'études de cas

La méta-analyse d'études de cas est présentée comme une perspective de recherche importante pour Rounsevell *et al*. (2012b) (cf. encadré 2.1), ainsi que pour Verburg *et al*. (2013) à travers leur proposition d'une nouvelle démarche de modélisation (cf. figure 2.16).

"We not only need to contextualize local research and local solutions in regional of global frameworks, but also **improve our global assessment tools with information from local case studies**. Meta-analytic approaches to distinguish those factors that are generic and those that are case-specific are useful tools to synthesize case study findings into inputs to model design and parameterization" (Verburg *et al*., 2013).

La méta-analyse d'études de cas est plus particulièrement une démarche comparative permettant une **généralisation** des résultats de plusieurs études de cas (Yin, 2014). Elle est utilisée dans quelques démarches de recherche (Parker *et al*., 2008a) pour lesquelles un changement de niveau est nécessaire pour mettre en discussion les résultats d'études locales dans un contexte plus large (Rudel, 2008).

Par rapport à une unique étude de cas, l'intérêt de la méta-analyse d'études de cas est de faciliter l'identification de déterminants régionaux par l'émergence de nouvelles connaissances, induites par la mise en correspondance des résultats de ces études et de leur contexte d'origine (Rudel, 2008).

La méta-analyse d'études de cas peut se faire de manière quantitative ou qualitative. Signalons cependant que, de manière générale, la méta-analyse d'études de cas quantitative (i) nécessite d'avoir suffisamment de cas (plus de cinquante) et de variables renseignées pour procéder à une analyse multivariée et que (ii) cette méta-analyse prend mal en compte les cas extrêmes dans son analyse, alors que ces mêmes cas représentent en soit une réalité locale importante à tenir compte.

La prise en compte des cas extrêmes est en revanche permise par la méta-analyse qualitative. En effet, dans la méta-analyse qualitative, les variables sont discrètes et binaires ; de ce fait, l'écart entre les cas pour chaque variable est atténué et ne révèle plus de cas extrêmes en soi. La méta-analyse qualitative peut se faire sur un petit échantillon de cas, comme par exemple dans les travaux de Rudel (2008) comparant huit cas d'étude pour identifier les déterminants de la déforestation au Mexique. Ainsi selon Rudel (2008), la méta-analyse qualitative s'adapte mieux aux objectifs de la méta-analyse : (i) elle permet un bon compromis entre la production de conclusions trop générales issues de la méta-analyse quantitative et les connaissances trop spécifiques au cas d'étude, (ii) elle permet aussi, dans la cadre de la gestion de l'environnement, de produire des connaissances qui ont déjà été incorporées dans la délibération de décisions politiques (Rudel, 2008).

Néanmoins, les méta-analyses d'études de cas (quantitatives ou qualitatives) sont difficiles à mettre en œuvre. D'une part, elles nécessitent de mettre en place une démarche rigoureuse pour: (i) sélectionner les cas d'étude, (ii) retranscrire les « bonnes » informations sur ces cas, (iii) sélectionner et retranscrire les variables pertinentes de comparaison entre les cas et (iv) respecter la finesse et la cohérence des informations locales entre elles. D'autre part, elles souffrent de biais géographiques dans la mesure où les **connaissances généralisées** émergent de situations contextualisées qui ne sont pas forcément représentatives de la situation globale.

C'est pourquoi, la démarche même de changement de niveau d'organisation vertical induisant ce phénomène de généralisation à partir de méta-analyse d'études de cas (*scaling up*) est remis en question, ouvrant comme troisième perspective de recherche, le développement de nouvelles démarches de changement de niveau d'organisation par dissémination horizontale (*scaling out*).

Box 3: Understanding the difference and the connection between scaling up/out and horizontal/vertical scaling		
	Scaling out	**Scaling up**
Horizontal scaling	Multiplication at same scale level (e.g. spreading processes, such as wider adoption of technology or of an institutional arrangement within e.g. same district)	Innovation/development (institutional/technological/ etc.) at same scale level (e.g. from local cooling system to local dairy business hub, or from local regulation to local regulatory framework)
Vertical scaling	Multiplication towards different scale levels (e.g. extension processes, or policy adoption of local practice towards country-wide application)	Innovation/development (institutional/technological/ etc.) towards different scale levels (e.g. from local dairy business hub to national fresh-food system, or from local regulatory framework to national policy)

Figure 2.17 : différences entre *scaling out* par horizontalité et verticalité (Wigboldus et Leeuwis, 2013)

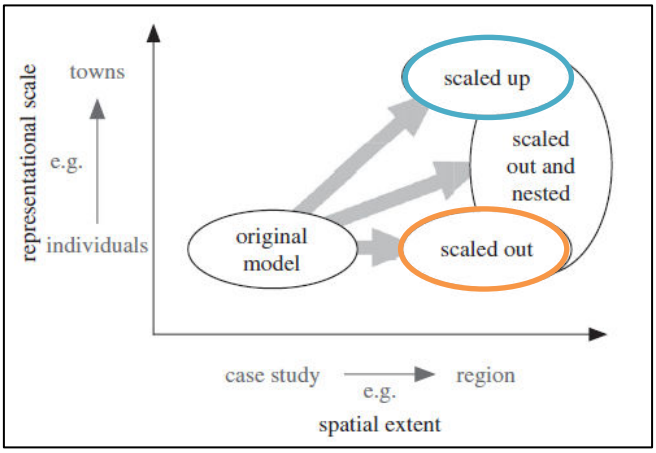


Figure 2.18 : proposition d'une alternative au changement de niveau strictement vertical par disséminations horizontale puis verticale des processus de changement de l'utilisation des terres (Rounsewell et al., 2012c)

3.3. La dissémination horizontale des processus de décision

Comme présenté dans la partie 1, les démarches de changement de niveau d'organisation employées par la communauté du changement de l'utilisation des terres sont exclusivement verticales (*vertical scaling*). Néanmoins, la démarche verticale descendante (*scaling down*) présente la limite majeure de ne pas prendre en compte les dimensions spatiales et temporelles des processus de décision locaux (cf. partie 1.3.1) et la démarche ascendante (*scaling up*), elle, présente la limite de peiner à tenir compte des émergences (cf. partie 1.3.2). Ces limites expliquent que le dernier rapport du Global Land Project ait souligné la nécessité de trouver des alternatives aux méthodes de changement de niveau strictement vertical (Rounsevell *et al*., 2012b, p 18). Ceci explique aussi le positionnement original de Rounsevell *et al*. (2012c) en faveur du déploiement de nouvelles méthodes de changement de niveau par *scaling out*.

Le *scaling out*, traduit dans la thèse par dissémination[21], consiste à propager un phénomène (Menter *et al*., 2004 ; Cook et Fujisaka, 2004 ; Wigboldus et Leeuwis, 2013). Cette propagation est souvent faite au même niveau d'organisation : il s'agit d'une **dissémination horizontale** (*horizontal scaling out*) souvent désignée par les auteurs par le terme *scaling out* lui-même. De manière plus rare, cette propagation peut aussi se faire sur plusieurs niveaux : il s'agit alors d'une **dissémination verticale** (*vertical scaling out*) (cf. figure 2.17).

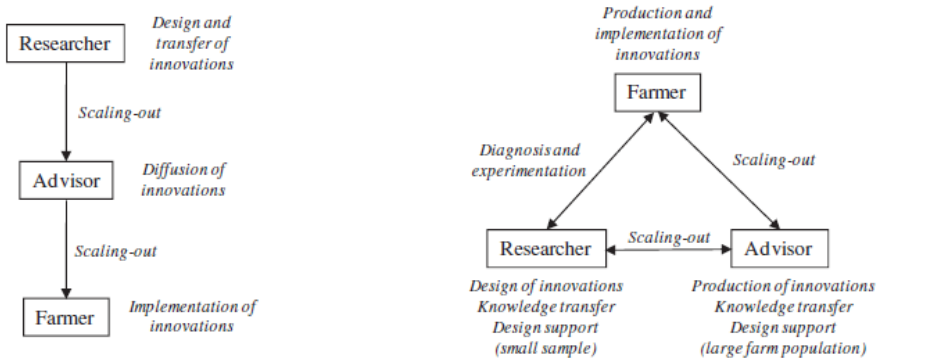
Ainsi, l'alternative aux méthodes de changement de niveau vertical proposé par Rounsevell *et al*. (2012) consiste à développer des méthodes couplées de disséminations, tout d'abord horizontale puis verticale (cf. figure 2.18). Les auteurs soulignent alors les nombreux intérêts de la dissémination, notamment de la dissémination horizontale.

Ils expliquent que la **dissémination horizontale** permet de modéliser les processus de décision du changement d'utilisation des terres, au niveau même où ils sont pris, tout en permettant une augmentation de l'étendue spatiale de la zone de simulation. La force de cette méthode est de modéliser des processus de décision moins simplifiés et plus adaptés aux conditions locales, que par un changement de niveau vertical des processus de décision (cf. partie 1.3.2) et que par méta-analyse d'études de cas consistant à généraliser les faits observés (cf. partie 3.2). L'extension spatiale induite par la dissémination horizontale permet par ailleurs d'appuyer les prises de décision politico-réglementaires à des niveaux plus englobants, en capitalisant les connaissances obtenues par simulations sur des territoires étendus.

Néanmoins, en dépit des intérêts de la dissémination horizontale, les auteurs en soulignent aussi les difficultés. Ils montrent que celle-ci a tout d'abord longtemps été marginalisée par les modélisateurs en raison des difficultés d'accès et de traitement de grande quantité de données. Ils montrent également que cette méthode repose sur une hypothèse contestable selon laquelle le processus modélisé à partir d'une étude de cas est applicable ailleurs sans modification et sans prise en compte d'émergences (cf. figure 2.18).

Si la première difficulté semble avoir trouvé une solution *via* le développement et l'utilisation d'équipements informatiques spécifiques (permettant de baisser les temps de calculs), la deuxième difficulté elle ne semble pas trouver de solution par ces auteurs. Pour reprendre l'exemple du SMA, employé pour modéliser les processus de décision au niveau local, nous constatons que celui-ci est difficilement transposable d'une localité à une autre en raison d'un domaine de validité très

[21] De nombreux auteurs anglophones assimilent le terme *scaling out* au terme *dissemination* (Pachico et Fujisaka, 2004). De plus, certains auteurs francophones emploient également le terme de dissémination pour traduire *scaling out* (Ducrot *et al*., 2010). Par conséquent, nous avons choisi de traduire nous-même ce terme par « dissémination » dans la suite de ce mémoire.



a. Linear and diffusionist paradigm of innovation process b. Interactive and participative paradigm of innovation process

Fig. 1. Schematic representation of two innovation process paradigms including farmers, advisors and researchers. The concept of «innovation» includes both new technologies and new ways of organizing and managing production systems. In paradigm (b) researchers and advisors carry out similar tasks but at different scales, which requires an efficient scaling-out process.

Figure 2.19 : représentation des processus d'innovation mobilisant le concept de dissémination horizontale (Le Gal *et al.*, 2011)

Tool or method	Strengths	Weaknesses
Site similarity analysis	Simple tools available Conceptually accessible	May oversimplify Criteria for similarity often subjective
Interfacing GIS with models	Allows examination of time trends, including climatic risk Can express outputs in terms of specific variables of interest to stakeholders	Dependent on quality of model Requires specialists to implement
Land type and farmer categories	Outputs conceptually accessible Outputs suitable for use by extension workers and farmer experimenters	Outputs possibly too subjective Labor-intensive data acquisition May ignore interactions across land types within a household
Participatory extension, e.g., whole family training	Outputs readily accessible to farm families Can be scaled up in terms of organizational capacity required for implementation	Deals only with the family as a unit, does not extend to collective action at the community level Does not have an explicit spatial dimension

Figure 2.20 : exemples de méthodes de dissémination horizontale employée pour la gestion des ressources naturelles (Harrington *et al.*, 2002)

contextualisé. Pour une transposition, le système aurait ainsi besoin d'un nouveau paramétrage, pour lequel les connaissances ne sont pas facilement observables sur ces territoires étendus.

Au vu des trois perspectives de recherche exposées dans la littérature, **la dissémination horizontale**, dans son principe, nous semble la plus intéressante pour permettre une modélisation fine et spatialement explicite des processus de décision des agriculteurs, tels que présentés en chapitre 1, grâce à la remise en cause du processus de changement de niveau vertical ascendant. La méta-analyse d'études de cas, nous parait également intéressante pour comparer une localité à une autre tout en tenant compte de leurs dissemblances, mais nous semble limitée par le principe de généralisation des résultats qu'elle sous-tend. Ainsi, il convient donc maintenant de présenter les méthodes de dissémination horizontale d'ores et déjà employées en agronomie, comme expliqué en introduction de ce chapitre, en soulignant leurs capacités de prise en compte des diversités locales.

B. Principaux enjeux et perspectives des méthodes de dissémination horizontale des décisions spatialement explicites des agriculteurs relatifs à l'utilisation des terres

Comme expliqué dans la partie précédente, les méthodes de dissémination horizontale des décisions observées au niveau local sont encore peu employées par la communauté du changement de l'utilisation des terres. Cela s'explique par l'utilisation courante de SMA, initiée dès 1993 (Matthews *et al*., 2007) dans lesquels, les décisions modélisées sont fortement dépendantes de leur contexte et pour lesquels le transfert d'un SMA d'un contexte à un autre, nécessite d'importantes connaissances pour un nouveau paramétrage du système.

Cependant, les méthodes de dissémination horizontale des décisions relatives à la gestion de l'EA sont au cœur des recherches d'agronomes, notamment pour celles portant sur la conception linéaire ou participative de systèmes innovants (cf. figure 2.19). Les méthodes de dissémination horizontale sont alors multiples (cf. figure 2.20) et spécifiques au processus observé.

Afin d'identifier les méthodes utilisables pour modéliser l'insertion territoriale du miscanthus à partir des décisions des agriculteurs, nous porterons ici notre attention sur les méthodes de dissémination s'appuyant sur les décisions des agriculteurs, notamment concernant la gestion de leur territoire.

1. Intérêts et limites des principales méthodes de dissémination horizontale des décisions

Les méthodes de dissémination horizontale des décisions reposent sur deux démarches, la démarche exclusive et la démarche inclusive. La démarche exclusive consiste à représenter les invariants d'un processus tandis que la démarche inclusive consiste à l'inverse à en représenter toutes les variantes quel que soit son contexte (Ducrot *et al*, 2010). Parmi les différentes méthodes de dissémination possibles, la première conduit souvent à la mise en place de modèles génériques et la deuxième à la mise en place de typologies.

1.1. La modélisation générique pour une application à une diversité de situations locales

La modélisation générique peut prendre plusieurs formes. Elle peut prendre la forme : (i) de concepts ou de théories existants, (ii) de représentations de processus génériques, (iii) de conception d'outils génériques et/ou (iv) d'expériences de dégradation ou de simplification des outils contextualisés (Ducrot *et al*., 2010).

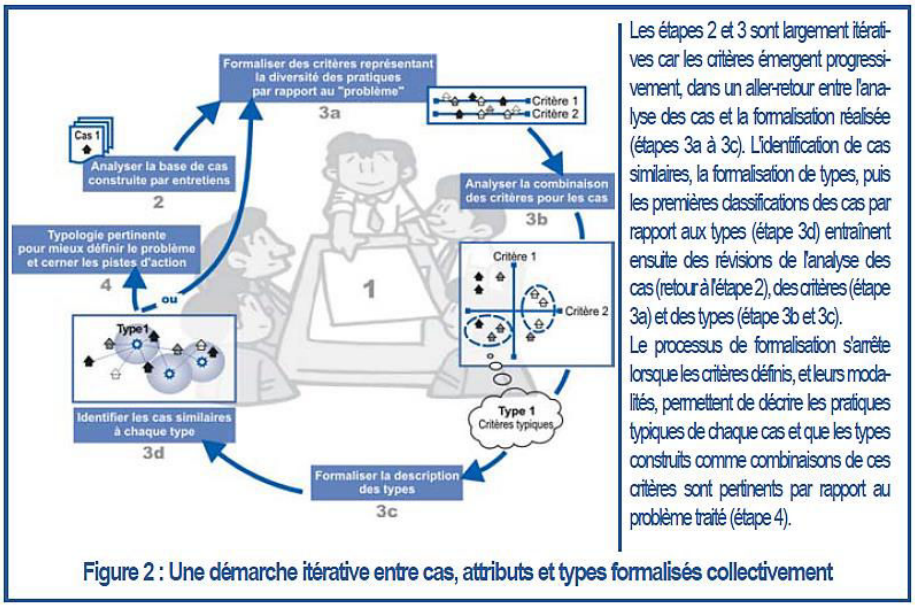
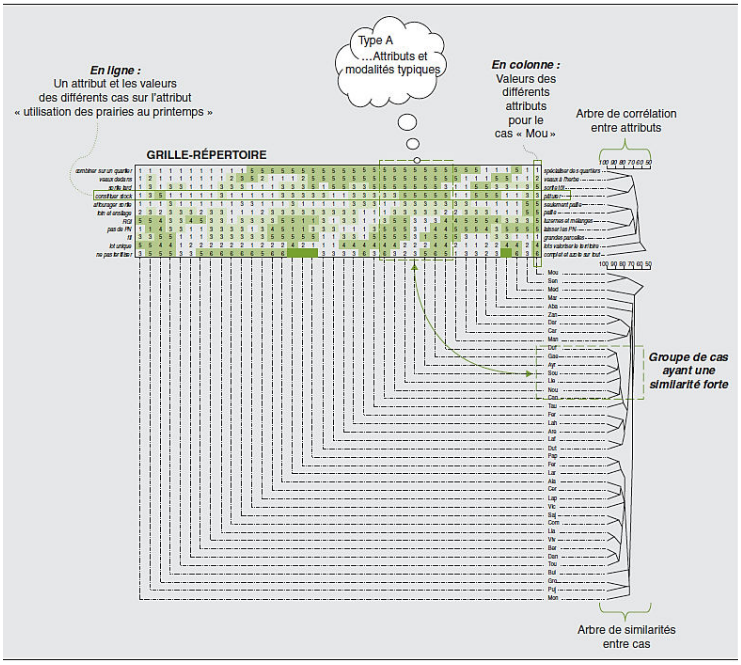


Figure 2.21 : démarche générale d'élaboration des typologies (Girard, 2004)



« Les grilles-répertoires permettent de formaliser des construits (*i.e.* la description des pratiques des agriculteurs), qui différencient ou rassemblent les cas ».

Les grilles-répertoires choisis dans les travaux de Girard, 2006, sont celles du Web-GridII « pour son interactivité, ses représentations graphiques et sa disponibilité sur le web ». « Une fois codées les valeurs de chaque construit, WebGridIII propose différentes sorties d'une analyse de données classique (analyse en composantes principales) », « comme les arbres de classification hiérarchique, montrant les groupes de cas ayant des ressemblances les plus fortes »

« Ces représentations graphiques, réalisées après chaque réunion de travail, ont été utilisées comme représentations médiatrices lors de la réunion suivante : les rapprochements multidimensionnels entre cas peuvent ainsi être discutés sur une base concrète, en revenant à chaque fois à leur position sur chaque construit »

Figure 2.22 : présentation des grilles répertoires (Girard, 2006)

Quel que soit sa forme, la modélisation générique consiste en une abstraction du processus observé, permettant de l'extraire de son contexte. Ainsi, les modèles obtenus peuvent s'appliquer à des contextes territoriaux différents ; c'est leur principal intérêt.

Cependant, cette abstraction pose des difficultés pour modéliser des processus de décision relatifs aux territoires : ces difficultés ont été observées à travers la modélisation d'accompagnement portée par la communauté de recherche ComMod (Ducrot *et al*., 2010). En effet, d'une part, même si un outil générique tente d'intégrer au mieux l'hétérogénéité des situations territoriales possibles, une adaptation de cet outil aux spécificités locales est très fréquemment observée. Pour ce faire, beaucoup d'allers retours entre les ébauches successives d'un modèle générique et des modèles spécifiques sont nécessaires, ce qui pose des limites d'utilisation par un tiers non expert. D'autre part, l'extrême simplification a parfois décrédibilisé cette démarche auprès des acteurs.

La modélisation générique est donc globalement remise en question par Ducrot *et al*. (2010), considérant préférable de modéliser directement la diversité des situations locales.

1.2. La typologie pour une modélisation fine des spécificités locales

Comme présenté dans la partie 1.3.2, les typologies utilisées par la communauté du changement de l'utilisation des terres servent au changement de niveau ascendant. Elles intègrent donc des facteurs externes aux EA et présentent des limites à simplifier les processus de décision.

Les typologies des agronomes, elles, sont principalement utilisées pour la dissémination horizontale. Parmi ces typologies, une grande partie est élaborée à partir d'inventaires et de classifications, sur des critères portant sur les éléments structurels de l'EA, les orientations de sa production, les résultats économiques, etc. Peu de typologies en revanche « prennent en compte la manière concrète dont l'agriculteur gère son exploitation et les justifications qu'il donne à ses choix » (Girard, 2004). Parmi cette dernière catégorie de typologies, les typologies de INRA-ENSSAA (1977) ont eu l'intérêt de spatialiser finement les types d'activités dans le territoire de la montagne vosgienne, mais sans formaliser de démarches. Girard *et al*. (2008), eux proposent « étapes et outils pour abstraire de cas des types de combinaisons définis par les pratiques les plus typiques ». Ce sont les intérêts et limites de cette méthode que nous présentons ci-dessous.

Les typologies de Girard *et al*. (2008) (cf. aussi Girard, 2004 ; Girard, 2006) portent sur les pratiques d'utilisation de l'espace par l'agropastoralisme afin d'identifier le rôle potentiel des élevages dans la gestion de l'embroussaillement. Ces travaux ont été réalisés dans le cadre de la conception d'un plan de gestion dans le canton d'Arreau (Hautes-Pyrénées), dans l'objectif d'identifier des leviers d'action grâce à la conception collective d'une typologie de pratiques et de stratégies de gestion de l'élevage.

La démarche employée pour réaliser de manière collective cette typologie repose sur trois étapes (cf. figure 2.21). La première consiste à échantillonner les EA à enquêter et à clarifier les attentes et rôles de chaque participant dans le processus de conception de la typologie. La deuxième étape consiste à réaliser les enquêtes et à analyser leur contenu, afin de résumer les pratiques et les stratégies des éleveurs enquêtés. Enfin, la troisième étape consiste à formaliser de manière collective les données d'enquêtes ; elle s'est elle-même décomposée en plusieurs séances pour : (a) formaliser les critères représentant la diversité des pratiques, (b) analyser la combinaison des critères pour les cas, (c) formaliser la description des types et (d) identifier les cas similaires à chaque type (cf. figure 2.21).

Les originalités de cette démarche (outre son déroulement participatif) sont : (i) d'utiliser des critères qualitatifs exprimés par les agriculteurs lors des enquêtes, (ii) de caractériser les types « par leur centre sous la forme de pôles de manière à comparer chaque exploitation à chaque type par une distance et non par une appartenance stricte » et (iii) d'utiliser un outil d'ingénierie des

connaissances, les grilles-répertoires, comme support de discussion pour classer les cas selon leur similarité et ainsi valider la typologie co-construire par les participants (cf. figure 2.22).

L'intérêt de cette démarche est qu'elle a permis de cerner des leviers d'action opérationnels pour le plan de gestion du canton et qu'elle est une méthode généralisable à d'autres situations que celle pour laquelle elle a été réalisée ; elle répond ainsi aux objectifs méthodologiques des auteurs. En revanche, cette méthode ne permet pas de faire des simulations spatiales dans la mesure où les types sont décrits de manière littéraire et peu quantifiés. Par ailleurs, si cette méthode permet une dissémination des pratiques des agriculteurs au niveau cantonal étudié, les auteurs spécifient que la typologie développée ne peut pas s'appliquer à d'autres situations territoriales en raison de sa spécificité au contexte étudié. Ainsi, pour réaliser des simulations les auteurs préconisent d'utiliser un modèle générique couplé à une logique floue et à un modèle décisionnel.

Les limites d'un modèle générique pour disséminer des décisions ont cependant été présentées dans la partie précédente. Ces limites expliquent que d'autres méthodes de dissémination horizontale sont actuellement en cours d'exploration par la communauté des agronomes du territoire.

2. Intérêts et limites du couplage des règles de décision et des régularités spatiales

La dissémination horizontale des décisions des agriculteurs par modélisation spatialement explicite a fait l'objet de deux travaux récents menés en agronomie des territoires. Dans ces travaux, cette dissémination prend la forme d'un couplage de règles de décision des agriculteurs issus d'enquêtes en EA à des régularités statistiques observées dans un territoire plus étendu.

Ainsi, une première méthode de dissémination horizontale étudiée par Schaller *et al*. (2012) consiste au couplage de deux modèles (par comparaison de leurs résultats) appliqués à la plaine de Niort : *i.e.* par le modèle DYSPALLOC ayant pour but de modéliser les décisions des agriculteurs relatives à la planification de l'assolement au niveau de l'EA et le modèle de chaînes de Markov cachées, reposant sur de la fouille de données spatio-temporelles au niveau du paysage. Ainsi, sans montrer la causalité entre les décisions d'assolement au niveau de l'EA et l'organisation spatiale et temporelle au niveau du paysage, la comparaison des résultats des deux modèles montre alors une cohérence entre les régularités spatiales et temporelles du paysage et les règles de décision des exploitations. Les auteurs en concluent que les régularités spatiales et temporelles observées au niveau du paysage révèlent bien des décisions des agriculteurs observées par enquêtes.

De notre point de vue, ces conclusions montrent que le couplage d'une modélisation des décisions des agriculteurs au niveau de l'exploitation agricole avec une étude statistiques sur les régularités spatiales au niveau du paysage est un bon moyen de tester la validité d'une dissémination horizontale d'un modèle décisionnel sur un territoire plus large. Néanmoins, le processus de décision des agriculteurs pris en compte dans le modèle DYSPALLOC est d'un seul type et repose sur les règles communes entre les EA agricoles enquêtées (Schaller, 2011). L'auteur signale ainsi que les décisions d'ajustement infra-annuels d'assolement n'ont pas pu être prises en compte dans ce modèle générique compte tenu de la trop grande divergence des décisions prises entre les exploitations agricoles. Par ailleurs, dans cette démarche, la dissémination n'est pas automatisée.

La deuxième méthode de dissémination horizontale proposée par Rizzo *et al*. (2014) est quant à elle automatique. Ces travaux consistent à coupler un modèle d'apprentissage supervisé (le modèle BRT pour *Boosted Regression Tree*) à des critères d'insertion territoriale du miscanthus issus d'enquêtes menées dans le cadre de cette thèse (cf. chapitres 5 et 6). Ces critères sont plus particulièrement utilisés comme cadre de sélection des variables d'entrée du modèle BRT. Une phase d'apprentissage

du modèle permet alors d'identifier des liens de causalité entre ces variables et l'insertion territoriale du miscanthus et de construire ensuite, un modèle de localisation de la culture étendu à un territoire plus large que l'étude de cas initiale (Rizzo *et al*. 2014).
Ainsi, l'intérêt majeur des travaux de Rizzo *et al*. (2014) est l'automatisation spatialement explicite de la dissémination horizontale de processus issus d'un cas d'étude à un territoire élargi. En revanche, ce travail a aussi des limites. Premièrement, le modèle du BRT repose sur un modèle mathématique qui n'a pas vocation à fournir des connaissances sur le processus de décision du phénomène étudié ; il s'agit en effet d'une boîte noire ne permettant pas de fournir une aide à la décision, comme attendu par la communauté du changement de l'utilisation des terres (cf. partie A). Deuxièmement, ces travaux ne permettent pas de décrire les territoires au niveau de l'EA, en raison des difficultés d'accès aux données géographiques (cf. chapitre 8) ; ainsi en dépit de leur intérêt pour représenter les processus de décision des agriculteurs, les variables relatives à l'organisation de l'EA ont en partie été dégradées. Enfin, le modèle BRT consiste troisièmement à répliquer un processus observé dans une zone géographique donnée sur d'autres territoires, sans tenir compte des dissemblances entre ces territoires, entrainant alors un biais géographique, comme expliqué dans la partie 3.3.

Le couplage des règles de décision et des régularités spatiales est donc bien une méthode possible de dissémination horizontale des décisions des agriculteurs issues d'études de cas. Cependant une méthode tenant compte des dissemblances territoriales est nécessaire pour améliorer ces modèles. Les premiers résultats de recherche sur le raisonnement à partir de cas attirent alors notre attention.

3. Intérêts potentiels du raisonnement à partir de cas comme nouvelle méthode possible de dissémination horizontale des décisions spatialement explicites du changement de l'utilisation des terres

3.1. Principes généraux du raisonnement à partir de cas

Le raisonnement à partir de cas (RàPC) est une méthode de modélisation développée en intelligence artificielle (Riesbeck et Schank, 1989). Le RàPC est plus particulièrement un mode de résolution de problèmes, consistant à résoudre un problème en s'appuyant sur la réutilisation de solutions de problèmes déjà résolus (Riesbeck et Schank, 1989), selon un raisonnement analogique (cf. chapitre 3).

Dans un système de RàPC, un cas est une représentation d'un épisode de résolution de problème, encodé par un problème, une solution et des informations sur les liens entre le problème et la solution. Les cas dont le système dispose sont appelés cas sources et sont stockés dans une base de cas ; les cas à résoudre sont eux appelés cas cibles.

Le principe du raisonnement à partir de cas est alors (i) d'élaborer le problème cible, (ii) de remémorer un problème source similaire, (iii) d'adapter la solution source aux caractéristiques du problème cible, (iv) de réviser et de valider la solution résolue et (v) de mémoriser le processus de résolution du cas cible (cf. figure 2.23 et chapitre 3 pour une présentation approfondie des méthodes de modélisation par RàPC).

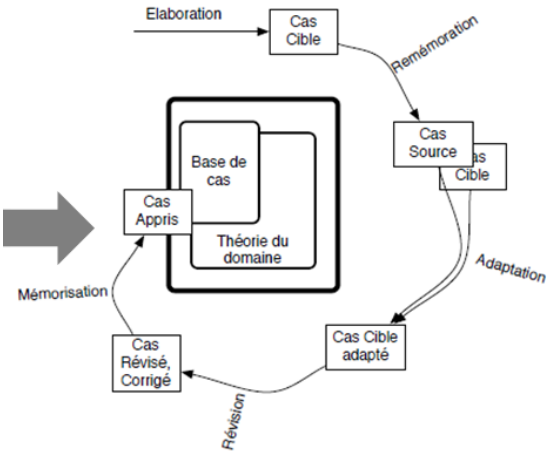


Figure 2.23 : cycle de raisonnement à partir de cas (Metzger, 2005, d'après Riesbeck et Schank, 1989)

3.2. Les motivations au développement du système ROSA

Le système ROSA (pour Raisonner à partir d'Organisations Spatiales Agricoles) est un modèle de RàPC conçu dans un cadre collaboratif entre agronomes du territoire et informaticiens, entre 2000 et 2005 (Le Ber *et al*., 2003 ; Metzger, 2005 ; Lardon *et al*., 2005 ; Osty *et al*., 2008). Ce système consiste à fournir une analyse des modes d'organisation spatiale et fonctionnelle d'une exploitation agricole (cf. Expl dans la figure 2.24) à partir de morceaux d'espace munis d'une structure particulière (cf. chorème et graphes conceptuels dans la figure 2.24).

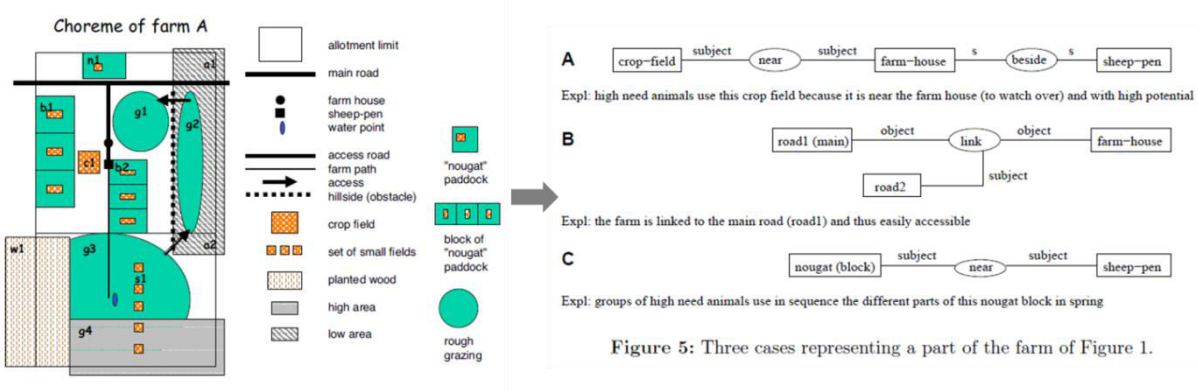


Figure 2.24 : représentation d'un cas dans le système ROSA d'après Le Ber *et al*. (2003)

Ce système a été élaboré en partant de trois constats :
1. que pour construire des connaissances sur les organisations des EA, les agronomes effectuent des enquêtes « coûteuses » auprès d'agriculteurs (en s'appuyant sur un ensemble de documents écrits tels que les cartes, schémas, notes…)
2. que ces enquêtes restent partiellement exploitées pour en tirer des enseignements scientifiques généraux, tandis qu'en pratique, « elles constituent de manière sous-jacente et souvent implicite, autant de cas mémorisés par les agronomes, pour mieux appréhender et analyser les exploitations qu'ils enquêtent ultérieurement »
3. que « la diversité inter et intra-exploitations est essentielle à prendre en compte » et « que l'on peut craindre que la quête du générique efface le souci de pertinence vis-à-vis des activités humaines dans les démarches qui d'emblée éliminent les pratiques et leur contexte » (Osty *et al*., 2008).

C'est ainsi que deux objectifs ont été assignés au projet ROSA : (i) « mémoriser et structurer les enquêtes effectuées sous forme d'une base de cas » et (ii) « fournir une aide à l'exploitation et à la réutilisation de ces informations, en particulier, en adaptant ces informations à l'analyse de nouvelles exploitations » (Osty *et al*., 2008).

3.3. Conclusions des auteurs sur les intérêts potentiels du RàPC pour transposer des décisions d'une EA à une autre

Pour Le Ber *et al*. (2003), Metzger (2005), Osty *et al*. (2008), le système ROSA a permis de répondre au premier objectif assigné au système. Il permet en effet de fournir un outil pour structurer et manipuler les documents, informations et connaissances, issus des enquêtes en exploitations agricoles. Les auteurs montrent aussi que l'outil permet de répondre au deuxième objectif car il « permet d'interroger les modes de raisonnement des agronomes et de révéler des connaissances implicites, tout au long du processus de construction du système ». La conception du système ROSA ne se réduit donc pas selon eux, à la mise au point d'un outil pour les agronomes, mais se constitue bien comme un processus collaboratif de construction de connaissances.

Plus globalement, les auteurs montrent que c'est une méthode « qui s'adapte bien aux questions difficilement traitables par les méthodes classiques de l'agronomie : complexité, incertitude, variabilité spatiale, variabilité temporelle tandis qu'il n'existe pas d'outils de modélisation reconnus pour traiter ces caractéristiques ». Pour les auteurs, les résultats de ces travaux montrent alors que « la rencontre *de l'agronomie des territoires et du raisonnement à partir de cas* peut s'avérer fructueuse, tant pour l'agronomie, à la recherche de méthodes qualitatives d'appréciation de la complexité, que pour l'informatique, confrontée à des problématiques nouvelles ».

De notre point de vue, le RàPC apparaît comme une solution prometteuse pour identifier les règles de décision, et pour transposer ces règles de décision d'une EA à une autre, tout en tenant compte des spécificités de chacun de ces cas, grâce à l'étape d'adaptation.

Plus globalement, nous faisons l'hypothèse que le RàPC est une solution innovante et adaptée pour procéder à une dissémination spatialement explicite des décisions de plusieurs EA à un territoire plus large et contribuer ainsi à répondre aux enjeux méthodologiques des modèles de changement de l'utilisation des terres présentés en première partie de ce chapitre. Pour appuyer cette hypothèse, nous avons choisi de présenter de manière plus approfondie le cadre formel de modélisation du RàPC dans le chapitre qui suit.

Résumé du chapitre 2

Le chapitre 2 présente les enjeux méthodologiques et les perspectives de recherche des modèles spatialement explicites du changement de l'utilisation des terres.

Ce chapitre présente dans une première partie les méthodes et difficultés des modèles produits par la communauté de recherche sur l'utilisation des terres. Il montre que ces modèles sont limités dans leur capacité de modélisation des processus de décision des agriculteurs sur de grands territoires. D'une part, les démarches *top-down* de modélisation allouent les changements de l'utilisation des terres par des règles arbitraires et modélisent les processus de décision des agriculteurs de manière trop simplifiée ; d'autre part les démarches *bottom-up* de modélisation allouent bien les changements de l'utilisation des terres à partir des processus de décision des agriculteurs, mais ont des difficultés à étendre leurs simulations sur des territoires englobants (par changement de niveau d'organisation ascendant) ou sur des territoires plus étendus (par dissémination horizontale).

Compte tenu de l'intérêt de la dissémination horizontale *(scaling out)* pour modéliser finement les processus de décision des individus et compte tenu du manque de méthodes et d'outils disponibles par la communauté du changement de l'utilisation des terres pour procéder à cette dissémination, la deuxième partie du chapitre 2 présente les méthodes de dissémination horizontale existantes en agronomie.

Ce chapitre montre premièrement que la dissémination horizontale par l'utilisation de modèles génériques est limitée par les besoins fréquents d'un nouveau paramétrage de ces modèles pour une meilleure adaptabilité aux nouvelles zones d'application, remettant en question l'intérêt même de la montée en généricité de ces modèles.

Ce chapitre montre deuxièmement que la dissémination horizontale par une typologie située du fonctionnement de l'EA présente un grand intérêt pour modéliser les diversités locales des pratiques des agriculteurs. En revanche, si la typologie permet une dissémination horizontale dans un contexte territorial similaire à celui à partir duquel elle a été élaborée, la typologie n'apparait pas être un outil adapté pour une dissémination sur d'autres territoires. Qui plus est, la typologie du fonctionnement d'une EA, telle que réalisée de manière originale et fine par Girard *et al*. (2008), ne permet pas non plus d'automatiser facilement cette dissémination.

Ce chapitre montre troisièmement que la dissémination par couplage des règles de décision et des régularités statistiques est une alternative intéressante pour une dissémination automatisée sur de larges territoires, mais qu'elle ne permet pas à ce jour de tenir compte de la diversité des processus de décision des agriculteurs.

Ainsi, dans une dernière partie, ce chapitre montre que la dissémination horizontale par RàPC est originale et qu'elle semble répondre aux principales limites des autres méthodes employées. D'une part, le RàPC est une méthode informatique permettant une dissémination horizontale automatisée. D'autre part, le RàPC repose sur un raisonnement par analogie permettant aussi, en principe, de transposer les processus de décision relatifs à l'organisation spatiale et fonctionnelle d'un territoire d'EA, au territoire d'une autre EA, tenant compte des dissemblances entre ces territoires.

Ainsi, les conclusions de ce chapitre portent sur l'intérêt potentiel du RàPC comme nouvelle méthode possible de dissémination horizontale des décisions spatialement explicites du changement de l'utilisation des terres. Le chapitre 3 a alors pour objectif d'approfondir cette réflexion en présentant de manière plus approfondie les méthodes et enjeux méthodologiques du RàPC.

Chapitre 3

Raisonner à partir de cas pour modéliser les décisions des agriculteurs relatives à l'insertion territoriale du miscanthus : quels méthodes, intérêts et difficultés potentiels?

Préambule

Dans le chapitre 2 nous avons présenté les principaux enjeux des modèles spatialement explicites du changement de l'utilisation des terres, ainsi que les nouvelles perspectives de recherche de la communauté du changement de l'utilisation des terres. Parmi ces perspectives, émerge celle de substituer une dissémination horizontale de processus de décision des agriculteurs (*scaling out*) à un changement de niveau d'organisation vertical usuellement employé par les modélisateurs (*scaling up* et *scaling down*). Nous avons donc présenté dans la deuxième partie du chapitre 2, plusieurs méthodes de dissémination horizontale.

Parmi ces méthodes, nous avons présenté celle du raisonnement à partir de cas (RàPC), employée entre 2000 et 2005 dans le projet de recherche « Modélisation, comparaison et interprétation d'organisations territoriales agricoles » : cette méthode a été choisie pour mémoriser et exploiter des résultats d'enquêtes en exploitations, en vue de fournir une aide au diagnostic des territoires (Le Ber *et al*., 2003 ; Metzger, 2005 ; Osty *et al*., 2008). Nous avons plus particulièrement présenté le cadre formel général du RàPC et du système ROSA développé dans le cadre de ce projet.

Or les conclusions de ces travaux montrent : (i) que le RàPC s'adapte bien aux questions difficilement traitables par les méthodes classiques de l'agronomie des territoires, *i.e.* des questions complexes, incertaines, variables dans le temps et l'espace, (ii) que le RàPC permet d'outiller une dissémination des processus de décision d'une exploitation agricole à une autre, tout en tenant compte de leurs variabilités particulières dans l'espace (ce qui n'est pas à ce jour encore rendu possible par les autres méthodes de dissémination horizontale s'appuyant sur une montée en généricité des processus de décision des agriculteurs).

Il convient donc à présent de présenter le cadre formel du RàPC de manière plus approfondie, pour identifier les potentialités de cette méthode pour modéliser l'insertion territoriale du miscanthus à partir des décisions des agriculteurs. Cette présentation fait l'objet de ce chapitre 3.

Encadré 3.1 : le raisonnement analogique

Le raisonnement par analogie consiste au transfert et à l'adaptation d'une propriété ou d'une relation, des objets « d'un univers » (source) aux objets « d'un autre univers » (cible).

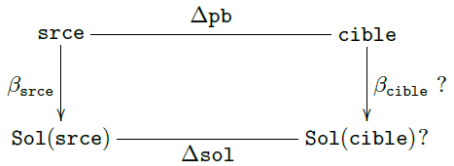


Figure a : carré d'analogie d'après Lieber (2008)

La figure 1 représente le carré d'analogie proposé par Py (1994) d'après Lieber (2008). Dans cette figure, les relations Δ pb et Δ sol représentent les liens entre un problème srce et un nouveau problème cible ; les relations β srce et β cible représentent quant à elles les liens entre un problème et une solution (appelés liens de dépendance).
Le raisonnement par analogie consiste alors à inférer la solution de cible sachant (i) que « la solution de cible est à la solution de source, ce que le problème cible est au problème source » et sachant (ii) que « la solution de cible est au problème cible ce que solution de source est au problème source ». Autrement dit, le raisonnement par analogie consiste à inférer la solution de cible à partir des connaissances sur les relations Δ et β étant donné un problème cible, un problème source et sa solution (Lieber, 2008).

Encadré 3.2 : l'apprentissage à partir d'expériences dans le domaine de la psychologie cognitive et de la philosophie

Le raisonnement à partir de cas s'appuie sur l'apprentissage à partir d'expériences et plus particulièrement sur la théorie de la mémoire dynamique de Schank (1982).

Cette théorie concerne la compréhension d'histoires énoncées en langage naturel. Elle montre (i) que l'Homme se sert de schémas mentaux décrivant par exemple ce qui se passe dans un restaurant, (ii) que ces schémas sont formalisés dans des « scripts » décrivant une suite d'évènements attendus (ex : entrer, s'installer, ...), (iii) que ces scripts contiennent des explications permettant de les adapter et (iv) qu'ils sont organisés dans une mémoire dynamique MOPS (Memory Organisation Packets) les rendant généralisables et spécialisables (le script « commerçant » se spécialise en un script « restaurant » et « magasin de vente » dans la figure).

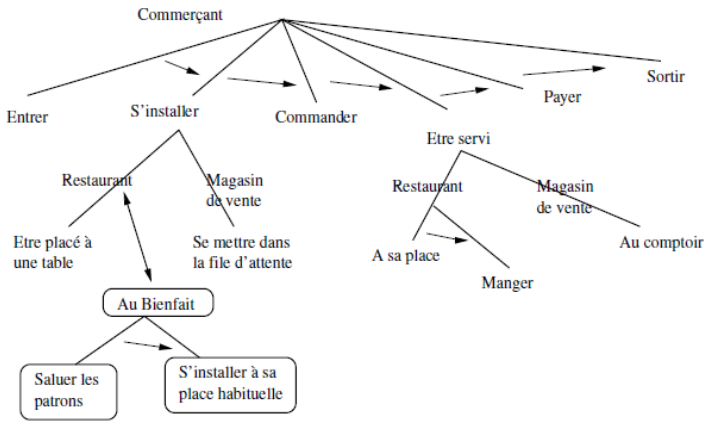


Figure b : exemple de scripts et de ses spécialisations (Mille, 2006)

Le raisonnement à partir de cas (RàPC) est une méthode de résolution de problèmes de l'intelligence artificielle (Cf. figure 3.1) : il consiste à résoudre des problèmes en s'appuyant sur la réutilisation de solutions de problèmes déjà résolus (Riesbeck et Schank, 1989). Le RàPC tire ses origines de travaux sur le raisonnement par analogie et sur l'apprentissage à partir d'expériences (Cf. encadré 3.1 et encadré 3.2) : il s'est développé dans les années 1980 (Riesbeck et Schank, 1989 ; Slade, 1991 ; Kolodner, 1992 ; Aamodt et Plaza, 1994) et est depuis utilisé dans divers domaines d'application (Lopez et Mantaras *et al*., 2005) tels qu'en jurisprudence, en médecine, en cuisine, en architecture, en environnement (Ram et Wiratunga, 2011 ; Agudo et Watson, 2012) et pour ce qui nous intéresse plus particulièrement dans la thèse, en géographie et en agronomie (cf. partie 3).

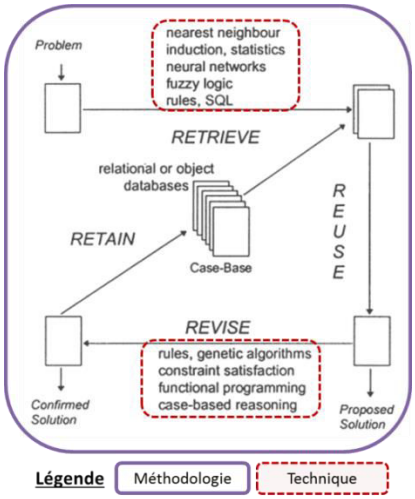


Figure 3.1 : cadre méthodologique du RàPC et techniques associées (d'après Watson, 1999)

Pour présenter les enjeux méthodologiques du RàPC afin d'identifier ses potentialités pour modéliser l'insertion territoriale du miscanthus à partir des décisions des agriculteurs, nous commencerons par présenter dans une première partie le cadre méthodologique du RàPC (structure du RàPC) en termes de connaissances nécessaires à son fonctionnement et en termes de tâches de raisonnement. Nous présenterons ensuite dans une deuxième partie, les principaux intérêts du RàPC mis en avant dans la littérature, puis dans une troisième partie, les applications proches du sujet de la thèse en agronomie et en géographie. Enfin, nous terminerons par présenter dans une quatrième partie les principales difficultés de mises en œuvre du RàPC et quelques solutions employées pour y faire face.

1. Structure du modèle de raisonnement à partir de cas

Le système de RàPC est un système à base de connaissances, dans le sens où il « s'appuie sur des connaissances[22] relatives à un domaine donné pour résoudre des problèmes se posant dans ce domaine » (Le Ber *et al*., 2006). Ainsi, le système de RàPC est composé d'une base de connaissances et d'un moteur d'inférences « qui manipule la base, recherche les connaissances adéquates et mène un raisonnement par suite d'inférences pour résoudre le problème courant » (Otman, 1997 ; Le Ber *et al*., 2006).

Pour présenter la structure du modèle, nous présenterons donc dans un premier temps la base de connaissances du système puis dans un deuxième temps son module de raisonnement.

[22] La connaissance est définie comme « un sous-ensemble de savoir humain (…) qui se présente sous diverses formes : objets du monde, faits concernant ces objets, classifications, évènements, règles heuristiques de savoir-faire, méta-connaissances, etc. » (Otman, 1997). Ainsi, la connaissance se distingue des données dont le formalisme permet « d'en faire le traitement automatique » mais ne permet pas de rendre compte « de tout ce qui est connu » (Girard, 1992).

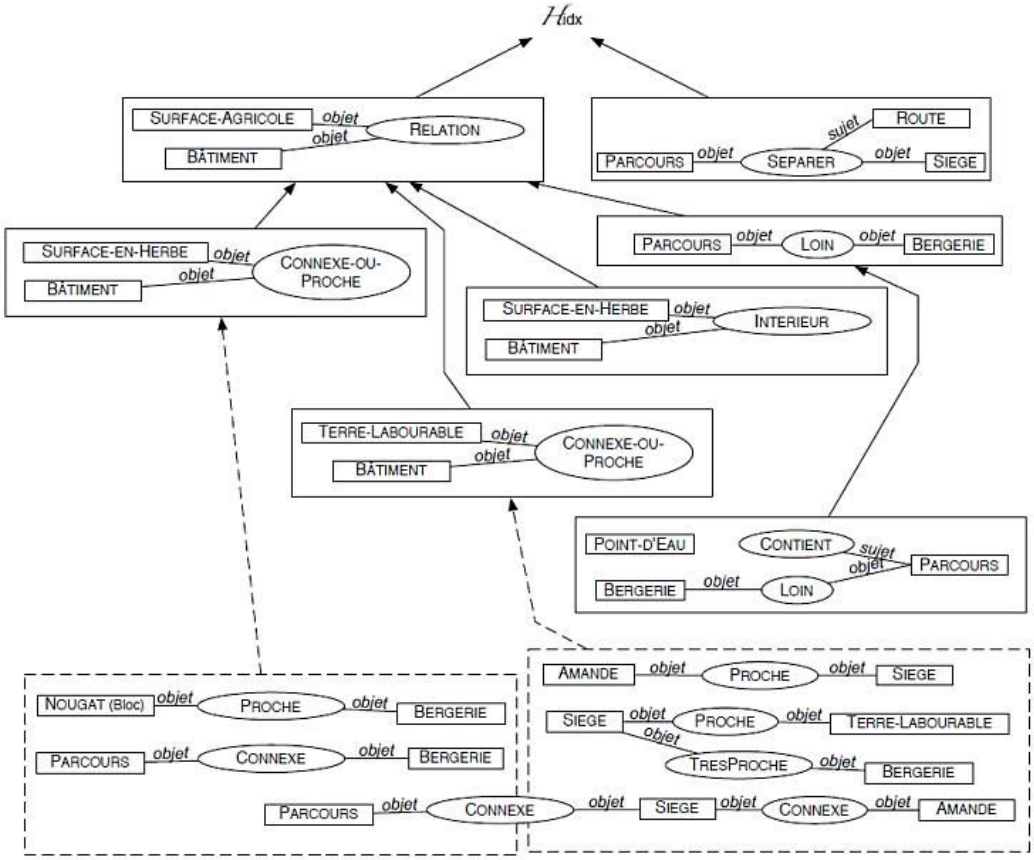


Figure 3.2 : hiérarchie partielle des *index* dans une *base de cas* hiérarchique, où les index sont représentés par un trait plein et les cas par un trait pointillé (source : Metzger, 2005)

1.1. Base de connaissances du modèle de RàPC

Il existe dans la littérature plusieurs typologies de connaissances manipulées par un système de RàPC (Fuchs et Mille, 2000 ; Cordier *et al*., 2006 ; Cordier, 2008). Retenons pour la thèse, la typologie de Cordier (2008) distinguant (i) les connaissances locales contenues dans la base de cas, (ii) les connaissances générales contenues dans la théorie du domaine, (iii) les connaissances de similarité et (iv) les connaissances d'adaptation (cf. tableau 3.1). Bien que fortement imbriquées entre elles aux différentes tâches de raisonnement du système (cf. « knoweldge roles » du tableau 3.1), ce sont ces quatre types de connaissances que nous allons présenter tour à tour, en commençant par la base de cas.

Knowledge containers	Knowledge units	Knowledge roles
Vocabulary used to describe the domain	Ontologies, rules, etc.	Guidance of **elaboration**, Control of the inferences during **retrieval** and **adaptation**, support of the **memorisation**
Case base	Vectors of attribute-value pairs, Structured representations, Textual Cases, etc.	Support of the reasoning process during **all the steps**
Similarity measure (similarity knowledge)	Similarity metrics, indexes, etc.	**Retrieve** a new case
Solution transformation (adaptation knowledge)	Adaptation rules, adaptation operators, adaptation cases, etc.	Support of the **elaboration**, guidance of the **retrieval**, realisation of the **adaptation**

Tableau 3.1 : typologie des connaissances d'un système de RàPC (Cordier, 2008)

1.1.1.Base de cas

Un *cas* est la représentation d'un épisode de résolution de problème : il est souvent composé d'un *problème*, d'une *solution* et parfois d'informations sur les liens entre ce *problème* et cette *solution* (Riesbeck et Schank, 1989 ; Slade, 1991 ; Kolodner, 1992 ; Aamodt et Plaza, 1994). Un *cas* peut être représenté par différents formalismes, par exemple par des couples d'attributs-valeurs, des graphes conceptuels, du texte et des logiques de descriptions pour les formalismes les plus courants.

L'ensemble des *cas* dont un système de RàPC dispose s'appelle la *base de cas* : un *cas* de cette base est alors appelé *cas source*. L'organisation de la *base de cas* dépend du formalisme de représentation des connaissances : elle peut être plate quand les connaissances sont formalisées en vecteur ou hiérarchique quand les connaissances sont elles-mêmes hiérarchisées dans une ontologie (cf. figure 3.2 et partie suivante).

Pour accéder plus rapidement aux cas de la base, des *index* sont souvent utilisés. Un index est une abstraction ou une généralisation d'un problème source en vue de la résolution de problème qui a conduit à la solution du cas source. Ce sont donc des sortes de «résumés» des cas qui permettent d'accéder plus rapidement aux cas. Dans la figure 3.2, les index sont des graphes dont les sommets concepts sont plus généraux que ceux des cas (ex : bâtiment est plus général que bergerie) ; plusieurs cas sont ainsi parfois regroupés sous un même index.

1.1.2.Connaissances du domaine

Les connaissances du domaine définissent le vocabulaire utilisé par le système en termes de concept, de propriété et de rôle : elles représentent ainsi le niveau terminologique du système de RàPC. Ces connaissances peuvent être représentées dans deux formalismes principaux : les langages de représentation de connaissances par objets et maintenant très souvent, les logiques de descriptions.

$Similarity_{Case(i,j)} = w_a \times S_{a(Case(i,j))} + w_r \times S_{r(Case(i,j))}, \quad w_a + w_r = 1$	- où *i* représente le cas source et *j* le cas cible - où $S_{a(case(i,j))}$ est le coefficient de similarité des attributs du problème et w_a est un poids associé au coefficient (établi selon le niveau d'influence du coefficient sur la détermination de la solution) - où $S_{r(case(i,j))}$ est le coefficient de similarité des relations spatiales de *i* et *j* et où w_r est un poids associé au coefficient
$S_{a(Case(i,j))} = \sum_{k=1}^{n} w_k \times (1 - \lvert f_{kCase(i)} - f_{kCase(j)} \rvert / Rang_k), \quad \sum_{k=1}^{n} w_k = 1$	- où *n* est le nombre total d'attributs comparés, *k* l'attribut comparé et w_k son poids associé - où $f_{kCase(i)}$ et $f_{kCase(j)}$ sont les valeurs de l'attribut *k* pour les cas *i* et *j* - où $rang_k$ est la différence entre les valeurs minimale et maximale de *k*
$S_{r(Case(i,j))} = w_T \times S^T_{r\ (Case(i,j))} + w_O \times S^O_{r\ (Case(i,j))} + w_D \times S^D_{r\ (Case(i,j))},$ $w_T + w_O + w_D = 1$	- où $S^T_{r\ (case(i,j))}$, $S^O_{r\ (case(i,j))}$, $S^D_{r\ (case(i,j))}$ sont les coefficients de similarité des relations de topologie, de direction et de distance entre *i* et *j* - où w_T, w_O et w_D sont les poids associés aux coefficients selon leur niveau d'influence sur la détermination de la solution
$S^O_{r\ (Case(i,j))} = 1 - \frac{dist(Dir_{case(i)}, Dir_{case(j)})}{4}$	- où $Dir_{case(i)}$ et $Dir_{case(j)}$ sont les orientations de *i* et *j* relativement à un point donné - où $dist(Dir_{case(i)}, Dir_{case(j)})$ est la distance entre les deux directions, définie préalablement dans une matrice de similarité
$S^T_{r\ (Case(i,j))} = 1 - \frac{Dis[Topo_{case(i)}, Topo_{case(j)}]}{8}$	- où $Topo_{case(i)}$ et $Topo_{case(j)}$ sont les relations topologiques de *i* et *j* relativement à un point donné - où $Dis(Topo_{case(i)}, Topo_{case(j)})$ est la distance entre les deux relations topologiques *i* et *j*, définie préalablement dans une matrice de similarité
$S^D_{r\ (Case(i,j))} = 1 - \frac{\lvert d_{case(i)} - d_{case(j)} \rvert}{Range_d}$	- où $d_{case(i)}$ et $d_{case(j)}$ sont les distances de *i* et *j* relativement à un point donné - où $Range_d$ est la différence entre les valeurs minimale et maximale de chaque paire de cas de la base de cas

Tableau 3.2 : mesures de similarité *ad hoc* entre deux parcelles *i* et *j* (source : Du *et al*., 2012)

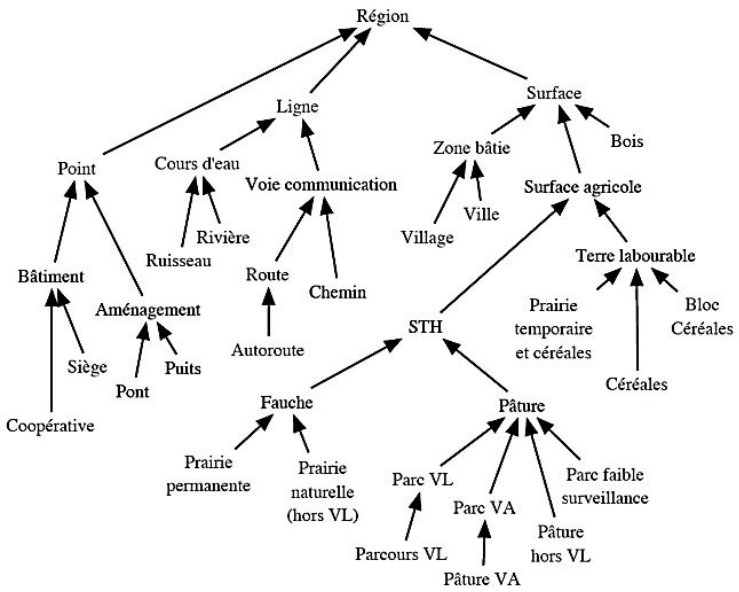


Figure 3.3 : ontologie du domaine de ROSA (source : Metzger, 2005)

Ces connaissances sont le plus souvent décrites de manière hiérarchique. Cette description hiérarchique est aussi appelée ontologie du domaine (cf. figure 3.3).

Une ontologie fait référence « à un modèle opérationnel utilisé pour décrire un domaine particulier du monde réel » ; « en pratique, elle se présente comme un système formel constitué d'un ensemble de concepts et d'un ensemble de relations binaires spécifiées par des couples de concepts (D, R) de *domaines* et de *codomaines*, d'un ensemble A d'axiomes et d'une relation de *spécialisation* ou de *subsomption* (…) qui permet d'organiser les concepts dans une hiérarchie et qui autorise des inférences » (Le Ber *et al*., 2006). Ainsi, dans une ontologie, la relation de subsomption exprime l'ordre de généralisation entre concepts : autrement dit, un concept C subsume un concept D, si C est plus général que D. Dans la figure 3.3, la relation de subsomption s'illustre par exemple par le concept Prairie permanente qui est subsumé par le concept Fauche qui est lui-même subsumé par le concept STH et qui subsume lui-même le concept Prairie naturelle. Des exemples d'ontologies appliquées au domaine agricole sont présentés dans Roussey *et al*. (2011).

1.1.3.Connaissances de similarité (ou mesures de similarité)

Les connaissances de similarité sont de deux ordres : l'identification des descripteurs pertinents à comparer pour évaluer la similarité de deux cas source et cible en vue de résoudre le cas cible (ces connaissances sont généralement contenues dans les index) et les connaissances sur le niveau de similarité des descripteurs de comparaison des cas (similarité locale) et des cas source et cible eux-mêmes (similarité globale) (Fuchs et Mille, 2000).

Les connaissances sur le niveau de similarité globale entre deux cas source et cible peuvent être contenues dans des mesures génériques, telles que principalement, la distance euclidienne et la distance de Minkoswki quand les valeurs sont quantitatives (cf. équations 1 et 2) et l'indice de Jaccard quand les valeurs sont qualitatives (cf. équation 3). Ces connaissances peuvent également être contenues dans des mesures globales et locales *ad hoc* (cf. tableau 3.2), quand les valeurs sont à la fois quantitatives et qualitatives.

(1) $Distance\ euclidienne = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - y_i)}^2$

(2) $Distance\ de\ Minkowski = \sqrt[p]{\sum_{i=1}^{n}|x_i - y_i|^p}$

où x_i et y_i représentent respectivement l'attribut-valeur i d'un problème source et d'un problème cible

(3) $Indice\ de\ Jaccard = \frac{|A \cup B| - |A \cap B|}{|A \cup B|}$

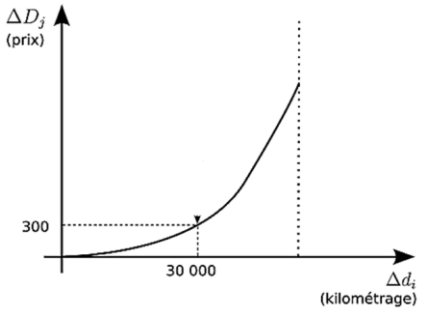
où A et B sont deux ensemble de couple d'attributs-valeurs décrivant respectivement les problèmes source et cible

Les mesures *ad hoc* sont très courantes dans les modèles de RàPC. Elles présentent l'avantage de s'appuyer sur des connaissances spécifiques au domaine, telles que celles contenues dans des matrices de similarité, ainsi que sur des connaissances structurelles contenues dans les ontologies du domaine (cf. figure 3.3).

Les mesures de similarité effectuées sur des ontologies correspondent à des mesures de similarité par subsomption (cf. équation 4). Elles consistent à évaluer la distance entre deux concepts par la longueur du plus court chemin à parcourir pour passer d'un concept à un autre. Cette longueur se mesure par le nombre de segments/arcs (cf. profondeur dans équation 4) reliant un concept à un autre. Le chemin le plus court est quant à lui déterminé par le premier concept subsumant commun entre les deux concepts comparés. Par exemple, entre Prairie permanente et Parcours VL, le premier concept subsumant commun est STH. Ainsi le chemin le plus court est : Prairie permanente-Fauche-STH-Pâture-Parc VL-Parcours VL.

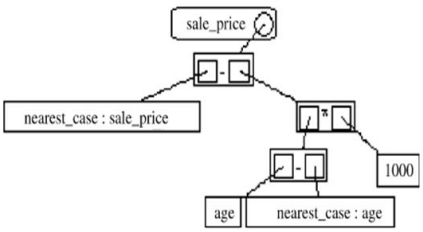
(4) $Dist_i\ (C_s, C_c) = \frac{2 \times profondeur\ (LCS(C_s, C_c))}{profondeur\ (C_s) + profondeur\ (C_c)}$

où C_s et C_c représentent respectivement les concepts source et cible comparés et où LCS représente le premier concept subsumant commun



Le graphique représente la variation du prix de vente d'une voiture (ΔD_j) en fonction de son kilométrage (Δd_i). Cette fonction d'influence montre qu'un écart de 30 000 km entre deux voitures induira un écart de prix entre les deux voitures de 300 € et qu'au-delà d'un certain seuil d'écart entre le kilométrage des deux voitures, l'adaptation n'est plus possible

Figure 3.4 : fonction d'influence déterminant le prix d'une voiture cible en fonction de l'écart de son kilométrage avec une voiture source (adapté de Cordier et Fuchs, 2006)



Règles d'adaptation reposant sur deux influences : le nombre de kilomètres parcourus et le statut (âge) de la voiture

- Pour chaque km supplémentaire (ou en moins) observé sur le compteur de la voiture cible par rapport à la voiture source, ajouter (ou soustraire) 0,1€/km au prix de la voiture source
- Ajouter (ou soustraire) 1000 € si la voiture cible a un meilleur statut (ou moins bons statut) que la voiture source

Figure 3.5 : règles d'adaptation du prix de vente d'une voiture (adapté de Mille, 2006)

Liste des opérateurs d'adaptation
Opérateurs de copie consistant à recopier la solution source
Opérateurs d'ajustement consistant à modifier certaines valeurs de paramètres entrant en jeu dans la solution source
Opérateurs de substitution consistant à modifier la solution source en ajoutant, supprimant ou substituant certains de ses constituants
Opérateurs de transformation consistant à opérer une modification structurelle sur la solution source en changeant l'ordre des composants par exemple
Opérateurs de généralisation-spécialisation consistant à exploiter une structuration hiérarchique de la base de cas pour généraliser tout ou partie de la solution source puis pour la respécialiser en une solution pour le problème cible
Opérateurs de reformulations qui représentent un ensemble de liens entre l'espace des problèmes et l'espace des solutions

Tableau 3.3 : liste des opérateurs d'adaptation (source : Badra, 2009)

1.1.4.Connaissances d'adaptation

Les connaissances d'adaptation sont de trois ordres : les dépendances, les fonctions d'influence et les classes d'adaptation (Cordier et Fuchs, 2006).
- Les dépendances traduisent les relations entre la partie problème et la partie solution d'un cas. Elles reflètent la variation du descripteur de solution en fonction du descripteur de problème. Ces connaissances sont généralement contenues dans les index (cf. partie 1.1.1).
- Les fonctions d'influence permettent d'évaluer la variation d'un descripteur de solution en fonction d'un descripteur de problème. Ces fonctions sont souvent numériques (cf. figure 3.4) ou formalisées dans des règles d'adaptation (cf. figure 3.5) ou de manière indirecte, dans l'ontologie du domaine (cf. figure 3.3). Ces fonctions sont plus ou moins simples, définies par des experts et peuvent être affinées au fur et à mesure de l'utilisation du modèle (ex : affinement des seuils d'applicabilité de la fonction).
- Enfin, les classes d'adaptation associent à chaque cas une méthode d'adaptation (cf. partie 1.2.3). Cette troisième connaissance d'adaptation est déterminante sur la deuxième, dans la mesure où à des méthodes d'adaptation sont associées des connaissances particulières d'adaptation (ex : l'ontologie du domaine pour l'adaptation par généralisation et spécialisation et les règles d'adaptation pour l'adaptation par chemin de similarité).

Les connaissances d'adaptation prennent la forme de règles d'adaptation (cf. figure 3.4), d'opérateurs d'adaptation (cf. tableau 3.3), de reformulations ou de cas d'adaptation (Cordier et Fuchs, 2006).

1.2. Module de raisonnement à partir de cas

Le module de raisonnement correspond aux tâches effectuées par le système. En RàPC, le système effectue cinq tâches principales, décrites dans le modèle de Riesbeck et Schank, fondateurs du RàPC, en 1989, puis adaptées par Aamodt et Plaza (1994), dans un modèle cyclique, très fréquemment repris dans la littérature (cf. figure 2.23 du chapitre 2 et figure 3.1 de ce chapitre). Pour décrire ces tâches, nous nous appuyons principalement sur les textes fondateurs et les revues de littérature suivants : Riesbeck et Schank (1989) ; Aamodt et Plaza (1994) ; Watson et Marir (1994); Fuchs et Mille (1999) ; Lopez de Mantaras *et al*. (2005) ; Mille (2006) ; Cordier (2008). Nous nous appuyons aussi sur le modèle de décomposition des tâches d'Aamodt et Plaza (1994) (cf. figure 3.6).

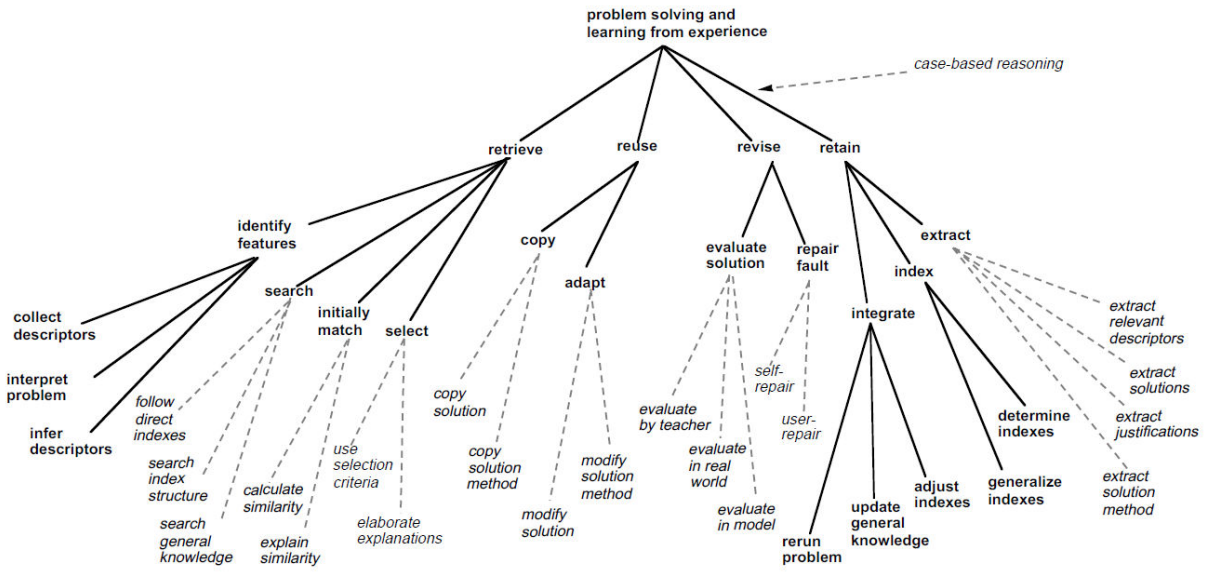


Figure 3.6 : décomposition des tâches du module de raisonnement à partir de cas (Aamodt et Plaza, 1994)

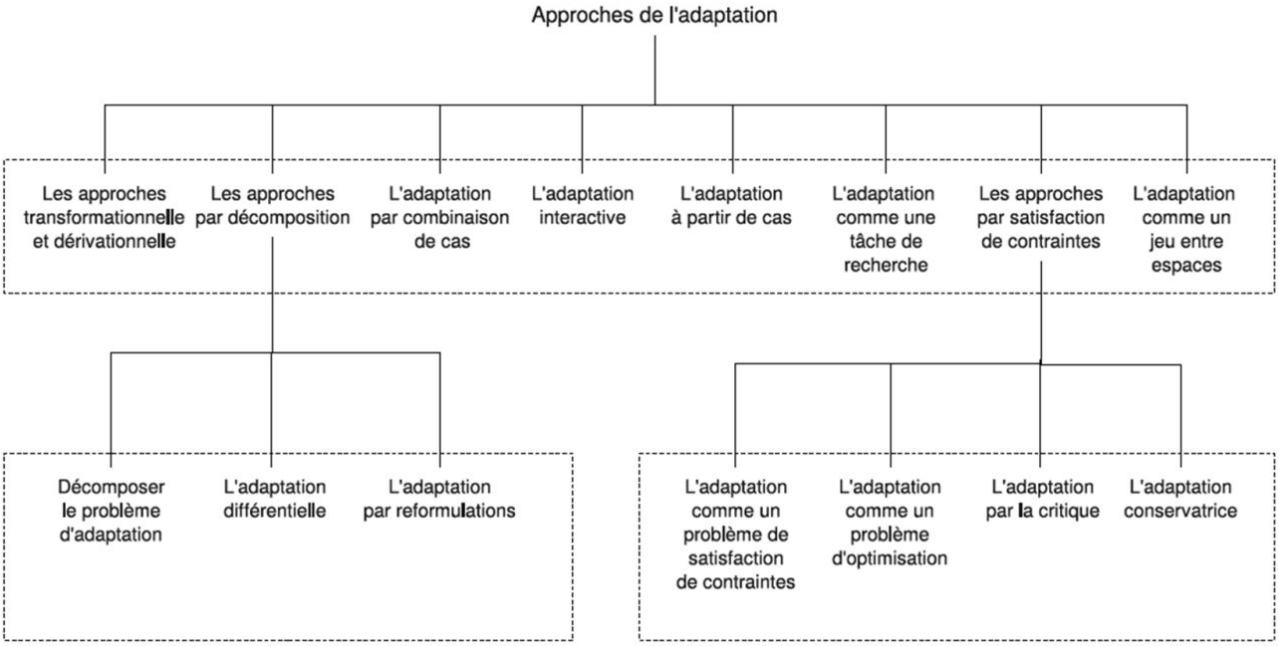


Figure 3.7 : typologie des méthodes d'adaptation rencontrées dans la littérature (Badra, 2009)

$$\begin{tikzcd}
\mathtt{srce} = \mathtt{pb}_0 \arrow[r, dash, "\mathtt{r}_1"] \arrow[d] & \mathtt{pb}_1 \arrow[r, dash, "\mathtt{r}_2"] \arrow[d] & \mathtt{pb}_2 \arrow[d] & \cdots & \mathtt{pb}_{q-1} \arrow[r, dash, "\mathtt{r}_q"] \arrow[d] & \mathtt{pb}_q = \mathtt{cible} \arrow[d] \\
\mathtt{Sol}(\mathtt{srce}) = \mathtt{Sol}(\mathtt{pb}_0) \arrow[r, dash, "\mathcal{A}_{\mathtt{r}_1}"'] & \mathtt{Sol}(\mathtt{pb}_1) \arrow[r, dash, "\mathcal{A}_{\mathtt{r}_2}"'] & \mathtt{Sol}(\mathtt{pb}_2) & \cdots & \mathtt{Sol}(\mathtt{pb}_{q-1}) \arrow[r, dash, "\mathcal{A}_{\mathtt{r}_q}"'] & \mathtt{Sol}(\mathtt{pb}_q) = \mathtt{Sol}(\mathtt{cible})
\end{tikzcd}$$

Figure 3.8 : adaptation par chemins de similarité (Lieber, 2008)

1.2.1.Tâche 1 : élaborer un cas

La première tâche du RàPC est l'élaboration d'un cas. Elle s'appuie évidemment sur la structure des cas enregistrés dans la base, et qui a donné lieu à un travail préalable. Dans ce travail, la définition des cas se fait à partir des expériences ; elle consiste à définir ce qu'est le problème, la solution et à choisir des descripteurs en lien avec les problématiques de remémoration et d'adaptation. Ainsi, pour définir les cas, deux critères peuvent être choisis : le critère de dépendance entre le problème et la solution des cas sources (cf. partie 1.1.4) et le niveau d'adaptabilité des descripteurs de la solution.

1.2.2.Tâche 2 : remémorer des cas sources

La remémoration consiste à identifier un ou plusieurs cas sources de la base de cas susceptibles de résoudre au mieux le problème cible. Cette étape s'appuie sur les connaissances de similarité (cf. partie 1.1.3) faisant l'hypothèse que les problèmes sources les plus similaires au problème cible sont ceux qui apportent la meilleure solution pour résoudre le nouveau problème. Ainsi, la remémoration se déroule en trois étapes : l'appariement du problème cible au problème source, l'évaluation de la similarité entre les problèmes et la sélection finale des cas sources (Fuchs et Mille, 1999).

Concernant les méthodes d'appariement, celles-ci varient selon le formalisme de représentation des connaissances du système. La sélection finale des cas consiste à sélectionner un ou plusieurs cas maximisant la similarité globale avec le problème cible. Cette sélection utilise très couramment l'algorithme des plus proches voisins (algorithme de classification K-NN), mais elle peut aussi se faire par un simple tri, permettant de présenter les cas sources selon leur niveau de similarité.

Revenons maintenant à l'évaluation de la similarité. Pour que les *cas* remémorés soient des *cas* « adaptables », de nombreux travaux tiennent à la fois compte des connaissances de similarité (cf. partie 1.1.3) et des connaissances d'adaptation (cf. partie 1.1.4) dans leurs mesures : on parle alors de remémoration guidée par l'adaptation (Smyth et Keane, 1994). Pour cela, Leake (1997) propose d'inclure des « coûts d'adaptation » dans l'évaluation de la mesure de similarité. Il propose plus concrètement une remémoration en deux étapes, où après une mesure de similarité classique sur les descripteurs du problème, la sélection finale des *cas sources* à remémorer s'effectue selon leur niveau d'adaptabilité.

1.2.3.Tâche 3 : adapter la solution des cas sources

Les méthodes d'adaptation sont multiples, c'est pourquoi nous nous appuyons sur la typologie de Badra (2009) pour en présenter les 8 principales sans objectif d'exhaustivité (cf. figure 3.7).

- L'adaptation par transformation et dérivation sont deux grands types d'adaptation. L'adaptation par transformation consiste « à déterminer une modification à appliquer à la solution du (ou des) cas source(s) remémoré(s) » ; l'approche par dérivation consiste elle « à adapter la méthode utilisée pour obtenir cette solution ».

- L'adaptation par décomposition consiste à décomposer un problème en sous-problèmes plus simples. Par exemple les chemins de similarité consistent à décomposer une adaptation complexe (en termes de connaissances d'adaptation et d'opérateurs) en sous-tâches d'adaptation plus simples (Lieber, 2008). Dans la figure 3.8, l'axe du haut représente un chemin de similarité liant le problème source (à gauche) au problème cible (à droite) par q étapes de reformulations successives du problème source, en problèmes intermédiaires se rapprochant graduellement du problème cible. Ainsi, à chaque étape est associée une fonction d'adaptation spécifique permettant de passer d'un

problème à un autre. L'axe du bas représente alors le chemin d'adaptation reliant la solution source à la solution cible, par q étapes d'adaptation intermédiaires successives.

- L'adaptation par combinaison de cas consiste à remémorer plusieurs cas sources pour un problème d'adaptation donné puis à composer une solution à partir des solutions des différents cas sources remémorés.

- L'adaptation interactive elle consiste à impliquer l'utilisateur pour lui demander d'effectuer l'adaptation manuellement ou d'affiner dans un processus itératif, une solution proposée par le système.

- L'adaptation à partir de cas consiste « à appliquer un processus de raisonnement à partir de cas à la tâche d'adaptation elle-même. L'adaptation est alors réalisée en raisonnant sur un ensemble d'expériences passées d'adaptation »

- L'adaptation « comme une tâche de recherche dans l'espace des solutions, où l'état initial est la solution source d'un cas remémoré et l'état final une solution cible pour le problème cible » consiste à appliquer des « opérateurs d'adaptation, qui sont des transformations effectués dans l'espace des solutions ».

- L'adaptation par satisfaction de contraintes peut aussi être vue comme la recherche dans un espace des solutions d'une solution cible qui satisfasse un certain nombre de contraintes.

- Enfin, l'adaptation « comme un jeu dans l'espace » repose sur un espace des remémorations désignant un ensemble de correspondances entre le problème cible et les problèmes sources et un espace des adaptations désignant un ensemble d'opérateurs qui peuvent être utilisés pour modifier la solution source du problème remémoré.

1.2.4.Tâche 4 : révision des solutions prédites par le système

Il s'agit de l'étape où les solutions prédites sont validées par l'utilisateur et/ou le système, selon leur aptitude à résoudre le problème posé.

Ainsi, si les solutions sont jugées inaptes à la résolution du problème, elles peuvent être refusées par l'utilisateur ou le système. Des corrections sont également possibles et en fonction des opportunités d'interaction de l'utilisateur avec le système (cf. partie 2.4), des connaissances supplémentaires peuvent aussi être ajoutées au système pour corriger les causes identifiées des échecs de prédiction.

1.2.5.Tâche 5 : mémorisation des cas cibles révisés

La cinquième étape du cycle du RàPC est l'étape de mémorisation des cas cibles révisés. Elle permet d'incrémenter le système de nouvelles expériences de résolution de problème, tout au long de sa phase de production. C'est également durant cette étape que la base de cas peut être réorganisée et que les index utilisés pour retrouver les cas sont mis à jour (cf. partie 1.1.1).

2. Intérêts du raisonnement à partir de cas

2.1. Une modélisation sans connaissance complète du domaine

Le premier intérêt du RàPC est sa capacité à résoudre des problèmes sans théorie complète du domaine, puisque les principales unités de connaissances manipulées par le système sont les cas, *i.e.* des expériences particulières de résolution de problème (Riesbeck et Schank, 1989 ; Slade, 1991 ; Kolodner, 1992).

"Case-based reasoning is also useful when knowledge is incomplete and/or evidence is sparse. Logical systems have trouble dealing with either of these situations because they want to base their answers on what is well-known and sound. More traditional AI systems use certainty factors and other methods of inexact reasoning to counter these problems, all of which require considerable effort on the part of the computer and none of which seem intuitively very plausible. ***Case-based reasoning provides another method for dealing with incomplete knowledge. A case-based reasoner makes assumptions to fill in incomplete or missing knowledge based on what his experience tells him, and goes on from there. Solutions generated this way won't always be optimal, or even right, but if the reasoner is careful about evaluating proposed answers, the case-based methodology gives him a way to generate answers easily****",* (Kolodner, 1992)

A ce titre, considérant que l'acquisition de cas est plus facile que l'acquisition de connaissances du domaine, le RàPC est souvent présenté comme une alternative intéressante aux systèmes experts, en particulier les systèmes à base de règles, nécessitant de très nombreuses règles, parfois difficiles à acquérir auprès des experts, pour garantir un large domaine de validité au système.

Le RàPC est également présenté comme une méthode adaptée à la modélisation de phénomènes peu compris (Du *et al*., 2010), peu certains (Kaster *et al*., 2005) et/ou complexes (Mota *et al*., 2008). Sur ce point, il est néanmoins parfois rappelé qu'il est toutefois nécessaire d'avoir de solides connaissances sur les cas ainsi que des connaissances du domaine, bien qu'incomplètes, pour à la fois représenter les cas, les remémorer et les adapter (Osty *et al*., 2008).

2.2. Une modélisation sans montée en généricité des expériences particulières

Le deuxième intérêt du RàPC est sa capacité à résoudre des problèmes sans montée en généricité des expériences particulières observées, grâce à un raisonnement par analogie (cf. partie 2.4). A ce titre, le RàPC se distingue une nouvelle fois des systèmes experts, reposant sur un raisonnement déductif (Riesbeck et Schank, 1989 ; Slade, 1991 ; Kolodner, 1992).

Ainsi, tenant compte du fait que les experts utilisent davantage leurs expériences que des règles générales pour résoudre des problèmes, le RàPC a souvent été présenté comme étant un meilleur cadre de modélisation que les systèmes experts, pour reproduire les processus mêmes de résolution de problème des experts (Slade, 1991 ; Kolodner, 1992).

Enfin, le RàPC est aussi présenté comme une méthode adaptée pour résoudre des problèmes dont la théorie ou la montée en généricité des connaissances ne sont pas suffisantes pour les résoudre (Aamodt et Plaza, 1994 ; Lopez de Mantaras *et al*., 2005), tels que les problèmes médicaux, les problèmes de planification, d'architecture (Ram et Wiratunga, 2011 ; Agudo et Watson, 2012) et d'agronomie des territoires (Osty *et al*., 2008).

Encadré 3.3 : exemples d'interactions avec l'utilisateur

Interactions concernant l'assistance de la machine dans la validation et la révision des différentes étapes du RàPC

Le système FRAKAS pour FailuRe Analysis for domain Knowledge AcquiSition (Cordier, 2008) permet à l'utilisateur d'intervenir à l'étape finale du cycle du RàPC en le laissant valider la pertinence de la solution apportée par le système (Cordier, 2008). Grâce à son interface graphique, ce système permet aussi à l'utilisateur de réviser cette solution par l'ajout de nouvelles connaissances aux étapes successives de remémoration et d'adaptation.

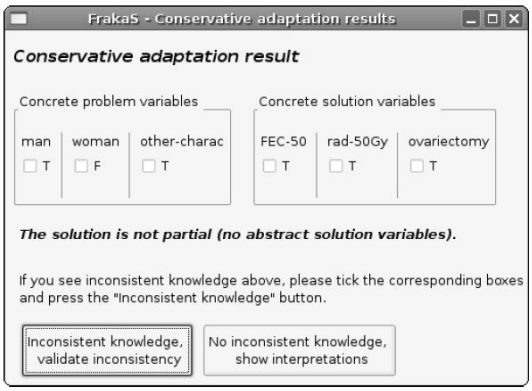


Figure c : interface graphique du système FRAKAS (Cordier, 2008)

Interactions concernant le chargement et la manipulation des connaissances du système

Le système CARMA pour CAse-based Rangeland grasshopper Management Advisor (Hastings *et al*., 2002) permet à l'utilisateur d'être guidé dans l'identification du type de ravageur observé sur ses parcelles grâce à une interface graphique (cf. figure d).

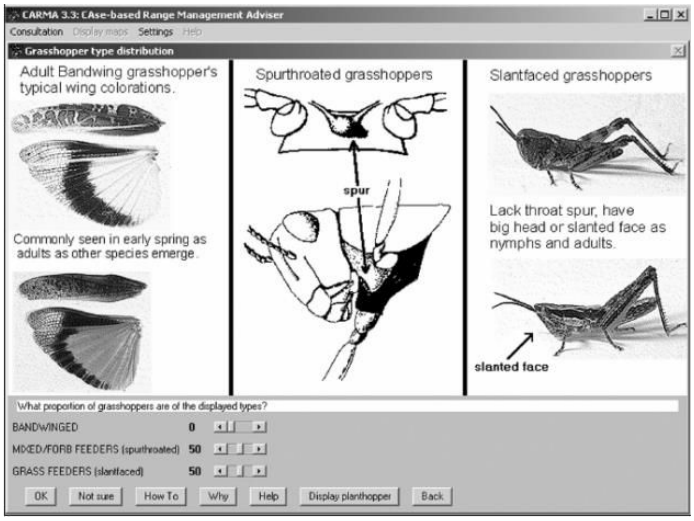


Figure d : élicitation du type de sauterelle du système CARMA (Hastings *et al*., 2002)

2.3. Un système informatique apprenant

Le troisième intérêt du RàPC est sa capacité d'apprentissage par la mémorisation des nouveaux cas cibles résolus (cf. partie 1.2.5) et par la révision des solutions cibles inférées par le système (cf. partie 1.2.4). Ceci distingue une nouvelle fois le RàPC des systèmes experts, sans capacité d'apprentissage.

Ainsi, l'apprentissage par incrémentation des cas cibles révisés dans la base du système (couplé à de solides connaissances) permet de résoudre des problèmes à partir d'un petit nombre de cas initiaux, tout en augmentant au fur et à mesure son domaine de validité et ses performances. Ceci explique que de nombreuses applications du RàPC reposent sur un petit nombre de cas sources.

L'apprentissage par révision des solutions cibles permet quant à lui d'ajouter dans le système de nouvelles connaissances de similarité et d'adaptation. Cet apprentissage permet ainsi d'améliorer ses performances en anticipant les futurs échecs de résolution de problème (Cordier *et al*., 2006), tout en enrichissant les connaissances du domaine initialement incomplètes (Kolodner, 1992).

Signalons, qu'à ces deux formes d'apprentissage intégrées dans le module même de raisonnement du RàPC peut aussi être couplé une autre forme d'apprentissage plus minoritaire, mais faisant l'objet de travaux récents, consistant en la réutilisation des connaissances déjà présentes dans le système pour en inférer de nouvelles *via* des techniques d'apprentissage automatique (Cordier *et al*., 2006 ; Cordier et Fuchs, 2006 ; Cordier, 2008).

2.4. Un système informatique interactif avec son utilisateur

L'apprentissage par révision peut soit s'appuyer sur le résultat de procédures automatiques réalisées par le système soit s'appuyer sur les connaissances mêmes de l'utilisateur du système (cf. partie 1.2.4). Cette dernière forme de révision est alors possible grâce à des systèmes partiellement automatisés, laissant place à de possibles interactions avec l'utilisateur (Kolodner, 1992 ; Dutta *et al*., 1997).

Plus globalement, ces interactions avec l'utilisateur peuvent prendre deux formes principales dans les systèmes de RàPC : elles contribuent d'une part à assister la validation et la révision des étapes du RàPC et permettent d'autre part l'assistance de l'utilisateur dans le chargement et la manipulation des connaissances du système (cf. encadré 3.3).

Dans le premier cas, les interactions avec l'utilisateur permettent d'apprendre à mieux résoudre les problèmes à partir de connaissances révisées durant sa phase de production (cf. partie précédente). Dans le deuxième cas, les interactions permettent de guider l'utilisateur dans l'explicitation de ces connaissances, telles que la description d'un problème cible. Ceci présente l'avantage de permettre au système de résoudre des problèmes peu ou mal structurés du fait d'une connaissance incertaine de l'utilisateur.

Ainsi, l'intérêt des interactions du système avec l'utilisateur explique que la majorité des systèmes de RàPC soient automatisés jusqu'à l'étape d'adaptation pour que l'utilisateur valide et révise lui-même les solutions cibles inférées par le système. Cela explique aussi le développement d'interfaces graphiques interactives pour quelques systèmes (Kaster *et al*., 2005).

Références	Nom du système	Domaine d'application	Intérêts des travaux présentés
Holt et Benwell , 1996 Holt et Benwell, 1999	ZONATION	Classification des sols	Présentation des intérêts du RàPC couplé à une analyse spatiale
Mota *et al.*, 2008	-	Identification des processus de déforestation au Brésil	Utilisation du RàPC à partir d'images satellitaires
Du *et al.*, 2010 et 2012	-	Modélisation du changement d'usage des sols	Utilisation du RàPC à partir des bases de données géographiques
Avesani *et al.*, 2000	CHARADE	Lutte contre les incendies de forêts	Développement d'un système RàPC interactif
Kaster *et al.*, 2005	WOODSS	Conseils en fertilisation des cultures	Utilisation du RàPC à partir des bases de données géographiques
Bosch *et al.*, 1997	-	Conseils dans la conduite de prairies	Démarche participative de modélisation des décisions des agriculteurs relatives à la conduite de prairies
Le Ber *et al.*, 2003 Metzger, 2005 Osty *et al.*, 2008	ROSA	Diagnostic de l'organisation des territoires d'exploitations agricoles	Modélisations des décisions des agriculteurs relatives à l'organisation spatio-fonctionnelle du territoire
Hastings *et al.*, 2002, 2009 et 2010	CARMA	Lutte contre les invasions de sauterelle	Démarche d'application du RàPC d'une zone géographique à une autre

Tableau 3.4 : exemples d'applications possibles du RàPC en agronomie et en géographie

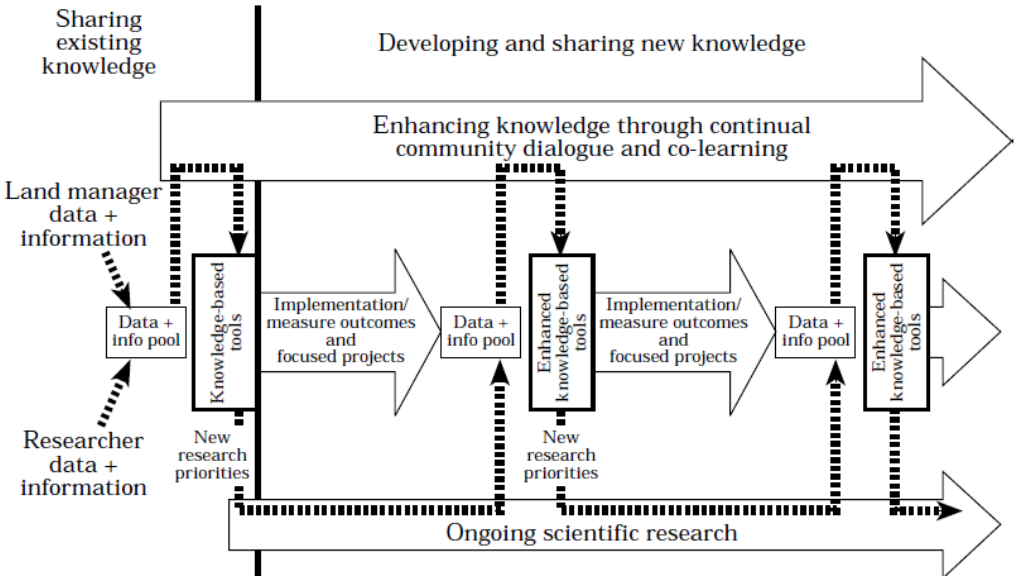


Figure 3.9 : processus d'enrichissement continu des connaissances existantes et nouvelles pour la gestion durable des pâturages (Bosch *et al.*, 1997)

3. Applications du raisonnement à partir de cas en agronomie et en géographie

La géographie et l'agronomie ne font pas partie des principaux domaines d'application du RàPC, qui est davantage appliqué en industrie, en médecine, en cuisine et dernièrement pour la conception de jeux vidéo. Néanmoins, huit applications du RàPC en agronomie et en géographie ont relevé notre attention pour les raisons présentées dans le tableau 3.4.

L'objectif de cette partie étant d'identifier les applications du RàPC pouvant se rapprocher le plus à une application potentielle du RàPC pour modéliser l'insertion territoriale du miscanthus à partir des décisions des agriculteurs, nous avons choisi de présenter les travaux répondant à trois critères d'analyse : (i) le niveau de représentation des décisions des agriculteurs, (ii) le niveau de description de l'organisation spatiale et fonctionnelle d'un territoire et (iii) les conditions de dissémination spatiale d'une application. Par ce prisme d'analyse, nous avons choisi de présenter trois applications.

3.1. L'application de Bosch *et al*. (1997) : exemple d'une prise en compte des processus de décision des agriculteurs *via* une démarche participative d'acquisition de connaissances

Les premiers travaux modélisant explicitement les décisions des agriculteurs dans un système de RàPC remontent à 1997 : ils ont été réalisés par Bosch *et al*. (1997) en vue de fournir un outil d'aide à la décision pour la conduite de prairies. Ces travaux s'appuient sur le constat que les connaissances des agriculteurs apportent une complémentarité aux connaissances scientifiques : en effet par leurs expériences, ces acteurs apportent de nombreuses connaissances adaptées au contexte local et utiles à la résolution de problèmes particuliers.

Ainsi, les travaux de Bosch *et al*. (1997) consistent en la mise en place d'une démarche permettant l'intégration continue de connaissances d'agriculteurs à celles des scientifiques, dans un même outil d'aide à la décision destiné aux agriculteurs (cf. figure 3.9). Cette démarche est participative et repose sur un dialogue entre les deux communautés afin de transformer les informations renseignées par les agriculteurs en de nouvelles connaissances et en de nouvelles priorités de recherche utiles à l'amélioration continue de l'outil.

Concrètement, le rôle de l'agriculteur est de fournir des solutions à des problèmes particuliers de conduite de prairies et d'en contrôler les résultats en vue d'une validation. Les scientifiques ont eux pour rôle (i) d'identifier les manques de connaissances à la résolution des différents problèmes pour orienter de nouvelles questions de recherche et (ii) d'évaluer le niveau d'applicabilité des nouvelles actions incrémentées ainsi que leurs impacts financiers et environnementaux.

Considérant que le raisonnement des agriculteurs pour résoudre des problèmes particuliers s'appuie sur un raisonnement par analogie, les auteurs ont alors choisi la méthode du RàPC pour développer l'outil d'aide à la décision. L'intérêt de ce choix est de constituer une base de cas déjà résolus sur laquelle les agriculteurs peuvent s'appuyer pour fournir leurs propres solutions pour résoudre de nouveaux problèmes particuliers.

"The first version of the case-base allows land managers to obtain solutions to a particular problem. This is done by searching the case-base for other cases and solutions to similar problems. In this way land managers do not have to rely on their own experiences to find possible solutions, but can actually share in the pool of cases from many minds and experiences. Land managers implement the recommendations obtained from the case-base, and then measure the outcomes of their management actions. This implementation can be regarded as a new experiment, and as such, leads to the continual gain of new 'experimental results'. These results provide new information which can be used to enhance the case-base through to construction of more cases, or the validation of existing cases" (Bosch *et al*., 1997)

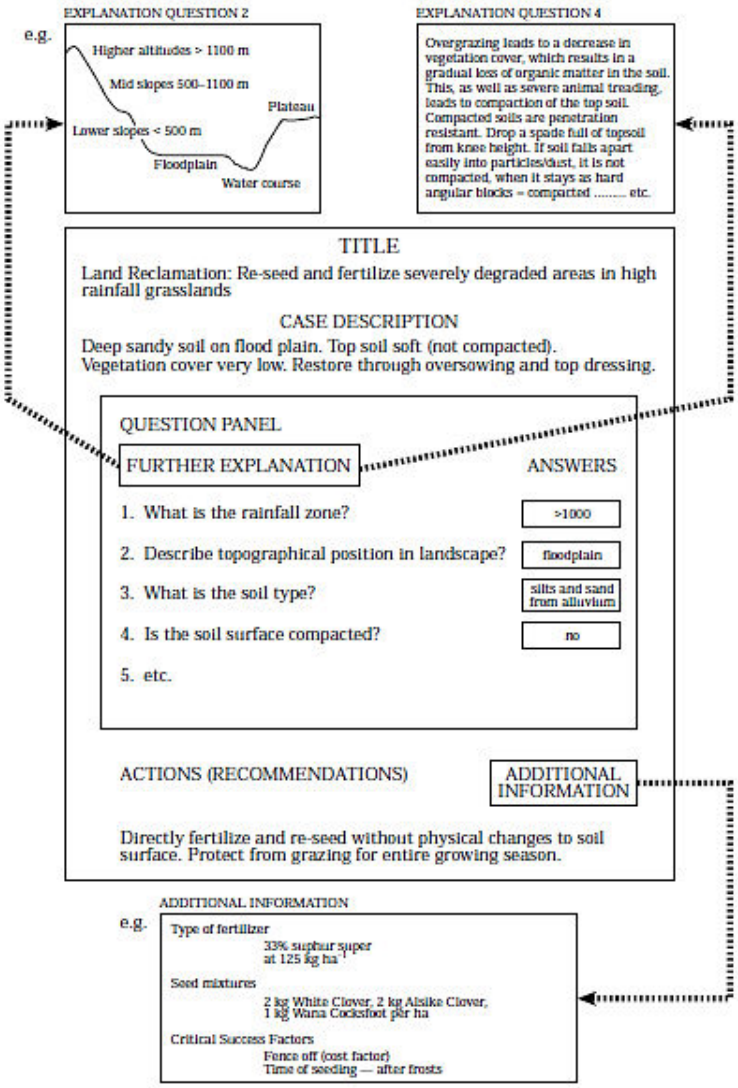


Figure 2. Example of a case description screen using CBR Express software (Inference Corporation, 1990).

Figure 3.10 : visualisation d'un cas (Bosch *et al*., 1997)

Variables descriptives de l'organisation des territoires du système ROSA
Land use : crop fields, paddocks, rough grazings, temporary meadows, etc.
Buildings and farm equipments : farm house, sheep pen, water point, etc.
Morpho-geological types : plateau, coast, low and high areas, etc.
Livestock : lambs, ewes, dairy cows, etc.
Farm functionning : lambing, feeding, grazing management, etc.
Spatial and spatio-functionnal relations : border, near, far, separate, lead, etc.

Tableau 3.5 : variables descriptives de l'organisation des territoires du système ROSA (d'après Le Ber *et al*., 2003)

Pour ce faire, les cas de la base ont été élaborés par les scientifiques à partir d'enquêtes menées en exploitations agricoles (cf. figure 3.10). Un cas décrit une situation (problème à résoudre) et des actions recommandées (solution). Le problème est plus particulièrement décrit par trois éléments : un titre, une phrase résumant le problème et des questions-réponses décrivant le contexte local exact du cas. De son côté, le cas cible est lui décrit par l'utilisateur final, pour chacun de ces trois éléments, *via* une requête. Ainsi, le formalisme textuel pour décrire les cas a été choisi pour s'adapter au mieux au propre langage des utilisateurs finaux du système. Par conséquent, de puissants algorithmes de comparaison de texte ont été utilisés pour remémorer les cas sources.

La remémoration quant à elle a été décomposée en deux étapes : la première consiste à identifier un premier groupe de cas sources par une requête portant sur le titre, la description générale du cas et la description des principaux facteurs d'influence contenus dans les questions 1 et 2 (cf. figure 3.10) ; la deuxième étape consiste à extraire de ce groupe les cas les plus similaires par une requête portant cette fois-ci sur les questions 3 et 4 décrivant les principales particularités du cas à résoudre.

Les conclusions tirées de ces travaux montrent que le RàPC est un cadre formel de modélisation adapté à une démarche participative d'acquisition de connaissances et de conception d'outil d'aide à la décision. Les auteurs soulignent également l'intérêt d'utiliser à terme de la logique floue pour manipuler au mieux les connaissances qualitatives et incertaines tirées de situations empiriques. Ils encouragent aussi à poursuivre ces travaux par l'intégration de facteurs non plus exclusivement biophysiques mais socio-économiques ; pour cela, ils signalent la difficulté d'identifier en amont de la conception du système les principaux facteurs socio-économiques d'influence sur la solution.

3.2. ROSA : une application du RàPC modélisant des décisions à la fois spatiales et fonctionnelles des agriculteurs relatives à l'organisation de leur territoire

Les deuxièmes travaux modélisant explicitement les décisions des agriculteurs dans un système de RàPC sont ceux d'un collectif de chercheurs regroupés au sein du projet « Modélisation, comparaison et interprétation d'organisations territoriales agricoles- Aspect techniques, sociaux et cognitifs de la mobilisation de représentations de l'espace » entre 2000 et 2005 (Le Ber, 2003 ; Metzger, 2005 ; Osty *et al*., 2008). Les disciplines concernées sont l'intelligence artificielle, l'agronomie, la psychologie de la cognition et la linguistique. Le système développé est le système ROSA, déjà présenté pour partie dans le chapitre 2 et par les figures 3.2, 3.3, et 3.6 de ce chapitre.
Ainsi, pour rappel, le système ROSA a été conçu pour fournir une analyse des modes d'organisation spatiale et fonctionnelle de territoires d'exploitation agricole (solution) à partir de la structure de morceaux d'espace appartenant au territoire de l'exploitation (problème). Dans ce système, le problème d'un cas est décrit par un graphe conceptuel et sa solution par des explications textuelles.

Comme pour les travaux présentés dans la partie précédente, la base de cas initiale du système ROSA a été conçue par les chercheurs en s'appuyant de données d'enquêtes en exploitation agricole. Les cas rendent compte donc de décisions d'agriculteurs. En revanche, à la différence des travaux de Bosch *et al*. (1997), ce ne sont pas les agriculteurs eux-mêmes qui utilisent le système pour produire de nouveaux épisodes de résolution de problème et de nouvelles connaissances utiles au système. Le système ROSA a en effet été conçu pour un usage plus autonome, capable de résoudre par lui-même de nouveaux problèmes. Ainsi, dans le système ROSA, la phase de modélisation des connaissances des agriculteurs en amont de l'utilisation du système lui-même est plus conséquente (cf. partie 4). Par ailleurs, les connaissances des agriculteurs modélisées dans le système ROSA sont plus complexes que celles modélisées dans le système de Bosch *et al*. (1997), puisque l'organisation des territoires des agriculteurs repose à la fois sur des facteurs biophysiques, topologiques, agronomiques, fonciers, etc. (cf. tableau 3.5).

Etapes de représentation du fonctionnement et de l'organisation spatiale des exploitations agricoles
Etape 1 : description des caractéristiques globales de l'exploitation et des objectifs de production à partir d'une enquête rapide
Etape 2 : construction d'un modèle graphique de la structure de l'exploitation, sur la base du parcellaire d'usage repéré sur le plan cadastral et la photographie aérienne (il sert de fond de modèle pour reporter les autres informations)
Etape 3 : construction d'un modèle graphique de l'utilisation saisonnière du territoire à partir des pratiques d'allotement des animaux et d'assolement des surfaces (reconstitution de calendrier de pâturage sur une campagne)
Etape 4 : construction d'un modèle graphique de la configuration progressive du territoire de l'exploitation à partir de l'historique de la constitution et de l'aménagement de l'exploitation sur plusieurs décennies
Etape 5 : interprétation de l'organisation du territoire de l'exploitation par rapport aux objectifs de production, d'organisation du travail et de gestion des ressources. Les pratiques d'utilisation et de configuration rendent compte des logiques des exploitants et des contraintes de leur territoire pour la mise en œuvre des activités d'élevage

Tableau 3.6 : étapes permettant la représentation du fonctionnement et de l'organisation spatiale des exploitations agricoles (d'après Lardon *et al.*, 2005)

Etapes de transformation des chorèmes en graphes
Etape 1, écriture des graphes : dénomination des sommets-entités, définition des sommets-relations, fixation des arêtes et des rôles entre relations et entités
Etape 2, définition des concepts du domaine : catégorisation des sommets entités et des sommets-relations, définition des attributs, hiérarchisation des concepts
Etape 3, constitution des cas : explicitation de certaines structures, acquisition d'éléments explicatifs sur le fonctionnement des exploitations agricoles

Tableau 3.7 : étapes de transformation des chorèmes en graphes conceptuels (d'après Le Ber et Brassac, 2008)

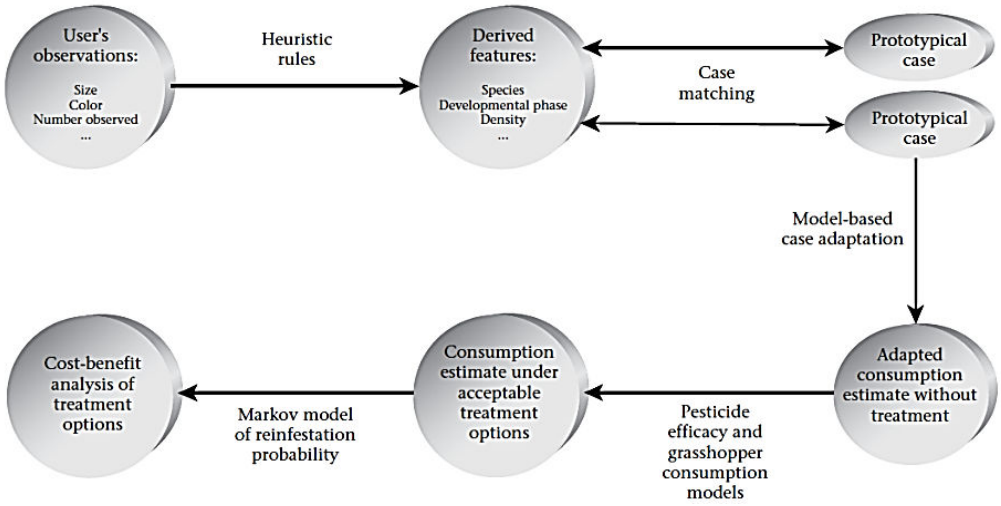


Figure 3.11 : démarche générale du système CARMA

La modélisation des décisions des agriculteurs a nécessité une démarche en trois temps, réalisée par trois agronomes et trois informaticiens : (i) représenter le fonctionnement et l'organisation spatiale des exploitations agricoles par des chorèmes (cf. tableau 3.6), (ii) transformer les chorèmes en graphes (cf. tableau 3.7) et (iii) raisonner sur les organisations spatiales et leurs explications fonctionnelles par RàPC (Lardon *et al*., 2005).

Cette démarche a été employée pour modéliser l'organisation spatio-fonctionnelle de deux systèmes de production - élevage ovin et élevage bovin en polyculture - respectivement situés dans la région des Grands Causses, soumise à des dynamiques d'embroussaillement et en région Lorraine, soumise à des risques de contamination des eaux souterraines pour les EA enquêtées.

Les conclusions de ces travaux montrent que le système ROSA permet d'outiller la réutilisation des connaissances fines du fonctionnement d'exploitation agricole provenant d'enquêtes pour fournir une aide au diagnostic d'autres exploitations agricoles (cf. chapitre 2). Ce système permet ainsi une dissémination des connaissances entre exploitations agricoles similaires. Pour autant, dans ces travaux cette dissémination se fait dans le respect du système de production et de la zone géographique. En effet, constatant qu'un même terme pouvait couvrir une diversité de concepts selon le système de production et la région prise en compte, les auteurs ont défini deux hiérarchies de concepts du domaine.

3.3. CARMA : exemple de dissémination spatiale de connaissances expertes pour la lutte contre les sauterelles ravageuses des prairies

Le système CARMA (CAse-based Rangeland grasshopper Management Advisor) est un outil d'aide à la décision pour déterminer les meilleures modalités économiques et environnementales de lutte contre les sauterelles ravageuses des prairies (Hastings *et al*., 2002 ; Hastings *et al*., 2009 ; Hastings *et al*., 2010). Ce système repose sur plusieurs modules de raisonnement, dont un module de RàPC qui permet de prédire les pertes de fourrage induites par la consommation des sauterelles (les autres modules permettent la prédiction des traitements de lutte contre les sauterelles, cf. figure 3.11).

Alors que le système a été initialement conçu pour l'état du Wyoming (situé à l'ouest des USA), Hastings *et al*. (2010) proposent une méthode pour étendre les prédictions du système CARMA à neuf autres Etats situés à l'ouest des USA, permettant d'élargir la zone d'application du système de 253 000 km² à 2 494 000 km² (Hastings *et al*., 2010). C'est cette méthode que nous présentons ici. Signalons avant que les cas du système sont globalement considérés par les auteurs comme « neutres », *i.e.* comme peu dépendants de leur localisation (seuls trois descripteurs sont dépendants de la localisation des cas) et que des informations sur l'historique de la localisation des cas sont systématiquement demandées à l'utilisateur.

Ainsi, la méthode globale d'extension du système CARMA à un plus large territoire consiste à :
1. incrémenter les informations concernant l'historique de chaque nouvel Etat, au grain de l'Etat
2. généraliser l'interface graphique pour que l'utilisateur manipule les connaissances spécifiques aux nouveaux Etats incrémentés (étape jugée délicate pour la gestion des données géographiques, les auteurs signalent que des améliorations du système sont à prévoir pour un couplage avec le SIG)
3. conserver sans modification la fonction d'ajustement pour prédire la période critique d'invasion des ravageurs déterminée par l'altitude et la latitude de la parcelle.

Notons que cette méthode n'implique pas l'incrémentation de cas supplémentaires. Ceci n'est pas un oubli mais bien un choix spécifique fait par les auteurs, considérant que la base de cas initiale, bien que petite, couvre un large spectre de cas possibles :

"Prior research indicated that completeness of the model-based knowledge used for matching and adaptation is more important to CARMA's accuracy than coverage of the case library (Branting and Hastings [1994]). Based on the results of this research, CARMA's case library for the initial releases of CARMA for Wyoming was kept justifiably small. For Wyoming, the model was powerful enough to avoid augmenting the cases. But for a larger region, is the model powerful enough (when bolstered with the extended region specific information) to entirely handle scaling CARMA to new regions without developing state or region specific cases? Surprisingly, the answer is yes! The key turns out to be a component within critical period adjustment"

Globalement, les auteurs expliquent la réussite de cette extension par (i) l'architecture générique du système, (ii) des concepts du domaine applicables aux nouveaux Etats, (iii) des cas décrits par peu de variables dépendantes d'une localisation, (iv) la fonction d'ajustement de la période d'attaque des ravageurs et enfin (v) l'accessibilité des informations décrivant les nouveaux Etats pris en compte.

Signalons que la précision des prédictions sur le territoire élargi n'a pas été évaluée dû à l'absence de données empiriques dans les nouveaux Etats. Une validation des connaissances du système par expertise a néanmoins été faite.

3.4. Implications pour la thèse

Les trois travaux que nous venons de présenter dans cette partie montrent (i) qu'il est possible de modéliser les décisions des agriculteurs par RàPC, même si cela n'a pas fait l'objet de nombreux travaux, (ii) qu'il est également possible de modéliser finement l'organisation des territoires et les décisions qui en sont relatives et (iii) qu'il est possible d'outiller la transférabilité de ces décisions d'un territoire à un autre sous réserve d'une validité du domaine ou de fonctions d'ajustement.

Néanmoins, ces trois travaux montrent aussi l'importance de l'acquisition de connaissances, tant en termes d'expériences particulières de résolution des cas, qu'en termes de connaissances du domaine apportées par les scientifiques et/ou par les experts. L'acquisition de ces connaissances se présente donc comme un enjeu méthodologique fort.

Pour évaluer l'opérationnalité du RàPC pour modéliser l'insertion territoriale du miscanthus à partir des décisions des agriculteurs, il convient donc maintenant de présenter les difficultés relatives à l'acquisition de ces connaissances.

4. Difficultés du raisonnement à partir de cas

4.1. Difficultés de modélisation du domaine et de définition d'un cas

La définition d'un cas dont nous parlons ici concerne les cas sources (rappelons que l'élaboration des cas cibles découle de cette définition) ; elle concerne plus particulièrement le choix des descripteurs du problème et des descripteurs de la solution en lien avec les problématiques de remémoration et d'adaptation (cf. partie 1.2.1). Cette étape est pour de nombreux auteurs présentée comme une étape difficile, posant essentiellement deux difficultés : l'explicitation des connaissances du domaine offrant le vocabulaire adapté pour décrire les cas et l'explicitation des influences permettant de réduire la description des cas aux éléments du processus de résolution d'un problème.

Pour le système ROSA (cf. partie 3.2), la modélisation du domaine et la définition d'un cas s'est faite à partir de sept chorèmes d'exploitation agricole et a donné lieu à la formalisation de 70 cas (sous-parties de chorèmes). Cette étape s'est déroulée au cours de plusieurs séances réunissant un ou plusieurs agronomes et un ou plusieurs informaticiens. Elle s'est concrètement mise en pratique par la transformation des chorèmes en graphes, dont les étapes et enjeux sont présentées dans le tableau 3.7.

Une analyse longitudinale de ces séances proposée par Le Ber et Brassac (2008) montre alors que la modélisation du domaine a été difficile et a conduit à la mise à jour de nouveaux concepts de manière très variée, comme par la « découverte de concepts utilisés mais non nommés » (cf. figure 3.12). Cette analyse montre aussi que la définition d'un cas « porte sur des fragments d'espace dotés d'une organisation et d'une signification particulières » qu'il a été nécessaire d'expliciter pour en partager le sens. Là encore cette étape a donné lieu à beaucoup d'interactions entre les chercheurs et constitue un point de difficulté ; elle a également permis de confirmer les relations d'influence entre un problème et une solution, identifiées en amont par les enquêtes en exploitation agricole et formalisées dans les chorèmes.

```
(2001(7), 39'08)[6]
LAU : alors là je sais pas comment tu vas appeler ca
VIV : ben je sais pas
LAU : des parcs
VIV : englobant des .. des champs
LAU : mmm
VIV : mais c'est
LAU : c'est chaque parc individuellement qui contient des champs
VIV : ouais
THO : mmm
VIV : donc c'est pas un ensemble de parcs
LAU : oui
THO : c'est un ensemble de parcs contenant champs
VIV : et voilà et ca y est on a un concept
```

Figure 3.12 : extrait de discours entre agronomes et informaticiens lors de la modélisation du domaine (Le Ber et Brassac, 2008)

D'autres travaux en revanche, n'ayant pas accès aux connaissances des agriculteurs et/ou d'experts concernant les influences entre le problème et la solution des cas, mettent en œuvre des techniques d'apprentissage automatique pour identifier ces influences à partir de leurs données. C'est le cas par exemple des travaux de Du *et al*. (2010) et Du *et al*. (2012), qui utilisent les mesures de similarité *ad hoc*. Dans ces travaux, l'algorithme de classification choisi par les auteurs s'appuie sur la théorie des ensembles approximatifs (*rough set theory*) ; cette théorie permet de classer des objets à partir de peu de données et/ou de données incertaines et permet au système de RàPC développé par ces auteurs, un taux de réussite de l'ordre de 80% des prédictions.

4.2. Difficultés de définition de la similarité et des connaissances d'adaptation

Les connaissances de similarité ont la particularité d'être difficiles à modéliser car elles sont souvent incertaines et incomplètes (Cordier, 2008), multi-points de vue et doivent être orientées par l'adaptation (Cordier et Fuchs, 2006). De la même manière, les connaissances d'adaptation sont elles aussi incertaines et incomplètes et peuvent reposer sur des points de vue multiples.

Ainsi, pour le système ROSA, la recherche de connaissances de similarité s'est couplée à l'acquisition de connaissances d'adaptation. Elle s'est déroulée sur plusieurs séances et a consisté à comparer les chorèmes et/ou graphes de différentes exploitations et à en déduire des mesures de ressemblance et de dissemblance entre les structures spatiales et fonctionnelles (Le Ber et Brassac, 2008). Cette étape a nécessité une mobilisation forte de connaissances agronomiques et informatiques : tour à

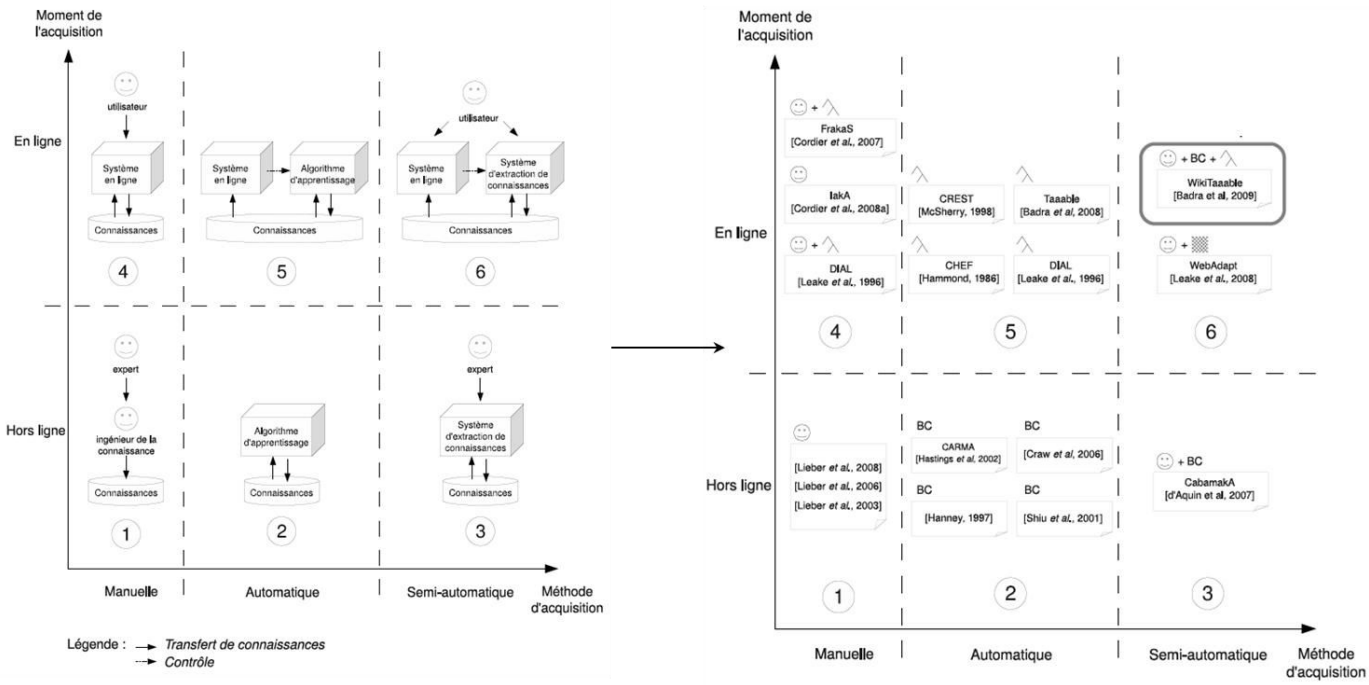
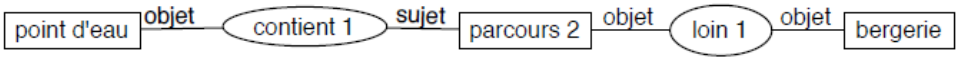


Figure 3.13 : panorama des principales approches d'acquisition de connaissances adapté de Badra (2009)



Explication : Le point d'eau dans le parcours attire les brebis bien que le parcours soit loin de la bergerie.

Figure 3.14 : exemple de cas pour lequel un point de vue d'attrait des brebis est présent (Metzger, 2005)

tour, les agronomes et informaticiens ont en effet proposé des rapprochements entre fragments de graphes différents. Cette étape a également nécessité la mise à jour de connaissances d'adaptation relatives au rapport entre structure spatiale et fonctionnement des exploitations « car elles étayent les arguments des uns et des autres pour justifier tel ou tel rapprochement entre une *es* (exploitation source) et une *ec* (exploitation cible) ». Les résultats de cette étape ont entre autres permis « un affinage du modèle du domaine avec introduction de nouveaux concepts (par différentiation) et remise en cause partielle de sa structure hiérarchique » (Le Ber et Brassac, 2008). Ces travaux montrent donc bien que cette étape est décisive, mais qu'elle relève cependant d'un processus long et itératif d'acquisition de connaissances.

D'autres méthodes d'acquisition des connaissances d'adaptation sont possibles. Ces méthodes sont présentées dans Lieber *et al*. (2004) et Badra (2009) : elles peuvent être automatiques ou à dires d'experts (cf. figure 3.13) en s'appuyant principalement sur des chemins de similarité.

La notion de point de vue a également été un élément de difficulté dans la conception du système ROSA (Metzger, 2005). L'auteur montre en effet que certaines explications peuvent être similaires tandis que les concepts du problème, classés dans une hiérarchie selon « un point de vue assez naturel » ne le sont pas. Par exemple, l'explication associée au graphe de la figure 3.14, signale que « le parcours est rendu intéressant pour l'exploitant par la présence du point d'eau qui attire les brebis et qui permet ainsi son pâturage ». Or cette explication est similaire dans le cas où une petite parcelle cultivée est contenue dans le parcours car celle-ci a aussi pour rôle d'attirer les brebis. Cependant, un champ (une surface cultivée) n'est pas comparable à un point d'eau (un aménagement ponctuel) selon la hiérarchie des concepts du système ROSA. Il faut donc introduire une notion supplémentaire, un point de vue, qui permet de rassembler des éléments *a priori* dissemblables : points de vue du déplacement, de surveillance, d'alimentation, de contraintes de déplacement occasionnées par des routes ou encore des agglomérations, etc.

4.3. Implications pour la thèse

Les difficultés présentées dans les parties précédentes reposent essentiellement sur l'acquisition des connaissances. Elles montrent qu'elles doivent reposer sur des connaissances fines du domaine. Pour modéliser l'insertion territoriale du miscanthus par RàPC, une compréhension fine des processus de décisions des agriculteurs sera donc nécessaire.

PARTIE 2 : PROBLEMATIQUE ET DEMARCHE GENERALE

Chapitre 4

Problématique et démarche générale de la thèse

1. Positionnement scientifique de la thèse

L'objectif de la thèse est de construire un modèle spatialement explicite de l'insertion territoriale du *Miscanthus x giganteus*, à partir des décisions prises par les agriculteurs. Comme nous l'avons montré dans les trois premiers chapitres du mémoire, cette thèse s'inscrit à l'interface entre quatre communautés de recherche (cf. figure 4.1).

Elle se positionne tout d'abord dans la continuité des recherches menées sur le consentement des agriculteurs à produire du miscanthus (cf. 1 dans figure 4.1). Elle vise à apporter de nouvelles connaissances sur ce consentement par une étude compréhensive des décisions des agriculteurs, prenant en compte une pluralité de dimensions de leurs décisions (sociales et techniques par exemple) et non uniquement les seules dimensions économiques, comme dans la plupart des travaux actuellement disponibles (cf. chapitre 1). Une attention particulière est notamment portée aux dimensions territoriales des décisions des agriculteurs, compte tenu de leur importance dans la prise de décision des agriculteurs relative au pilotage de l'EA et à la localisation des productions (cf. chapitre 1).

Ainsi, notre thèse se positionne dans la communauté de recherches menées en agronomie des territoires (cf. 2 dans la figure 4.1), où elle abordera le temps long des décisions d'organisation des territoires par les agriculteurs, *i.e.* celles qui concernent des couverts pérennes où se jouent les décennies à venir. Bien que l'insertion territoriale du miscanthus y soit une thématique nouvelle, nous nous appuierons sur ses connaissances et sur ses méthodes d'investigation de terrain pour construire et conduire nos propres enquêtes de terrain auprès des agriculteurs (cf. chapitres 5 et 6).

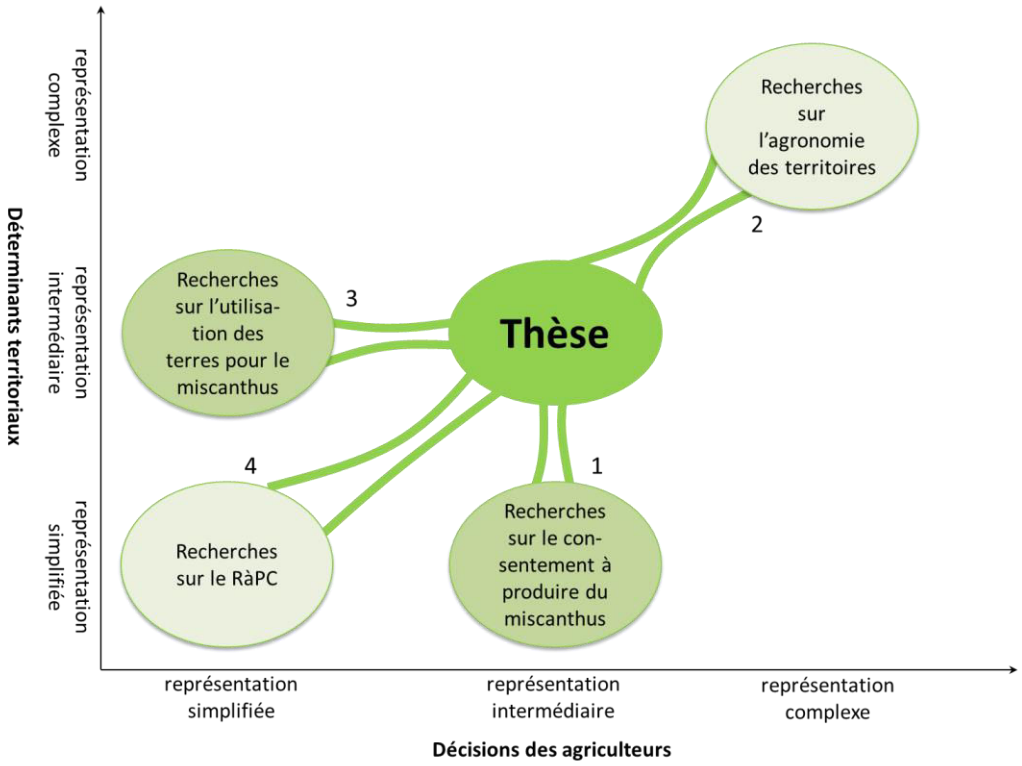


Figure 4.1 : positionnement scientifique de la thèse parmi quatre communautés de recherche

Ayant pour objectif principal d'élaborer un modèle spatialement explicite de l'insertion territoriale du miscanthus à partir des décisions explicitées par les agriculteurs, notre thèse se réfère aussi à la

communauté de recherche sur le changement de l'utilisation des terres (cf. 2 dans figure 4.1). Celle-ci modélise en effet les changements spatialement explicites d'utilisation des terres induits par l'insertion territoriale de cultures énergétiques, dont le miscanthus. En revanche, cette communauté peine à modéliser ces changements à partir des décisions des agriculteurs prises au niveau local. Ceci s'explique par les difficultés du changement de niveau d'organisation vertical ascendant (*scaling up*), couramment employé pour transposer ces décisions locales à des niveaux plus englobants (cf. chapitre 2). Or la récente remise en question du changement de niveau d'organisation vertical, au bénéfice d'un changement de niveau par dissémination horizontale (*scaling out*), nous conduit là encore à positionner notre thèse dans la continuité des recherches menées en agronomie des territoires. En effet, dans certains travaux, cette communauté utilise d'ores et déjà des méthodes de dissémination horizontale (cf. chapitre 2). Parmi ces travaux, le RàPC nous est plus particulièrement apparu être une méthode intéressante pour transposer des décisions d'une EA à une autre.

La quatrième communauté de recherche à laquelle nous rattachons cette thèse est donc celle du RàPC. Celle-ci ayant rarement modélisé des phénomènes complexes liés à l'organisation réelle des territoires et aux processus réels de décision des acteurs, notre thèse s'inscrit plus spécifiquement dans le cadre d'un nouvel apport méthodologique d'application du RàPC à de nouveaux domaines d'application.

2. Problématique de la thèse

Compte tenu des enjeux et des difficultés de modélisation des processus de décision complexes liés au territoire, pour le RàPC comme pour l'ensemble des communautés de recherche référentes, notre problématique de thèse a été construite dans une dimension essentiellement méthodologique afin de proposer un nouveau cadre de modélisation empirique et spatialement explicite, de l'organisation des territoires à partir des décisions des agriculteurs.

Notre problématique consiste plus particulièrement à identifier dans quelle mesure le RàPC peut aider à transposer des décisions prises dans un territoire particulier, à d'autres territoires similaires. Il s'agit de comprendre dans quelle mesure les connaissances de similarité entre EA ainsi que les connaissances de règles d'adaptation, pour transposer les décisions d'un territoire à un autre, peuvent être une alternative aux modèles experts pour modéliser des phénomènes nouveaux, pour lesquels une connaissance complète du domaine n'est pas toujours disponible. Il s'agit aussi d'évaluer dans quelle mesure le RàPC peut être une alternative aux méthodes de dissémination horizontale pour lesquelles la fréquente montée en généricité des décisions ne permet pas toujours de représenter, et par suite de résoudre, de manière appropriée les problématiques territoriales liées à un contexte local spécifique.

Pour répondre à cette problématique, un modèle de RàPC a donc été élaboré pour simuler l'insertion territoriale du miscanthus à partir des décisions des agriculteurs. Pour ce faire, des enquêtes successives ont préalablement été menées pour recueillir l'ensemble des connaissances nécessaires au modèle.

3. Démarche générale de la thèse

3.1. Un processus itératif d'acquisition des connaissances

En ayant comme objectif de modéliser par RàPC, l'insertion territoriale du miscanthus à partir des décisions des agriculteurs, la démarche générale de la thèse consiste à s'appuyer sur des résultats d'enquêtes portant sur les processus de décision des agriculteurs : nous voulons ainsi à la fois élaborer les connaissances du modèle et développer son moteur d'inférence. Cette démarche repose donc sur deux étapes majeures : la réalisation et l'analyse d'enquêtes en EA, et la conceptualisation et l'implantation du modèle. En pratique, cette démarche s'est construite selon un processus itératif d'acquisition de connaissances, donnant lieu à la réalisation de deux séries d'enquêtes et au développement de deux prototypes de RàPC (cf. figure 4.2).

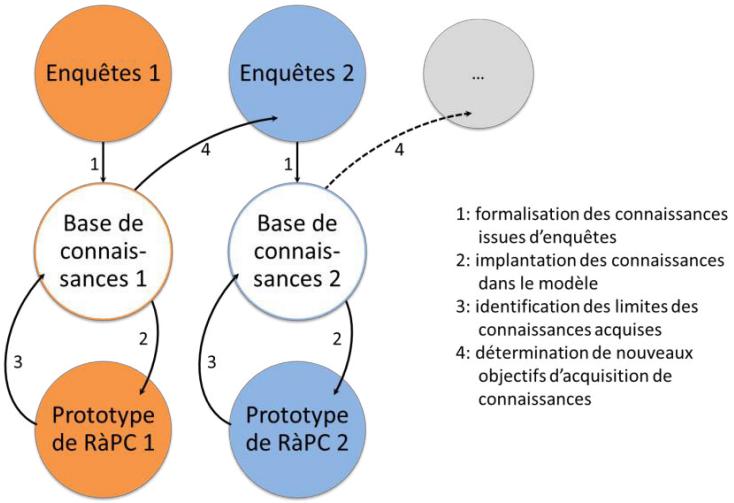


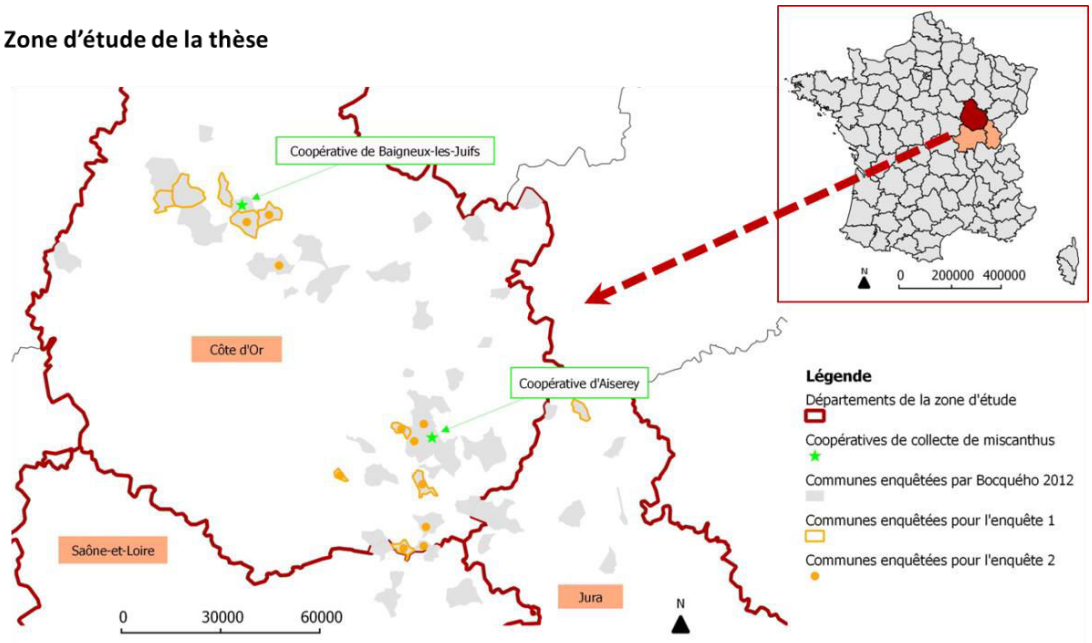
Figure 4.2 : processus itératif d'acquisition des connaissances nécessaires au développement du prototype 2 (SAMM) présenté dans cette thèse

En effet, une première série d'enquêtes menées en EA a eu pour objectif d'identifier les déterminants de l'insertion territoriale du miscanthus au niveau de décision de l'EA (cf. chapitre 5, partie 1). Un premier prototype de RàPC a alors été élaboré en représentant un cas au niveau de l'EA (cf. figure 4.2). Cependant, les difficultés de spatialisation des solutions prédites par le prototype de RàPC 1 nous ont conduits : (i) à remettre en question la représentation des cas au niveau de l'EA (cf. chapitre 6, partie 1) et (ii) à déterminer de nouveaux objectifs d'acquisition de connaissances au niveau de la parcelle (cf. chapitre 5, partie 2). Par ailleurs, en raison de l'inadéquation du prototype 1 conçu au niveau de l'EA, pour modéliser les décisions prises au niveau de la parcelle, le prototype 2 a donc été développé indépendamment du prototype 1. C'est pour cette raison que ce processus itératif d'acquisition de connaissances a donné lieu au développement distinct de deux prototypes de RàPC (cf. figure 4.2).

C'est pour cette raison aussi que nous ne présenterons pas le prototype 1 en tant que tel dans le chapitre 6 sur la modélisation par RàPC, mais que nous ferons seulement référence à ce travail en termes d'acquisition de connaissances pour l'élaboration du deuxième prototype (cf. chapitre 6, partie 1). Nous ferons également référence au prototype 1 dans le chapitre 5 partie 2, pour expliquer les choix des nouveaux champs d'investigation de la deuxième série d'enquêtes. Néanmoins, une présentation synthétique du prototype 1 est présentée en annexe 1. Pour plus de détails, le lecteur peut également se référer au mémoire de fin d'étude de Lacheheb (2012).

3.2. Une zone d'étude aux territoires pédoclimatiques et agricoles contrastés

Les deux séries d'enquêtes sur les processus de décision des agriculteurs liés à l'insertion territoriale du miscanthus ont été menées en région Bourgogne, et majoritairement dans le département de la Côte-d'Or (cf. carte 4.1). Cette zone d'étude a été choisie pour trois raisons principales.



Carte 4.1 : zone d'étude de la thèse délimitée par la zone d'enquêtes de Bocquého (2012)
(Source personnelle / données : GEOFLA et Bocquého, 2012)

3.2.1. Une zone d'étude où coexiste deux dynamiques territoriales d'implantation et de collecte de miscanthus

La zone d'étude est marquée par la présence, dans le département de la Côte-d'Or, de deux coopératives agricoles qui collectent du miscanthus respectivement depuis 2006 et 2008 (cf. carte 4.1). La SCA[23] de la Haute Seine, située à Baigneux-les-Juifs et dont l'activité principale repose sur la déshydratation de luzerne, collecte 50 ha de miscanthus. La filière miscanthus a été initiée en 2006 pour réduire les coûts énergétiques de fonctionnement de l'usine, par une substitution de la combustion du fuel par celle du miscanthus. La SICA[24] Bourgogne Pellets, située à Aiserey collecte actuellement 386 ha de miscanthus. Cette ancienne sucrerie a lancé le projet en 2008 pour convertir son site industriel de production de granulés de pulpes de betterave, en production de granulés de bois et de miscanthus. Cette conversion s'explique par la réforme de l'OCM[25] sucre, adoptée par le Conseil de l'Union Européenne en 2006, ayant eu pour conséquences : (i) l'abandon de quotas de production pour tous les producteurs du bassin de collecte de la sucrerie, (ii) la fermeture de la sucrerie et (iii) le développement sur l'ancien site de la sucrerie, d'une filière de transformation du miscanthus. Or les investissements liés au lancement de cette nouvelle filière ont été subventionnés par des fonds européens (FEAGA[26]) *via* le programme de restructuration national du sucre (PRN) ; par ces mêmes fonds, des aides ont aussi été attribuées aux EA pour favoriser leur diversification, en prenant en charge une partie du coût d'implantation du miscanthus (entre 40 et 60% du coût)

[23] Société Coopérative Agricole
[24] Société d'Intérêt Collectif Agricole
[25] Organisation Commune du Marché du sucre
[26] Fonds Européens de Garantie Agricole

jusqu'en 2011. Ainsi, les EA qui ont été éligibles à ces aides appartiennent aux communes ayant eu au moins un hectare de betteraves sucrières déclaré en 2007, parmi 18 Petites Régions Agricoles (PRA), dont la Plaine (PRA d'Aiserey) et le Plateau langrois Montagne (PRA de Baigneux-les-juifs) ; la totalité des producteurs de miscanthus de la coopérative d'Aiserey a donc bénéficié de ces aides ainsi qu'une partie des producteurs de la coopérative de Baigneux-les-Juifs. Par ailleurs, indépendamment de ces aides, les deux coopératives ont proposé à leurs adhérents la garantie d'un même prix minimum de 70€ par tonne de matière sèche et la garantie de débouchés (qui aujourd'hui s'orientent aussi bien vers le chauffage que la litière animale et les biomatériaux).

Cette zone d'étude présente donc de multiples intérêts :
- D'abord, les dynamiques actuelles de développement de ces deux filières de collecte permettent d'enquêter des EA sur lesquelles les processus de décision sont en cours.
- Ensuite, la présence des deux coopératives sur le même département permet d'enquêter des EA pour lesquelles les conditions économiques d'implantation du miscanthus restent assez proches ; cette proximité de conditions économiques permet alors de s'affranchir des seules modalités financières pour expliquer les processus de décision des enquêtés.
- Enfin, cette zone représente un pôle important au plan national de développement du miscanthus : ainsi en 2010, les bassins de collecte des coopératives de Baigneux-les-Juifs et d'Aiserey représentaient à elles seules 11% des implantations nationales de miscanthus, soit plus de 275 ha répartis dans 94 EA avec des sièges se situant dans les départements de Côte-d'Or, de Saône-et-Loire (région Bourgogne) et du Jura (région Franche-Comté) (Bocquého, 2012) (cf. carte 4.1).

Pour toutes ces raisons cette zone d'étude concentre une dynamique d'insertion territoriale du miscanthus importante, et intéressante à la fois pour comprendre mais aussi pour modéliser les processus de décision des agriculteurs.

3.2.2. Une zone d'étude aux données accessibles sur les EA

Cette zone d'étude a également été choisie pour la « facilité » d'accès aux données générales sur les EA, à des fins d'échantillonnage. En effet, les deux bassins de collecte de miscanthus présentés dans la partie précédente, constituent aussi la zone d'étude de la thèse en économie de Bocquého (2012), menée, comme nous, dans le cadre du projet FUTUROL. A ce titre, nous avons pu bénéficier des données de la doctorante pour construire nos échantillons d'enquêtes (cf. chapitres 5 et 6).

Les données de Bocquého (2012) décrivent 111 EA par 552 variables portant sur : les caractéristiques générales de l'EA, les caractéristiques socio-démographiques de l'agriculteur et les préférences de l'agriculteur face aux risques économiques étudiés. Les 111 EA décrites dans cette base de données correspondent à 60 EA productrices de miscanthus et à 51 EA non productrices de miscanthus. Elles représentent ainsi 64% des producteurs de miscanthus des deux bassins de collecte et 10% des non producteurs de ces deux bassins, identifiés à partir de la liste des agriculteurs percevant les aides PAC de 2008 et dont le siège d'EA a été déclaré dans une commune où il existe au moins un producteur de miscanthus. Signalons qu'à l'origine, 80 EA productrices de miscanthus et 152 EA non productrices de miscanthus avaient été contactées pour mener les enquêtes, représentant respectivement 85% des EA productrices de miscanthus et 30% des EA non productrices de miscanthus. Ainsi, 48% des EA contactées ont accepté de participer à l'enquête de Bocquého (2012).

Pour notre thèse, nous avons choisi de nous appuyer sur cet échantillon de 111 EA pour deux raisons. La première est que le nombre d'EA décrites dans la base de données de Bocquého (2012) a été suffisant pour échantillonner nos propres EA à enquêter (cf. tableau 4.1). En effet, compte tenu de la démarche compréhensive que nous avons choisi d'adopter pour mener les deux séries d'enquêtes, reposant sur des entretiens ouverts et dont l'analyse est fondée sur le discours (cf. chapitre 5), seuls 16% des EA de la base de données de Bocquého (2012) ont constitué nos propres échantillons d'enquêtes (cf. tableau 4.1 et 4.2).

	EA productrices de miscanthus		EA non productrices de miscanthus	
	Coop A	Coop B	Coop A	Coop B
111 EA : enquêtes de Bocquého, 2012	45	15		
11 [a] EA : enquêtes 1 (1ère année de thèse)	4 [a]	5	2	0
14 [b] EA : enquêtes 2 (3ème année de thèse)	8 [b]	3	2	1
18 [c] EA : total des enquêtes 1 et 2	9 [c]	6	2	1

[a]. En première année, nous avons enquêté 10 EA. Comme l'une d'elle est en réalité composée de 2 statuts juridiques différents, celle-ci a été dissociée dans la base de données de Bocquého (2012) (dissociation que nous n'avons pas faite dans la thèse étant donné le matériel commun et l'organisation commune du travail entre les 2 structures). Cette dissociation explique donc l'effectif de 11 EA enquêtées en première année dans ce tableau.
[b]. En troisième année, nous avons enquêté 13 EA. Parmi elles, 6 ont été enquêtées en première année de thèse (cf. chapitre 5), dont l'EA citée dans la note précédente, ayant 2 statuts juridiques différents. A ce titre, les 13 EA enquêtées en troisième année renvoient aux 14 EA de la base de données de Bocquého (2012).
[c]. Au total 17 EA ont été enquêtées durant la thèse. Pour les mêmes raisons que pour les 2 notes précédentes, ces 17 EA se réfèrent à 18 EA de la base de données de Bocquého (2012); cet échantillon d'enquêtes représente alors 16% des EA enquêtées par Bocquého (2012).

Tableau 4.1 : Echantillon des enquêtes 1 et 2 parmi les 111 EA enquêtées

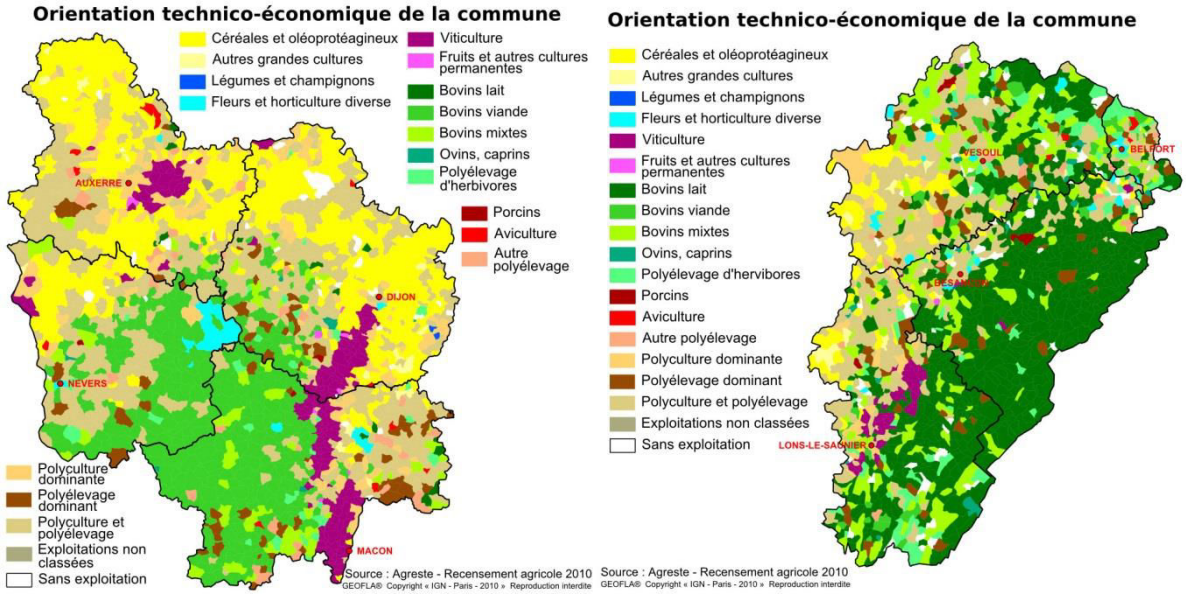
	France	Jura [a]	Saône-et-Loire [a]	Côte-d'Or [a]	Enquêtes Bocquého 2012	Enquêtes 1 et 2 de la thèse
Nombre d'EA	312 000	1 900	5 400	3 800	102 [b]	18 [c]
SAU moyenne	94 ha	n.a.	117 ha	159 ha	169 ha	223 ha
Statut juridique : Individuel	55%	n.a.	60%	42%	38%	28%
Statut juridique : GAEC	12%	n.a.	13%	12%	20%	17%
Statut juridique : EARL	25%	n.a.	22%	32%	39%	44%
Statut juridique : Autre	8%	n.a.	5%	14%	3%	11%
Activité : Céréalière	27%	12%	8%	49%	74%	83% [d]
Activité : Polyculture-élevage	15%	12%	11%	23%	22%	11% [d]
Activité : Elevage	13%	6%	58%	16%	4%	0% [d]
Activité : Autre	46%	71%	23%	12%	<1%	6% [d]
Part des terres en propriété	n.a.	n.a.	29%	31%	32%	34%
Agri de moins de 40 ans	19%	22%	23%	22%	15%	22%
Agri de plus de 40 ans	81%	78%	77%	78%	85%	78%

[a]. Données issues du recensement agricole 2010
[b]. Parmi les 111 EA enquêtées par Bocquého (2012), 102 ont répondu à l'intégralité du questionnaire. C'est donc à partir de ces 102 EA que Bocquého (2012) a établi l'ensemble de son étude et par suite des statistiques présentées dans ce tableau.
[c]. L'ensemble des EA enquêtées durant la thèse correspond à 17 EA, mais comme l'une d'elle a été dissociée en 2 EA distinctes dans la base de données de Bocquého (2012), nous nous référons ici à 18 EA
[d]. L'activité renseignée dans ce tableau correspond aux OTEX du RICA. Elle renseigne de l'activité principale de l'EA estimée selon le critère de marge brute standard de l'EA. Elle ne renseigne donc pas de l'exhaustivité des ateliers de production en présence sur l'EA et sous-estime, dans notre échantillon, la part d'EA en polyculture-élevage ou reposant sur d'autres productions.

Tableau 4.2 : Echantillon des enquêtes 1 et 2 parmi les 111 EA enquêtées (adapté de Bocquého, 2012)

La seconde raison est que les caractéristiques générales des EA de la base de données de Bocquého (2012) (taille de l'EA, statut juridique, âge de l'agriculteur, proportion de terres en faire valoir direct) sont représentatives de celles des EA des trois départements constituant le bassin de collecte des deux coopératives étudiées (cf. tableau 4.2). Notons toutefois que cet échantillon surreprésente les EA céréalières au détriment des EA d'élevage et de petites productions, et que cette surreprésentation des EA céréalières s'est donc répercutée sur notre échantillon d'enquêtes (cf. tableau 4.2). Cette surreprésentation des EA céréalières s'explique par la localisation des deux coopératives dans deux zones agricoles caractérisées par de nombreuses EA céréalières et de polyculture-élevage (cf. carte 4.2 et partie suivante). Cette surreprésentation, dans notre échantillon d'enquêtes, est également à relativiser compte tenu du fait que les activités renseignées dans la base de données de Bocquého (2012) correspondent aux OTEX (Orientations Technico-économiques des

Exploitations) du RICA (Réseau d'Information Comptable Agricole) classant les EA en fonction de leur activité principale estimée sur un critère de marge brute standard. Ainsi, certaines EA classées en céréalières peuvent néanmoins avoir une activité d'élevage ou d'autres ateliers de production. De ce fait, si nous classons les EA que nous avons enquêtées selon l'exhaustivité des ateliers de production en présence, seules 59% d'entre elles seraient céréalières, 29% seraient en revanche en polyculture-élevage et 12% reposeraient sur d'autres productions (fleurs et légumes). Par conséquent, cette autre classification rapproche davantage notre échantillon d'enquêtes des caractéristiques d'EA de Côte-d'Or, lui conférant ainsi une assez bonne représentativité des EA des deux bassins de collecte de la zone d'étude.



Carte 4.2 : Orientation technico-économique de la commune des régions Bourgogne et Franche-Comté (source : Agreste - recensement agricole 2010)

Signalons que sur les 111 EA enquêtées par Bocquého (2012), 102 EA ont répondu à l'ensemble du questionnaire d'enquête de la doctorante : à ce titre, les résultats d'enquêtes de Bocquého (2012) portent uniquement sur 102 EA (cf. tableau 4.2). Dans notre thèse, pour construire nos propres échantillons d'EA à enquêter, nous avons en revanche choisi de garder l'échantillon initial de 111 EA, dans la mesure où cet échantillon renseigne l'ensemble des variables nécessaires à l'échantillonnage de nos deux séries d'enquêtes (cf. tableau 4.3 et chapitre 5 partie 2).

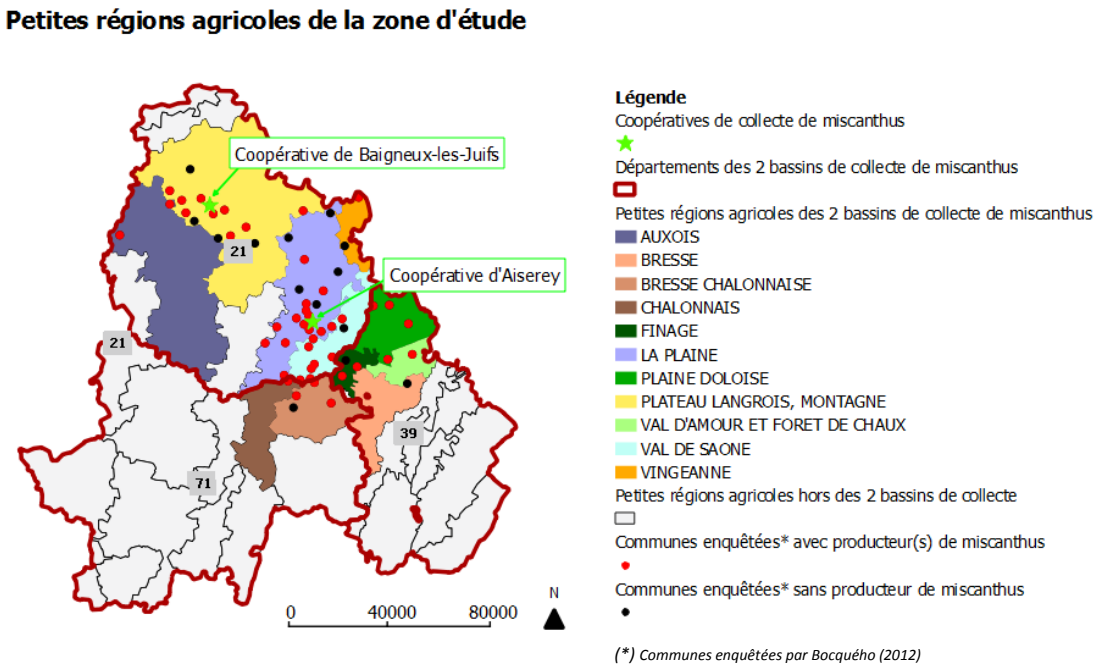
	Critère pour échantillon 1	**Critère pour échantillon 2**
Activité principale	X	X
Production de miscanthus	X	X
Coopérative de collecte du miscanthus	X	X
Modalités éventuelles de succession		X

Tableau 4.3 : Variables issues des données de Bocquého (2012) utilisées pour les échantillons 1 et 2 de la thèse

3.2.3.Une zone d'étude contrastée du point de vue pédoclimatique et agricole

Outre l'accessibilité des données Bocquého (2012), cette zone d'étude a aussi été choisie pour la diversité de sa situation pédoclimatique et par suite, de ses petites régions agricoles[27].

Les 11 petites régions agricoles (PRA) de la zone d'étude, représentées dans la carte 4.3, ont été reconstituées à partir de la localisation des 62 communes des 111 EA enquêtées par Bocquého (2012). Parmi elles, toutes contiennent des communes avec producteur(s) de miscanthus sauf la PRA de la Bresse, exclusivement composée d'EA non productrices de miscanthus. L'essentiel des communes avec producteur(s) de miscanthus se situe dans 3 PRA de Côte-d'Or : le Plateau Langrois Montagne, dont les producteurs de miscanthus approvisionnent majoritairement la coopérative de Baigneux-les-Juifs, la Plaine et le Val de Saône, pour lesquelles les producteurs approvisionnent la coopérative d'Aiserey. C'est donc à partir de ces 3 PRA que nous allons décrire la diversité des situations agricoles et pédoclimatiques de la zone d'étude.



Carte 4.3 : reconstitution des PRA de la zone d'étude à partir des communes enquêtées par Bocquého (2012) (Source personnelle / données : Agreste et Bocquého 2012)

<u>Le Plateau Langrois Montagne</u>

La PRA du Plateau Langrois Montagne fait référence pour partie à la région naturelle des Plateaux calcaires bourguignons (appelée aussi Plateaux de Bourgogne) (Le Roy, 2007 ; Guichard et Ballot, 2010 ; Lesur, 2012) regroupant les petites régions naturelles des plateaux du Chatillonnais et de la montagne nord-dijonnaise (cf. figure 4.3). Les Plateaux calcaires bourguignons sont de formation jurassique. Ils se situent dans le prolongement du plateau de Langres et s'élèvent à une altitude comprise entre 300 et 600 m. Le climat est continental à tendance montagnard, se traduisant par de fortes amplitudes thermiques. Les sols y sont globalement superficiels et caillouteux : ils sont de type argilo-calcaire, avec des teneurs en argile et en calcaire variables (Guichard et Ballot, 2010 ; Lesur, 2012). Ces sols argilo-calcaires sont caractérisés par une forte hétérogénéité intra-parcellaire. Dans l'ensemble, la capacité de stockage en eau de ces sols est très faible (cf. carte 4.4), limitant la part

[27] Au sens de l'INSEE, une petite région agricole est déterminée en fonction de sa vocation agricole dominante. C'est une zone géographique composée de communes entières, respectant les frontières départementales.

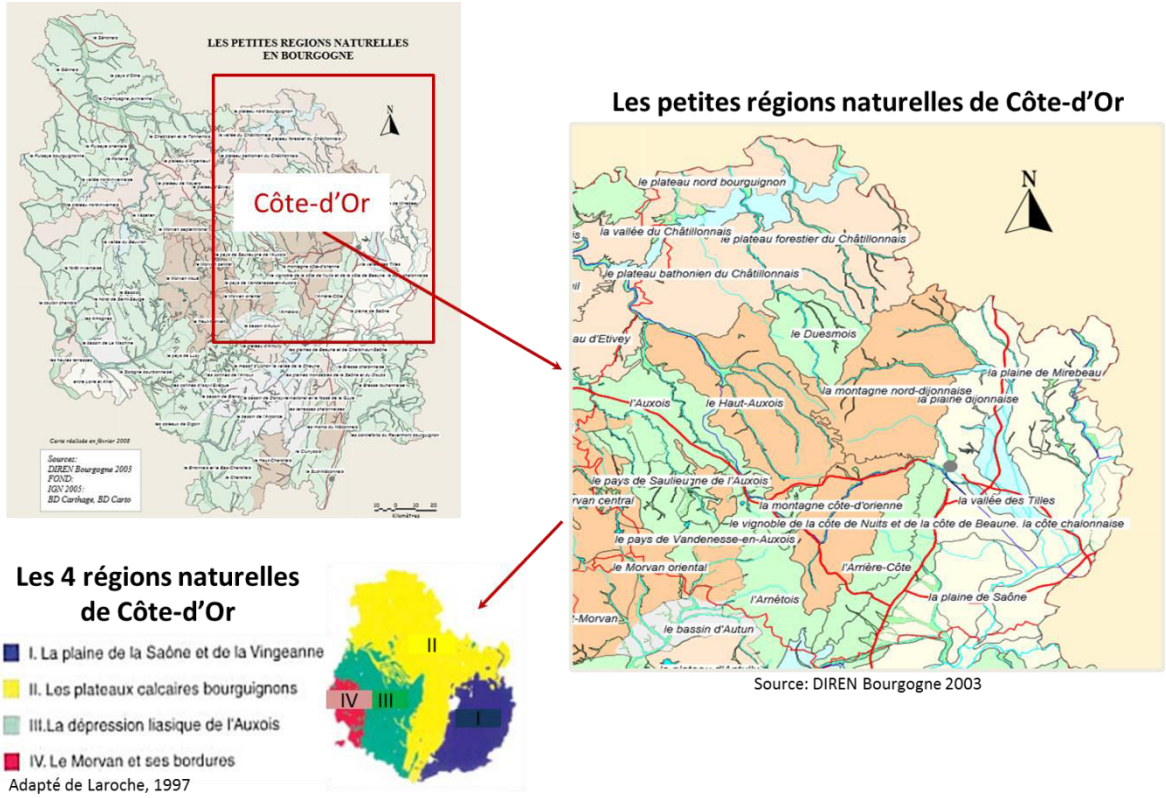
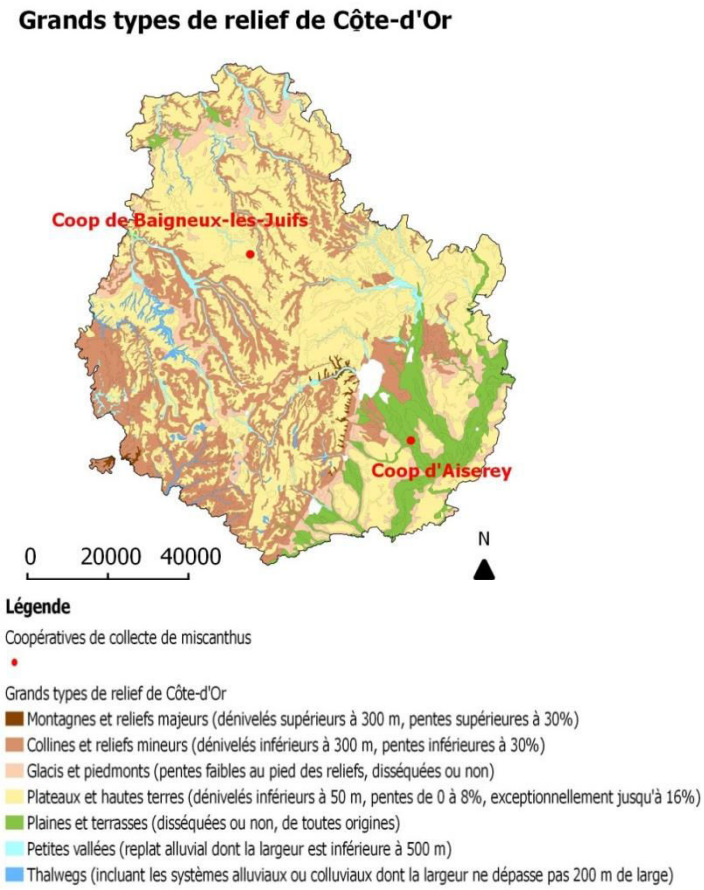
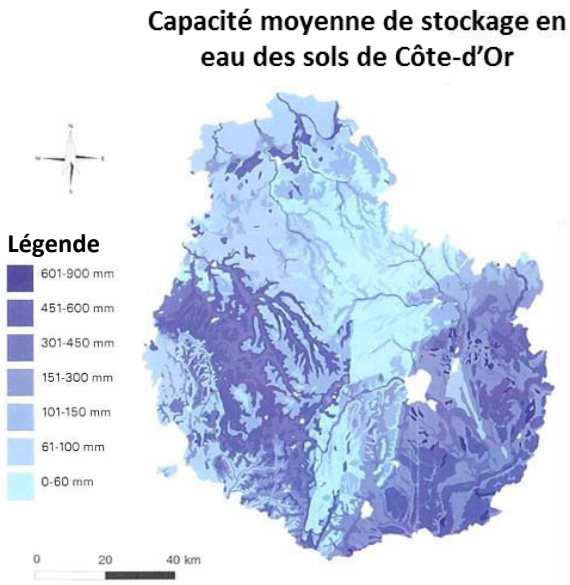


Figure 4.3 : les 4 régions naturelles de Côte-d'Or et ses petites régions naturelles





Carte 4.4 : Capacité moyenne de stockage en eau des sols de Côte-d'Or
(Source : Laroche, 1997)

Carte 4.5 : les grands reliefs de Côte-d'Or
(Source personnelle - données : DoneSOL, département 21 au 1/250 000, INRA, unité INFOSOL Orléans, 1998)

des soles de cultures de printemps, ainsi que le potentiel agronomique des parcelles, pour lesquelles les rendements en blé tendre d'hiver sont en moyenne compris entre 58 et 75 quintaux/ha (Guichard et Ballot, 2010). La gestion quantitative de la ressource en eau est donc un enjeu majeur pour les EA situées sur ce plateau. Les sols de vallées entaillant le plateau (cf. carte 4.4) sont quant à eux plus argileux et plus profonds : il s'agit d'alluvions argileux, caractérisés par une bonne réserve utile (cf. carte 4.5) et une bonne teneur en matière organique (Guichard et Ballot, 2010 ; Lesur, 2012). Ces sols sont majoritairement inondables et souvent dédiés aux prairies.

La Plaine et le Val de Saône

Les PRA de la Plaine et du Val de Saône font référence à la Plaine de la Saône et de la Vingeanne (cf. figure 4.3) aussi appelée Plaine de la Saône et le Dijonnais (Lesur, 2012), soit une région naturelle, elle-même composée des petites régions naturelles de la plaine dijonnaise, de la vallée des Tilles et de la plaine de la Saône (cf. figure 4.3). La Plaine de la Saône et le Dijonnais est comprise entre 180 et 240 m d'altitude. Elle est sous trois influences climatiques, *i.e.* océanique, continentale et méditerranéenne, permettant un niveau d'ensoleillement important, des pluies relativement bien réparties sur l'année, et une rapide transition entre les hivers froids et longs et les étés chauds et orageux (cf. figure 4.4). La Plaine de la Saône et le Dijonnais est de formation tertiaire (Le Roy, 2007). Elle repose sur quatre grands ensembles pédologiques, formés de plateaux, de plaines et de terrasses (cf. carte 4.4). Les plateaux pliopléistocènes aux sols lessivés couvrent environ 1/3 de la région naturelle. Ils sont couverts par des massifs forestiers et par leurs bordures cultivées (Lesur, 2012). Globalement, ces sols sont profonds, de type limon battant et souvent hydromorphe (Guichard et Ballot, 2010 ; Lesur, 2012). Les plaines alluviales quant à elles, issues du plateau bourguignon, correspondent pour partie à la petite région naturelle de la vallée des Tilles. Ces plaines alluviales constituent une région agricole de grandes cultures. Les sols, ponctuellement riches en alluvions et calcaires, sont globalement de type limon argileux profond et de type limon battant drainé (Guichard et Ballot, 2010 ; Lesur, 2012). Le Val de Saône, lui, correspond à la petite région naturelle de la plaine de Saône (cf. figure 4.3). Il est composé pour partie de terrasses sableuses et d'une nappe d'eau souterraine facilement accessible. Les sols correspondant à ces terrasses sont de type argilo-sableux : ils sont globalement dédiés à la culture maraîchère. Pour autre partie, le Val de Saône est aussi composé d'une plaine alluviale inondable. Les sols de cette plaine sont de type alluvions argileux: ils sont globalement dédiés aux céréales et aux prairies pour sa partie inondable (Guichard et Ballot, 2010 ; Lesur, 2012).

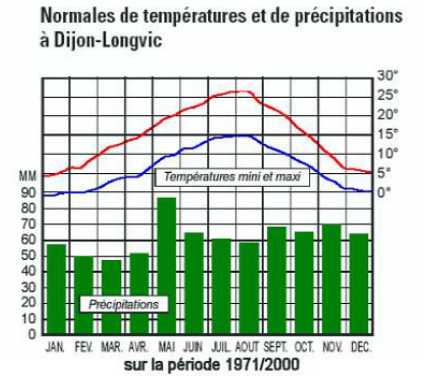


Figure 4.4 : caractéristiques climatiques de la station de Dijon-Longvic (d'après Le Roy, 2007)

Ainsi, dans l'ensemble, la Plaine de la Saône et le Dijonnais se distingue fortement des Plateaux calcaires bourguignons, de par le relief (cf. carte 4.4), la profondeur du sol, la forte capacité de stockage en eau de ses sols (cf. carte 4.5). Nous faisons alors l'hypothèse que cette diversité pédoclimatique permettra de collecter lors de nos enquêtes une diversité de processus de décision relatifs à l'insertion du miscanthus.

PARTIE 3 : RESULTATS

Préambule

Pour rappel, le chapitre 1 portant sur les connaissances disponibles sur les processus de décision des agriculteurs relatifs à l'insertion territoriale du miscanthus, souligne le besoin de conduire une nouvelle étude pour appréhender la dimension systémique des processus de décision des agriculteurs. En effet, cette dimension est complétement absente dans la littérature alors qu'elle se révèle être nécessaire à la compréhension des décisions des agriculteurs liées à l'organisation des territoires selon les agronomes (cf. chapitre 1).

Pour ce faire, deux enquêtes ont été menées en région Bourgogne, plus spécifiquement en Côte-d'Or (cf. chapitre 4, parties 3.1 et 3.2). La première a visé à identifier les déterminants des décisions des agriculteurs au niveau de l'EA. Elle s'est déroulée en première année de thèse et a été menée dans 10 EA à l'aide d'entretiens compréhensifs. La seconde a visé à approfondir les décisions spatialement explicites des agriculteurs et à identifier ainsi les règles de décision d'insertion territoriale de la culture prises au niveau de la parcelle. Elle s'est déroulée en troisième année de thèse et a été menée dans 13 EA sous la forme d'entretiens ouverts.

Dans cette partie 3, nous présenterons tour à tour ces deux enquêtes dans les chapitres 5 et 6, en exposant d'une part, la méthodologie ayant servi à leur construction et d'autre part, les principaux résultats qui en sont issus.

Chapitre 5

Les déterminants de l'insertion territoriale du miscanthus au niveau de l'exploitation agricole

Les résultats de l'enquête sur les déterminants de l'insertion territoriale du miscanthus au niveau de l'EA, présentés dans ce chapitre, correspondent à un article publié dans l'Espace Géographique (cf. encadré ci-dessous). Cet article figure ici dans son intégralité. Nous y rappelons dans une première partie les enjeux de l'insertion territoriale du miscanthus (cf. aussi introduction générale), puis les enjeux de la modélisation du changement de l'utilisation des terres/sols dans une deuxième partie (cf. chapitre 2). Nous présentons dans une troisième partie la méthodologie d'échantillonnage, de conduite et d'analyse des entretiens. Les résultats de l'étude sont présentés dans une quatrième partie ; ils précédent des conclusions et une discussion sur l'apport de ces résultats aux modèles existants de changement de l'utilisation des terres, avec en perspective l'utilisation du RàPC comme solution possible pour modéliser des décisions fines prises au niveau local sans changement de niveau d'organisation vertical (cf. chapitre 2).

L'insertion territoriale des cultures biomasses pérennes : le cas du miscanthus par dix agriculteurs de Côte d'Or

Article publié dans l'Espace Géographique en 2012* et co-rédigé par Laura Martin[1], Julie Wohlfahrt[1], Florence Le Ber[2], Marc Benoît[1]

[1]*INRA ASTER-Mirecourt*
662 avenue Louis-Buffet - 88500 Mirecourt

[2]*LHYGES-ENGEES & LORIA*
1 quai Koch - BP 61039 - 67070 STRASBOURG CEDEX

Abstract
The allocation of the new biomass crop miscanthus deals with land use changes. Thus nowadays, spatial allocation models are useful to help landowners to prevent landscape changes and the food / non-food competition over there. Considering the lack of information about farmers' choices, it is necessary to perform a deep understanding of miscanthus adoption and allocation factors, before building any model. This paper exposes the results of a French case study, where we interviewed ten farmers, showing the complexity of farmers' decision-making processes and the variety of miscanthus allocation practices.

Key words
Decision-making support - miscanthus - modeling - prospective study - land use

1. Introduction

La production d'énergies renouvelables pour compenser le déclin des ressources fossiles est un nouveau défi lancé aux territoires (Tilman *et al*., 2009). Outre l'utilisation du vent, du soleil, du sous-sol terrestre et de l'eau pour produire de la chaleur et de l'électricité renouvelables, la mobilisation croissante de la biomasse issue des territoires agricoles et forestiers apparaît comme une tendance lourde (Fuel Quality Directive, 2009 ; Renewable Energy Directive, 2009). Pourtant, l'exploitation de la biomasse dédiée à l'énergie entraîne des pressions sur le territoire, comme le changement direct et indirect de l'usage des sols (Schalermann et Laurance, 2008 ; Williams *et al*., 2009 ; Gawel et Ludwig, 2011). Un des risques majeurs qui en découle en est la concurrence de l'usage alimentaire / non alimentaire des sols agricoles, qui pourrait mener à une dérégulation des marchés mondiaux de matières premières. Aujourd'hui, le défi énergétique lancé aux territoires est d'autant plus fort qu'une vague de cultures agricoles dédiées exclusivement à l'énergie et à d'autres usages non alimentaires (éco-construction, paillage, phytoremédiation) arrive en Europe (Antizar-Ladislao et Turrion-Gomez, 2008).

Parmi ces cultures, le Miscanthus x giganteus, plante herbacée pérenne originaire d'Asie, attire plus particulièrement l'attention des industriels et des politiques publiques (Stampfl *et al*., 2007) pour sa forte capacité de production de biomasse et ses faibles exigences en fertilisation et protection sanitaire (Simon *et al*., 2010). En France, les premières implantations du miscanthus datent de 2006 ; depuis, les surfaces d'implantation n'ont cessé d'augmenter (Carton *et al*., 2008) pour atteindre une surface totale de 2000 ha en 2009 (Anonyme, 2009). Sans que l'on connaisse encore bien les risques de cette espèce particulière à se comporter comme une espèce invasive (Schnitzler, 2011), le miscanthus est caractérisé par sa grande taille (de 2 à 4 m de hauteur) entraînant un risque de fermeture du paysage (Pointerau *et al*., 2009), dont les conséquences sur la biodiversité (Dauber *et al*., 2010) et l'environnement (Williams *et al*., 2009) ne sont pas encore connues. Ces dynamiques d'implantation soulèvent alors des questions majeures pour l'aménagement des territoires, comme la réorganisation des territoires sur le long terme (la durée d'implantation du miscanthus est d'environ 15 ans) et la concurrence d'usage des sols.

Pour répondre à ces questions et aider les décideurs à aménager le territoire, une modélisation prospective spatialement explicite est nécessaire. La compréhension des dynamiques spatiales en est alors un préalable pour construire et spatialiser des scénarios d'évolution (Voiron, 2006). Or l'insertion du miscanthus dans le territoire est un phénomène nouveau. Peu de statistiques permettent aujourd'hui d'expliquer ces dynamiques spatiales. Une étude préalable sur l'identification des déterminants de la localisation du miscanthus dans le territoire a donc été réalisée, dans le but de construire un modèle de localisation. Nous présentons dans cet article, les résultats de cette étude menée en Côte d'Or auprès de 10 agriculteurs.

2. L'enjeu d'amélioration des modèles d'usage des sols

Des modèles de localisation des cultures énergétiques existent déjà. Cependant la plupart de ces modèles tient peu compte de dynamiques spatiales directement liées aux pratiques locales. Ces modèles, travaillant souvent à grande échelle définissent des règles de localisation des cultures énergétiques à partir de contraintes arbitraires et absolues, comme l'impossibilité de cultiver du miscanthus à la place des prairies permanentes et des pâturages en zone inondable (Lovett *et al*., 2009). Les règles de décisions humaines quant à elles sont modélisées par optimisation économique (Briassoulis, 2000). Ainsi, Föster *et al*. (2008) excluent les cultures énergétiques des meilleurs types de sols, dédiés selon eux aux cultures les plus rentables de l'exploitation agricole et le modèle de Hellmann et Verburg (2008) exclut les cultures énergétiques des terres marginales par manque de rentabilité. Or la prise en compte des pratiques locales existantes permet de mieux lier les modèles d'usage des sols aux comportements des acteurs qui transforment le territoire (Rizzo, 2009). Par exemple, modéliser la localisation des cultures énergétiques en intégrant les successions de cultures majoritaires dans le territoire agricole permet une meilleure validité du modèle (Gaucherel *et al*., 2010).

Ainsi, la modélisation de la localisation des cultures énergétiques doit intégrer les variables relevant des interactions de l'agriculteur avec l'espace. Le territoire agricole pouvant être considéré comme le résultat de ces interactions, des travaux d'agronomes, d'anthropologues et de géographes montrent que la localisation des cultures dans le territoire agricole serait le produit d'un processus de décision complexe (Osty, 1976 ; Benoît, 1985 ; Capillon et Sebillotte, 1986). La compréhension de la localisation des systèmes de cultures nécessite notamment de prendre en compte le comportement de l'agriculteur et les représentations psycho-sociologiques de ses pratiques, de l'environnement immédiat de son exploitation et de son milieu (Petit, 1981 ; Bonneviale, 1989 ; Marie *et al*., 2008). Or, modéliser des systèmes complexes par le couplage de variables biophysiques et humaines renvoie à des enjeux méthodologiques majeurs du Land Change Science (Rindfuss *et al*., 2004). Gaucherel *et al*.

(2010) soulignent également la difficulté à prendre en compte ces processus de décision souvent uniques, pour construire les modèles.
Nous proposons donc de modéliser les processus de décision des agriculteurs en nous appuyant sur le modèle du raisonnement à partir de cas, proche du raisonnement analogique et issu des travaux en sciences cognitives et en intelligence artificielle (Riesbeck et Schank, 1989). Ce modèle en effet est particulièrement adapté à la représentation de domaines où l'on dispose de peu d'expertise formalisée, mais où il existe un certain nombre d'expériences - qu'on appelle des cas - utilisables pour la compréhension et la résolution de nouvelles situations ou problèmes. L'idée sous-jacente est que des problèmes ou situations « proches » peuvent se résoudre d'une manière « similaire ». De plus, c'est un modèle itératif qui s'enrichit à l'usage, mettant en évidence des sous-ensembles de cas caractérisés par leurs similarités fonctionnelles.
En considérant chaque processus de décision d'agriculteurs enquêtés comme un « cas », dont la solution correspondrait à l'insertion du miscanthus dans le parcellaire de l'agriculteur, le modèle de raisonnement à partir de cas permet de construire un modèle de localisation des cultures énergétiques sur des processus de décision uniques. Le modèle du raisonnement à partir de cas pouvant manipuler différents types de variables (quantitatives ou qualitatives) permet également de modéliser des situations complexes, telles que celles identifiées par notre étude préalable.

3. Matériel et méthode

3.1. Zone d'étude

Pour modéliser les processus d'insertion territoriale actuelle et à venir du miscanthus, nous avons choisi de mener des enquêtes en Côte d'Or (Bourgogne), où deux coopératives agricoles ont mis en place des moyens incitatifs pour que les agriculteurs implantent du miscanthus et du switchgrass dans leur bassin d'approvisionnement. L'une a débuté son action en 2006 pour trouver une alternative à la consommation de fuel, devenue une charge trop lourde au fonctionnement de son usine de déshydratation de luzerne. L'autre, ancienne sucrerie, a lancé le projet en 2008 pour convertir son site industriel de production de granulés de pulpes de betterave en production de granulés de bois et de miscanthus. Ce projet a été possible grâce aux aides du programme européen de restructuration de la filière sucre, appliquées en France en 2006. Ces aides prennent en charge une partie du coût (entre 40 et 60%) d'implantation du miscanthus et du switchgrass, en vue d'approvisionner le site industriel et, plus largement, en vue de redynamiser l'ensemble du territoire agricole marqué par le déclin de la production betteravière. Ces aides ont donc profité aux agriculteurs des deux bassins d'approvisionnement enquêtés, jusqu'à la fin de l'année 2011. Parallèlement aux aides, les deux coopératives proposent à leurs adhérents la garantie d'un prix minimum de 70€ par tonne de matière sèche et la garantie de débouchés, qui aujourd'hui s'orientent aussi bien vers le chauffage que la litière animale et les biomatériaux.

Ce terrain d'étude a été choisi pour plusieurs raisons. D'une part, cette zone présente l'avantage de pouvoir saisir différentes attitudes possibles face à un même projet territorial à l'échelle d'un bassin d'approvisionnement de coopérative agricole. Par exemple, au début de l'année 2011, moins d'un ancien betteravier sur six a fait le choix d'implanter du miscanthus, tandis que de nombreux agriculteurs qui n'étaient pas producteurs de betteraves ni adhérents à l'ancienne sucrerie ont choisi d'intégrer cette nouvelle filière. D'autre part, avec une distribution des aides économiques qui se superpose sur le bassin d'approvisionnement des deux coopératives agricoles, cette zone d'étude présente l'intérêt de pouvoir s'extraire des seules modalités financières pour expliquer le choix des agriculteurs. L'actualité de ce projet permet également d'enquêter des zones où les processus de décision sont en cours. Enfin, les potentialités agronomiques contrastées des deux bassins d'approvisionnement enquêtés (au niveau pédoclimatique) permettent également de rencontrer des choix d'implantation différents et d'affiner ainsi la compréhension des règles de localisation de ces cultures dans le parcellaire des agriculteurs.

Enquêtes du 29 au 30 décembre 2010	Enquêtes du 21 au 23 février 2011
Agriculteurs enquêtés :	Agriculteurs enquêtés :
2 éleveurs (un en bio) et 3 céréaliers	2 éleveurs et 3 céréaliers (un en bio)
Zone d'enquête correspondante	Zone d'enquête correspondante
Bassin d'approvisionnement 1 - nom de la coopérative : Bourgogne Pellets - activité : granulés de bois et miscanthus	Bassin d'approvisionnement 2 - nom de la coopérative : SCA de la Haute- Seine - activité : déshydratation de luzerne

Tableau 5.1 : Échantillonnage des enquêtés

Supports utilisés par les enquêtés pendant les entretiens	
Parcellaire :	4 entretiens, *dont 3 parcellaires dessinés par l'enquêté lui-même*
Photos satellite du village :	4 entretiens
Photos satellite des parcelles :	2 entretiens

Tableau 5.2 : Liste des supports spatiaux utilisés par l'enquêté pendant l'entretien

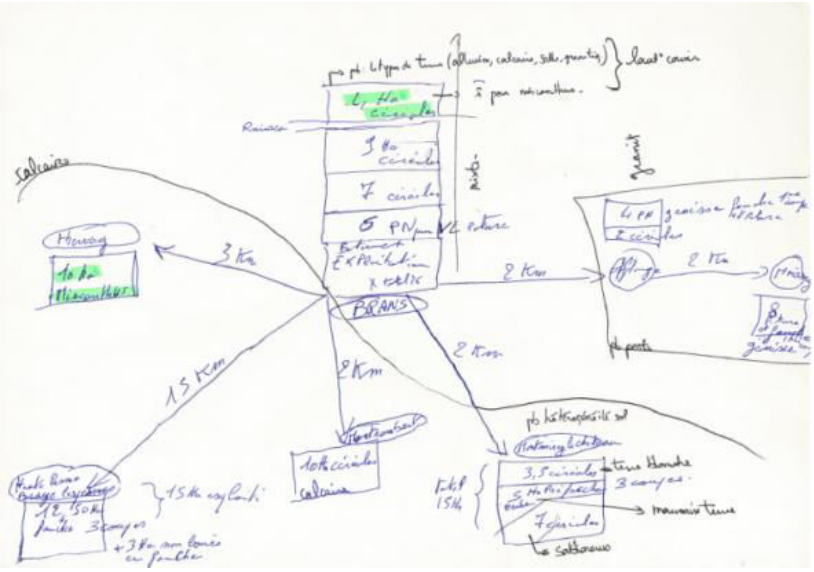


Figure 5.1 : dessin de son parcellaire par un enquêté

3.2. Choix de l'échantillon d'enquêtes

L'adoption du miscanthus étant un processus trop récent et trop rare pour pouvoir tirer des conclusions statistiques fiables sur les profils d'agriculteurs plantant du miscanthus, nous avons fait le choix de réaliser l'échantillonnage de nos enquêtes en fonction des Orientations Technico-économiques des EXploitations (OTEX). Cette classification distingue les exploitations agricoles en fonction de leur activité principale estimée sur un critère de marge brute standard. Sachant que chaque système de production définit des règles particulières de localisation des cultures dans le parcellaire de l'exploitation agricole (Benoît *et al*., 2004), nous avons cherché à enquêter différents systèmes de production, afin de saisir une diversité de facteurs d'adoption et de localisation du miscanthus dans le territoire des agriculteurs.
De plus, cette étude ayant pour but d'identifier finement les dynamiques spatiales et d'en comprendre leur processus complexe, nous avons fait le choix d'un premier échantillon d'enquêtes assez réduit de dix agriculteurs. Le modèle du raisonnement à partir de cas permettant d'ajouter ultérieurement *ad libitum* de nouveaux cas, d'autres enquêtes seront réalisées par la suite.
Ainsi, nous avons rencontré quatre éleveurs et six céréaliers sur les deux bassins d'approvisionnement de Côte d'Or (cf. tableau 5.1). Pour comprendre la diversité de points de vue entre agriculteurs d'un même bassin d'approvisionnement, nous avons également fait le choix de rencontrer parmi ces agriculteurs, deux agriculteurs qui n'ont pas implanté de miscanthus sur la zone d'Aiserey.

3.3. Conduite des entretiens

Les entretiens ont été construits en suivant la méthodologie du courant de la sociologie compréhensive de l'action, qui pour Kaufmann (1996) correspond à une méthode ayant pour but « de comprendre plus que de décrire systématiquement ou de mesurer ». La forme d'entretien qui y est associée correspond à un matériau souple permettant d'explorer toutes les dimensions du problème observé. L'intérêt est de pouvoir identifier un très large éventail de facteurs explicatifs des pratiques d'insertion territoriale du miscanthus par les agriculteurs.
Nous avons donc conduit ces entretiens autour des six champs d'investigation suivants : (i) les facteurs d'adoption du miscanthus ; (ii) son insertion et ses répercussions au sein de l'exploitation ; (iii) l'organisation spatiale de l'exploitation agricole ; (iv) la perception par l'enquêté des cultures biomasses pérennes et de l'agriculture ; (vi) les perspectives de l'enquêté concernant l'insertion du miscanthus et sa vision du territoire d'insertion idéal.

Chacun des entretiens a été mené avec un support spatial pour permettre à l'enquêté de mieux expliciter son discours sur l'organisation du parcellaire et la gestion de l'assolement (cf. tableau 5.2), (cf. figure 5.1).
Les enquêtes se sont déroulées chez les agriculteurs, pour une durée moyenne de 2 heures. Pour faciliter l'analyse du discours, ces entretiens ont tous été intégralement retranscrits, à raison de 8 heures de retranscription par entretien.

3.4. L'analyse des entretiens

Les entretiens ont été analysés selon les trois types de discours dominants de l'ensemble des enquêtés : le discours sur les pratiques d'insertion du miscanthus dans le parcellaire de l'enquêté, le discours sur les déterminants de ces pratiques et le discours sur les perspectives d'avenir des agriculteurs.

Les pratiques d'insertion territoriale du miscanthus ont été synthétisées dans un tableau en tenant compte de 11 variables (cf. tableau 5.3). Le discours sur les perspectives des enquêtés a quant à lui permis l'extraction de règles prospectives sur l'insertion territoriale du miscanthus (cf. tableau 5.8).

Pratiques générales d'implantation de cultures biomasses pérennes	Description des parcelles d'implantation de cultures biomasses pérennes
Année d'implantation Nombre de parcelles implantées Coopérative/entreprise de collecte	Surface Texture du sol Mode de faire-valoir Occupation et usage du sol précédents Distance au siège d'exploitation Topographie (% pente) Risque d'inondation Voisinage (rivière, bois, habitations, etc.)

Tableau 5.3. Liste des variables décrivant les pratiques d'insertion territoriale du miscanthus

Le miscanthus: solution pour gérer l'espace…		
	Opportunités perçues par les enquêtés	**Occurrence**
… par la valorisation des territoires contraignants	solution pour valoriser les parcelles humides difficiles à travailler	10/10
	solution pour réduire la charge de travail	10/10
	solution pour valoriser les parcelles difficiles d'accès avec le matériel agricole	3/10
	solution pour protéger l'eau (cours d'eau et captage d'eau potable)	3/10

Le miscanthus: solution pour gérer le temps…		
	Opportunités perçues par les enquêtés	**Occurrence**
… par la préparation de futurs projets	préparer le départ en retraite sans succession	2/10
	développer une autonomie énergétique sur l'exploitation	2/10
	préparer l'installation d'un jeune	1/10
	préparer un arrêt éventuel d'activité	1/10

Tableau 5.4. Les opportunités du miscanthus exprimées par les agriculteurs (occurrence sur les 10 exploitations agricoles enquêtées)

Pour identifier les déterminants des pratiques, nous avons construit une grille d'analyse reposant sur les trois dimensions du discours des enquêtés : la dimension technique, la dimension sociale et la dimension économique. Chacune de ces dimensions expliquant des choix différents, nous les avons différenciées selon deux catégories de facteurs explicatifs : les facteurs d'adoption du miscanthus et les facteurs de localisation de la culture (cf. tableaux 5.5 et 5.6).

4. Résultats

Les enquêtes montrent que le choix de la localisation du miscanthus dans le territoire agricole repose sur la confrontation des opportunités potentielles d'adoption, perçues par l'ensemble des enquêtés, aux contraintes biophysiques du parcellaire de l'enquêté et à sa stratégie de production.

4.1. Point de vue commun des enquêtés sur les potentialités du miscanthus

Premièrement, le miscanthus apparaît, pour les dix agriculteurs enquêtés, comme une opportunité à saisir pour valoriser leurs territoires contraignants (cf. tableau 5.4). Si beaucoup ont déjà localisé les jachères dans une perspective similaire suite à la Politique Agricole Commune de 1992, pour tous, le miscanthus est une nouvelle solution pour maintenir une fonction productive et rentable sur ces territoires. Cette opportunité est liée à une image commune du miscanthus, comme étant une culture capable de pousser dans les territoires humides, avec un faible besoin en fertilisation et en protection sanitaire. Ce dernier point garantit aux enquêtés de pouvoir valoriser ces espaces sans introduire une grande charge de travail supplémentaire, voire en réduisant leur charge de travail par la localisation, par exemple, du miscanthus sur les parcelles éloignées du siège d'exploitation. Les potentialités du miscanthus pressenties par les agriculteurs leur permettraient ainsi de répondre dans l'immédiat aux contraintes de leur territoire.

Le caractère pérenne de cette culture offre deuxièmement aux enquêtés l'opportunité de préparer les futurs projets de l'exploitation agricole et d'anticiper ainsi les problèmes à venir (cf. tableau 5.4). Leur réflexion sur l'avenir est diversifiée. Elle porte, par exemple, sur l'installation d'un fils au sein de l'exploitation pour l'un et l'apport de revenus durant la retraite pour un autre, qui ne souhaite pas s'inscrire à la mutuelle sociale agricole (celui-ci souhaite vivre des revenus tirés du miscanthus et de panneaux photovoltaïques).

Le discours général des enquêtés montre donc que le miscanthus peut permettre aux agriculteurs de gérer à la fois l'espace et le temps au sein d'une exploitation agricole. La pérennité de la culture en est la principale explication puisqu'elle est un gage de « tranquillité » pour les agriculteurs rencontrés.

4.2. Les motivations et les freins à l'insertion du miscanthus dans le territoire

Si les potentialités du miscanthus sont perçues de la même façon par tous les agriculteurs enquêtés, elles ne déterminent pas pour autant des pratiques d'insertion communes entre les agriculteurs. Parmi les dix enquêtés, deux ont choisi de ne pas implanter de miscanthus. Pour l'un, ce choix s'explique par l'incapacité d'utiliser des surfaces agricoles au détriment des cultures de vente (qui l'aident à faire face à une situation économique difficile). Pour l'autre, ce choix s'explique par ses incertitudes sur l'évolution de la Politique Agricole Commune et le manque de parcelles contraignantes en propriété. Ainsi, les enquêtes montrent que le choix de l'insertion du miscanthus dans le parcellaire est défini par une combinaison de facteurs d'ordre économique, technique et social qui est propre à chaque agriculteur.

Facteurs techniques	Occurrence
Facteurs accélérateurs	
adaptation aux territoires contraignants	10/10
itinéraire technique simplifié	10/10
faible besoin d'intrants	10/10
amélioration des conditions de travail	10/10
pérennité de la culture	10/10
Facteurs freins	
incertitudes sur les modalités de récolte	10/10
incertitudes sur les rendements	10/10
réorganisation de l'assolement	2/10
incompatibilité avec le travail du sol	1/10

Facteurs économiques	Occurrence
Facteurs accélérateurs	
les subventions européennes	10/10
« gagner de l'argent »	10/10
sécuriser le revenu	3/10
compenser l'arrêt de la betterave	2/10
réguler les marchés alimentaires	2/10
être déjà actionnaire de la coop	2/10
Facteurs freins	
l'avance de trésorerie de 2 ans	10/10
incertitudes sur la PAC à venir	1/10
évolution du cours du blé	1/10
Facteurs ambivalents	
retour sur investissement	10/10
rentabilité espérée	7/10
« croire » aux débouchés	5/10
s'assurer un revenu en retraite	2/10

Facteurs sociaux	Occurrence
Les jeux d'acteurs sur le territoire	
Facteurs accélérateurs	
participer à un projet local	4/10
être administrateur de la coop.	3/10
rencontrer de nouvelles personnes	3/10
Facteurs ambivalents	
confiance aux acteurs de la filière	4/10
Les valeurs de l'agriculteur	
Facteurs accélérateurs	
diversifier son métier	10/10
répondre aux enjeux de l'énergie	10/10
avoir le goût pour l'innovation	8/10
participer au dvpmt durable	3/10
projets énergétiques sur la ferme	3/10
Ses caractéristiques sociales	
Facteurs accélérateurs	
salaire extérieur à la ferme	1/10
travailler à plusieurs sur la ferme	1/10
Facteurs ambivalents	
être proche de la retraite	4/10

Tableau 5.5 : Classification des motivations et des freins à l'adoption du miscanthus exprimés par les enquêtés : liste des facteurs « accélérateurs », « freins » et « ambivalents » (accélérateur ou frein selon les enquêtés) classés par occurrence sur les 10 agriculteurs enquêtés

4.2.1.Les facteurs d'adoption (ou de non adoption)

Malgré les subventions européennes proposées aux agriculteurs enquêtés constituant une motivation importante pour tous, on remarque l'existence de nombreux freins technico-économiques (cf. tableau 5.5). Le manque de recul sur le comportement de la plante dans son milieu et sur les rendements espérés en est la principale raison.

En revanche, le choix de l'adoption a été motivé par divers facteurs sociaux et culturels qui ont pallié les incertitudes agronomiques et économiques des enquêtés.

Premièrement, le choix des enquêtés repose sur la volonté de participer à un projet territorial, construit par des jeux d'acteurs. En effet, l'adoption du miscanthus est pour tous très fortement associée à une solution pour « sauver des eaux » la coopérative de Baigneux-les-Juifs et comme le nouveau « tournant » de l'agriculture pour la zone d'Aizerey, marquée par l'arrêt de la betterave. La relation professionnelle voire personnelle de certains enquêtés avec les responsables et techniciens de la coopérative a même été, pour certains, un gage de confiance décisif pour prendre un risque et « avancer dans l'inconnu » et, pour d'autres, la cause de fortes réticences. Le mode de gestion de la filière du miscanthus dans le territoire a également été un facteur déterminant pour deux agriculteurs. L'un explique par exemple son choix par la gestion de la filière en coopération ; un autre explique à l'inverse qu'il attend un acteur privé chargé de la commercialisation du miscanthus pour faire de nouvelles implantations.

Le choix des enquêtés repose deuxièmement sur un système de préférences et de valeurs socio-culturelles, qui façonne les « croyances » de chacun vis-à-vis du miscanthus et de son avenir dans le territoire.

> ***Extraits du discours d'E3*** *: « C'est-à-dire qu'il y en a qui ont cru à des cultures nouvelles, type miscanthus. Il y en a d'autres qui ne croient pas ou qui ne croiront jamais (…). Il faut y croire, tout simplement. On fait parfois des choses, on n'a pas forcément envie tout de suite d'en sortir un chèque. Je veux dire ce n'est pas… Ce n'est pas cette démarche-là qui nous habite aujourd'hui ».*

Si le miscanthus est associé pour certains à un effet de mode pour les politiques et à une affaire de générations au sein du milieu agricole, cette culture renvoie aussi pour d'autres à des interrogations plus fortes sur le métier d'agriculteur. En effet, tous les agriculteurs enquêtés ont exposé leurs points de vue sur les « enjeux énergétiques de demain » et tous se sont montrés favorables à la diversification du métier d'agriculteur.

> ***Extraits du discours d'E1*** *: « Bon, avec l'alimentation, l'énergie c'est une des choses qui est indispensable à la vie. Plus que tout autre je pense. C'est une nécessité. On en a besoin pour se chauffer, pour se déplacer… pour travailler, pour faire… pour avoir de l'électricité tout ça ».*

Néanmoins, l'ensemble des agriculteurs explique « ne pas être prêt à mettre cette culture sur les bonnes terres » en raison de la concurrence qu'elle engendrerait avec l'alimentaire.

> ***Extraits du discours d'E10*** *: « Moi, je suis pour l'alimentaire déjà. Je pense qu'il y a des gens qui crèvent de faim. On n'a pas le droit. Même en ce moment de crise… Bon les céréales sont très chères, mais ce n'est pas bon du tout pour tous ces pays-là parce qu'ils ne peuvent plus, ils ne vont plus pouvoir manger, c'est quand même… ».*

> ***Extraits du discours d'E6*** *: « Nous en agriculture biologique, on a plutôt tendance à manquer de surfaces. Déjà. Donc il y a déjà largement de quoi faire… comment dire… il y a la demande pour la vente. Donc on est tenté de produire sur toutes les surfaces quoi ».*

La prédominance de ce point de vue dans le discours des agriculteurs enquêtés montre donc que les facteurs d'adoption du miscanthus se combinent étroitement à des facteurs de localisation.

Facteurs techniques	Occurrence	Facteurs économiques	Occurrence	Facteurs sociaux	Occurrence
distance et accès à la parcelle	10/10	parcelle en propriété, propriété familiale	10/10	*Jeux d'acteurs du territoire*	
hors zone inondable	8/10	parcelle donnant droit aux aides	9/10	conseil d'un technicien	10/10
protection de l'eau	8/10	parcelle proche de la zone de collecte	2/10	*Valeurs de l'agriculteur*	
forme de la parcelle	4/10	parcelle de moindre valeur économique	1/10	limiter la concurrence des sols	9/10
lisière de bois	4/10				
taille de la parcelle	3/10				
topographie	3/10				
parcelle non drainée	1/10				
loin des habitations	1/10				
« terres difficile à travailler »	10/10				

Tableau 5.6 : Les facteurs de localisation du miscanthus exprimés par les enquêtés (classement par occurrence sur les 10 agriculteurs enquêtés)

Enquêtés	Parcelles de miscanthus (ha)	Texture du sol des parcelles de miscanthus	Extraits de discours des enquêtés sur la qualité du sol des parcelles de miscanthus
E1	4 ha	argileux calcaire sableux	*"C'est une horreur. Parce que t'arrives dans un endroit, tu n'arrives pas à casser les mottes, tu arrives à un endroit… Je veux dire, c'est… Tu ne peux pas mener une culture correcte. Il faudrait être avec le GPS au centimètre près"*
E3	2,5 ha 1,6 ha 0,9 ha	sableux	*"(…) des terrains sableux, à faible potentiel de culture par rapport à l'assolement"* *"(…) des parcelles plutôt sableuses, donc avec une qualité de sol qui correspond tout à fait à une possibilité de récolte des racines"*
E4	15 ha 5 ha	argileux	*"(…) des terres noires, avec un pourcentage d'argile qui est énorme"*
E6	6 ha	argileux pierreux	*"C'est des argiles qui quand ça sèche se rétractent beaucoup. Donc ça crevasse et quand c'est des cultures comme le blé tout ça, ça casse les racines et finalement ça dessèche plus ici que n'importe où ailleurs, même dans les endroits les plus pierreux de la ferme"*
E7	3 ha	limoneux	*"Il est dans de la terre. Oui, c'est…. Si on veut bien c'est comme dans la vallée"*
E9	2 ha	caillouteux	*"J'avais une parcelle qui faisait 2 hectares, mais qui était très, très différente au niveau qualité de terres. Là-bas, c'était une terre profonde, au-dessus c'était des cailloux. Une parcelle qui était difficile à travailler au niveau céréales"*
E10	1 ha	limoneux	*"(…) dans la zone la plus argileuse du champ"*

Tableau 5.7 : Perception des enquêtés de la qualité des sols des parcelles de miscanthus en termes d'atouts (en vert) et de contraintes (en rouge) relatifs au potentiel de production des cultures classiques de l'exploitation

4.2.2.Les facteurs de localisation

D'après le discours des enquêtés, on remarque que le point de vue des agriculteurs sur la concurrence de l'usage des sols est une des composantes du choix de localisation du miscanthus, mais qu'il n'a pas déterminé à lui seul l'ensemble des pratiques de localisation. En effet, les facteurs économiques ont une influence prépondérante, comme le statut foncier de la parcelle (qui garantit à l'agriculteur un retour sur investissement à long terme si le miscanthus est implanté sur une parcelle en propriété ou appartenant à un membre de la famille) et comme l'appartenance à une zone géographique éligible aux subventions européennes (cf. tableau 5.6).

Concernant les facteurs techniques, si les enquêtés perçoivent le miscanthus comme une opportunité pour valoriser les parcelles humides de l'exploitation, pour tous (à l'exception d'un agriculteur) le miscanthus ne doit pas pour autant être implanté en zone inondable, pour faciliter l'accès à la parcelle au moment de la récolte. La localisation du miscanthus dépend aussi pour la grande majorité des zones de protection de la ressource en eau (zones en directive nitrates et zones de protection de captage d'eau potable) et pour quelques-uns d'entre eux, de la forme et de la taille de la parcelle.

Les enquêtés expliquent également vouloir localiser le miscanthus sur les « terres difficiles à travailler » c'est-à-dire sur des terres difficiles à travailler mécaniquement et présentant de mauvais rendement pour les cultures classiques (blé et maïs principalement). Se pose alors la question de la part de subjectivité dans l'appréciation de ce facteur par les agriculteurs. Pour mieux saisir comment ce facteur s'est décliné dans le territoire, nous avons demandé aux agriculteurs de décrire les parcelles d'implantation et leurs différentes contraintes. Leurs réponses ont mis en évidence deux critères, la teneur en eau de la parcelle et la qualité de son sol (cf. tableau 5.7). Les différentes caractéristiques biophysiques des terres décrites comme contraignantes montrent qu'il n'y a pas de régularités spatiales communes ni de pratiques communes.

4.3. Les pratiques de localisation du miscanthus par les agriculteurs enquêtés

La combinaison de l'ensemble des facteurs économiques, techniques et sociaux d'adoption et de localisation ont produit un territoire aux pratiques d'insertion contrastées. La figure 5.2 montre que les cultures de miscanthus ont majoritairement été localisées dans les parcelles en excès d'eau, plus ou moins distantes du siège d'exploitation, de taille et de forme différentes.

Concernant la concurrence de l'usage des sols, on remarque que la moitié des parcelles de miscanthus se situe sur des anciennes parcelles en cultures, correspondant aux plus grandes surfaces d'implantation du miscanthus, et que l'autre moitié des parcelles d'implantation se situe sur des anciennes parcelles en jachère (cf. figure. 5.2). Les pratiques d'insertion du miscanthus dans l'assolement de l'agriculteur ne sont donc pas homogènes entre enquêtés, ni au sein d'une même exploitation (comme en témoignent les pratiques de l'enquêté 1 et de l'enquêté 4). Les réorganisations d'assolement sont multiples. Pour l'enquêté 1, l'implantation du miscanthus quelques mois avant sa conversion en agriculture biologique pose des difficultés pour agrandir les surfaces en herbe de son exploitation sans trop pénaliser la production de céréales. Pour le reste des agriculteurs, la réorganisation de l'assolement « n'a pas posé de problème particulier », tout en étant diversifiée.

Ainsi, l'ambivalence constatée entre le discours des agriculteurs, qui expliquent vouloir réduire les risques de la concurrence alimentaire / non alimentaire, et les pratiques observées d'insertion du miscanthus, signale que les choix relatifs à la concurrence d'usages des sols intègrent une grande part de subjectivité et qu'ils sont très étroitement liés à l'adaptabilité du système de production de l'exploitation agricole.

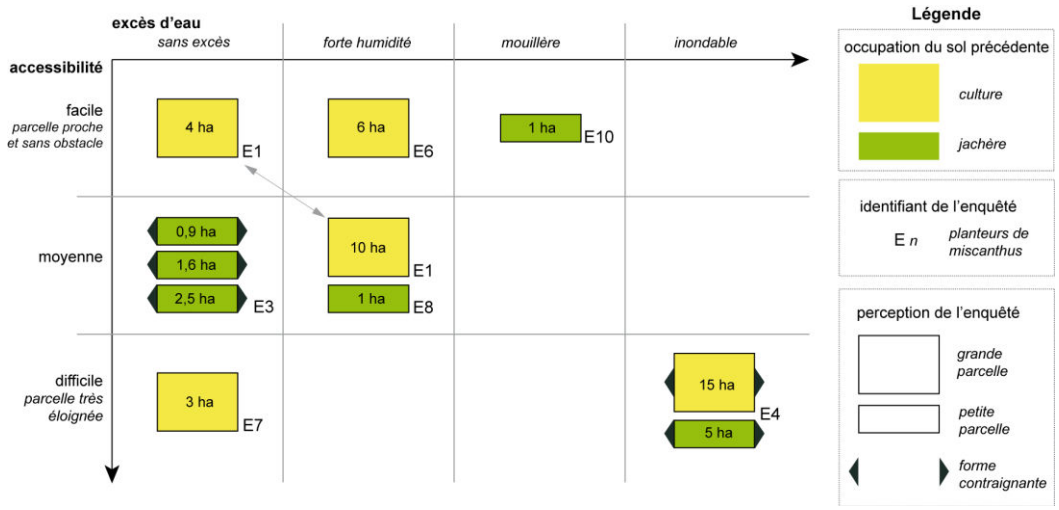


Figure 5.2 : représentation du territoire d'insertion du miscanthus enquêté, d'après Morlon et Benoît (1990).

Enquêtés	Perspectives d'implantation de cultures biomasses pérennes à plus ou moins long terme
E1	Quand E1 sera en retraite alors: nouvelles implantations avec d'autres cultures complémentaires pour s'assurer une "marge de manœuvre" (i.e. du chanvre et d'autres cultures à forte teneur en biomasse)
E3	"Aujourd'hui": pas de volonté de convertir toute l'exploitation en cultures non alimentaires
	"Plus tard": possibilité d'adopter d'autres cultures non alimentaires
E4	Si l'implantation "rapporte" alors: "peut-être" d'autres implantations
E6	2011: pas de nouvelles implantations malgré les aides demandées car besoin de temps pour mieux maîtriser les problèmes d'enherbement de la parcelle
	Si E6 continue d'être agriculteur alors: implantations de miscanthus supplémentaires et insertion dans la rotation de taillis à courte rotation et de bois raméal fragmenté pour la régénération des sols
E7	Si "ça marche bien" (*i.e.* si les rendements sont bons) alors: "peut-être qu'on en refera plus"
	Si d'autres agriculteurs proches de l'exploitation implantent du miscanthus alors: implantation peut-être de nouvelles cultures
E8	Si dans deux ans constat que "l'implantation est réussie" alors: début de réflexion pour une nouvelle implantation
E9	Si le niveau de rentabilité de l'implantation de miscanthus permet de dégager un "revenu à peu près correct" alors: implantation d'autres parcelles de miscanthus, y compris sans aides financières pour atteindre un maximum de 10 ha de miscanthus

Tableau 5.8 : Règles prospectives d'insertion territoriale du miscanthus

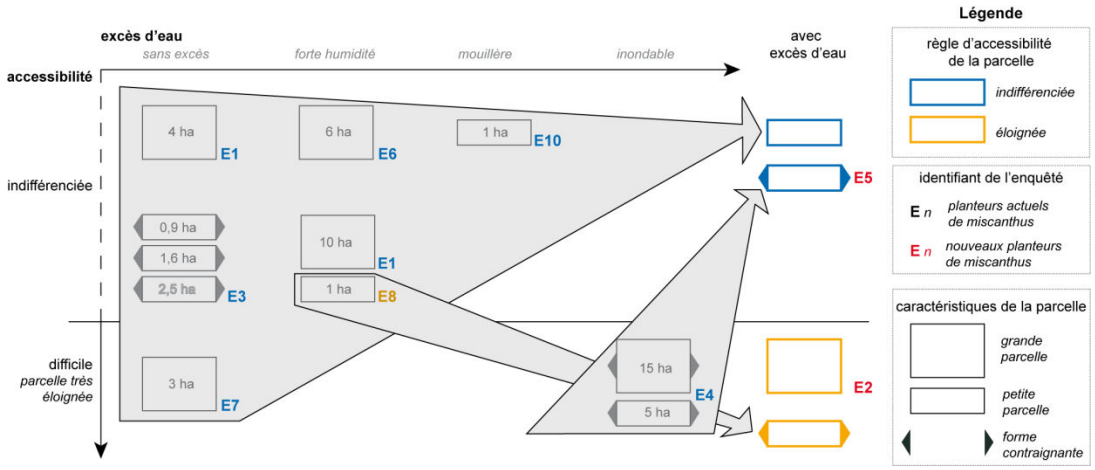


Figure 5.3 : représentation des changements de pratiques de localisation du miscanthus d'un territoire réel à un territoire idéal

Le résultat de ces enquêtes montre donc que le choix de la localisation du miscanthus repose à la fois sur une prise de conscience des risques de concurrence d'usage des sols et sur des opportunités de valorisation d'espaces contraignants. En revanche, qu'en sera-t-il lorsque les territoires contraignants seront déjà implantés en miscanthus ? Y-aura-t-il d'autres dynamiques d'implantation ? Est-ce que la maîtrise des enjeux du changement d'usages des sols sera déterminante sur les pratiques futures ?

4.4. L'avenir du miscanthus dans les territoires : la prospective des agriculteurs

Pour saisir les futurs possibles du territoire agricole, nous avons demandé aux agriculteurs d'exprimer leurs perspectives d'implantation et de décrire un territoire d'insertion idéal du miscanthus. Le but de la description du territoire idéal est d'identifier les possibles territoires d'insertion du miscanthus, en détachant les agriculteurs enquêtés des avantages et des contraintes de leur propre parcellaire.

Concernant tout d'abord les dynamiques d'implantation future, aucun des agriculteurs enquêtés n'a de certitudes sur les projets d'avenir concernant le miscanthus. Tous restent sur la réserve (ils attendent de voir le résultat des premières récoltes), mais ils ne témoignent d'aucune hostilité à l'idée d'en réimplanter sans bénéficier de subventions. Ainsi, les deux agriculteurs qui ont fait le choix de ne pas insérer du miscanthus dans leur parcellaire imaginent même la possibilité d'en implanter sous réserve de certains changements. Le premier serait en effet prêt à implanter 10 ha s'il faisait l'acquisition de 100 ha supplémentaires ; le second serait prêt à implanter sur les petites surfaces en propriété de son exploitation si le miscanthus obtenait le statut forestier (lui permettant de poursuivre l'exploitation de ses terres tout en étant retraité agricole).

Hormis ces deux cas particuliers où un changement radical de situation est nécessaire pour construire une perspective, on constate qu'il est difficile pour les enquêtés de se projeter à moyen terme, soit dans le courant des cinq prochaines années (cf. tableau 5.8). Malgré ces difficultés, tous réfléchissent au futur en opposant les surfaces céréalières aux surfaces dédiées pour le miscanthus. Là encore, la concurrence de l'usage des sols apparaît comme un déterminant majeur à la construction de leurs perspectives.

En comparant le territoire idéal des enquêtés avec le territoire réel d'insertion du miscanthus, on constate des pratiques différentes de localisation (cf. figure 5.3).

En effet, pour la majorité des agriculteurs, le territoire agricole idéal serait caractérisé par la présence de miscanthus sur des surfaces agricoles de petite taille, dans les lisières de bois, non drainées et présentant de mauvais rendements agricoles. Deux agriculteurs spécifient que ces parcelles idéales doivent être éloignées du siège d'exploitation.
On remarque alors que si ces choix de localisation se distinguent des pratiques des agriculteurs sur leur propre territoire, les tendances de localisation s'apparentent fortement au discours général des agriculteurs sur la concurrence de l'usage des sols et sur les potentialités du miscanthus.

5. Discussion - conclusion

Les premiers résultats de cette étude montrent que la localisation du miscanthus s'est faite sur des territoires contraignants, où le potentiel agronomique des cultures classiques est limité. Cette étude vérifie les hypothèses des travaux de modélisation qui localisent les cultures énergétiques pérennes sur les terres marginales des territoires (Campbell *et al*., 2008) et en réfutent d'autres comme celles d'Hellman et Verburg (2008) et de Föster *et al*. (2008). Mais comme le montre le tableau 5.7, la notion de territoires contraignants est relative au territoire de l'exploitation agricole. Ainsi, on peut supposer que les terres contraignantes pour les agriculteurs de la zone d'étude ne sont pas les

mêmes partout en France. Alors que l'hypothèse de contraintes dans les travaux de modélisation est souvent exprimée de manière absolue, nous insistons sur le fait que la contrainte doit être prise en compte de manière relative par rapport aux parcellaires.
De plus, les entretiens auprès de dix agriculteurs de Côte d'Or ont montré que le choix de l'insertion territoriale de cette culture ne répond pas à des règles simples. Aucun des dix agriculteurs enquêtés n'a déterminé ses choix de la même façon pour implanter du miscanthus ; une diversité de pratiques a été observée sans que des règles générales puissent être identifiées. Ainsi, on peut supposer également que les hypothèses utilisées dans les travaux de modélisation sont trop simplificatrices vis-à-vis de la réalité du terrain.

Par ailleurs, le travail de prospective réalisé dans le cadre de cette étude a montré une grande convergence entre les perspectives de localisation proposées par les agriculteurs et leur discours général sur les potentialités du miscanthus et la concurrence de l'usage des sols. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que l'implantation de miscanthus est considérée comme une nouveauté dans les territoires. Les agriculteurs construiraient leur choix d'implantation actuelle de miscanthus comme une pratique prospective, d'autant plus renforcée par l'aspect pérenne de la culture. Parallèlement, le peu d'expériences pratiques liées à la culture de miscanthus pourraient induire un discours sur l'avenir peu différencié du discours actuel. On peut alors s'interroger sur les méthodes appliquées dans ce contexte pour obtenir des scénarios prospectifs contrastés. Une des solutions pourraient être de faire réfléchir les acteurs à plus long terme.

En conclusion, il ne nous apparait pas pertinent de construire un modèle de localisation des cultures énergétiques fondé sur des règles simples de localisation (ex : pourcentage du territoire réservé, optimisation économique). Comme nous l'avons montré, la localisation relève d'un processus complexe et relatif dépendant des contraintes biophysiques et des stratégies des agriculteurs. Les travaux d'Osty *et al.* (2008) nous conduisent donc à penser que le raisonnement à partir de cas est une approche pertinente, pour d'une part, représenter les résultats d'enquêtes approfondies sur des territoires agricoles et pour, d'autre part, les utiliser pour appréhender des problématiques similaires sur de nouveaux territoires. Un modèle de raisonnement à partir de cas fondé sur un petit nombre d'enquêtés en Côte d'Or pourrait ainsi simuler une prospective à l'échelle du territoire, tout en préservant une échelle d'étude fine et pertinente - comme celle de l'exploitation agricole - et donc sans nécessairement passer à une échelle macro comme les modèles existants de localisation des cultures énergétiques.

Remerciements
Tous nos remerciements aux agriculteurs, à M. Béjot (Bourgogne Pellets), M. Garnaud (SCA Déshydratation de la Haute-Seine) et Mme Pierson (Chambre d'Agriculture de Bourgogne) pour le temps qu'ils nous ont consacrés en enquêtes, ainsi qu'au Projet FUTUROL et OSEO pour leur soutien financier sans lequel cette recherche n'aurait pas été possible.

Synthèse des principaux résultats du chapitre 5

L'enquête sur les déterminants de l'insertion territoriale du miscanthus au niveau de l'EA montre que l'insertion territoriale du miscanthus est déterminée par les opportunités qu'elle peut offrir à gérer le temps et l'espace dans une EA, sous contrainte des capacités biophysiques du territoire de l'EA et de sa stratégie de production, notamment concernant la gestion de la concurrence alimentaire / non alimentaire. L'étude confirme ainsi l'importance des dimensions systémique et territoriale à prendre en compte pour comprendre le consentement à produire du miscanthus de la part des agriculteurs.

Cette enquête montre aussi que l'insertion territoriale du miscanthus (cf. facteurs de localisation) est déterminée par des facteurs à la fois techniques, économiques et sociaux. Par exemple, elle montre que l'insertion du miscanthus est déterminée par la distance et l'accès à la parcelle, l'inondabilité de la parcelle, sa forme et sa proximité à un bois. Elle montre également que l'insertion territoriale du miscanthus est plus globalement déterminée par les contraintes d'exploitation de la parcelle dans l'ensemble du territoire de l'EA. Ainsi, l'étude confirme que la seule prise en compte de la rentabilité des terres n'est pas adaptée pour modéliser le consentement à produire des agriculteurs.

Cette étude annonce aussi les liens forts entre le potentiel d'insertion territoriale du miscanthus et les contraintes territoriales perçues par les agriculteurs, que nous avons choisi d'approfondir par la deuxième enquête sur les déterminants de l'insertion territoriale du miscanthus au niveau de la parcelle.

Chapitre 6

Les règles de décision de l'insertion territoriale du miscanthus prises au niveau de la parcelle agricole

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats de l'enquête sur les règles de décision de l'insertion territoriale du miscanthus, prises au niveau de la parcelle agricole. Comme annoncé dans le chapitre 4, ces enquêtes ont été menées suite à l'élaboration d'un premier prototype de RàPC et ont donc été construites à partir des limites d'acquisition de connaissances révélées par ce premier prototype. Ainsi, nous présentons dans une première partie les limites du premier prototype de RàPC et leurs implications sur les choix méthodologiques de construction des enquêtes menées au niveau de la parcelle. Ces enquêtes seront appelées « enquêtes 2 » pour les distinguer avec celles menées au niveau de l'EA et présentées dans le chapitre 5. La méthodologie des enquêtes 2 est quant à elle présentée dans une deuxième partie, puis nous présentons les résultats de ces enquêtes dans une troisième partie.

1. Limites du prototype de RàPC 1 et implications sur la méthodologie des enquêtes 2

Les résultats du premier prototype de RàPC, élaboré au niveau de l'EA, ont révélé deux limites majeures concernant l'élaboration de la base de connaissances et la description des cas.

1.1. Une base de connaissances construite à partir d'EA enquêtées trop distinctes entre elles pour identifier facilement les liens de dépendance de chaque cas

Le prototype 1 a été élaboré à partir des enquêtes 1, *i.e.* à partir de l'analyse de 10 EA. Cette analyse a plus concrètement été utilisée pour élaborer les connaissances du prototype pour : (i) décrire les cas, (ii) mesurer leur similarité et (iii) établir des règles d'adaptation des solutions sources (cf. chapitre 3). Or afin d'identifier et de modéliser une diversité de processus de décision liés à l'insertion territoriale du miscanthus, ces 10 EA avaient préalablement été choisies pour leur diversité, en termes : (i) d'activité principale, (ii) de production du miscanthus et (iii) de contexte pédoclimatique du territoire (cf. chapitre 5 et chapitre 4). Néanmoins, la diversité que nous avions recherchée pour échantillonner les EA des enquêtes 1 a posé des difficultés d'acquisition de connaissances pour le prototype de RàPC 1, que nous présentons tour à tour.

Les descripteurs du problème des cas du prototype 1 correspondent à l'ensemble des déterminants de l'insertion territoriale du miscanthus extraits des résultats des enquêtes : ainsi à chaque combinaison de descripteurs, formalisés par des attributs-valeurs (cf. chapitre 3), correspond une solution. Or nous avons vu dans le chapitre 3 que les connaissances de similarité et d'adaptation reposaient, entre autre mais de manière significative, sur des relations de dépendance entre la partie problème et la partie solution d'un cas, *i.e.* sur l'effet de la variation d'un descripteur du problème sur la solution du cas (cf. chapitre 3). Toutefois, ces connaissances n'ont pas pu être acquises par les enquêtes en EA du fait des difficultés de mises en situation de l'enquêté.

> ***Extraits du discours d'E4*** *: [LM : si on se met dans un scénario où votre fils est successeur de l'EA et que les débouchés de la filière sont assurés, est-ce que vous auriez implanté du miscanthus ?] « Je n'en sais rien, là on extrapole. Même s'il y avait du débouché et tout, comment voulez-vous que je vous le dise moi ? Moi ce que je sais, c'est que j'en ai 20 ha sur 180, ça fait plus de 10%, j'en ai assez. C'est tout pour le moment. (..). Ça fait beaucoup de « si » tout ça… »*

Donc la principale difficulté liée à la diversité des EA utilisées pour le RàPC est la reconstitution des liens de dépendance entre les problèmes et les solutions des cas. Cette reconstitution s'est tout d'abord faite de manière exploratoire et automatisée par apprentissage supervisé, *via* le logiciel WEKA de fouille de données et plus particulièrement, *via* la sélection d'attributs déterminant l'insertion territoriale du miscanthus (cf. Lacheheb, 2012). Or par comparaison des déterminants de cette sélection avec ceux des enquêtés 1, nous avons constaté que cette sélection automatique ne

reproduisait pas bien les processus de décision des enquêtés 1. Nous l'expliquons par le fait que les processus de décision ne sont ni linéaires ni génériques. A ce titre, nous avons donc ensuite privilégié la voie de la reconstitution manuelle, qui est couramment employée en RàPC compte tenu de ses meilleures aptitudes à traiter des phénomènes particuliers et non linaires (cf. chapitre 3).

Mais comme le montre la figure 6.1 plus les cas sont dissemblables entre eux plus il est difficile manuellement de retrouver les dépendances entre les cas. C'est pourquoi nous n'avons pas pu implanter la partie adaptation du prototype 1, faute de connaissances nécessaires. C'est pourquoi aussi nous avons choisi d'échantillonner les enquêtes 2 sur des EA *a priori* similaires pour partie entre elles (cf. partie 2.1).

Cas	Problème du cas				Solution
	Attribut 1	Attribut 2	Attribut 3	Attribut 4	
Cas 1	1	2	3	4	A
Cas 2	5	6	7	8	B
Cas 3	9	10	11	12	C

Cas contrastés ne permettant pas d'identifier manuellement les liens de dépendance entre le problème et la solution

Cas	Problème du cas				Solution
	Attribut 1	Attribut 2	Attribut 3	Attribut 4	
Cas 1	1	2	3	4	A
Cas 2	1	2	7	8	A
Cas 3	1	2	11	12	C

Cas en partie similaires permettant d'identifier manuellement les liens de dépendance entre le problème et la solution

Figure 6.1 : représentation schématique de l'intérêt des EA *a priori* similaires pour partie afin de reconstituer les relations de dépendance entre le problème et la solution des cas

1.2. Des cas représentés à un niveau de décision trop agrégé pour modéliser une insertion territoriale du miscanthus de manière spatialement explicite

Le prototype 1, développé jusqu'à l'étape de remémoration, décrit les cas au niveau de l'EA. Dans ce prototype le problème de l'insertion territoriale du miscanthus est résolu en deux temps : le prototype prédit tout d'abord un taux d'insertion potentiel du miscanthus dans le parcellaire de l'EA cible, puis localise le miscanthus dans le parcellaire cible selon les caractéristiques des parcelles de miscanthus de l'EA source (cf. annexe 1).

En l'absence de connaissances exhaustives sur les liens de dépendance entre le problème et la solution des cas, ne permettant pas d'adapter la solution source après la première étape de résolution du problème (cf. partie précédente), nous avons essayé d'adapter cette solution après la seconde étape, par un ajustement du taux prédit au prorata des surfaces localisées en miscanthus dans le parcellaire de cible (cf. annexe 1). Or cette localisation a été limitée par l'agrégation des caractéristiques des parcelles de miscanthus au niveau de l'EA. Par exemple, si la solution de l'EA source correspond à une localisation du miscanthus sur 3% des terres éloignées, 10% des terres de surface inférieure à 1 ha et 70% de terres hydromorphes, à ce niveau de description, cette solution ne nous indique en rien si la localisation du miscanthus dans le parcellaire de cible correspond à des parcelles combinant l'ensemble de ces caractéristiques ou correspond à chacune d'elles de manière distincte (cf. annexe 1). Or les enquêtes 1 montrent que l'insertion du miscanthus est le plus souvent déterminée par des facteurs multicritères (ex : terres en propriété et en zone de protection de captage d'eau potable), mais aussi parfois, par des facteurs monocritères (ex : terres éloignées). L'agrégation de la solution au niveau de l'EA ne permet donc pas de représenter convenablement les processus de décision des agriculteurs enquêtés, de manière spatialement explicite.

C'est pourquoi, pour le prototype 2, nous avons choisi de représenter les cas au niveau de la parcelle agricole, ce qui nous a conduit à refaire une série d'enquêtes et à redéfinir notre protocole de conduite d'entretiens (cf. partie 2.2). Cette nouvelle méthodologie est présentée dans la partie suivante.

2. Matériel et méthode ou exemple d'un protocole d'échantillonnage et de conduite d'enquêtes élaboré pour une modélisation spatialement explicite par RàPC

2.1. Choix de l'échantillon des EA à enquêter

La partie précédente explique la nécessité d'un nouvel échantillonnage d'EA à enquêter pour obtenir des règles de décision prises au niveau de la parcelle et pour faciliter l'acquisition de connaissances d'adaptation. Elle montre plus particulièrement la nécessité de disposer dans l'échantillon des EA enquêtées de paires d'EA *a priori* suffisamment proches entre elles deux (cf. partie 1.1).

Pour ce faire, nous avons choisi de rechercher, parmi les données d'enquêtes de Bocquého (2012) (cf. chapitre 4), des EA *a priori* similaires deux à deux aux EA des enquêtes 1. Comme d'une part, les cas du prototype 2 correspondront à la description de parcelles agricoles et comme d'autre part, les résultats des enquêtes 1 ont montré que la description des parcelles était relative à l'ensemble de l'EA (cf. chapitre 5), nous avons plus particulièrement choisi de rechercher des EA selon la proximité du contexte pédopaysager et agricole de leur territoire d'EA et des caractéristiques générales du fonctionnement de l'EA.

2.1.1. Variables et base de données utilisées pour l'échantillonnage

Les variables décrivant les caractéristiques générales du fonctionnement de l'EA proviennent des données de Bocquého (2012) (cf. tableau 6.1). Nous avons choisi de retrouver des EA *a priori* similaires entre elles de par : (i) leur activité principale, faisant l'hypothèse que l'organisation spatio-fonctionnelle de l'EA est déterminée par l'activité de celle-ci (Morlon et Benoît, 1990) et (ii) les perspectives de succession de l'enquêté, faisant l'hypothèse que l'insertion du miscanthus est liée aux projets du futur de celle-ci (cf. chapitre 5).

Variables d'échantillonnage et hypothèses expliquant le choix de ces variables	**Sources de données**
Activité principale de l'EA ➢ l'organisation spatio-fonctionnelle de l'EA est déterminée par l'activité de l'EA	Bocquého, 2012
Perspectives de succession ➢ l'insertion du miscanthus est liée aux projets du futur de l'EA	Bocquého, 2012
Groupes de cultures ➢ l'insertion du miscanthus est liée à l'assolement de l'EA	- Registre Parcellaire Graphique 2009 de Côte-d'Or au 1 : 5000 (Agence de services et de paiements) - Parcellaire d'Aiserey (cf. partie suivante)
Pédopaysage ➢ l'insertion du miscanthus est liée au contexte pédoclimatique de l'EA	- BD DoneSOL de Côte-d'Or au 1 : 250000 (INRA unité INFOSOL Orléans, 1998) - Parcellaire d'Aiserey

Tableau 6.1 : Liste des variables descriptives des EA utilisées pour échantillonner les EA des enquêtes 2

Les variables décrivant le contexte pédopaysager et agricole du territoire de l'EA n'ont en revanche pas été accessibles avec les données de Bocquého (2012). Nous avons alors utilisé trois bases de données géographiques pour accéder à ces informations :

- La première est la base de données du Registre Parcellaire Graphique (RPG) 2008 et 2009 de l'Agence de services et de paiement. Celle-ci permet de cartographier les îlots[28] de chaque EA et de

[28] Un îlot est défini par « ensemble de parcelles culturales contiguës portant une ou plusieurs cultures et délimité par des éléments facilement repérables et permanents (chemin, route, ruisseau…) ou par d'autres exploitations » *(MAAPRAT, 2011)*

décrire les groupes de cultures alloués sur chacun d'eux. Ces données décrivant l'assolement de l'EA couplées avec l'activité d'EA, informent sur l'organisation spatio-fonctionnelle de l'EA, *i.e.* sur son contexte agricole.

- En revanche, pour identifier le parcellaire des EA enquêtées par Bocquého (2012), parmi l'ensemble des parcelles du RPG, une autre base de données a dû être utilisée, correspondant à la liste des identifiants d'EA du RPG (*i.e.* des identifiants PAE) des EA enquêtées par Bocquého (2012) (cf. figure 6.2). Ces données ont été élaborées dans le cadre de la thèse, à partir du croisement d'informations de quatre sources de données initiales (cf. figure 6.2) que sont : (i) les données des enquêtes 1 de la thèse, (ii) les données des enquêtes de Bocquého (2012), (iii) les données du Registre Parcellaire Graphique et (iv) les données de la géolocalisation de l'ensemble des parcelles de miscanthus de la coopérative d'Aiserey, géolocalisation elle-même réalisée dans la thèse en collaboration avec le technicien de la coopérative. Comme le montre la figure 6.2, l'élaboration de cette base d'identifiants PAE a suivi trois démarches distinctes, permettant chacune d'identifier le parcellaire des EA des enquêtes 1 (démarche A), des EA productrices de miscanthus dans le bassin de collecte d'Aiserey (démarche B), des EA productrices de miscanthus dans le bassin de Baigneux-les-Juifs (démarche C) et des EA non productrices de miscanthus des deux bassins de collecte (démarche C). Ainsi, par ces 3 démarches d'identification, 63 parcellaires d'EA ont été reconstitués, dont 50 rattachés au département de la Côte-d'Or.

- Enfin, pour identifier les types de pédopaysages[29] rattachés à ces parcellaires, nous avons également utilisé la base de données DoneSOL de la Côte-d'Or au 1 : 250 000e de l'INRA (unité INFOSOL Orléans, 1998). Nous avons plus précisément intersecté dans un Système d'Information Géographique (SIG) cette couche d'information avec les 50 parcellaires rattachés à la Côte-d'Or.

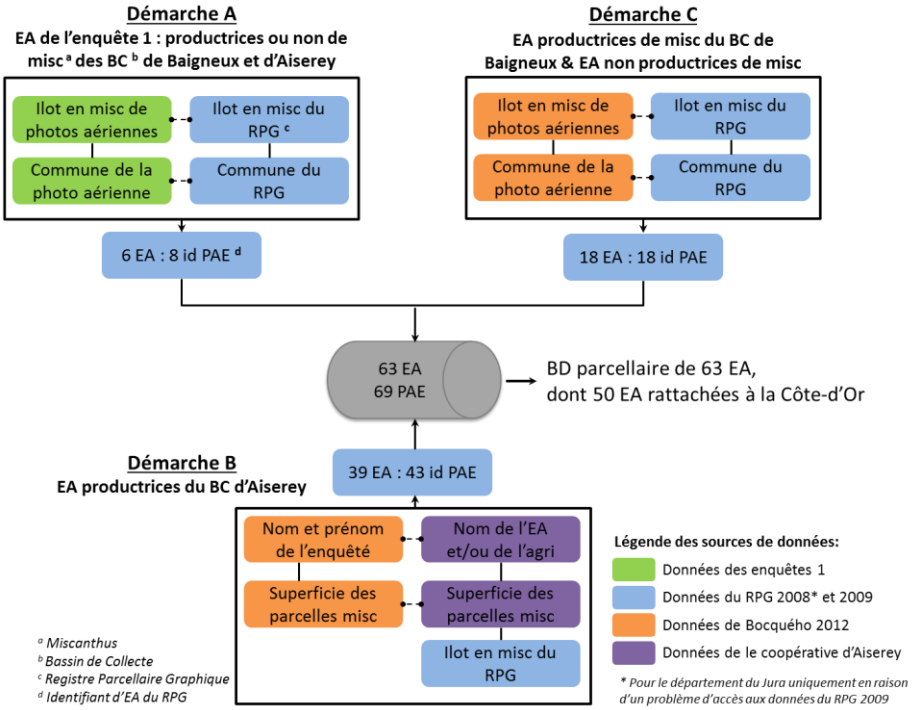


Figure 6.2 : schéma général du croisement d'informations de quatre sources de données permettant la géolocalisation de 63 parcellaires d'EA

[29] Un pédopaysage correspond « aux portions de la couverture pédologique où les facteurs de la pédogenèse sont homogènes : morphologie, lithologie, climat et dans certains cas occupation du sol ». Ces pédopaysages sont appelés Unités Cartographiques de Sol (U.C.S.) dans la base de données DoneSol de l'INRA (Dictionnaire des données, INRA Orléans, 2011)

2.1.2.Echantillonnage des EA a priori similaires aux EA des enquêtes 1

Les trois bases de données géographiques utilisées pour reconstituer le contexte pédopaysager de l'EA ont permis de décrire îlot par îlot, 50 parcellaires d'EA enquêtées par Bocquého (2012). C'est donc à partir de ces 50 EA que nous avons échantillonné les EA des enquêtes 2 (cf. figure 6.3), constituant ainsi la « base d'échantillonnage ». L'échantillonnage en lui-même s'est quant à lui fait en 3 étapes.

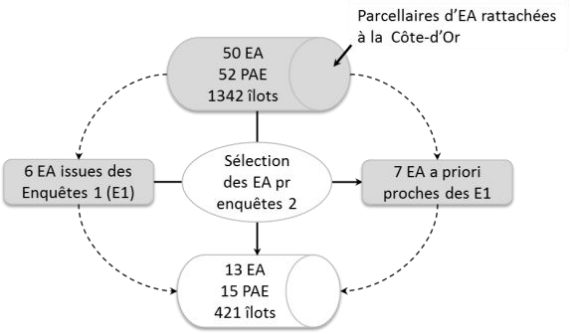


Figure 6.3 : schéma général d'échantillonnage des EA des enquêtes 2

Nous avons tout d'abord extrait de la base d'échantillonnage, les 6 EA des enquêtes 1 (cf. figure 6.3). Pour rappel, 10 EA avaient été enquêtées mais seules 6 d'entre elles ont été géolocalisées (cf. figure 6.2). Pour chacune de ces 6 EA, nous avons ensuite identifié les types de pédopaysage majoritaires, parmi l'ensemble de leur parcellaire, en calculant la part de chacun de ces pédopaysages et en sélectionnant, au cas par cas, les principaux pédopaysages en présence dans chacun de ces parcellaires (parts variant de 16 à 62% selon les EA).

La seconde étape de l'échantillonnage a consisté à extraire des 44 EA restantes, celles possédant les types de pédopaysage majoritaires des 6 EA des enquêtes 1. Pour cela, nous avons intersecté dans un SIG les couches des pédopaysages majoritaires, pour chacune des 6 EA, avec le parcellaire des 44 autres. A ce niveau, 13 EA ont été sélectionnées. Parmi elles, nous avons ensuite sélectionné les EA ayant le maximum de types de pédopaysage majoritaires en commun avec chacune des 6 EA des enquêtes 1 (l'identification des types de pédopaysages majoritaires pour ces 13 EA s'est faite par la même méthode que celle du paragraphe précédent). Parmi ces EA, nous avons ensuite sélectionné celles ayant le maximum de groupes de cultures majoritaires en commun (identifiés de la même manière que les types de pédopaysage). A ce niveau 10 EA ont été sélectionnées.

La troisième étape de l'échantillonnage correspond à la sélection finale des EA pour les enquêtes 2. Celle-ci s'est faite à partir : (i) des 10 EA sélectionnées pour leur similarité deux à deux avec les 6 EA des enquêtes 1 concernant les types de pédopaysages et de groupes de cultures majoritaires du parcellaire et (ii) à partir des caractéristiques générales de fonctionnement de l'EA. Ainsi, nous avons tout d'abord sélectionné les EA ayant le même type d'activité principale, regroupé en 2 catégories : avec ou sans élevage. Ces 2 catégories reposent sur l'hypothèse que l'activité d'élevage peut d'ores et déjà valoriser les parcelles difficiles à exploiter ou dites « marginales » par une mise en prairie, impactant alors négativement le potentiel d'insertion du miscanthus dans l'EA (Bocquého, 2012). Dans le cas où cette première sélection n'a pas été suffisante pour n'extraire qu'une seule EA *a priori* similaire aux EA des enquêtes 1, nous avons sélectionné ces EA en fonction de leurs perspectives de succession.

Ainsi, à l'issue de ce processus de sélection en 3 étapes, 7 EA *a priori* similaires pour partie aux 6 EA des enquêtes 1 ont été sélectionnées : 6 EA sont similaires deux à deux aux 6 autres des enquêtes 1, une 7ème EA a également été sélectionnée pour sa forte similitude avec 2 EA des enquêtes 1. Ainsi, 13 EA ont finalement été retenues pour étudier les règles de décision liées à l'insertion territoriale du miscanthus prises au niveau de la parcelle.

Variables d'investigation de l'enquêteur	Variables descriptives des enquêtés	Variables classées selon les perceptions des enquêtés
Taille de la parcelle	taille de la parcelle	X
Mode de faire valoir de la parcelle	statut foncier	
	pérennité d'usage foncier	
Occupations du sol	occupations du sol	
	niveau d'usage structurant de la parcelle	
Types de sol	texture et couleur du sol	X
	comportement mécanique du sol	
	régime hydrique du sol	
	caractéristiques de drainage du sol	
	profondeur du sol	
	pierrosité du sol	
	niveau d'acidité du sol	
	niveau de matière organique du sol	
	niveau de fertilité du sol	
Potentiel agronomique de la parcelle	potentiel agronomique	
	rendements moyens	
	état sanitaire de la parcelle	X
	besoin d'irrigation de la parcelle	X
Protection environnementale	zone protégée d'appartenance	X
Forme de la parcelle	forme de la parcelle	X
Distance de la parcelle	distance au siège d'EA	X
	distance à l'usine	
	distance aux parcelles de miscanthus	
Accessibilité de la parcelle	type de réseau d'accès	X
	carrossabilité du réseau d'accès	
	le niveau de trafic du réseau d'accès	
	obstacles de franchissement	
	largeur des obstacles	
Topographie de la parcelle	niveau de pente de la parcelle	X
	morphologie de la parcelle	
	exposition de la parcelle	X
	conditions climatiques de la parcelle	
Risques d'inondation de la parcelle	inondation par submersion	X
	excès d'eau et eau stagnante	
Voisinage de la parcelle	voisinage arboré	X
	voisinage habité	X
	voisinage à un cours d'eau	X
	voisinage à un fossé	X
	voisinage à certaines cultures agricoles	X
	autre voisinage	
	objet inclus dans la parcelle	X

Tableau 6.2 : Liste des variables descriptives des parcelles investiguées durant les entretiens

2.2. Conduite des entretiens et formalisation du discours

Nous avons montré dans la partie 1.2 la nécessité de conduire les enquêtes 2 de manière à expliciter les décisions de l'insertion territoriale, prises par les enquêtés au niveau de la parcelle et ce, de manière spatialement explicite.

Les entretiens des enquêtes 2 se sont donc appuyés sur la cartographie du parcellaire de l'enquêté (cf. figure 6.2) projetée sur notre ordinateur par SIG. Des entretiens ouverts ont alors été conduits pour expliciter îlot par îlot le potentiel d'insertion du miscanthus, en deux étapes : la première consistant à décrire le parcellaire de l'EA et la seconde consistant à spécifier le potentiel d'insertion territoriale du miscanthus.

2.2.1. Description du parcellaire et formalisation du discours

Plus concrètement, nous avons dans un premier temps demandé aux enquêtés de délimiter pour chaque îlot les parcelles d'usage. Nous leur avons ensuite demandé de décrire chaque parcelle par 12 variables, que nous avons choisies à partir des résultats des enquêtes 1 (cf. tableau 6.2).

<u>Une investigation de 12 variables en entretien ouvert</u>

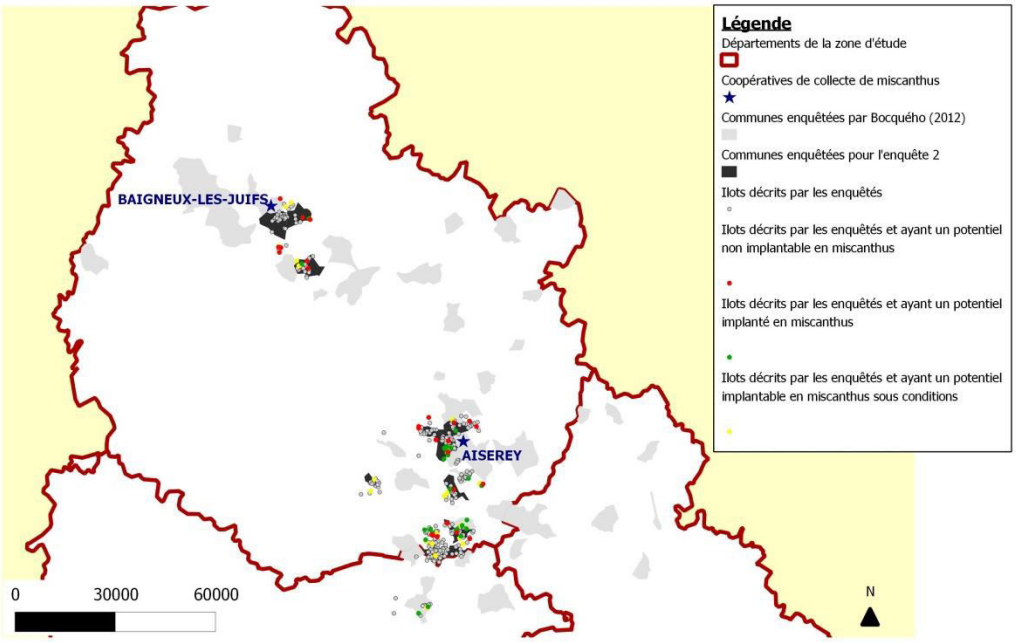
Parmi elles, 6 variables ont systématiquement été demandées par l'enquêteur : (i) la taille de la parcelle, (ii) son mode de faire valoir, (iii) ses occupations du sol, (iv) ses types de sol, (v) son potentiel agronomique et (vi) son appartenance éventuelle à une zone de protection environnementale (cf. tableau 6.2). Pour ne pas alourdir les entretiens, les 6 autres variables (cf. tableau 6.2) ont quant à elles été renseignées à l'initiative de l'enquêté selon les caractéristiques particulières de la parcelle.

<u>Une investigation des perceptions de l'enquêté sur son territoire d'EA en termes d'atouts et de contraintes</u>

Pour ces 12 variables, à l'exception du mode de faire valoir et des occupations du sol, nous avons également demandé aux enquêtés la perception qu'ils en avaient en termes de contraintes ou d'atouts pour l'exploitation de la parcelle et/ou pour le fonctionnement global de l'EA. Ces notions de contraintes et d'atouts ont en effet été utilisées pour identifier l'organisation spatio-fonctionnelle du territoire de l'EA, relativement à l'ensemble de ce territoire et aux valeurs de l'agriculteur (cf. chapitre 1). Ces notions ont été préférées à la notion de marginalité, fréquemment rencontrée dans la littérature sur l'insertion territoriale des cultures énergétiques, mais dont la définition ne trouve à ce jour aucun consensus et reste sujette à beaucoup d'ambigüités (cf. chapitre 1).

<u>Une description finale de 402 parcelles</u>

Ainsi, la description du parcellaire des 13 EA enquêtées totalise 373 îlots RPG. Comme 21 îlots RPG ont été divisés en deux parcelles d'usage voire plus, la totalité des parcelles décrites par les 13 EA enquêtées constitue une population finale de 402 individus. Notons qu'initialement, 421 îlots RPG étaient déclarés sous l'identifiant des 13 EA enquêtées (cf. figure 6.3). Au moins 11% de ces îlots RPG n'ont donc pas été décrits durant cette enquête, cela pour deux raisons principales.



Carte 6.1 : localisation des îlots décrits par les enquêtés lors des enquêtes 2

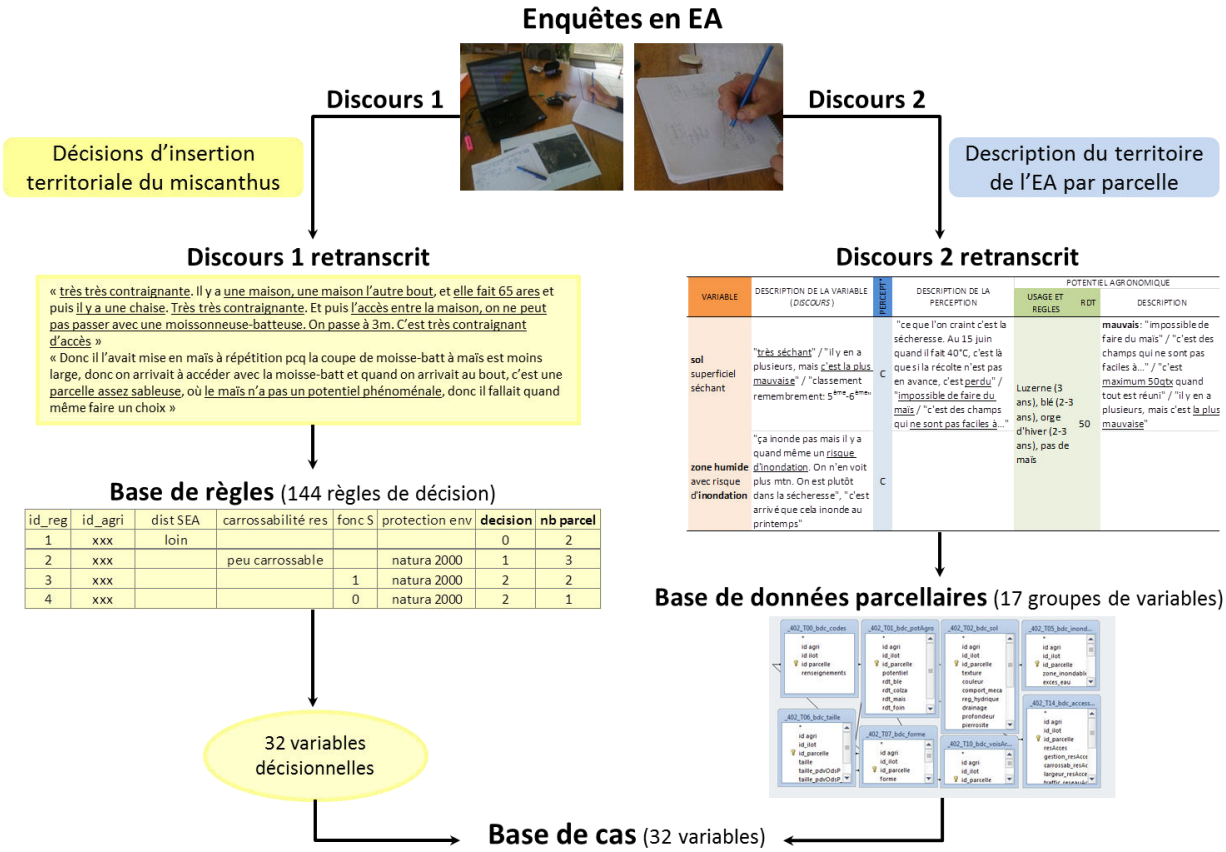


Figure 6.4 : représentation schématique de la formalisation des deux discours extraits des entretiens

D'une part, nous avons choisi de reconstituer le parcellaire selon l'année précédant l'implantation du miscanthus, pour les planteurs de miscanthus, ou l'année de l'enquête, pour les non planteurs de miscanthus ; l'objectif étant de reconstituer au mieux le contexte dans lequel les différentes décisions, décrites *a posteriori*, ont en réalité été prises par l'enquêté. Or dans cette phase de reconstitution, nous avons parfois été amenés à prendre en considération divers échanges fonciers, conduisant à des cessions et à des acquisitions pour lesquelles, il n'a pas toujours été possible de relocaliser les nouvelles acquisitions, faute de temps ou à cause des difficultés de reconnaissance visuelle des parcelles à partir du RPG. D'autre part, cette perte de renseignements peut aussi être liée à des oublis de description de certaines parcelles, mais nous pouvons faire l'hypothèse que ces parcelles peuvent être jugées comme peu déterminantes sur l'insertion territoriale du miscanthus.

Une description finale formalisée dans une base de données

Le discours des enquêtés décrivant les 402 parcelles a partiellement été retranscrit (cf. figure 6.4), puis formalisé dans une base de données composée de 41 variables et de 17 groupes de variables classés selon les perceptions des enquêtés (cf. tableau 6.2). La formalisation de ce discours en base de données a été choisie dans l'optique de réaliser une base de cas (cf. chapitre 7). Ce discours permet en effet de décrire chaque parcelle (cas) par des variables en lien avec l'insertion territoriale du miscanthus (cf. tableau 6.2), compensant alors l'inaccessibilité de ces données dans différentes bases de données géographiques. Outre le problème d'accessibilité des données pour décrire les variables, les résultats des enquêtes 1 ont aussi montré l'importance des caractéristiques territoriales, perçues relativement à l'ensemble de l'EA, dans les décisions liées à l'insertion territoriale du miscanthus. Cette base de données permet donc aussi de décrire les parcelles de manière relative, et par suite, d'appliquer le modèle de RàPC sur des descriptions territoriales pertinentes pour rendre compte des décisions réellement prises par les enquêtés. Enfin, dans une perspective non plus de modélisation mais d'analyse de discours, cette base de données permet de quantifier les liens entre les contraintes territoriales perçues par les enquêtés et le potentiel d'insertion territoriale du miscanthus (cf. partie 3.2.1). Signalons que pour formaliser le discours des enquêtés en variables descriptives, nous avons procédé au recoupement des différentes terminologies employées par les agriculteurs en les mettant au regard de celui figurant dans certaines bases de données, afin de trouver un vocabulaire commun entre les enquêtes.

2.2.2.Description du potentiel d'insertion du miscanthus et formalisation du discours

Une formalisation du discours en règles de décision puis en base de données

Parallèlement à la description du parcellaire, les enquêtés ont expliqué leurs choix liés à l'insertion territoriale du miscanthus. Ces explications ont été intégralement retranscrites (cf. figure 6.4). Elles ont ensuite été formalisées dans une base de données, appelée base de règles, composée de 144 règles de décision (cf. figure 6.4). Dans cette base, les prémisses[30] des 144 règles de décision ont été décrites par 32 variables, appelées variables décisionnelles et par 76 valeurs, appelées critères de décision (cf. partie 3.1). Le formalisme de la base de données a été choisi pour faciliter l'analyse des règles de décision par différents tableaux de contingence (cf. partie 3.1) et pour faciliter la lecture et la manipulation de ces règles par le prototype de RàPC (cf. chapitre 7).

Comme pour l'élaboration de la base de données décrivant le parcellaire des EA, pour formaliser le discours des enquêtés en règles de décision, nous avons procédé à de nombreuses itérations entre les discours des différents enquêtés, afin de trouver un vocabulaire commun entre eux.

[30] Les prémisses d'une règle de décision sont les arguments de la règle.

Conditions d'implantation du miscanthus pour le potentiel « implantable en miscanthus sous conditions » (code 2)	**Part des règles de décision**
1/ Conditions relatives à la conjoncture économique	
Si pérennité de la filière et débouchés garantis	46%
Si marge brute du miscanthus équivalente à celle du blé	
Si prix de vente du miscanthus de 100€/t MS à 300€/t MS	
2/ Conditions relatives à la réglementation environnementale	
Si acceptation du miscanthus dans le cahier des charges de Natura 2000	22%
Si miscanthus comptabilisé dans les Surfaces Equivalentes Topographiques	
Si obligation de remettre des surfaces en herbe	
Si autorisation du retournement des prairies	
Si autorisation de substituer les bandes enherbées par le miscanthus	
3/ Conditions relatives à la structure foncière du parcellaire	
Si accord du propriétaire pour implanter le miscanthus	13%
Si acquisition de nouvelles parcelles agricoles	
Si échange foncier avec acquisition de grandes parcelles adjacentes à une forêt ou à un bois	

Tableau 6.3 : Conditions d'implantation du miscanthus pour le potentiel « implantable en miscanthus sous conditions »

	Implantable en miscanthus (potentiel I)		Non implantable en miscanthus (potentiel NI)		Total	
	Règles mono	Règles multi	Règles mono	Règles multi	Règles mono	Règles multi
Règles S	2	37	15	17	17	54
Règles A	23	12	31	7	54	19
Total	25	49	46	24	71	73

Tableau 6.4 : caractéristiques de la base de règles

Des règles de décision à la fois spatialement explicites et aspatiales

Malgré le fait que l'ensemble des décisions des enquêtés prises au niveau de la parcelle décrive des territoires, *i.e.* des parcelles et leur environnement (cf. partie 3.1.2), les décisions des enquêtés ont été de deux types : elles ont été soit rattachées à une parcelle de l'EA correspondant à des décisions dites spatialement explicites, soit génériques et non situées dans l'espace correspondant à des décisions dites aspatiales. Signalons que le distinguo entre ces deux types de décision a uniquement été fait dans le cadre de l'élaboration du RàPC (cf. chapitre 7). Pour avoir une vue d'ensemble des décisions des enquêtés concernant les territoires d'insertion du miscanthus, nous avons en effet préféré ne pas distinguer les décisions spatialement explicites des décisions aspatiales.

Des décisions regroupées en 2 catégories de potentiel pour l'insertion du miscanthus

Les solutions des 144 règles de décision des enquêtés révèlent trois potentiels d'insertion territoriale du miscanthus : « non implantable en miscanthus » (code 0) représentant 49% de ces décisions, « implanté en miscanthus » (code 1) représentant 19% des décisions et « implantable en miscanthus sous conditions » (code 2) représentant 32% des décisions.

Parmi les conditions d'implantation du dernier potentiel, deux ont été proposées par l'enquêteur représentant chacune 9% des décisions liées à ce potentiel : (i) la condition d'un consentement à produire du miscanthus, si l'enquêté était non producteur et (ii) la condition d'une substitution de la parcelle implantée en miscanthus par une autre, si la première n'était pas présente dans le territoire d'EA. Les conditions énoncées par les enquêtés, quant à elles, portent sur les changements d'organisation du territoire de l'EA et concernent : (iii) l'évolution de la structure foncière du parcellaire (cf. tableau 6.3), condition pour 13% des décisions liées à une implantation en miscanthus sous conditions ; (iv) l'absence de contraintes agronomiques telles que le manque de portance de certains sols humides et la conversion en agriculture biologique d'une EA, conditions pour 4% des décisions et (v) l'intensification possible des tensions relationnelles avec les habitants situés au voisinage des parcelles de l'EA, conditions pour 2% des décisions.

> ***Extraits du discours d'E10*** *: « Celle-là elle devait y être mais elle n'y est pas car je l'ai mise en bio. Trop loin, pas de forme, très hydromorphe, c'est un de mes plus mauvais champs. Et puis quand j'ai vu qu'ils me faisaient suer avec leurs plants pourris, j'ai dit « allez stop, on arrête là le miscanthus » et puis comme j'ai vu que je passais en bio, j'ai mis ce champ en bio »*

> ***Extraits du discours d'E7*** *: « Si un jour j'avais des contraintes environnementales avec le voisinage, bon après, une fois que c'est planté en miscanthus on n'intervient plus dessus à part pour la récolte et puis voilà. Si un jour on était contraint de ne plus pouvoir cultiver dans ces conditions-là… »*

Les conditions énoncées par les enquêtés portent d'autre part sur les changements d'environnement de l'EA et concernent : (vi) l'évolution de la conjoncture économique et (vii) l'évolution de la conjoncture réglementaire (cf. tableau 6.3).

Compte tenu de la similarité des règles de décision des potentiels « implanté en miscanthus » et « implantable en miscanthus sous conditions », ces deux potentiels d'insertion du miscanthus ont été regroupés sous la même catégorie « implantable en miscanthus » pour nos analyses.

Caractéristiques finales de la base de règles de décision

Ainsi, les règles de décision que nous avons formalisées concernent autant de règles de type « implantable en miscanthus » que de règles de type « non implantable en miscanthus », totalisant respectivement 74 et 70 règles de décision (cf. tableau 6.4). Ces règles de décision sont aussi à la fois monocritères et multicritères, à parts quasiment égales, totalisant respectivement 71 et 73 règles de

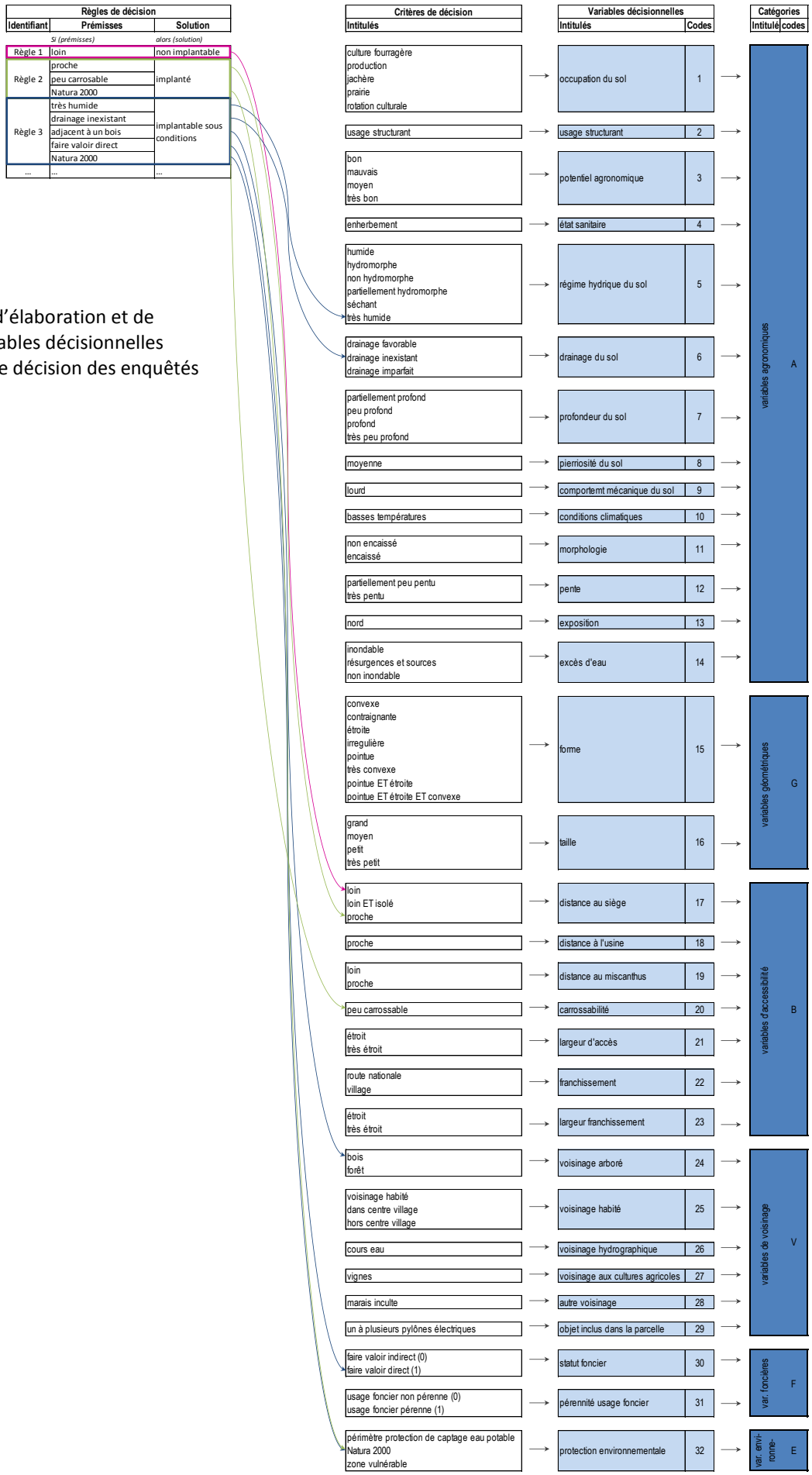


Figure 6.5 : processus d'élaboration et de catégorisation des variables décisionnelles issues des 144 règles de décision des enquêtés

décision (cf. tableau 6.4). Les règles spatialement explicites (S) et aspatiales (A) sont, elles aussi, présentes à parts quasiment égales, avec des règles S d'avantage caractérisées par des règles de type multicritère et avec des règles A d'avantage caractérisées par des règles de type monocritère.

Caractéristiques finales des 402 parcelles décrites par les enquêtés

Parmi les 402 parcelles, 54 parcelles sont déclarées implantables en miscanthus et 28 sont déclarées non implantables en miscanthus. 320 parcelles, non implantées en miscanthus, n'ont en revanche pas fait l'objet d'une explicitation des règles de décision relativement au miscanthus, bien qu'ayant été décrites du point de vue de leurs caractéristiques (cf. carte 6.1).

3. Résultats

3.1. Une insertion du miscanthus déterminée par une pluralité de variables, de territoires et de niveaux d'organisation des territoires

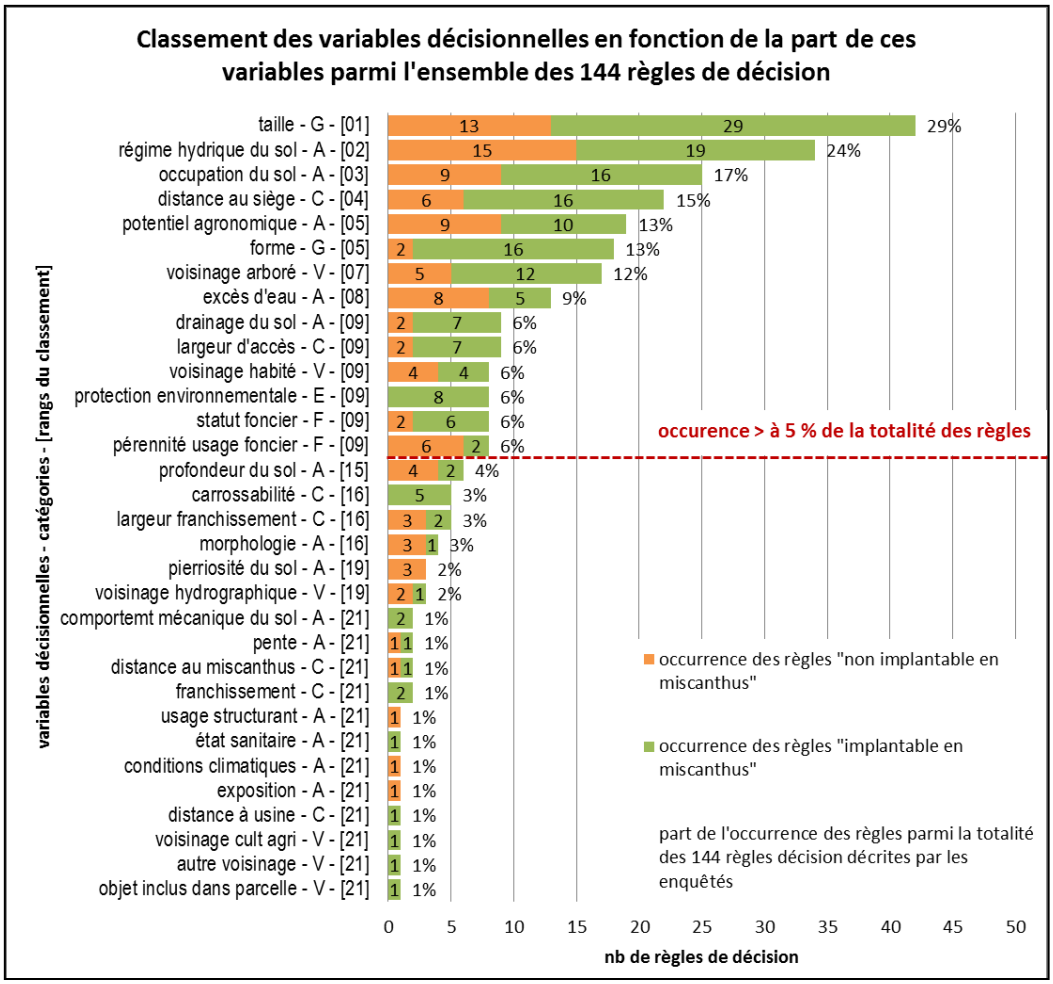
Le recensement de l'ensemble des critères de décision énoncé au sein des 144 règles de décision des enquêtés (cf. partie 2.2.2) montre que l'insertion territoriale du miscanthus se décide à partir de 76 critères de décision regroupables en 32 variables (cf. figure 6.5).

Nous avons ensuite regroupé ces variables, elles-mêmes de natures différentes, en 6 catégories (cf. figure 6.5). Ainsi, les critères d'insertion territoriale du miscanthus sont liés aux caractéristiques agronomiques de la parcelle (catégorie A), à sa géométrie (catégorie G), à ses conditions d'accès (catégorie C), à son voisinage (catégorie V), à ses caractéristiques foncières (catégorie F) et à ses caractéristiques environnementales (catégorie E). Ces catégories de variables ont été ordonnées selon l'occurrence des critères de décision de chacune d'elles, parmi les 144 règles de décision citées par les enquêtés (cf. tableau 6.5), considérant que l'occurrence apporte une indication possible de l'importance de ces catégories, pour l'ensemble des EA enquêtées. Ainsi, les caractéristiques agronomiques de la parcelle (catégorie A) constituent le groupe de variables décisionnelles le plus important, représentant 43% du total des occurrences des variables des 6 catégories (cf. tableau 6.5).

	Occurrence des critères de décision issus des 144 règles de décision par catégories de variables (lignes) et par types de règles de décision I et NI (colonnes)			
Catégories	Implantables en misc (I)	Non implantables en misc (NI)	Total par catégories	Part du total des règles
A « agronomie »	64	57	121	43%
G « géométrie »	45	15	60	21%
C « accessibilité »	34	12	46	16%
V « voisinage »	20	11	31	11%
F « statut foncier »	8	8	16	6%
E « environnement »	8	0	8	3%
Total par types de règle	179	103	**282***	-

** Comme une même règle de décision peut être composée de critères de décision de catégories de variables différentes (ex : si taille de la parcelle = petite (catégorie G) ET si distance de la parcelle au siège d'EA = éloignée (catégorie C) alors…), il est normal que le total des occurrences des critères de décision des 6 catégories de variables (282) soit supérieur au total des règles de décision citées par les enquêtés (144).*

Tableau 6.5 : Occurrences des critères de décision par catégories de variables décisionnelles



Graphique 6.1 : occurrence et classement des variables décisionnelles en fonction de la part de celles-ci parmi l'ensemble des 144 règles de décision citées par les enquêtés

Catégories	Variables décisionnelles	Codes
A	Régime hydrique du sol	5
	Occupation du sol	1
	Potentiel agronomique	3
	Excès d'eau de la parcelle	14
	Drainage du sol	6
G	Taille de la parcelle	16
	Forme de la parcelle	15
C	Distance du siège d'EA	17
	Largeur du réseau d'accès	21
V	Voisinage arboré	24
	Voisinage habité	25
F	Statut foncier de la parcelle	30
	L'usage pérenne de la parcelle	31
E	Protection environnementale	32

Tableau 6.6 : Liste des principales variables décisionnelles liées à l'insertion territoriale du miscanthus

3.1.1. Les variables décisionnelles de l'insertion territoriale du miscanthus

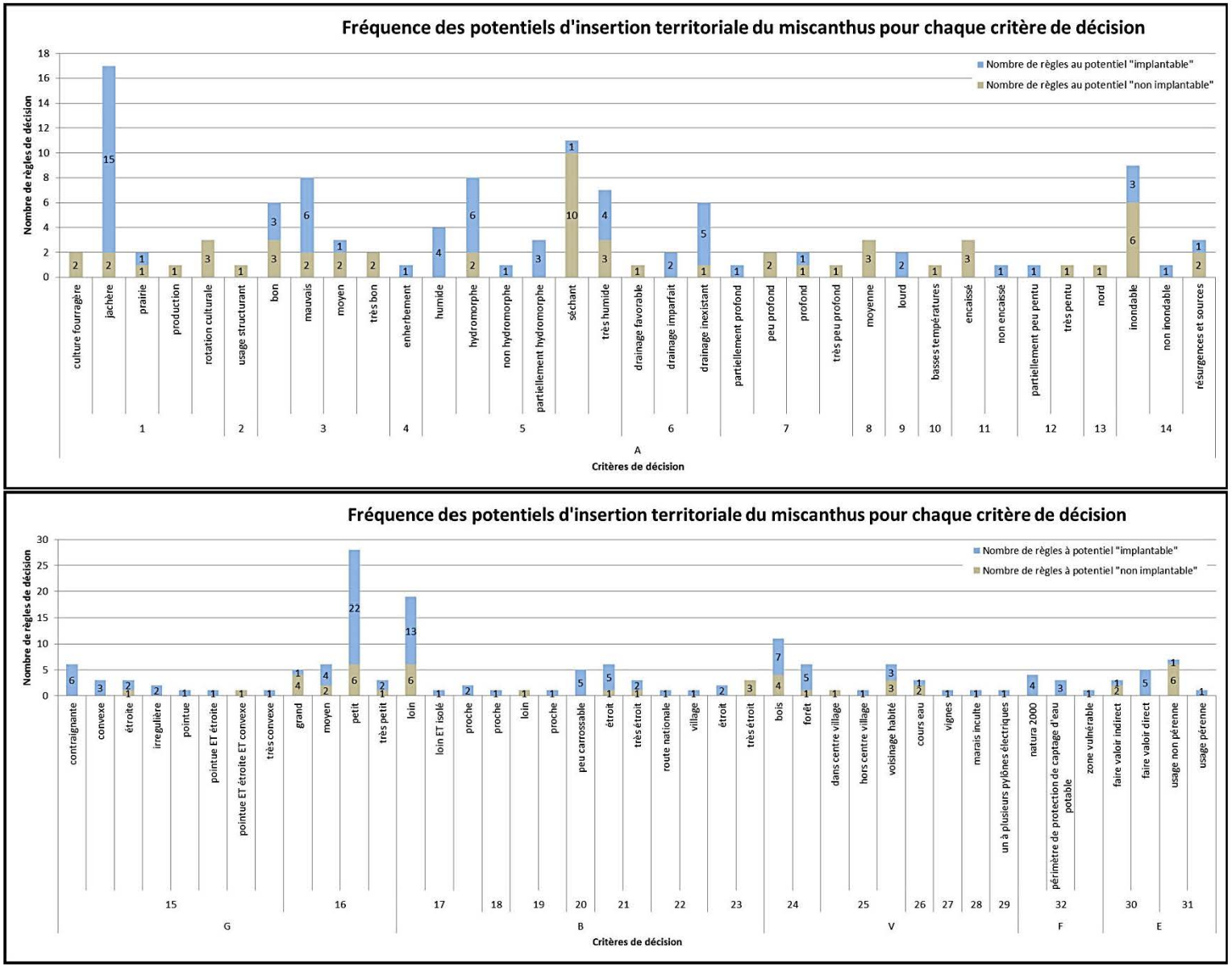
Comme le montre la figure 6.5, l'importance de la catégorie A s'explique par le grand nombre de variables regroupées au sein de cette catégorie. Les critères de décision agronomiques reposent en effet sur 14 variables : les occupations du sol pour la parcelle considérée, l'usage structurant ou non de la parcelle (ex : parcelle appartenant à un bloc de cultures), le potentiel agronomique de la parcelle pour les cultures en place avant l'insertion du miscanthus, l'état sanitaire de la parcelle exprimé par son niveau d'enherbement, le régime hydrique du sol, les caractéristiques de son drainage, la profondeur du sol, son niveau de pierrosité, le comportement mécanique du sol (ex : terres lourdes), les conditions climatiques pesant sur la parcelle exprimées en termes de températures, la morphologie de la parcelle (ex : encaissée), son niveau de pente, son exposition et son niveau d'excès d'eau (ex : résurgences sourceuses, inondablilité par submersion). Outre le grand nombre de variables regroupées au sein la catégorie A, le graphique 6.1 montre que cinq variables ont été parmi les plus fréquemment citées par les enquêtés au travers de leurs règles de décision : il s'agit du régime hydrique du sol (variable citée pour 24% des règles de décision des enquêtés), de l'occupation du sol (17%), du potentiel agronomique de la parcelle (13%), du niveau d'excès d'eau (9%) et du drainage du sol (6%). La catégorie G, liée aux caractéristiques géométriques de la parcelle est quant à elle composée de seulement deux variables. En revanche, celles-ci ont un fort pouvoir décisionnel puisque la taille et la forme de la parcelle arrivent respectivement au 1er et 5ème rang du classement, représentant 29% et 12% de la totalité des règles de décision (cf. graphique 6.1).

Comme pour la catégorie A, la catégorie C liée aux conditions d'accès de la parcelle repose sur un grand nombre de variables (7 variables), dont deux appartenant aux dix premiers rangs du classement (cf. graphique 6.1). L'insertion du miscanthus dépend en effet de la distance de la parcelle au siège d'EA (4ème rang), mais aussi et dans une moindre mesure, de la distance de la parcelle à l'usine et aux autres parcelles du miscanthus (21ème rang). Aux critères de distances, s'ajoutent également des critères de largeur du réseau d'accès (chemins et routes) jusqu'à la parcelle (9ème rang), des critères de carrossabilité de ces chemins (16ème rang), de largeur d'éventuels obstacles de franchissement (ex : portail, pont) et moins spécifiquement, de la présence ou non d'un de ces obstacles sur le réseau d'accès (16ème et 21ème rang).

L'insertion du miscanthus selon le voisinage de la parcelle (catégorie V) repose sur 5 variables, dont 2 appartenant également aux dix premiers rangs du classement (cf. graphique 6.1). Parmi elles, le voisinage arboré, *i.e.* l'adjacence de la parcelle à une forêt ou un bois, représente une variable décisionnelle importante, classée au 7ème rang. L'adjacence de la parcelle aux habitations (voisinage habité) est également une variable décisionnelle importante, classée cette fois-ci au 9ème rang. Les 3 autres variables, moins représentatives de l'ensemble des règles de décision des enquêtés (21ème rang) sont l'adjacence de la parcelle à un cours d'eau (voisinage hydrographique), l'adjacence de la parcelle à certaines cultures agricoles (vignes) et à d'autres types de voisinage (marais).

Enfin, l'ensemble des variables de la catégorie F, liées au statut foncier et à la pérennité de l'usage foncier, et de la catégorie E, liées à la protection environnementale de la parcelle, appartient aussi aux dix premiers rangs du classement (cf. graphique 6.1).

L'insertion territoriale du miscanthus est donc décidée à partir de 32 variables décisionnelles liées majoritairement aux caractéristiques agronomiques de la parcelle, à sa géométrie, à son accessibilité, à son voisinage, à son statut foncier et à sa protection environnementale. Parmi ces variables, un noyau de 14 variables représentent plus de 5% des règles de décision des enquêtés (cf. tableau 6.6). Dans la suite de l'analyse des résultats des enquêtes, nous avons donc accordé une attention particulière pour ces 14 variables décisionnelles.



Graphique 6.2 : fréquence des potentiels d'insertion territoriale du miscanthus pour chaque critère de décision

3.1.2. Les niveaux de décision et d'organisation du territoire liés à l'insertion territoriale du miscanthus

Le recensement des critères de décision et par suite, des variables décisionnelles, présenté dans la partie précédente montre bien que les décisions spatialement explicites de l'insertion territoriale du miscanthus sont prises au niveau de la parcelle. Ce recensement montre aussi que les décisions prises au niveau de la parcelle intègrent dans leur choix deux niveaux d'organisation du territoire.

Le premier niveau d'organisation du territoire est bien évidemment celui de la parcelle. Les variables que nous afférons alors à ce niveau correspondent à celles qui peuvent être bornées aux limites de la parcelle, autrement dit, aux variables qui décrivent les caractéristiques intrinsèques de celle-ci. Ces variables concernent par exemple le régime hydrique du sol et les caractéristiques environnementales de la parcelle.

A contrario, les variables qui décrivent les relations entre la parcelle et le reste du territoire, et qui ne peuvent donc pas être bornées aux limites de la parcelle, sont considérées comme les descripteurs de caractéristiques extrinsèques de la parcelle (ex : distance de la parcelle au siège d'EA). Compte tenu de l'absence de territoire plus englobant que celui de l'EA pris en compte dans les variables décisionnelles des enquêtés, le deuxième niveau d'organisation auquel nous nous référons ici est donc celui du territoire de l'EA.

Notons que l'existence de ces deux niveaux d'organisation du territoire intégrés au niveau de décision de la parcelle a eu d'importantes conséquences en termes de modélisation par RàPC (cf. chapitre 7).

3.1.3. L'organisation des territoires à potentiel d'insertion du miscanthus

Le graphique 6.2 représente le potentiel d'insertion territoriale du miscanthus pour chaque critère de décision (au nombre de 76) pour l'ensemble des variables décisionnelles (au nombre de 32, cf. figure 6.5). Ce potentiel est décliné en deux catégories : la catégorie « implantable en miscanthus » représentée en bleu et la catégorie « non implantable en miscanthus » représentée en brun.

Le graphique permet alors d'identifier d'un seul coup d'œil l'unanimité ou l'ambivalence du discours des enquêtés quant à chaque critère. Ce graphique montre plus particulièrement qu'aucun critère n'est largement dominant. En effet, les 8 critères les plus fréquemment cités sont des critères dont les postures sont ambivalentes, ce qui ne donne pas de conclusions univoques sur le lien entre ce critère et l'implantation du miscanthus (cf. tableau 6.7). Ainsi, à l'exception des 8 variables décrites dans le tableau 6.7, ce graphique permet aussi d'identifier une distribution des règles de décision qui est globalement homogène et nivelée en dessous de 5% du total des règles de décision citées par les enquêtés (*i.e.* en dessous de 7 règles de décision). Ainsi, ce graphique montre que les règles de décision sont très contrastées.

Variables décisionnelles	Critères de décision	nb règles de décision	% du tot des règles	Potentiel
occupation du sol	jachère	17	0,12	ambivalent
potentiel agronomique	mauvais	8	0,06	ambivalent
régime hydrique du sol	hydromorphe	8	0,06	ambivalent
régime hydrique du sol	séchant	11	0,08	ambivalent
excès d'eau	inondable	9	0,06	ambivalent
taille	petit	28	0,19	ambivalent
distance au siège d'EA	loin	19	0,13	ambivalent
voisinage arboré	bois	11	0,08	ambivalent

Tableau 6.7 : critères de décision appartenant à plus de 5% des règles de décision des enquêtés

Le graphique 6.2 montre donc la difficulté d'une interprétation des décisions, qui sont une combinaison des règles de décision, à partir d'un unique recensement quantitatif des critères de décision. Il montre plus particulièrement la nécessité d'analyser l'articulation de ces critères au sein d'une même règle de décision. Pour rappel 51% des 144 règles de décision des enquêtés sont multicritères et décrivent à elles seules 76% des règles spatialement explicites (cf. partie 2.2.2), *i.e.* celles qui nous intéressent *a priori* le plus pour construire un modèle spatialement explicite (cf. chapitre 7).

Or les règles de décision multicritères et spatialement explicites, composées d'un nombre de critères de décision variable, sont aussi caractérisées par une combinaison très disparate de critères de décision. Cette disparité montre qu'il n'y a pas de combinaison de critères à tendance majoritaire, ni même de sous-ensemble de variables décisionnelles commun. Ceci montre bien que les territoires d'insertion du miscanthus sont très hétérogènes et qu'un même critère de décision pour un même enquêté peut à la fois être favorable à l'insertion du miscanthus pour une certaine combinaison de critères (donc pour un certain contexte territorial de la parcelle) et défavorable dans un autre. Les ambivalences lues dans le graphique 6.2 relèvent donc d'ambivalence de potentiel d'insertion du miscanthus pour le critère de décision en lui-même, selon les enquêtés, mais aussi pour le contexte territorial d'ensemble de la parcelle. Ceci confirme bien que les décisions d'insertion territoriale du miscanthus sont prises au niveau de la parcelle (cf. partie 3.1.2) et ceci montre aussi qu'il faut bien modéliser ces décisions au cas par cas.

Comme nous l'avons déjà expliqué dans le chapitre 3, le raisonnement à partir de cas a été retenu pour sa capacité à modéliser un phénomène au cas par cas. En revanche, comme nous l'avons signalé aussi, le RàPC nécessite d'importantes connaissances, comme les connaissances d'adaptation pour transférer un potentiel d'insertion du miscanthus d'une parcelle à une autre. Autrement dit, il est nécessaire de comprendre *a minima* l'origine des ambivalences de potentiel pour chaque critère de décision et l'origine des sous-ensembles de variables décisionnelles prises en compte.

Pour obtenir ces connaissances, nous devons donc rentrer au cœur du processus de décision des enquêtés.

3.2. Un processus de décision complexe dans la perspective d'une modélisation spatialement explicite

Nous avons vu dans la partie précédente que les règles de décision liées à l'insertion territoriale du miscanthus sont très contrastées, en termes de variables décisionnelles et de critères de décision pris en compte. Nous avons vu également que le potentiel d'insertion du miscanthus est très sensible à la variation d'un de ces critères ou, dans la majorité des cas, de certaines combinaisons de critères. Il convient donc dans cette partie d'en comprendre les causes et de dégager des enseignements possibles sur les caractéristiques des territoires d'insertion du miscanthus.

A cette fin, l'analyse du discours que nous avons menée révèle que les ambivalences et les sous-ensembles de variables décisionnelles sont certes liés à des effets combinatoires, mais aussi à des effets seuils et à des effets de préférence des enquêtés, difficiles à reconstituer.

3.2.1. Des décisions soumises à un effet « seuil »

L'effet seuil s'explique par la particularité du processus de décision étudié reposant sur deux référentiels et cinq points de vue décisionnels (cf. figure 6.6).

L'origine des seuils de potentialité de miscanthus par critère de décision

Le premier référentiel est bien sûr celui du miscanthus. Ce référentiel repose essentiellement sur 3 points de vue : les capacités de la parcelle à produire du miscanthus, *i.e.* à répondre aux besoins physiologiques du miscanthus, les capacités de la parcelle à en permettre la récolte dans de bonnes conditions économiques et logistiques et enfin, les capacités d'améliorer le système de l'EA en place par une implantation du miscanthus sur la parcelle.

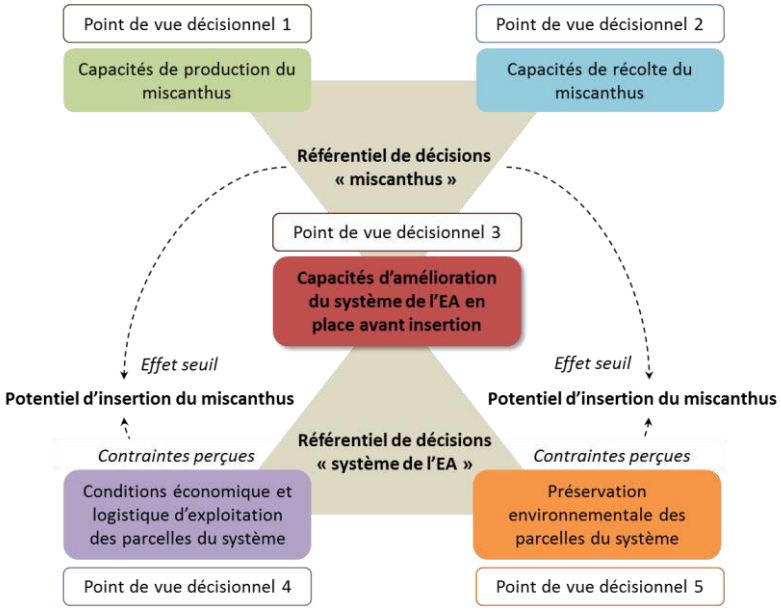
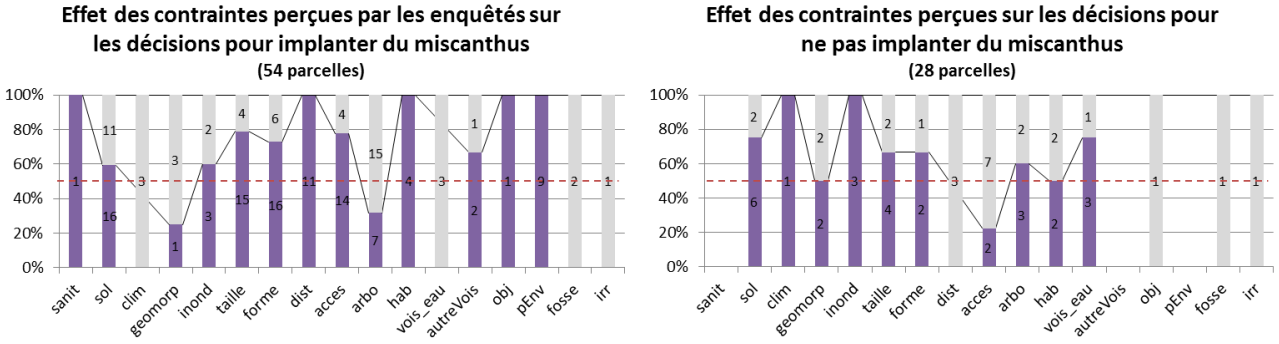


Figure 6.6 : référentiels et points de vue décisionnels liés à l'insertion territoriale du miscanthus

Le point de vue des capacités d'amélioration du système de l'EA en place indique que les décisions liées à l'insertion territoriale du miscanthus reposent aussi sur un deuxième référentiel, qui est donc celui du système de l'EA en place avant l'insertion du miscanthus (cf. figure 6.6), et qui est lui-même appréhendé sous l'angle des contraintes techniques, perçues par chaque enquêté.

Le graphique 6.3 montre en effet que les décisions de l'insertion territoriale du miscanthus reposent bien sur les caractéristiques parcellaires perçues comme contraignantes par les enquêtés. On remarque que 13 groupes de variables perçues comme contraignantes (sur 17, cf. partie 2.2.1) pour une parcelle donnée ont majoritairement aussi été des variables décisionnelles pour implanter du miscanthus. Ainsi, 72% des contraintes perçues par les enquêtés correspondent à des critères de décision, contre 9% d'atouts parcellaires perçus par les enquêtés.



Graphique 6.3 : Distribution des contraintes parcellaires équivalant (en violet) ou non (en gris) à des critères de décision liés à l'insertion territoriale du miscanthus

Types de potentiel	Contraintes liées aux conditions économiques et logistiques d'exploitation des parcelles	Potentiel I	Potentiel NI
a	(Risque de) mauvais rendements *Causes : dégâts de gibier, risque de gel, sols séchants, ombrage, etc.*	X	X
a	Difficulté du travail mécanique du sol *Causes : terres lourdes, pierrosité du sol*	X	X
a	Limitation ou exclusion de certaines cultures sur la parcelle *Causes : hydromorphie du sol, petite surface d'exploitation, etc.*	X	X
b	Nombreuses et/ou difficultés de manutentions du matériel agricole *Causes : parcelle étroite, pylônes électriques inclus dans la parcelle, etc.*	X	X
b	Nombreuses manœuvres et/ou difficultés de manœuvres *Causes : forme irrégulière de la parcelle, accès étroit entre les maisons, etc.*	X	X
a	Parcelle intégralement ou partiellement incultivable *Causes : présence de mouillères, etc.*	X	X
b - c	Manque de rentabilité d'exploitation de la parcelle *Causes : éloignement de la parcelle, mauvais potentiel agro, etc.*	X	X
a - b - c	Difficultés générales d'exploitation de la parcelle *Causes : (non renseignés)*	X	
b	(Risque de) détérioration du matériel agricole *Causes : chemin étroit en lisière de forêt, grillage d'habitations, etc.*	X	X
c	Accès distinct des parcelles voisines et détour occasionné *Causes : cours d'eau séparant deux parcelles voisines, etc.*		X
b	Importance du temps de travail de la parcelle *Causes : parcelle à forme irrégulière, terres lourdes, etc.*	X	
c	Inaccessibilté de la parcelle *Causes : portail trop étroit, passage trop étroit entre les maisons, etc.*	X	X
a	Manque de surface pour compenser une autre contrainte de production *Causes : petite parcelle ombragée, petite parcelle avec résurgences, etc.*	X	
c	Difficultés d'usage et/ou de franchissement de voies et/ou de zones habitées à forte circulation *Causes : accès d'une parcelle dans le sens contraire de la nationale, etc.*		X
d	Interdiction du drainage de la parcelle *Causes : protection environnementale*	X	
d	Parcelle intégralement ou partiellement incultivable *Causes : protection environnementale*	X	
d	Réglementation des pratiques culturales *Causes : protection environnementale*	X	
e	Tensions relationnelles avec le voisinage *Causes : nuisance des produits chimiques, de la poussière*	X	
e	Croisement des intrants et/ou épendage dans le voisinage *Causes : parcelle étroite en bordure de cours d'eau, etc.*	X	
e	Monoculture et risques sanitaires *Causes : risque d'inondation, accès étroit pour rampe de moissonneuse, etc.*	X	

a : capacités de l'insertion du miscanthus à maîtriser les risques de mauvais rendements de la parcelle et plus globalement à améliorer la gestion de l'assolement de l'EA / b : capacités de l'insertion du miscanthus à réduire le temps de travail dans les parcelles contraignantes à exploiter / c : capacités de l'insertion du miscanthus à réduire les déplacements jusqu'à la parcelle / d : capacités de l'insertion du miscanthus à répondre aux exigences environnementales des zones protégées/ e : capacités de l'insertion du miscanthus à répondre à d'autres exigences environnementales

Tableau 6.8 : contraintes liées à l'insertion territoriale du miscanthus et causes possibles de la contrainte classées selon le potentiel d'insertion du miscanthus, *i.e.* favorables (en vert), défavorable (en orange) ou ambivalent (en violet)

traction mécanique difficile	battance du sol
entretien de la lisière arborée	coût et entretien d'une clôture
ravinement de la parcelle	acidité du sol
sens de travail restreint par le relief et/ou mal adapté à la géométrie	choix de la rotation en fonction du voisinage
irrigation débordant sur le voisinage	irrigation nécessaire aux cultures
emboisement de la parcelle	rallongement de la rotation
déplacements et/ou difficultés de surveillance du troupeau	usage de chemins privatifs
assolement distinct	

Tableau 6.9 : contraintes non liées à l'insertion territoriale du miscanthus

Les deux points de vue liés au référentiel du système de l'EA en place sont les points de vue des contraintes logistiques et économiques d'exploitation des parcelles (ex : temps et coût d'exploitation de la parcelle, rentabilité de la mise en culture d'une parcelle à faible potentiel agronomique) et de la préservation environnementale de la parcelle et du territoire (ex : surdosage des amendements lié à la taille et à la forme de la parcelle, adjacence de la parcelle à un cours d'eau ou au voisinage habité) (cf. tableaux 6.8 et 6.9).

> ***Extraits de discours d'E4*** *: [LM : ça vous fait économiser combien de trajets ?] « (pour le maïs) Si on compte 3-4 trajets pour le travail du sol ; le semis : ça fait 5 ; 3 traitements : ça fait 8, et puis la récolte quoi, donc ça fait déjà 10… Le blé c'est pareil, même un peu plus. Et puis l'engrais encore, 3. Donc ça fait une douzaine. Le blé de toute façon, ça fait une préparation du sol d'au moins 3-4 voyages ; semis 5 ; engrais 3 ; ça fait 8 ; fongicide 2 ça fait 10, 12. Donc oui, une quinzaine pour les blés. Ça dépend des années, si vous faites des insecticides »*
>
> ***Extraits de discours d'E2*** *: « Une parcelle pas drainée : très mauvaise, enfin humide, humide, très humide (…). J'ai tout le temps vu en jachère. J'habite depuis 10 ans ici, j'ai tout le temps vu une parcelle fixée en jachère. Après j'ai réfléchis pour drainer ou planter en miscanthus (…). Ce n'est pas le même prix : je dis « hop, je fais le miscanthus dedans ». Mais finalement, je trouve quand même que c'est une erreur, vu comment c'est maintenant le marché (…). Et pour le miscanthus aussi : ouh pour récolter ! C'est limite, limite : humide, humide. Je me suis deux fois embourbé dedans cette année. C'est terriblement humide là-bas »*
>
> ***Extraits de discours d'E11*** *: « Bon, moi j'ai voulu faire des petits bouts parce qu'à l'époque il n'y avait plus besoin de faire des jachères etc. Donc ça c'était des parcelles qui étaient en jachère. Donc plutôt que d'aller broyer deux fois par an pour aller entretenir le terrain, ça ne rapporte pas plus que… ça ne rapporte rien du tout même, enfin pas grand-chose. Donc je me dis pourquoi ne pas faire ça. C'est nouveau, c'est dans l'air du temps, énergie renouvelable… »*
>
> ***Extraits du discours d'E4*** *: [LM : quelles contraintes y a-t- il sur la zone vulnérable ?] « Pour le moment, on n'en a pas des contraintes à part des histoires de couverts végétaux obligatoires en cas de cultures de printemps. C'est des trucs comme ça je veux dire, après… On n'a pas de contraintes au niveau engrais, aux niveaux produits pour le moment. Mais de toute façon, ça ne va pas durer. Surtout que là-bas, on est le long de la rivière, il y a des pêcheurs à tout moment. A chaque fois que l'on se ramenait avec le pulvé, je ne vous dis pas. Si ça avait été des chasseurs, on aurait pris des coups de fusil des fois » / « On s'attend dans les années à venir à être limités au niveau des engrais, enfin pour tout quoi » / « Nan mais des parcelles comme cela, vu comment elles sont situées, un jour ou l'autre, ils vont dire culture zéro… Si cela continue comme cela : du bio même ! »*

On remarque cependant, dans le graphique 6.3, que les contraintes parcellaires ne sont pas uniquement décisives pour implanter du miscanthus mais qu'elles le sont aussi pour ne pas en implanter. C'est le cas pour dix variables (cf. graphique 6.3), dont celles liées aux contraintes climatiques, à l'inondabilité de la parcelle, au type de sol et au voisinage de la parcelle avec un cours d'eau.

Les contraintes techniques des parcelles perçues par chaque enquêté jouent donc à la fois le rôle de levier et de frein à l'insertion territoriale du miscanthus. Le couplage permanent des deux référentiels dans la prise de décision des enquêtés implique par conséquent des interactions entre les différents points de vue décisionnels. Ainsi, une contrainte parcellaire présentera un potentiel favorable à l'insertion du miscanthus dès lors que cette insertion permettra de réduire les gênes causées par la contrainte (points de vue 3, 4 et 5) et dès lors que celle-ci ne compromettra pas les capacités mêmes de production et de récolte de la parcelle pour le miscanthus (point de vue 1 et 2). A l'inverse une contrainte parcellaire présentera un potentiel défavorable à l'insertion du miscanthus dès lors qu'elle compromettra les capacités de production et de récolte du miscanthus, et une contrainte parcellaire présentera un potentiel neutre dès lors qu'elle ne répondra pas aux capacités d'amélioration du système de l'EA en place (points de vue 3, 4 et 5).

Ces interactions expliquent donc que certaines contraintes et par suite certains critères de décision soient systématiquement favorables, défavorables ou neutres à l'insertion du miscanthus (cf.

tableaux 6.8 et 6.9). Mais ces interactions expliquent surtout l'ambivalence du potentiel d'insertion du miscanthus pour de nombreux critères de décision (cf. partie précédente). En effet, derrière chacun des critères de décision, liés aux capacités d'amélioration du système de l'EA (points de vue 3, 4 et 5), se cache un seuil à partir duquel le niveau de contraintes associées compromet les capacités de production et de récolte du miscanthus (points de vue 1 et 2). Ainsi, d'une règle de décision à l'autre, un même critère de décision peut être favorable à l'insertion du miscanthus, signifiant que le niveau de contrainte parcellaire associé au critère respecte les 5 points de vue décisionnels, et défavorable à l'insertion du miscanthus, signifiant alors que son niveau de contrainte associé ne respecte pas les points de vue 1 et 2. Ces seuils de niveau de contrainte s'appliquent aussi bien aux caractéristiques intrinsèques de la parcelle qu'aux caractéristiques de la parcelle liées à l'organisation de l'EA.

Les seuils de potentiel d'insertion du miscanthus au niveau de la parcelle

L'absence de drainage de la parcelle, la forte humidité du sol et l'hydromorphie des terres sont des bons exemples de seuil appliqué aux caractéristiques intrinsèques de la parcelle. Le graphique 6.2 montre en effet une tendance des enquêtés à implanter le miscanthus sur ces types de sols, sous réserve cependant que le niveau d'eau du sol ne réduise pas sa portance pour l'accès du matériel de récolte du miscanthus.

> ***Extraits du discours d'E6 :*** *« Là, on avait un projet au début d'en remettre du miscanthus, mais comme c'est pas mal dans l'eau l'hiver et que la récolte se fait au mois de mars… Donc c'est là le problème : de rentrer dans le terrain avec les ensileuses (…). C'est juste le problème de passer avec les machines au mois de février-mars. Si il y a une période de gel pour les récolter ça va, mais si les ensileuses sont embourbées là-dedans, c'est… »*

Il en est de même pour le mauvais potentiel agronomique de la parcelle (cf. graphique 6.2). Pour éviter une concurrence d'utilisation des terres, les enquêtés préfèrent implanter le miscanthus sur des terres à mauvais potentiel agronomique pour les cultures en place. Cependant, les niveaux de potentialité des terres ne sont pas les mêmes d'une EA à l'autre et plus particulièrement, d'un bassin de collecte à l'autre, caractérisés d'un côté par une majorité de sols séchants (bassin de Baigneux-les-Juifs) et de l'autre par une majorité de sols humides (Aiserey) (cf. chapitre 4). Ainsi, le potentiel d'insertion du miscanthus sur des terres à mauvais potentiel agronomique est plus limité à Baigneux-les-Juifs, expliquant alors la forte ambivalence de potentiel d'insertion du miscanthus pour ce critère de décision (cf. graphique 6.2).

> ***Extraits du discours d'E8 (situé dans le bassin de collecte d'Aiserey) :*** *(implantation du miscanthus sur)*
> *« Des terrains sableux, à faible potentiel de culture par rapport à l'assolement » / « Comme on vous l'a dit, ils (les plants de miscanthus) sont dans les parcelles plutôt sableuses, donc avec une qualité de sol qui correspond tout à fait à une possibilité de récolte des racines »*
>
> ***Extraits du discours d'E3 (situé dans le bassin de collecte de Baigneux-les-Juifs) :*** *« J'ai des sols, j'ai plus de la moitié de ma ferme qui est complétement exclue en termes de profondeur des sols. Car j'ai des parcelles à 10-15 cm de terres (…). C'est très séchant. En ce moment on ne peut pas labourer, on ne peut rien faire (…). Il fallait sacrifier des bonnes terres et puis c'est tout. Il fallait mettre ça dans les terres à maïs et c'est un peu un inconvénient quand même de bloquer les terrains à maïs, alors que j'avais de l'élevage encore »*

L'effet seuil s'applique aussi de manière très significative aux caractéristiques géométriques de la parcelle, *i.e.* aux parcelles de petite à très petite taille (ex : inférieures à 1 ha) et/ou aux parcelles étroites, *i.e.* d'une largeur inférieure au matériel de récolte du miscanthus (cf. graphique 6.2). En effet, les niveaux de contraintes géométriques de certaines parcelles sont tels qu'ils ne permettent pas de bonnes conditions logistiques et économiques d'exploitation des parcelles, ni pour le système d'EA en place ni même pour le miscanthus malgré le peu d'interventions culturales nécessaires à l'année (cf. graphique 6.2).

Les seuils de potentiel d'insertion du miscanthus au niveau de l'EA

Les conditions d'accès à la parcelle sont des exemples de critères de décision où s'appliquent des seuils liés cette fois-ci aux caractéristiques extrinsèques de la parcelle. Ces seuils s'appliquent sur l'éloignement de la parcelle au siège d'EA et sur la largeur des obstacles de franchissement situés sur le réseau d'accès à la parcelle (ex : pont, portail). Là encore, le miscanthus est une solution significative pour réduire le nombre de déplacements vers des parcelles éloignées ou d'accès difficile (cf. graphique 6.2), dès lors, seulement, que ces contraintes ne s'appliquent pas elles-mêmes aux conditions de production et de récolte du miscanthus.

> ***Extraits du discours d'E9*** *: « Et puis le miscanthus, il faut quand même penser à le ramener à la ferme. C'est des bottes, donc il ne faut pas non plus se balader de trop avec les remorques sur la route. Je ne pense pas que je ferais du miscanthus très, très, très loin »*

Des seuils peuvent enfin s'appliquer aux caractéristiques intrinsèques de la parcelle, prises au niveau de l'organisation de l'EA : c'est le cas par exemple des jachères. En effet, celles-ci sont comptées comme des Surfaces Equivalentes Topographiques (SET) obligatoires pour 5% de la SAU des EA. Or le miscanthus, dont l'insertion est préférée par les enquêtés sur des parcelles limitant les risques d'une concurrence d'utilisation des terres, n'est pas compté dans les SET. A ce titre l'insertion du miscanthus sur les parcelles en jachère est limitée par un certain seuil permettant le respect du taux de SET obligatoire dans l'EA.

> ***Extraits du discours d'E11*** *: « De toute façon maintenant il faut de la jachère, des équivalents topographiques, on est à 3%, bientôt on va arriver à 7, donc de toute façon, il en faut. Le miscanthus ne rentre pas dedans, donc ces parcelles-là, je ne vais pas les mettre en miscanthus. Si le miscanthus rentre dans les SET ça va être différent oui. Pour l'instant ça le l'est pas »*
>
> ***Extraits du discours d'E11*** *: « Oui, c'est une petite mais bon… S'il fallait que je mette toutes les parcelles qui fassent 1,50 ha, j'en aurais mis beaucoup plus »*

Les difficultés de reconstitution des seuils de potentialité dans une perspective de modélisation

La difficulté d'une reconstitution de ces seuils dans une perspective de modélisation (que ces seuils soient au niveau de la parcelle ou à celui de l'EA) est que le niveau de contrainte peut être, dans beaucoup de situations, perçu de manière relative aux caractéristiques d'ensemble de la parcelle.

> ***Extraits du discours d'E6 :*** *« Parce qu'après, il faut faire venir les machines. Donc s'il y a la moitié du champ d'1,50 ha, s'il y en a 80 ares sous l'eau et que l'on se déplace juste pour en récolter ce qui reste… Il y a un problème de logistique sur un petit bout qui serait apte à accueillir du miscanthus (…) Il y en aurait encore 15 ha ce serait peut-être valable d'essayer mais… »*
>
> ***Extraits du discours d'E9*** *: « C'est un tout petit bout de jachère. Ce n'est même pas la peine de…. Le miscanthus après c'est pareil, quand les gars ils se baladent avec les presses, les ensileuses, si c'est pour faire 20 ares et qu'il n'y a pas à 5 kilomètres à la ronde de champs de miscanthus, je veux dire, ce n'est pas la peine quoi. Donc c'est jachère. Pas de miscanthus… Pour 20 ares, il ne faut pas que les gars se baladent pour 20 ares avec le matériel. Je ne sais plus s'il y avait une contrainte de surface. Mais après, s'ils avaient plein de petits 20 ares à côté de l'autre, je pense qu'ils feraient. Mais quand c'est vraiment perdu comme ça… » / « Elle aurait fait 50 ares avec d'autres justes à côté, ça aurait été valable. Donc un regroupement de petites parcelles ici ça irait, oui » / « Les 70 ares, ça passe encore car elle n'est pas loin de la ferme et il y a le potentiel du sol »*

Or cette relativité n'a pas toujours été explicitée par les enquêtés. A ce titre, les critères de décision combinés dans une même règle ne peuvent donc pas toujours permettre de reconstituer les seuils de niveau de contrainte des enquêtés, et par suite, de prédire convenablement le potentiel d'insertion du miscanthus.

3.2.2. Des décisions soumises à un effet « combinatoire » des caractéristiques des parcelles

Les niveaux de contraintes perçus relativement à l'ensemble des caractéristiques de la parcelle et de l'organisation de l'EA ne produisent pas uniquement des seuils de potentialité d'insertion territoriale du miscanthus mais produisent aussi une hiérarchisation des critères de décision liés à l'insertion du miscanthus pour chaque parcelle. En effet, l'ensemble des caractéristiques d'une parcelle produit une combinaison spécifique de contraintes et comme à chaque contrainte est associé un niveau de contrainte particulier, l'ensemble de ces caractéristiques produit aussi une hiérarchisation spécifique des niveaux de contrainte. Or cette hiérarchisation est au cœur des décisions des enquêtés : elle détermine la présence de sous-ensembles de variables décisionnelles pour chaque règle de décision et la présence d'ambivalences de potentiels par critère de décision.

<u>Un effet combinatoire déterminant des sous-ensembles de variables décisionnelles</u>

Pour expliquer l'effet combinatoire déterminant les sous-ensembles de variables décisionnelles liées à l'insertion territoriale du miscanthus, revenons sur les critères de décision présentés dans le graphique 6.2, pour lesquels le potentiel d'insertion du miscanthus est unanime entre les différentes règles de décision ; autrement dit, revenons sur les critères de décision d'occurrence I ou NI exclusivement et d'occurrence supérieure à 1 (cf. graphique 6.2).

Ce graphique montre que les territoires unanimement favorables à l'insertion du miscanthus correspondent, par exemple, aux territoires en mode de faire valoir direct et/ou en zone protégée. Il montre aussi que les territoires unanimement défavorables à l'insertion du miscanthus correspondent aux parcelles ayant une occupation du sol stratégique pour l'EA, comme la production de cultures fourragères, la rotation culturale voire plus globalement, comme la mise en production de la parcelle. Or malgré le faible nombre d'occurrences de chacun de ces critères parmi les 144 règles de décision des enquêtés (cf. graphique 6.2), ces critères de décision unanimes correspondent aussi aux principaux déterminants de l'insertion territoriale du miscanthus étudiés au niveau de l'EA (cf. chapitre 5). A ce titre, ces critères de décision sont globalement partagés par l'ensemble des enquêtés. Il est donc étonnant que chacun de ces critères soit si peu présent dans les règles de décision des enquêtés. Nous expliquons ce phénomène par l'effet combinatoire des caractéristiques des parcelles et notamment par l'effet de hiérarchisation des contraintes.

Ainsi, des parcelles ayant par exemple une occupation du sol stratégique et étant donc dans l'absolu défavorables à une insertion du miscanthus, peuvent être implantées en miscanthus en raison de fortes contraintes associées à la parcelle, et par suite, en raison d'un plus fort bénéfice d'insertion de la culture, comparativement à la préservation du système de production en place. Ceci explique premièrement que 30% des parcelles implantables en miscanthus soient des parcelles anciennement mises en production et ce, en dépit de l'unanimité d'un potentiel défavorable à l'insertion du miscanthus pour ces critères. Ceci explique deuxièmement que pour ces parcelles, les critères d'occupation du sol n'aient pas été pris en compte, signifiant bien que la hiérarchisation des contraintes impacte le choix des variables décisionnelles de chaque règle de décision et qu'elle détermine alors les sous-ensembles de variables décisionnelles de chacune d'elles.

> ***Extraits du discours d'E8*** *: « (…) Très très contraignante. Il y a une maison, une maison à l'autre bout et elle fait 65 ares… et puis il y a une chaise ! Très très contraignante. Et puis l'accès entre la maison, on ne peut pas passer avec une moissonneuse-batteuse. On passe à 3 m. C'est très contraignant d'accès (…). Donc il (fils d'E8) l'avait mise en maïs à répétition parce que la coupe de moissonneuse-batteuse à maïs est moins large, donc on arrivait à accéder avec la moissonneuse-batteuse et quand on arrivait au bout… C'est une parcelle assez sableuse, où le maïs n'a pas un potentiel phénoménal, donc il fallait quand même faire un choix »*

Un effet combinatoire déterminant les ambivalences de certains critères de décision

La hiérarchisation des contraintes pour chaque parcelle explique aussi les ambivalences de potentiel d'insertion du miscanthus pour certains critères de décision, comme la taille de la parcelle. En effet, comme nous l'avons déjà signalé, un même critère de décision couplé à un certain sous-ensemble de critères peut ne pas présenter le même potentiel d'insertion du miscanthus par rapport à un autre sous-ensemble de critères (cf. partie 3.1.3).

> ***Extraits du discours d'E4*** *: « On a fait des grandes parcelles car ça se trouvait comme ça, que l'on ait des éloignées et en zone vulnérable (…). Là-bas c'était difficile de dire on en fait que 5 ou 10 ha, parce qu'après bon, s'il faut les retourner, faire du boulot : que l'on y aille pour 5 ou 10 ou 15 ha, c'est pareil »*

> ***Extraits du discours d'E1*** *: [LM : possibilités d'insertion du miscanthus sur cette parcelle ?] « Non, car je dirais que c'est encore un petit peu plus loin. C'est des grandes parcelles qui font, il y en a une qui fait 30 ha, une de 20 ha donc ce ne sont pas des parcelles où il faut mettre du miscanthus. Il y a du potentiel, c'est des terres drainées… »*

Un effet combinatoire ne permettant pas d'identifier des connaissances d'adaptation pour un RàPC

La combinaison de critères de décision formalisée dans une règle multicritère a la particularité de ne pas permettre d'identifier facilement le potentiel d'insertion territoriale de chacun des critères pris isolément, ni même, possiblement transposés d'une situation parcellaire à une autre.

En effet, si la règle de décision est par exemple « si *forme = irrégulière* ET *voisinage arboré = bois* alors *implantation* », dans cette règle, le critère de forme est une condition nécessaire mais non suffisante pour définir le potentiel d'insertion du miscanthus. En d'autres termes, les parcelles ayant une forme irrégulière ne constituent pas toutes un potentiel d'insertion du miscanthus et réciproquement pour les parcelles en lisère arborée. Les critères issus des règles multicritères n'expliquent donc pas à eux seuls le potentiel d'insertion du miscanthus. Par ailleurs, les critères d'une même règle multicritère défavorable à l'implantation du miscanthus ne sont pas tous isolément défavorables à l'implantation du miscanthus, à la différence des règles multicritères favorables à l'implantation. Par exemple, si la règle de décision est « si *voisinage arboré = bois* ET *taille = petite* alors *pas d'implantation* », cela ne signifie pas que la lisière arborée soit un élément défavorable en soi, comme en témoigne la règle illustrative précédente.

A ce titre, l'effet combinatoire des caractéristiques des parcelles ne permet pas d'isoler les potentiels d'insertion du miscanthus critère par critère et complique ainsi les possibilités d'acquisitions manuelles de connaissances d'adaptation, comme par les chemins de similarité (cf. chapitres 3 et 7).

3.2.3. Des décisions relatives aux préférences des agriculteurs

Nous avons vu précédemment que les ambivalences de potentiel d'insertion du miscanthus, pour un même critère de décision, s'expliquaient par des seuils de niveau de contrainte par critère (cf. partie 3.2.1) et par une hiérarchisation des niveaux de contraintes combinées pour une même parcelle (cf. partie 3.2.2). Nous avons également montré la difficulté d'une reconstitution des seuils et des hiérarchies de niveaux de contraintes, en raison de leur relativité à l'ensemble des caractéristiques parcellaires de l'EA. Or pour certains critères de décision, leur relativité à l'ensemble des caractéristiques parcellaires de l'EA n'a pas été suffisante pour comprendre les décisions des enquêtés liées à l'insertion territoriale du miscanthus. En effet, ces décisions sont aussi prises selon les préférences des enquêtés, notamment face à l'aversion à certains risques.

Les préférences des enquêtés face aux risques de l'excès d'eau de la parcelle

Un des risques considérés par l'enquêté concerne l'insertion possible du miscanthus dans des territoires à excès d'eau, par voie de submersion (inondation) ou par stagnation permanente de l'eau (résurgences et sources). Ceci explique donc l'ambivalence du potentiel d'insertion du miscanthus pour ces critères de décision dans le graphique 6.2. En effet, si certains enquêtés préfèrent ne pas implanter de miscanthus dans des parcelles à excès d'eau en raison des risques d'asphyxie des plants de la culture et des difficultés d'accès à la parcelle au moment de la récolte, d'autres jugeront ces zones d'excès d'eau comme plus profitables au miscanthus qu'aux autres cultures pour lesquelles les pertes économiques seraient plus importantes.

Les préférences des enquêtés face aux risques du voisinage arboré de la parcelle

Un autre risque considéré par l'enquêté pour insérer du miscanthus dans le territoire de son EA concerne le voisinage arboré des parcelles. En effet, ce voisinage peut premièrement produire un ombrage de la parcelle causant des risques de mauvais rendements. Or malgré le fait que tous les enquêtés considèrent que le miscanthus ait besoin d'un ensoleillement important, chacun juge favorable ou non, les risques de perte de récoltes de miscanthus en lisière de forêt ou de bois, par rapport aux autres cultures en place. Notons que ces pertes sont évaluées relativement à la taille de la parcelle et au linéaire de la lisière arborée, *i.e.* relativement au tonnage final récoltable.

> ***Extraits du discours E5*** *: « Bah oui (ça aurait pu être implanté en miscanthus) mais l'inconvénient c'est qu'il y a tellement de bordure de bois que… Il y a très, très peu de lumière dans le fond… Donc je ne suis pas sûr que ce soit bien adapté car c'est une plante qui a pas mal besoin de lumière et là, le fait que ce soit dans un vallon, la partie là est vraiment dans un vallon et tout autour c'est du bois et il y en a aussi là. A mon avis, au niveau lumière, ce n'est pas bon du tout ».*
>
> ***Extraits du discours E8*** *: « Pour l'instant, c'est comme ça qu'on l'a planté, parce que c'était des parcelles qui étaient à potentiel limité à cause du bois et qu'on se dit que l'impact de l'ombre de la forêt sur le miscanthus est moins forte. Moi j'ai l'exemple où le miscanthus est nettement moins beau contre le bois qu'il ne l'est contre le chemin. Mais après, il faut bien mettre quelque chose dans les parcelles quoi. Mais ce n'est pas gravissime qu'il y ait deux bottes de miscanthus de moins, bah il y a deux bottes de paille en moins et puis point barre »*

Le voisinage arboré de la parcelle peut deuxièmement produire des dégâts de gibier, pour lesquels le potentiel d'insertion du miscanthus diverge d'un enquêté à l'autre. Ainsi, pour beaucoup d'enquêtés, les risques de dégâts de gibier dans la parcelle (notamment de sangliers) ont été rédhibitoires pour y implanter du miscanthus. *A contrario*, des parcelles de miscanthus soumises à des dégâts de gibier ont été implantées par des enquêtés qui considèrent que le miscanthus ne serait pas appétant pour les sangliers et que malgré l'habitat qu'il leur procure, les risques de dégâts seraient moindres que ceux ressentis sur le maïs ou le blé.

> ***Extraits du discours d'E8*** *: « Le miscanthus, ils font un tout petit peu de dégâts quand il vient d'être planté. Ils sont curieux de nature et ils viennent goûter ce que l'on a mis en terre. Donc on retrouve 10 pieds, enfin 10 rhizomes arrachés. Ils les ont mâchouillés. Comme ce n'est pas appétant ni rien, hop, ils changent de champ et c'est fini. Il n'y a pas de dégât. Le fait qu'ils utilisent la culture pour refuge, bah ils font un rond comme la pièce, mais dans une parcelle ce n'est rien du tout quoi ».*
>
> ***Extraits du discours d'E4*** *: « Après, on avait du souci, surtout ces dernières années, avec du dégât de gibier, que l'on n'avait pas il y a 10 ans. Et aujourd'hui le dégât de gibier... même dans le miscanthus... C'est vrai que quand il est grand comme aujourd'hui, s'ils sont dedans, c'est pas gênant, quoiqu'ils en couchent quand même un peu... Par contre la première année, quand on en a planté du miscanthus, ils en ont retourné. Tous des rhizomes qui avaient été mis en terre et qui ont été retourné par les sangliers ; ils étaient au-dessus, les pattes en l'air : c'était foutu ! (…). Il y a des zones comme la cuisine où il n'y a rien du tout dans plusieurs endroits de la parcelle »*

En revanche, signalons que le discours des enquêtés révèle un grand malaise concernant les dégâts de gibier produits par l'insertion de la culture du miscanthus en elle-même dans le territoire et dans une moindre mesure, concernant l'ombrage du miscanthus porté sur les parcelles voisines. En effet, difficilement dissociables d'un phénomène de surpopulation de sangliers observé les dernières années, les tensions montent entre les agriculteurs et les chasseurs. Ces derniers tiendraient la culture du miscanthus pour responsable de l'augmentation des dégâts de gibier observés dans le territoire, du fait de l'habitat que le miscanthus leur procure. Certains enquêtés ayant des parcelles voisines à celles mises en miscanthus ont effectivement constaté des dégâts sur les cultures de ces parcelles. Ces dégâts ont été causés : par l'attraction des sangliers dans la parcelle en miscanthus voisine de la leur, mais aussi par le piétinement des cultures voisines au miscanthus par les chasseurs eux-mêmes et par l'ombrage du miscanthus porté sur les parcelles voisines.

> ***Extraits du discours d'E9*** *: [LM : est-ce que le miscanthus a entrainé des dégâts de gibier dans votre parcelle voisine ?] « Tout comme une forêt (…). Le souci aujourd'hui, c'est que les sangliers se mettent dans le miscanthus et sortent dans le champ d'en face ou aux alentours, donc dégâts de sanglier (…). Ça va sûrement devenir un souci car il y a une surpopulation de sangliers. Donc quand il n'y a plus de maïs à certains endroits, ils vont se mettre dans d'autres endroits ».*
>
> ***Extraits du discours d'E8*** *: « C'est clair qu'ils vont plus habiter dans le miscanthus que dans le maïs car le refuge est plus dense et plus sec, mais ils n'y consomment rien. L'implantation du miscanthus ne génère pas de factures supplémentaires aux chasseurs. Il n'y a pas de dégâts directs. Les sangliers ne consomment pas de miscanthus. Par contre ça leur fait un hébergement supplémentaire et ça leur permet d'avoir des territoires loin de la forêt où ils sont très près des cultures agricoles. C'est-à-dire que s'il y a un champ de miscanthus de 10 ha ou de 5 ha en plein milieu d'une plaine, dans les deux ans qui vont suivre, il y a des sangliers qui viendront habiter dedans l'hiver et qui viendront faire des dégâts dans une zone où il n'y en avait pas dans le passé. Mais là aujourd'hui, on a un vrai débat avec la fédération de chasse qui nous accuse de mettre du miscanthus pour faire alourdir la facture des dégâts, alors que quand on a décidé cette filière là et tout, on ne savait pas qu'en dégâts collatéraux, il y a aurait l'impact des sangliers. On n'en savait rien du tout. On est dans une conjoncture où les chasseurs vont bientôt commencer de refuser de payer… ça peut être un facteur aggravant qui sera à la charge de celui qui a planté. On pourra l'accuser quasiment d'avoir planté du miscanthus et d'être à l'origine des dégâts »*

Il convient donc de supposer qu'à terme, les risques de dégâts de gibier et d'ombrage porté sur la parcelle ne soient pas seulement pris en compte pour la parcelle à implanter ou non en miscanthus, mais qu'ils soient aussi pris en compte pour les parcelles situées dans son voisinage voire en cohérence avec l'organisation de territoires plus vastes.

<u>Les préférences des enquêtés face aux risques du voisinage habité de la parcelle</u>

Un dernier risque pouvant être pris par l'enquêté pour insérer du miscanthus dans le territoire de son EA concerne le voisinage habité des parcelles. En effet, les enquêtes révèlent des tensions très fortes entre les agriculteurs et certains habitants concernant le bruit et la poussière produite lors de leurs interventions culturales et concernant surtout, le risque de propagation et de pollution des produits phytosanitaires appliqués dans la parcelle. A ce titre, le miscanthus apparaît comme une opportunité idéale (et très attendue pour certains) d'améliorer les relations avec le voisinage, du fait de ses faibles besoins en intrants chimiques, en particulier les épandages de pesticides, et en interventions culturales.

> ***Extraits du discours d'E8*** *: « Donc les petites parcelles contraignantes dans l'habitat pour ne pas avoir de problème avec les voisins. Ils nous disent ça fait du bruit, de la poussière, là le miscanthus on y va une fois par an, cela ne fait pas une gêne… (…). Nan et puis c'est un chantier rapide quoi. C'est fauché, pressé dans la journée, je veux dire, ce n'est pas un chantier qui traine en longueur. Donc les gens même si on les dérange un peu, ça ne dure pas longtemps. Ça peut vous paraître paradoxal de faire des choix de cultures comme ça, pour des critères comme les nôtres mais c'est important. Aujourd'hui la nuisibilité qui est générée par notre métier est de plus en plus mal vue. Et le miscanthus, hormis son intérêt de biomasse et de tout ça, renoue avec cet intérêt-là. (…) » / [LM : Le miscanthus au niveau des habitations, ça ne pose pas de problème ?] « On n'en sait rien (…). Déjà… faut savoir ce qu'ils veulent. Je suis prêt à choisir des cultures où l'on n'y*

appliquera peu ou pas de produits phyto pour ne pas risquer de les polluer et de les déranger. Après si la culture génère des nuisances visuelles ou je ne sais pas quoi, on ne peut pas tout avoir. Il arrive un moment, il y a un choix qu'il faut que les gens fassent. Mais pour l'instant, il y a tellement de lobbies anti produits phyto et tout, que l'on essaye dans la mesure du possible de mettre des cultures sans produits phyto à proximité des maisons. Soit on met une bande enherbée, soit… Moi je fais du chanvre, j'essaye d'en mettre aussi près des maisons car c'est une culture qui ne nécessite pas d'intrants. Voilà. On essaye de tenir compte de la situation de chaque parcelle ».

En revanche, malgré l'atout « écologique » de cette culture, le risque d'une nuisance visuelle et de propagation des feuilles de miscanthus dans le voisinage habité n'est pas écarté par les enquêtés, dissuadant certains d'implanter du miscanthus au voisinage d'habitations. Le risque de la confrontation du regard de certains habitants défavorables à une agriculture multifonctionnelle a également été une limite à l'insertion du miscanthus pour un enquêté.

Extraits du discours d'E13 *: « Moi ce que j'ai peur avec le miscanthus, c'est après que je sois embêté avec les voisins, quand le miscanthus perd ses feuilles et qu'il y a du vent. Je ne vous explique pas les voisins à côté ! »*

Extraits du discours d'E10 *: [LM : vous auriez pu mettre du miscanthus à la place des prairies temporaires ou pas ?] « Oui mais c'est dans les villages. Et puis les petits vieux, ils n'y aiment pas : « le blé on nourrit les poules, on fait du pain »… Tu sais les tabous. Et ça… Tu es le pire des fermiers ! Ils ne veulent plus de toi. Ils se braquent. C'est déjà fait »*

3.2.4. Brève conclusion sur le processus de décision lié à l'insertion territoriale du miscanthus pour une modélisation spatialement explicite

Notre compréhension du processus de décision des enquêtés lié à l'insertion territoriale du miscanthus souligne la difficulté d'une modélisation spatialement explicite par des règles de décision génériques. Ceci s'explique par la complexité d'une reconstitution des niveaux de contrainte de chaque parcelle, relativement à l'ensemble des caractéristiques parcellaires de l'EA et relativement aux préférences de l'agriculteur.

Notre analyse confirme donc l'intérêt d'une modélisation des décisions au cas par cas pour chaque parcelle, *via* le RàPC. En effet, l'inférence du potentiel d'insertion du miscanthus en fonction des similarités d'une parcelle à une autre ne nécessite pas de reconstitution générique des niveaux de contrainte pour chaque parcelle. De fait, cette inférence s'appuie sur les similarités entre ces deux parcelles, qui pour la parcelle source encapsule en elle-même ses différents niveaux de contrainte.

En revanche cette étude souligne aussi la difficulté d'une reconstitution au cas par cas des niveaux de contraintes, qui aurait pu être une méthode d'acquisition de connaissances nécessaire à la phase d'adaptation du modèle. Cependant, une autre source de connaissances d'adaptation a pu être employée dans le prototype de RàPC décrit dans le chapitre 7. Cette difficulté ne compromet donc pas les possibilités de modélisation spatialement explicite par RàPC des décisions des agriculteurs liées à l'insertion territoriale du miscanthus.

Synthèse des principaux résultats du chapitre 6

Cette étude montre un lien ténu entre les contraintes parcellaires perçues par les agriculteurs et les capacités de l'insertion territoriale du miscanthus à parer ces contraintes, notamment concernant les contraintes économiques et logistiques d'exploitation des parcelles et celles liées à la préservation environnementale des parcelles. Ainsi, l'insertion du miscanthus s'est décidée selon : les caractéristiques agronomiques de la parcelle (régime hydrique du sol, occupation dédiée du sol, potentiel agronomique, risques d'inondation, drainage du sol, etc.), ses caractéristiques géométriques (taille et forme), ses conditions d'accessibilité (distance au siège, largeur du réseau d'accès, etc.), son voisinage (arboré, habité, etc.), ses caractéristiques foncières (faire valoir direct, pérennité d'usage de la parcelle, etc.) et les caractéristiques de sa préservation environnementale (zones protégées).

Cette étude montre en revanche les difficultés d'identification des territoires à potentiel d'insertion du miscanthus. En effet, le potentiel d'insertion du miscanthus n'est pas déterminé par des caractéristiques territoriales isolées les unes des autres mais bien par leur articulation sur une même portion de territoire. Or ces articulations sont globalement très diversifiées, ne permettant pas de dégager des enseignements génériques sur les territoires à potentiel d'insertion du miscanthus.

Au-delà de l'identification des territoires à potentiel d'insertion du miscanthus, cette étude montre aussi que la modélisation du processus de décision des enquêtés est elle-même difficile, en raison de sa forte complexité pour reconstituer les niveaux de contrainte de chaque parcelle, relativement à l'ensemble des caractéristiques parcellaires de l'EA et relativement aux préférences de l'agriculteur.

Cette étude souligne ainsi les difficultés d'une modélisation générique de processus de décision. Elle justifie *a contrario* l'intérêt d'une modélisation des décisions au cas par cas pour chaque parcelle, *via* le RàPC. Une première exploration de la modélisation par RàPC de l'insertion spatialement explicite du miscanthus dans le territoire est présentée dans le chapitre 7.

Chapitre 7

Conception d'un prototype de raisonnement à partir de cas : depuis des enquêtes en exploitations agricoles à l'élaboration d'un outil informatique

Préambule

Notre compréhension du processus de décision des agriculteurs, relatif à l'insertion territoriale du miscanthus (cf. chapitres 5 et 6) souligne la difficulté d'une modélisation spatialement explicite par des règles de décision génériques (cf. chapitre 2). Elle justifie *a contrario* l'intérêt d'une modélisation des décisions au cas par cas pour chaque parcelle, en utilisant le modèle du RàPC (cf. chapitre 3).

Pour rappel, le RàPC est un modèle de résolution de problèmes permettant de résoudre un problème en s'appuyant sur la solution de problèmes passés, déjà résolus et similaires (cf. chapitre 3). Grâce à un raisonnement par analogie, ce système présente l'intérêt de pouvoir modéliser des expériences particulières sans montée en généricité et sans connaissance complète du domaine ; il permet aussi de mémoriser de nouveaux épisodes de résolution de problème et d'enrichir ainsi les connaissances du système au fur et à mesure de son utilisation (cf. chapitre 3).

Une première application du RàPC en agronomie des territoires montre que le RàPC est utile à la mémorisation et à l'exploitation de résultats d'enquêtes en EA, en vue de fournir une aide au diagnostic des territoires (cf. chapitre 3). Cependant, cette première application et de nombreux autres travaux portant sur le RàPC, soulignent les difficultés de construction du système tant pour modéliser les connaissances du domaine, que pour définir les cas, les mesures de similarité et les règles d'adaptation (cf. chapitre 3).

Ainsi, la démarche de construction d'un système de RàPC, dans un domaine ouvert comme celui que nous traitons est un résultat de recherche en soi.

Pour présenter notre travail de modélisation de l'insertion territoriale du miscanthus par RàPC, nous adopterons donc deux points de vue : celui centré sur le système en lui-même et celui centré sur la démarche de construction du système. Les parties « matériel et méthode » et « résultats » classiquement rencontrées dans la littérature seront alors composées chacune de deux parties.

Ainsi, dans la partie « matériel et méthode », nous présenterons tout d'abord la structure générale du système SAMM, conçu durant la thèse, puis dans un second temps, les démarches et justifications des choix de construction du système. Enfin, dans la partie « résultats », nous présenterons premièrement les paramètres d'évaluation du système, puis deuxièmement l'analyse des performances du système.

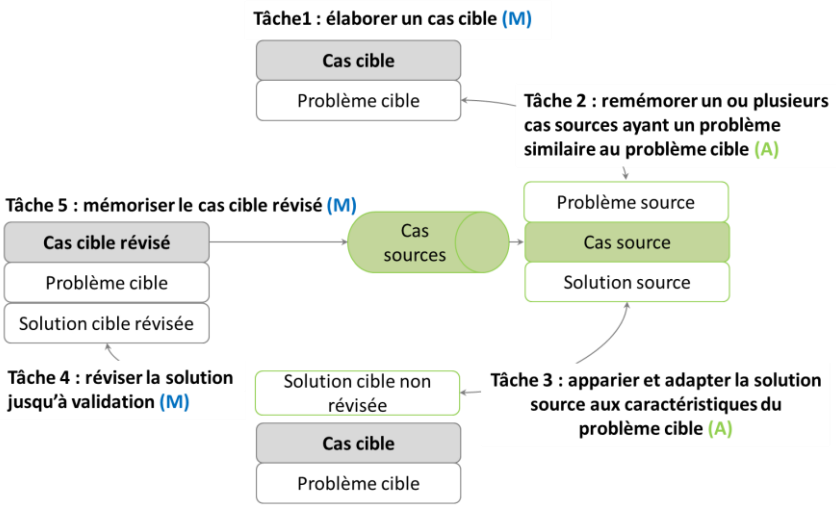


Figure 7.1 : représentation schématique des étapes automatisées (A) et manuelles (M) du cycle de RàPC du prototype SAMM

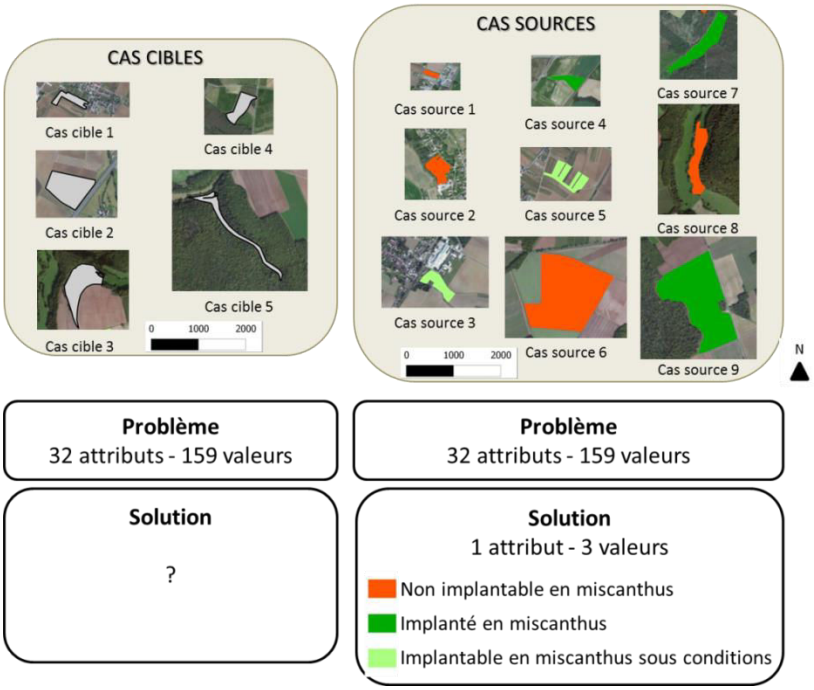


Figure 7.2 : représentation schématique de la description générale des cas

Potentiel d'implantation du miscanthus des parcelles décrit par les enquêtés	**Nombre de parcelles**
Non implantable en miscanthus (0)	28
Implanté en miscanthus (1)	28
Implantable sous conditions (2)	26
Total	***82***

Tableau 7.1 : composition de la base de cas

A. Matériel et méthode

1. Structure générale du prototype SAMM

Le prototype SAMM (pour Spatial Allocation Modelling of Miscanthus) présenté dans ce chapitre, a été conçu en troisième année de thèse et implanté avec l'aide de Xavier Dolques, docteur en informatique au laboratoire ICUBE.

La méthode de résolution des problèmes du prototype SAMM repose sur un cycle de RàPC classique, décomposé en cinq tâches. Son niveau d'automatisation est également commun aux systèmes de RàPC décrits dans la littérature (cf. chapitre 3) : dans le prototype SAMM, les tâches d'élaboration (tâche 1), de révision (tâche 4) et de mémorisation (tâche 5) sont manuelles, tandis que les tâches de remémoration (tâche 2) et d'adaptation (tâche 3) ont été automatisées (cf. figure 7.1).

La structure du prototype SAMM est en revanche originale : ceci s'explique par la complexité des connaissances du système, en termes de formalisme (ex : matrice de similarité) et de contenu (ex : règles d'adaptation) et par un module *ad hoc* de raisonnement.

Ainsi, pour présenter la structure générale du prototype SAMM, *i.e.* sa méthode de résolution de problèmes, nous commencerons tout d'abord par présenter la base de connaissances du système dans une première partie, puis son module de raisonnement dans une deuxième partie, puis enfin son environnement informatique dans une troisième partie.

1.1. Base de connaissances du prototype SAMM

1.1.1.Base de cas

Dans la littérature, un cas est défini de manière théorique comme une expérience particulière de résolution de problème (cf. chapitre 3). Pour notre application, cela équivaut à définir un cas comme une expérience particulière d'insertion territoriale du miscanthus décidée par un agriculteur. Ces expériences particulières n'existant pas dans la littérature, nous les avons élaborées à partir des processus de décision des agriculteurs extraits des enquêtes 1 et 2 de la thèse (partie 2.1).

Ainsi, conformément aux processus de décision des agriculteurs, un cas est défini comme une parcelle agricole et son potentiel d'implantation du miscanthus (cf. partie 2.1.1). Il est représenté par un vecteur d'attribut-valeurs (cf. partie 2.1.2), composé de deux parties (cf. figure 7.2) :

- La partie problème décrit la parcelle par 32 variables influençant le potentiel d'implantation du miscanthus : ces variables sont de six catégories (agronomique, géométrique, d'accessibilité, etc.) et sont décrites par 159 valeurs (cf. partie 2.1.3). Par la suite ce jeu des descripteurs sera appelé DP.

- La partie solution d'un cas décrit le potentiel d'implantation du miscanthus par une seule variable et trois valeurs : non implantable en miscanthus (valeur 0), implanté en miscanthus (valeur 1) et implantable avec conditions (valeur 2) (cf. partie 2.1.4).

Pour rappel, l'ensemble des cas dont un système dispose, s'appelle la base de cas (cf. chapitre 3). Pour le prototype SAMM, 82 parcelles ont été décrites pour constituer cette base de cas. Ces parcelles sont celles pour lesquelles le potentiel d'insertion territoriale du miscanthus a été explicité par les agriculteurs lors des enquêtes en EA, *i.e.* des parcelles pour lesquelles la solution est connue (cf. chapitre 6) (cf. tableau 7.1).

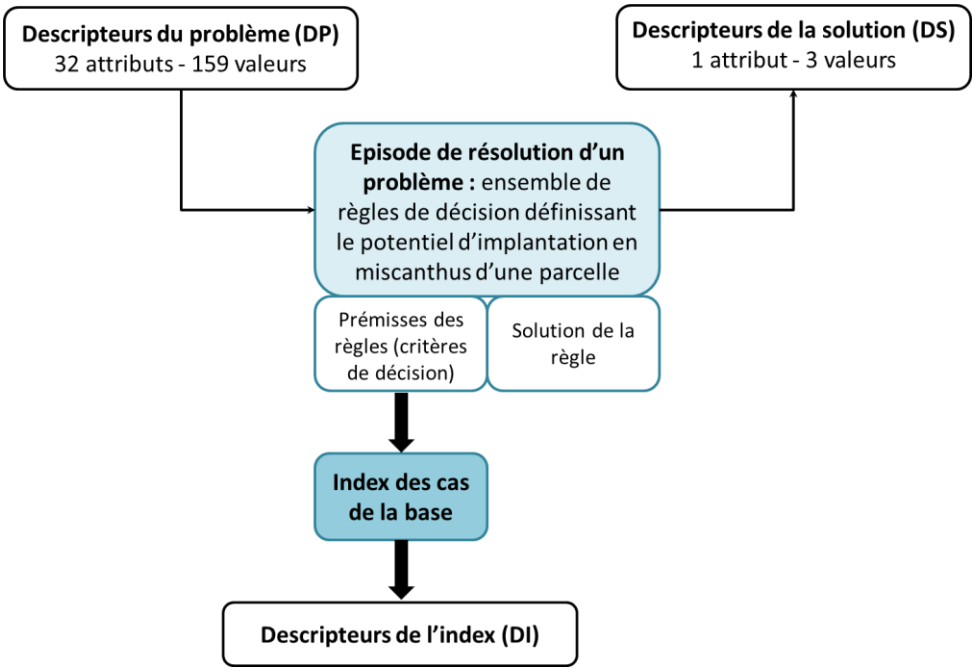


Figure 7.3 : processus d'indexation des cas de la base

Types de règles :	Solution Implantable (valeurs 1 ou 2)		Solution Non Implantable (valeur 0)		*Sous-total des règles*	
	règles mono	**règles multi**	**règles mono**	**règles multi**	***règles mono***	***règles multi***
règles spatialement explicites			7	16	*7*	*16*
règles aspatiales	23	12	31	7	*54*	*19*
Sous-total des règles	*23*	*12*	*38*	*23*	*61*	*35*

Tableau 7.2 : composition des règles d'adaptation du prototype SAMM

En raison d'une représentation des connaissances en vecteurs d'attribut-valeurs, l'organisation de la base de cas du prototype SAMM est plate. En revanche, pour faciliter la remémoration des cas sources, des index sont utilisés. Pour rappel, un index est une abstraction ou une généralisation d'un problème source qui permet de faciliter la remémoration (cf. chapitre 3). Dans le prototype SAMM, l'abstraction porte sur les critères de décision des agriculteurs relatifs à l'insertion territoriale du miscanthus (cf. figure 7.3). Ce jeu des descripteurs est appelé DI dans la suite du document.

1.1.2.Connaissances de similarité

Pour rappel, les connaissances de similarité sont de trois ordres : la liste des descripteurs pertinents à comparer pour évaluer la similarité de deux cas, le niveau de similarité entre deux valeurs de ces descripteurs (similarité locale) et la manière de combiner ces descripteurs (similarité globale) (cf. chapitre 3). Ces connaissances peuvent être génériques ou *ad hoc*.

Dans le prototype SAMM, les connaissances de similarité ont été élaborées à partir des résultats des enquêtes sur les décisions des agriculteurs (cf. partie 2.2), elles sont donc *ad hoc* :

(i) L'identification des descripteurs pertinents à comparer pour évaluer la similarité de deux cas source et cible s'appuie sur les index des cas sources (cf. partie précédente).

(ii) Les connaissances de similarité locales entre les variables descriptives du problème des cas ont été formalisées dans une matrice de similarité, pour tout descripteur influençant le potentiel d'insertion territoriale du miscanthus (cf. partie 2.2). Dans cette matrice :
- une distance valant 0 signifie que deux attribut-valeurs sont égaux
- une distance valant 5 signifie que le potentiel majoritaire de deux attribut-valeurs est égal
- une distance valant 20 signifie que le potentiel majoritaire de deux attribut-valeurs n'est pas égal
- une distance valant 10 signifie qu'au moins un attribut-valeur n'influence pas le potentiel d'insertion territoriale du miscanthus (cet attribut-valeur n'est donc pas contenu dans la matrice).

(iii) Dans le prototype SAMM, les connaissances de similarité globales ont quant à elles été formalisées par la moyenne des mesures locales selon l'équation : $mesure\ globale = \frac{\sum mesures\ locales}{nb\ mesures\ locales}$

1.1.3.Connaissances d'adaptation

Pour rappel, les connaissances d'adaptation sont de trois ordres : les dépendances, les fonctions d'influence et les classes d'adaptation (cf. chapitre 3). Ces connaissances peuvent prendre la forme de règles d'adaptation, d'opérateurs d'adaptation, de reformulations ou de cas d'adaptation.
Dans le prototype SAMM, les connaissances d'adaptation correspondent à des règles de décision des agriculteurs. Ces règles sont de deux types : les règles de décision génériques et non situées dans l'espace (dites aspatiales) et les règles de décision spatialisées pour lesquelles le potentiel d'insertion du miscanthus vaut zéro (cf. partie 2.4.1). 96 règles d'adaptation formalisées en vecteurs d'attribut-valeurs constituent ainsi les règles d'adaptation du prototype SAMM (cf. tableau 7.2).

1.2. Module de raisonnement du prototype SAMM

1.2.1.Tâche 1 : élaboration du cas cible

Dans sa phase de construction, la première tâche du prototype SAMM est de définir les cas et d'élaborer la base de cas. Elle renvoie à la méthode de conception du système présentée dans la partie 2 de ce chapitre. Précisons que dans sa phase de production, les cas cibles seront eux élaborés par l'utilisateur final.

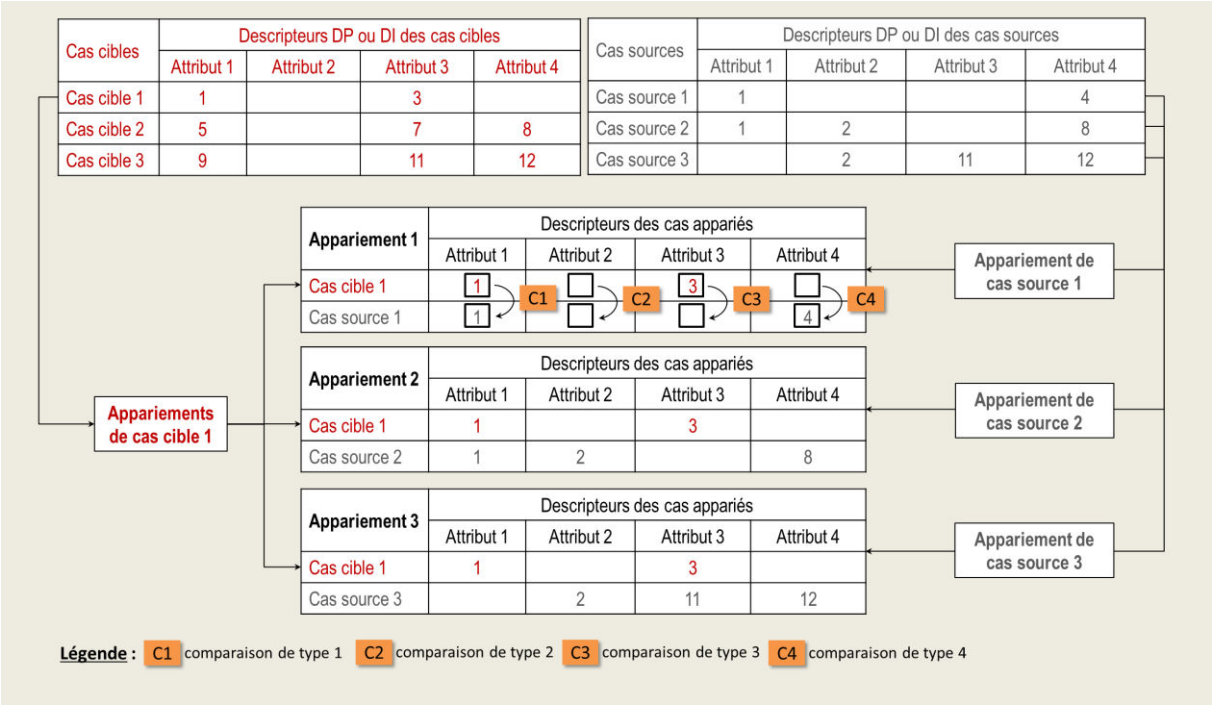


Figure 7.4 : représentation schématique du processus d'appariement des cas sources

```
Algorithme de remémoration REM1
1. Extraire les cas sources minimisant la distance globale (dG) mesurée sur les descripteurs DP et créer l'objet E1
2. Si le nombre de cas d'E1 est > 0 alors extraire d'E1 les cas sources maximisant le nombre d'attributs comparés (AC) des
descripteurs DP et créer l'objet E2
3. Si le nombre de cas d'E2 est > 0 alors extraire d'E2 les cas sources maximisant l'AC des descripteurs DI et créer
l'objet E3
4. Si le nombre de cas d'E3 est > 0 alors extraire d'E3 les cas sources minimisant la dG mesurée sur les descripteurs DI

Algorithme de remémoration REM2
1. Extraire les cas sources maximisant l'AC des descripteurs DP et créer l'objet E1
2. Si le nombre de cas d'E1 est > 0 alors extraire d'E1 les cas sources minimisant la dG mesurée sur les descripteurs DP
et créer l'objet E2
3. Si le nombre de cas d'E2 est > 0 alors extraire d'E2 les cas sources maximisant l'AC des descripteurs DI et créer
l'objet E3
4. Si le nombre de cas d'E3 est > 0 alors extraire d'E3 les cas sources minimisant la DG mesurée sur les descripteurs DI

Algorithme de remémoration REM3
1. Extraire les cas sources minimisant la dG mesurée sur les descripteurs DI et créer l'objet E1
2. Si le nombre de cas d'E1 est > 0 alors extraire d'E1 les cas sources maximisant l'AC des descripteurs DI et créer
l'objet E2

Algorithme de remémoration REM4
1. Extraire les cas sources maximisant l'AC des descripteurs DI et créer l'objet E1
2. Si le nombre de cas d'E1 est > 0 alors extraire d'E1 les cas sources minimisant la dG mesurée sur les descripteurs DI
et créer l'objet E2
```

Encadré 7.1 : algorithmes de remémoration

```
Algorithme d'adaptation A1 dit "pessimiste"
1. S'il existe au moins une solution d'adaptation valant 0 alors substitution de solution source remémorée par 0, sinon
2. S'il existe au moins une solution d'adaptation valant 1 alors substitution de solution source remémorée par 1, sinon
3. Substitution par 2

Algorithme d'adaptation A2 dit "optimiste"
1. S'il existe au moins une solution d'adaptation valant 0 et une solution d'adaptation valant 2 alors substitution de solution source
remémorée par 2, sinon
2. Substitution par 0, sinon
3. S'il existe au moins une solution d'adaptation valant 1 alors substitution par 1, sinon
4. Substitution par 2

Algorithme d'adaptation A3 dit "prudentiel"
1. Regroupement des règles selon leur solution 0, 1 ou 2 et création des groupes « R0 », « R1 » et « R2 »
2. Calcul de la taille moyenne des règles de R0, R1 et R2 (i.e. somme du nombre de prémices des règles/nombre de règles)
3. S'il existe une taille moyenne majoritaire parmi R0, R1 et R2 alors substitution de solution source remémorée par la solution du
groupe à la taille moyenne majoritaire, sinon
4. Si le groupe R2 a une taille moyenne majoritaire alors substitution par 2, sinon,
5. Si le groupe R1 a une taille moyenne majoritaire alors substitution par 1, sinon,
6. Substitution par 0
```

Encadré 7.2 : algorithmes d'adaptation

1.2.2.Tâche 2 : remémorer des cas sources

Pour rappel, la remémoration consiste à identifier un ou plusieurs cas sources de la base de cas susceptibles de résoudre au mieux le problème cible (cf. chapitre 3). Cette étape se déroule en trois étapes : l'appariement du problème cible au problème source, l'évaluation de la similarité entre les problèmes et la sélection finale des cas sources (cf. chapitre 3).

(i) Dans le prototype SAMM, l'appariement des cas cibles aux cas sources est fait par un algorithme classique d'appariement de vecteurs (cf. figure 7.4).

(ii) L'évaluation de la similarité entre les problèmes sources et cibles est quant à elle faite par trois mesures : la similarité locale, la similarité globale et le nombre de descripteurs comparés (cf. partie 2.3.2). Précisions que la mesure de similarité locale est établie à la suite de l'appariement, pour toute paire de descripteurs de comparaison dont les valeurs des deux cas appariés sont renseignées ; autrement dit, la mesure de similarité locale est établie pour toute comparaison de type C1 (cf. figure 7.4). Cette mesure locale s'appuie sur la matrice de similarité orientée par le potentiel d'insertion territoriale du miscanthus (cf. figure 7.7).

(iii) Dans le prototype SAMM, la sélection finale des cas sources à remémorer est une tâche réalisée par un algorithme de remémoration. En pratique, quatre algorithmes de remémoration ont été implantés dans le système (cf. encadré 7.1) : l'utilisateur final doit donc préalablement choisir un algorithme parmi les quatre, pour sélectionner automatiquement les cas sources à remémorer (cf. partie 2.3.3). Ces algorithmes se distinguent par deux paramètres : les descripteurs de comparaison des cas utilisés et les critères de remémoration.

- Pour les descripteurs de comparaison des cas, deux « jeux » sont utilisés. Le premier, DP, est générique : ce jeu est composé des descripteurs des épisodes globaux de résolution des cas, *i.e.* de l'ensemble des descripteurs du problème d'un cas (cf. partie 2.3.1). Le second jeu, DI, est quant à lui spécifique à chaque cas source : ce jeu est composé des descripteurs particuliers des épisodes de résolution des cas sources, *i.e.* de l'ensemble des index d'un cas (cf. partie 2.3.1).

- Pour les critères de remémoration, nous utilisons deux procédures : (i) une procédure qui filtre en deux temps les cas sources minimisant la distance globale puis les cas sources maximisant le nombre de descripteurs comparés et (ii) une autre procédure qui, à l'inverse, filtre dans un premier temps les cas sources maximisant le nombre de descripteurs comparés puis les cas sources minimisant la distance globale.

1.2.3.Tâche 3 : adapter la solution des cas sources

Dans les systèmes de RàPC rencontrés dans la littérature, l'adaptation s'opère quand au moins un descripteur du problème source est dissemblable du problème cible. Les connaissances utilisées pour l'adaptation s'appuient sur les relations de dépendance, dont l'acquisition peut être manuelle ou automatique (cf. chapitre 3). L'adaptation se fait ensuite par substitution de la solution source ou par transformation de la solution (cf. chapitre 3).

Dans le prototype SAMM, l'adaptation se fait par substitution en utilisant des règles d'adaptation modélisées à partir du discours des agriculteurs (cf. partie 1.1.3). Ces règles sont applicables dès lors que leurs prémisses sont similaires aux descripteurs du problème cible, *i.e.* avec une distance locale de 5 (cf. partie 2.5.1). La substitution quant à elle, se fait après une étape de sélection des différentes solutions proposées par plusieurs règles d'adaptation pouvant être appliquées à un même problème cible. Cette sélection repose sur un algorithme d'adaptation. En pratique, trois algorithmes d'adaptation ont été implantés dans le système (cf. encadré 7.2).

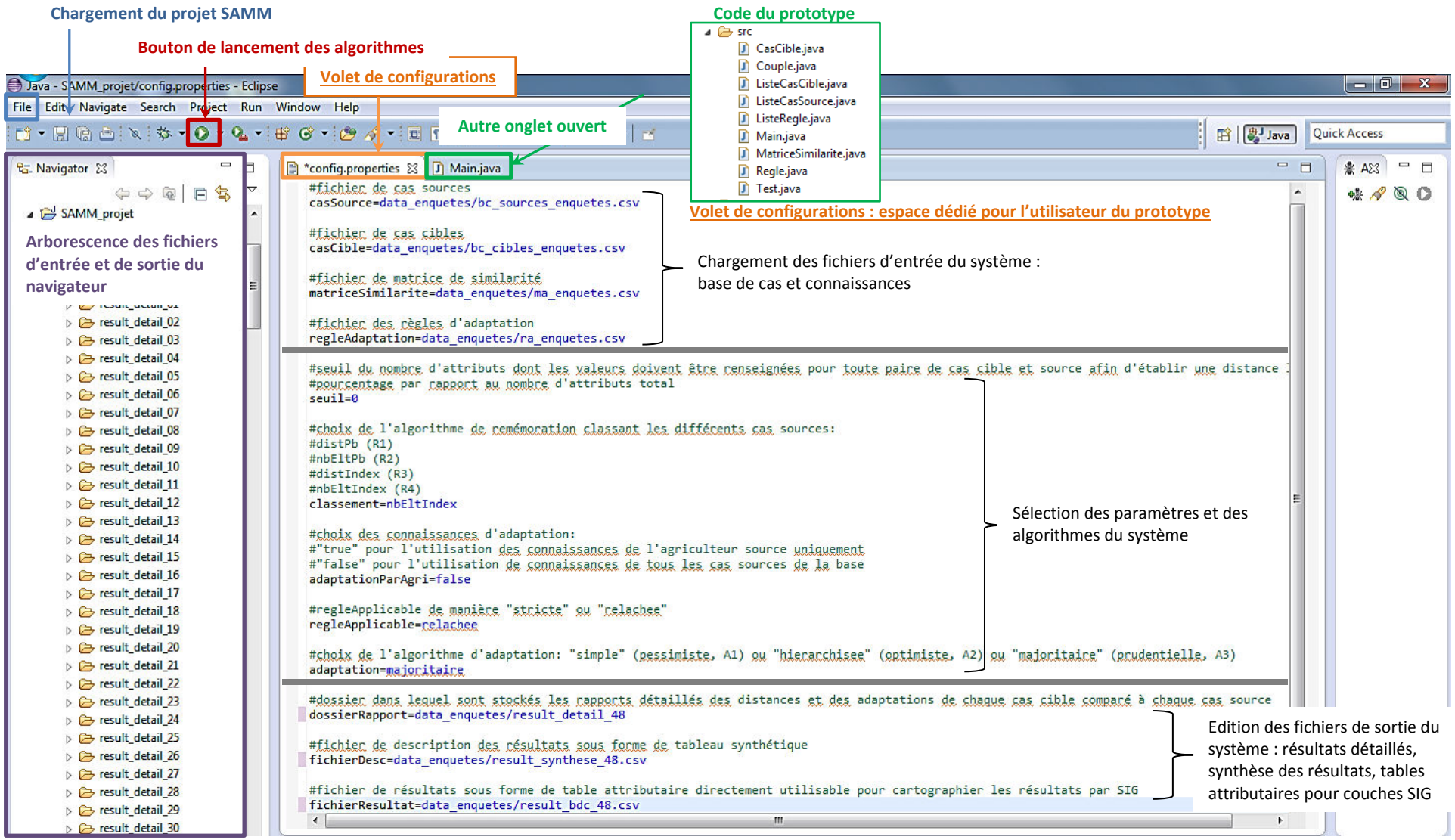


Figure 7.5 : environnement de mise en œuvre du prototype SAMM

L'algorithme pessimiste (ADAPT1) sélectionne en priorité les solutions d'adaptation valant 0 ; l'algorithme optimiste (ADAPT2) sélectionne les solutions d'adaptation valant 2 ; l'algorithme prudentiel (ADAPT3) sélectionne les solutions d'adaptation issues des règles applicables au cas cible ayant les plus grandes prémisses. Là encore, le choix de l'algorithme est laissé à l'utilisateur final selon ses objectifs de prédiction (cf. partie 2.5.2).

1.2.4.Tâche 4 : réviser les solutions prédites par le système

Dans le prototype SAMM, la révision des solutions prédites par le système est manuelle. Elle consiste à modifier les paramètres du système et les connaissances du domaine jusqu'à validation de la solution finale. Pour cela, l'utilisateur peut s'appuyer sur les fichiers de sortie du système tel que les résultats détaillés de la remémoration (cf. encadré 7.3) ou le tableau de synthèse (cf. annexe).

```
Comparaison cas source 10499801 avec cas cible 10385231
distance pb entre odsP_jachere et odsP_jachere : 0
distance pb entre hydr_sechant et hydr_partiellement hydromorphe : 20
distance pb entre forme_pointue et forme_pointue et convexe : 10
distance pb entre foncS_0 et foncS_1 : 20
distanceIndex entre odsP_jachere et odsP_jachere : 0
distanceIndex entre forme_pointue et forme_pointue et convexe : 10
nombre d'éléments pb comparés : 4
distance globale pb : 12.5
nombre d'éléments index comparés : 2
distance globale index : 5.0
```

Encadré 7.3 : exemple de résultats obtenus après comparaison d'un cas source à un cas cible

1.2.5.Tâche 5 : mémoriser les cas cibles révisés

La mémorisation des cas cibles révisés consiste en l'incrémentation de nouveaux cas résolus et à la mise à jour des index utilisés pour retrouver les cas : dans le prototype SAMM, cette tâche est manuelle.

1.3. Environnement informatique de programmation et d'utilisation du prototype SAMM

Face à la difficulté d'utiliser les logiciels libres disponibles pour manipuler des connaissances complexes, telles que des matrices de similarité et des règles d'adaptation, le prototype SAMM a été conçu et implanté de manière *ad hoc.*

Son implantation s'est faite dans l'environnement de développement de logiciel Eclipse par le langage de programmation Java (www.eclipse.org). Cet environnement est conçu pour l'édition de programmes informatiques (cf. figure 7.5) et s'adapte donc bien à la conception d'un système de RàPC. En revanche, il n'est pas adapté à première vue pour guider l'utilisateur final dans la phase de production de ce système : il n'existe pas d'interface graphique spécifique à cet effet.

Néanmoins dans l'état actuel d'implantation du prototype SAMM, l'utilisateur final peut aisément charger différentes connaissances et bases de cas (cf. figure 7.5), permettant notamment d'appliquer le modèle sur d'autres territoires, sous réserve de certaines précautions d'usages (cf. chapitre 8). L'utilisateur final et le concepteur que nous avons été dans le cadre de la thèse, peuvent aussi facilement tester différents algorithmes et paramètres de remémoration et d'adaptation grâce à un volet de configuration (cf. figure 7.5).

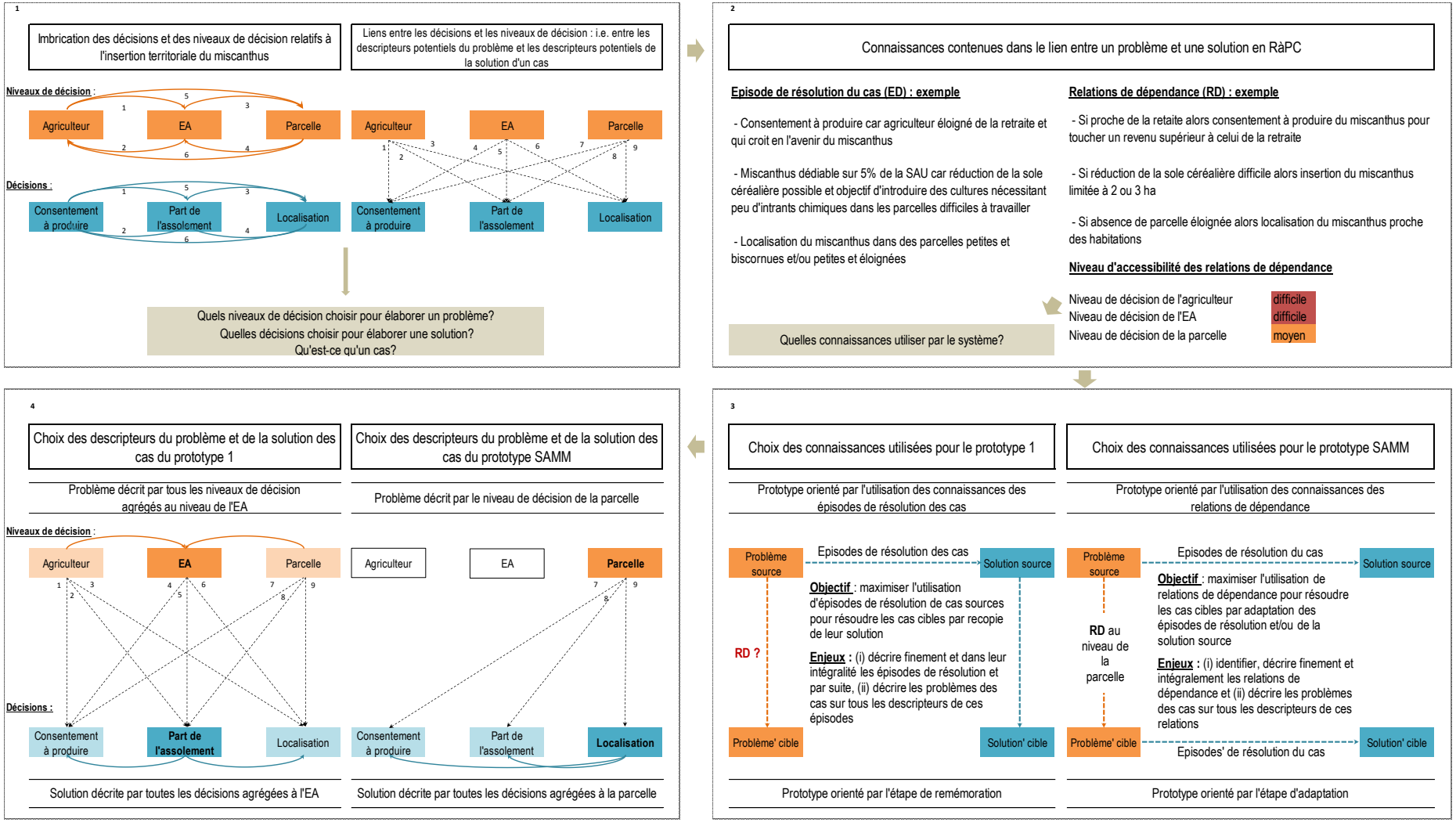


Figure 7.6 : démarche de définition d'un cas s'appuyant sur les processus de décision des agriculteurs

2. Démarches et justifications des choix de construction du prototype SAMM

Dans la première partie de ce chapitre, nous venons de présenter la structure générale du prototype SAMM, *i.e.* la méthode de résolution de problèmes choisie pour construire le système. Il convient donc maintenant, de justifier nos choix de construction du système et d'en présenter la démarche de construction. Cette justification portera à la fois sur nos objectifs fixés en amont de la conception du système mais aussi et surtout, sur les difficultés rencontrées pour construire le système.

2.1. Construction de la base de cas

2.1.1.Choix de la définition d'un cas

La définition d'un cas a été une étape difficile de construction du prototype de par la complexité des processus de décision des agriculteurs. En effet, les enquêtes 1 et 2 montrent d'une part que les processus de décision des enquêtés relatifs à l'insertion territoriale du miscanthus reposent sur trois classes de décisions fortement imbriquées entre elles et prises à plusieurs niveaux de décision à la fois (cf. encadré 1 de la figure 7.6). Cette forte imbrication rend alors la définition d'un cas difficile, posant deux questions majeures : quelles décisions choisir pour définir la partie solution des cas et quels niveaux de décision choisir pour définir la partie problème des cas ? (cf. encadré 1 de la figure 7.6). Les enquêtes 2 montrent d'autre part que si les épisodes de résolution de problème sont globalement bien connus des enquêtés pour chaque décision prise à différents niveaux, les relations de dépendance de ces décisions prises aux niveaux de l'agriculteur et de l'EA sont quant à elles très mal identifiées (cf. encadré 2 de la figure 7.6). Or les relations de dépendance sont essentielles pour guider l'adaptation de la solution d'un cas source pour résoudre un cas cible (cf. encadré 3 de la figure 7.6).

Cette mauvaise identification des relations de dépendances au niveau de l'agriculteur et de l'EA a donc rendu la définition d'un cas difficile. Elle impose un compromis entre : (i) la conception d'un système de RàPC qui pour résoudre un cas cible maximise l'utilisation des relations de dépendance, *i.e.* un système orienté par l'adaptation et (ii) la conception d'un système de RàPC qui pour résoudre un cas cible maximise l'utilisation des épisodes de résolution des cas, *i.e.* un système orienté par la remémoration (cf. encadré 3 de la figure 7.6).

Dans la thèse, nous avons exploré deux « compromis » nous ayant conduit à définir un cas de deux manières : un cas défini comme étant une situation d'implantation de miscanthus dans une EA et un cas défini comme une situation d'implantation de miscanthus dans une parcelle.
- Le premier « compromis » est à l'origine de l'élaboration du prototype 1. Il est orienté par la remémoration (cf. encadré 3 de la figure 7.6) et a donc été conçu pour maximiser l'utilisation des épisodes de résolution des cas, en décrivant le problème par la totalité des niveaux de décision qui composent ces épisodes. Considérant que l'agriculteur et le territoire d'EA composent l'EA et que leur description respective peut être agrégée au niveau de l'EA, les cas du prototype ont alors été définis comme des situations d'implantation du miscanthus dans une EA (cf. encadré 4 de la figure). Les limites de cette méthode présentées dans les chapitres 4 et 6 nous ont cependant conduits à explorer un deuxième compromis.
- Le second compromis est à l'origine du prototype SAMM présenté dans ce chapitre. Il est orienté par l'adaptation (cf. encadré 3 de la figure 7.6) et a été conçu pour maximiser l'utilisation des relations de dépendances. Pour cela les cas du prototype SAMM ont été définis comme étant des situations d'implantation du miscanthus dans des parcelles agricoles (cf. encadré 4 de la figure). Dans cette définition, les niveaux de décision de l'agriculteur et de l'EA ne sont pas directement pris en compte. Néanmoins, dans ce prototype, les décisions relatives au consentement à produire et à la part d'assolement dédiée sont en partie prises en compte, considérant que les caractéristiques d'une parcelle en sont des déterminants partiels (cf. chapitre 6 et encadré 4 de la figure 7.6).

Attributs	Valeurs
VARIABLES AGRONOMIQUES	
Occupation du sol	culture fourragère
	culture pérenne
	jachère
	prairie
	rotation culturale
Usage structurant	usage structurant
Potentiel agronomique	bon
	mauvais
	moyen
	très bon
	très mauvais
Etat sanitaire	absence de résistance aux maladies
	enherbement
	résistance aux maladies
Régime hydrique du sol	humide
	hydromorphe
	non humide
	non hydromorphe
	non séchant
	partiellement hydromorphe
	partiellement séchant
	partiellement très humide
	partiellement très séchant
	séchant
	séchant ET humide
	séchant ET hydromorphe
	séchant ET très humide
	très humide
	très séchant
	très séchant ET humide
	un peu humide
	un peu séchant
Drainage du sol	drainage favorable
	drainage imparfait
	drainage inexistant
Profondeur du sol	moyenment profond
	partiellement peu profond
	partiellement profond
	partiellement très peu profond
	peu profond
	profond
	très peu profond
Pierriosité du sol	faible
	importante
	moyenne
Comportement mécanique du sol	battant
	léger
	lourd
	non battant
	partiellement battant
	partiellement battant ET lourd
	partiellement lourd
	peu battant
	terre franche
Conditions climatiques	basses températures
	forte pluviométrie
Morphologie	encaissé
	non encaissé
	zone dépressive
Pente	partiellement peu pentu
	pas pentu
	pentu
	peu pentu
	très pentu
Exposition	nord
Excès d'eau	inondable
	non inondable
	résurgences et sources
	stagnation de surface
VARIABLES D'ACCESSIBILITE	
Distance au siège	loin
	loin ET isolé
	loin ET non isolé
	proche
	très loin
	très proche
	un peu loin
Distance à usine	proche
Distance au miscanthus	loin
Carrossabilité	carrossable
	peu carrossable
Largeur d'accès	étroit
	très étroit
Franchissement	entre les maisons
	pont
	portail
	route nationale
	village
Largeur franchissement	etroit
	large
	très étroit

Attributs	Valeurs
VARIABLES GEOMETRIQUES	
Forme	assez large
	assez longue
	assez longue ET assez large
	assez longue ET étroite
	assez longue ET pointue ET convexe
	assez régulière
	contraignante
	convexe
	étroite
	irrégulière
	irrégulière ET assez longue
	irrégulière ET étroite
	partiellement irrégulière
	partiellement peu longue
	peu longue
	pointue
	pointue ET convexe
	pointue ET convexe ET assez longue
	pointue ET convexe Et étroite
	pointue ET convexe ET peu longue
	pointue ET étroite
	régulière
	régulière ET assez longue
	très convexe
Taille	grand
	moyen
	petit
	très petit
VARIABLES DE VOISINAGE	
Voisinage arboré	arbres isolés
	arbres isolés ET bois
	bois
	bois ET haie
	bosquet
	bosquet ET bois
	forêt
	forêt ET bosquet
	forêt ET haie
	haie
	lande
Voisinage habité	voisinage habité
Voisinage hydrographique	cours eau
Voisinage cult agri	miscanthus
	prairie
	verger
	vignes
Autre voisinage	bâtiment agricole
	bâtiment technique
	camping
	chemin de randonnée
	cimetière
	coopérative agricole ET déchetterie
	étang
	friche
	jardin privatif
	marais inculte
	sablière
	salle des fêtes
	usine
	zone de pêche ET zone de loisirs
Objet inclus dans parcelle	autre
	un ou plusieurs pylônes électriques
VARIABLES FONCIERES	
Statut foncier	0 (location intégrale)
	0,5 (propriété partielle)
	0,75 (propriété partielle)
	1 (propriété intégrale)
Pérennité usage foncier	0 (usage non pérenne)
VARIABLES ENVIRONNEMENTALES	
Protection environnementale	natura 2000
	périmètre captage eau potable
	zone vulnérable

Tableau 7.3 : liste des descripteurs du problème des cas

2.1.2.Choix du formalisme de représentation des cas

Plusieurs formalismes existent pour décrire un cas, comme les graphes conceptuels, les textes, les vecteurs d'attribut-valeurs, etc. (cf. chapitre 3). Dans la perspective d'une application du prototype SAMM à des territoires d'EA non enquêtées, nous avons choisi d'élaborer les cas par des vecteurs d'attribut-valeurs, correspondant au formalisme de bases de données potentiellement utilisables et nécessaires pour cette application, comme les bases de données TOPO de l'IGN et DONESOL de l'INRA INFOSOL Orléans.

2.1.3.Choix des descripteurs de problème des cas

Dans la majorité des systèmes de RàPC rencontrés dans la littérature, le problème d'un cas est décrit par les éléments du cas qui déterminent sa solution ; ces éléments représentent des épisodes de résolution. Les attributs de ces épisodes sont généralement communs aux différents cas du domaine. Par exemple dans l'automobile, la prédiction du prix d'un modèle de voiture par RàPC dépend, pour tous modèles, de sa marque, du kilométrage déjà effectué, de sa couleur etc. Ainsi, les attributs du problème des cas en phases de conception et de production du système sont génériques et partagés, pour tous cas sources - dont la solution et l'épisode de résolution sont connus - et pour tous cas cibles - dont la solution et l'épisode de résolution sont ignorés ou inconnus du système (cf. tableau 7.4).

	Phase de conception du système	**Phase de production du système**
Cas sources	Solution et épisodes de résolution connus	Solution et épisodes de résolution connus
Cas cibles	Solution et épisodes de résolution ignorés	Solution et épisodes de résolution inconnus

Tableau 7.4 : Niveaux de connaissances des solutions des cas selon les phases du système de RàPC

Concernant notre application, l'analyse globale des processus de décision que nous avons instruits montre que le potentiel d'insertion territoriale du miscanthus (solution du cas) est déterminé par 32 variables (attributs) décrivant les caractéristiques intrinsèques et extrinsèques d'une parcelle (cas) (cf. chapitre 6). Cependant, les éléments déterminant la solution d'un cas donné ne sont pas systématiquement communs à d'autres cas analysés : le potentiel d'insertion territoriale peut dépendre uniquement de la géométrie de la parcelle pour un cas tandis qu'il peut dépendre uniquement de son voisinage pour un autre. En d'autres termes, un même attribut peut être tantôt décisionnel ou tantôt neutre d'un cas à l'autre. Cela signifie que les attributs décrivant le problème des cas fondés sur des épisodes particuliers de résolution de cas ne peuvent pas être totalement partagés entre les cas sources, ni même entre les cas sources et cibles.

Face à cette difficulté, les problèmes des cas sources et cibles du prototype SAMM ont été élaborés de manière générique et décrits systématiquement par les 32 variables issues de notre analyse globale du processus de décision des enquêtés. Les descripteurs correspondant aux épisodes particuliers de résolution des cas ont quant à eux été utilisés pour l'étape de remémoration. Ainsi, pour tous cas sources et cibles du prototype SAMM, le problème est décrit par 32 attributs comptant ensemble 159 valeurs (cf. tableau 7.3).

2.1.4.Choix des descripteurs de solution des cas

Dans la partie 2.2.2 du chapitre 6, nous avons vu que le potentiel d'insertion du miscanthus décrit par les enquêtés était de trois catégories : non implantation en miscanthus (solution 0), implantation en miscanthus (solution 1) et implantation en miscanthus sous conditions (solution 2). Pour l'analyse des 144 règles de décision, ces trois potentiels ont été regroupés en 2 catégories : implantable en miscanthus (solution 1-2) et non implantable en miscanthus (solution 0) (cf. chapitre 6, partie 2.2.2).

Variables décisionnelles	Critères de décision		Potentiel majoritaire d'insertion miscanthus			
Intitulés	Intitulés	codes	codes	Fréquence du potentiel NI	Fréquence du potentiel I	Pot Majoritaire
occupation du sol	cult fourragère	1	1	1,00	0,00	NI
	production	2	2	1,00	0,00	NI
	jachère	3	3	0,12	0,88	I
	prairie	4	4	0,50	0,50	NI
	rotation culturale	5	5	1,00	0,00	NI
usage structurant	usage structurant	6	6	1,00	0,00	NI
potentiel agronomique	bon	7	7	0,50	0,50	NI
	mauvais	8	8	0,25	0,75	I
	moyen	9	9	0,67	0,33	NI
	très bon	10	10	1,00	0,00	NI
état sanitaire	enherbement	11	11	0,00	1,00	I
régime hydrique du sol	humide	12	12	0,00	1,00	I
	hydromorphe	13	13	0,25	0,75	I
	non hydromorphe	14	14	0,00	1,00	I
	partiellement hydromorphe	15	15	0,00	1,00	I
	séchant	16	16	0,91	0,09	NI
	très humide	17	17	0,43	0,57	I
drainage du sol	drainage favorable	18	18	1,00	0,00	NI
	drainage inexistant	19	19	0,17	0,83	I
	drainage imparfait	20	20	0,00	1,00	I
profondeur du sol	partiellement profond	21	21	0,00	1,00	I
	peu profond	22	22	1,00	0,00	NI
	profond	23	23	0,50	0,50	NI
	très peu profond	24	24	1,00	0,00	NI
pierriosité du sol	moyenne	25	25	1,00	0,00	NI
comportemt mécanique du sol	lourd	26	26	0,00	1,00	I
conditions climatiques	basses températures	27	27	1,00	0,00	NI
morphologie	non encaissé	28	28	0,00	1,00	I
	encaissé	29	29	1,00	0,00	NI
pente	partiellement peu pentu	30	30	0,00	1,00	I
	très pentu	31	31	1,00	0,00	NI
exposition	nord	32	32	1,00	0,00	NI
excès d'eau	inondable	33	33	0,67	0,33	NI
	resurgences et sources	34	34	0,67	0,33	NI
	non inondable	35	35	0,00	1,00	I
forme	convexe	36	36	0,00	1,00	I
	contraignante	37	37	0,00	1,00	I
	étroite	38	38	0,33	0,67	I
	irregulière	39	39	0,00	1,00	I
	pointue	40	40	0,00	1,00	I
	très convexe	41	41	0,00	1,00	I
	pointue ET étroite	42	42	0,00	1,00	I
	pointue ET étroite ET convexe	43	43	1,00	0,00	NI
taille	grand	44	44	0,80	0,20	NI
	moyen	45	45	0,33	0,67	I
	petit	46	46	0,21	0,79	I
	très petit	47	47	0,33	0,67	I

Matrice de similarité

	1	2	3	4	5
1	0	5	20	5	5
2	5	0	20	5	5
3	20	20	0	20	20
4	5	5	20	0	5
5	5	5	20	5	0

	6
6	0

	7	8	9	10
7	0	20	5	5
8	20	0	20	20
9	5	20	0	5
10	5	20	5	0

	11
11	0

	12	13	14	15	16	17
12	0	5	5	5	20	5
13	5	0	5	5	20	5
14	5	5	0	5	20	5
15	5	5	5	0	20	5
16	20	20	20	20	0	20
17	5	5	5	5	20	0

	18	19	20
18	0	5	20
19	5	0	20
20	20	20	0

	21	22	23	24
21	0	20	20	20
22	20	0	5	5
23	20	5	0	5
24	20	5	5	0

	25
25	0

	26
26	0

	27
27	0

	28	29
28	0	20
29	20	0

	30	31
30	0	20
31	20	0

	32
32	0

	33	34	35
33	0	5	20
34	5	0	20
35	20	20	0

	36	37	38	39	40	41	42	43
36	0	5	5	5	5	5	5	20
37	5	0	5	5	5	5	5	20
38	5	5	0	5	5	5	5	20
39	5	5	5	0	5	5	5	20
40	5	5	5	5	0	5	5	20
41	5	5	5	5	5	0	5	20
42	5	5	5	5	5	5	0	20
43	20	20	20	20	20	20	20	0

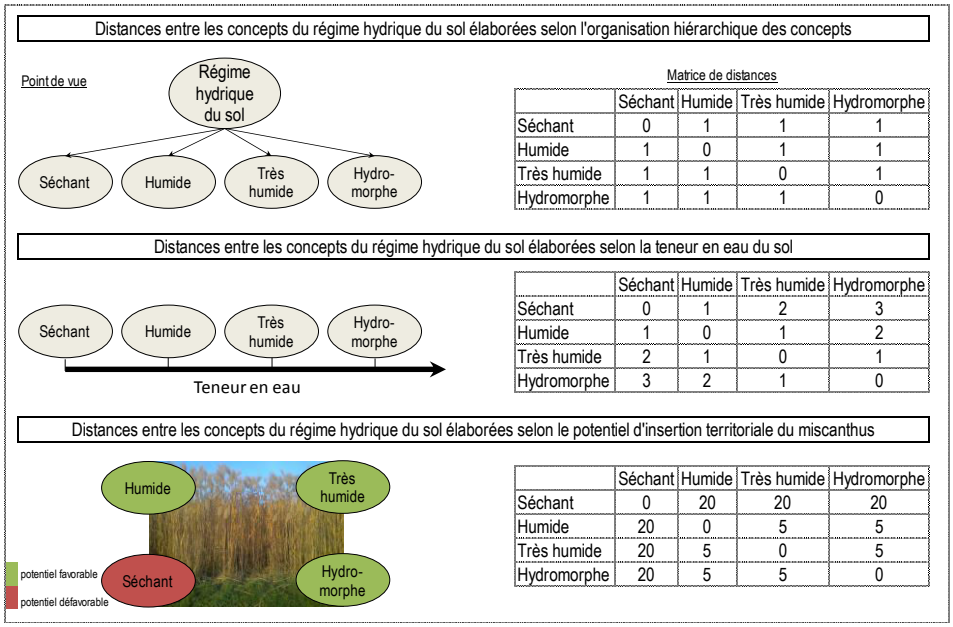
	44	45	46	47
44	0	20	20	20
45	20	0	5	5
46	20	5	0	5
47	20	5	5	0

Figure 7.7 : élaboration de la matrice de similarité du prototype SAMM

Pour la description de la solution des cas du prototype SAMM, en revanche, nous avons choisi de garder les trois catégories de potentiels décrits par les enquêtés. L'objectif est de pouvoir élaborer un modèle qui puisse (i) prédire où le miscanthus peut potentiellement être inséré dans un territoire (solutions 1-2) et où il ne peut pas l'être (solution 0) et qui puisse (ii) ordonner les priorités d'insertion du miscanthus en distinguant les parcelles implantées/implantables sans condition (solution 1) des parcelles implantables avec conditions (solution 2).

2.2. Construction des connaissances de similarité

Pour rappel, la mesure de similarité locale peut s'appuyer sur différents points de vue pour établir les distances entre les attribut-valeurs comparés (cf. chapitre 3) : ainsi la distance entre la valeur *humide* et la valeur *séchante* de l'attribut *régime hydrique du sol* n'est pas la même selon les points de vue de la teneur en eau du sol et du potentiel d'insertion territoriale du miscanthus (cf. figure 7.8).



	Séchant	Humide	Très humide	Hydromorphe
Séchant	0	1	1	1
Humide	1	0	1	1
Très humide	1	1	0	1
Hydromorphe	1	1	1	0

	Séchant	Humide	Très humide	Hydromorphe
Séchant	0	1	2	3
Humide	1	0	1	2
Très humide	2	1	0	1
Hydromorphe	3	2	1	0

	Séchant	Humide	Très humide	Hydromorphe
Séchant	0	20	20	20
Humide	20	0	5	5
Très humide	20	5	0	5
Hydromorphe	20	5	5	0

Figure 7.8 : exemples d'élaboration de matrices de distance selon différents points de vue

Pour le prototype SAMM nous avons choisi d'établir nos matrices de distance selon le point de vue du potentiel d'insertion territoriale du miscanthus. Ce point de vue a été élaboré à partir des règles de décision relatives à l'insertion territoriale du miscanthus, provenant d'enquêtes en EA (cf. chapitre 6). Cependant, rappelons que le potentiel d'insertion territoriale du miscanthus n'est pas univoque pour un même critère de décision : ceci est dû à l'effet des préférences des enquêtés, à un effet seuil lié au niveau de contrainte acceptable pour un critère et pour les règles multicritères, à un effet combinatoire des critères de décision (cf. chapitre 6).

Ainsi, l'établissement des distances entre les attribut-valeurs du prototype SAMM s'est appuyé sur la notion de potentiel d'insertion territoriale du miscanthus majoritaire pour un critère. Pour ce faire, nous avons créé deux groupes de règles : celles dont la solution correspond à un potentiel d'insertion d'implantation (I) et celles dont la solution correspond à un potentiel de non implantation (NI). Ensuite nous avons calculé pour chaque critère de décision, leur fréquence d'apparition dans les prémisses des règles du groupe NI ou I (cf. figure 7.7). Enfin, le potentiel majoritaire d'insertion territoriale du miscanthus pour chaque critère a été identifié en s'appuyant sur la fréquence maximale ; toutefois en cas d'égalité de fréquences, nous avons choisi d'attribuer un potentiel majoritaire défavorable, pour ne pas surestimer le potentiel d'insertion du miscanthus prédit par le modèle (cf. figure 7.7).

Etape 1 : élaboration du cas cible (en orange) et appariement (en rouge) du cas cible à tous les cas sources de la base (en violet)
Etape 2 : mesure des distances locales « dL » (en vert) pour tous descripteurs DP et DI renseignés pour tous cas cible et source de toutes paires de cas constituées

	Cible 1		Source 11		Paire 1 -11		Source 12		Paire 1 -12		Source 13		Paire 1 -13		Source 14		Paire 1 -14	
Attribut	**DP**	**DI**	DP	DI	dL1	dL2	DP	DI	dL1	dL2	DP	DI	dL1	dL2	DP	DI	dL1	dL2
Occupation du sol précédent	rotation culturale	rotation culturale					jachère	jachère	20	20	jachère		20		jachère	jachère	20	20
Potentiel agro	bon	bon					moyen		5									
Pierrosité	faible	faible													moyenne		10	
Excès eau	résurgences sources	résurgences sources					résurgences sources		0									
Taille	petit	petit	petit	petit	0	0	petit	petit	0	0	petit	petit	0	0	petit		0	
Distance siège	loin	loin	loin		0		proche		5		loin	loin	0	0	loin	loin	0	0
Largeur obstacle franchissement	large	large	étroit	étroit	10	10	étroit		10						étroit	étroit	10	10
Statut foncier							propriété				propriété							

Etape 3 : mesure des distances globales « dG » et dénombrement des attributs-valeurs comparés « AC » pour tous descripteurs 1 et 2, pour toutes paires de cas constituées

	Similarité de source 11		Similarité de source 12		Similarité de source 13		Similarité de source 14	
	DP	DI	DP	DI	DP	DI	DP	DI
dG	3.33	5	6.67	10	6.67	0	8	10
AC	3	2	6	2	3	2	5	3

Etape 4 : procédures de remémoration

	Remémoration 1 (REM1)	**Remémoration 2 (REM2)**	**Remémoration 3 (REM3)**	**Remémoration (REM4)**
Algorithme	1. Extraire les cas sources minimisant la distance globale (dG) mesurée sur les descripteurs DP et créer l'objet E1 2. Si le nombre de cas d'E1 est > 0 alors extraire d'E1 les cas sources maximisant le nombre d'attributs comparés (AC) des descripteurs DP et créer l'objet E2 3. Si le nombre de cas d'E2 est > 0 alors extraire d'E2 les cas sources maximisant l'AC des descripteurs DI et créer l'objet E3 4. Si le nombre de cas d'E3 est > 0 alors extraire d'E3 les cas sources minimisant la dG mesurée sur les descripteurs DI	1. Extraire les cas sources maximisant l'AC des descripteurs DP et créer l'objet E1 2. Si le nombre de cas d'E1 est > 0 alors extraire d'E1 les cas sources minimisant la dG mesurée sur les descripteurs DP et créer l'objet E2 3. Si le nombre de cas d'E2 est > 0 alors extraire d'E2 les cas sources maximisant l'AC des descripteurs DI et créer l'objet E3 4. Si le nombre de cas d'E3 est > 0 alors extraire d'E3 les cas sources minimisant la DG mesurée sur les descripteurs DI	1. Extraire les cas sources minimisant la dG mesurée sur les descripteurs DI et créer l'objet E1 2. Si le nombre de cas d'E1 est > 0 alors extraire d'E1 les cas sources maximisant l'AC des descripteurs DI et créer l'objet E2	1. Extraire les cas sources maximisant l'AC des descripteurs DI et créer l'objet E1 2. Si le nombre de cas d'E1 est > 0 alors extraire d'E1 les cas sources minimisant la dG mesurée sur les descripteurs DI et créer l'objet E2
Cas remémoré	Cas source 11 remémoré	Cas source 12 remémoré	Cas source 13 remémoré	Cas source 14 remémoré

Figure 7.9 : illustration de la procédure de remémoration du prototype SAMM à partir d'un exemple

2.3. Construction de la procédure de remémoration

2.3.1.Choix des descripteurs de comparaison des cas

Pour les descripteurs de comparaison des cas, en théorie, seuls les descripteurs DI correspondant pour les cas sources à leur épisode de résolution, sont pertinents à utiliser pour établir les mesures locales et permettre la remémoration. Cependant, compte tenu du faible nombre de DI comparés, nous avons choisi de concevoir deux procédures, l'une n'utilisant que les descripteurs DI et l'autre utilisant les descripteurs DP puis DI.

2.3.2.Choix des critères de remémoration

Dans la majorité des systèmes de RàPC rencontrés dans la littérature, la procédure de remémoration s'appuie sur la mesure de similarité globale : elle consiste à remémorer un voire plusieurs cas sources maximisant sa similarité globale avec un cas cible.

Notons que cette procédure est bien adaptée si le nombre de descripteurs comparés est jugé suffisant et/ou homogène entre les paires de cas cible et source constituées. Or pour le prototype SAMM, nous considérons donc que la procédure classique de remémoration est mal adaptée du fait du faible nombre des descripteurs comparés (cf. partie 3.1) et qu'elle doit être couplée à un deuxième critère de remémoration : la maximisation du nombre de descripteurs comparés.

Ainsi, nous avons choisi de concevoir : (i) une procédure qui filtre en deux temps les cas sources minimisant la distance globale puis les cas sources maximisant le nombre de descripteurs comparés et (ii) une autre procédure qui, à l'inverse, filtre dans un premier temps les cas sources maximisant le nombre de descripteurs comparés puis les cas sources minimisant la distance globale.

2.3.3.Choix d'implanter plusieurs algorithmes de remémoration

La figure 7.9 est une illustration de la procédure de remémoration (cf. étapes 2, 3 et 4). Elle s'appuie sur un exemple dans lequel un cas cible est comparé à quatre cas sources pour lesquels, les distances locales (cf. étape 2) puis globales (cf. étape 3) diffèrent entre les descripteurs DP et DI, ainsi que le nombre de descripteurs comparés (cf. étape 3).

Cet exemple montre d'une part que les cas sources remémorés diffèrent d'un algorithme à l'autre (cf. étape 4). Il montre d'autre part qu'il est difficile de déterminer l'algorithme permettant de retrouver le cas le plus similaire au vu des distances globales et du nombre de descripteurs comparés (cf. étape 3) : aucun cas ne se distingue franchement dans cet exemple.

Nous considérons donc que les algorithmes doivent être choisis par l'utilisateur en fonction de leur adaptation aux caractéristiques d'ensemble de la base de cas. C'est pourquoi quatre algorithmes REM1, REM2, REM3 et REM4 ont été implantés dans le système afin de permettre un choix par l'utilisateur en phase de calibration du système (cf. partie 3.2 et partie 4).

2.4. Construction des connaissances d'adaptation

2.4.1.Choix des règles d'adaptation extraites du discours des agriculteurs

Comme montré dans le chapitre 6, les mises en situation d'enquêtés par l'enquêteur pour obtenir des règles d'adaptation n'ont pas été faciles ni concluantes ; elles n'ont donc pas été reconduites pour les autres enquêtes.

Etape 1 : appariement (en rouge) des règles d'adaptation sous le respect de leur intégralité
Etape 2 : mesure des distances locales « dL » (en vert) pour tous les prémices des règles d'adaptation et descripteurs du problème cas cible renseignés

Attribut	Cible 1 (extraits)	Règle 1 (Source 13)	Paire 1-R1	Règle 2 (Source 13)	Paire 1-R2	Règle 3 (Source 13)	Paire 1-R3	Règle 4 (Source 13)	Praire 1-R4	Règle 5 (Source 13)	Paire 1-R5	Règle 6 (Source 14)	Paire 1-R6
	Descript 1	Prémices	dL	Prémices	dL	Prémices	dL	Prémices	dL	Prémices	dL	Prémices	dL
Occupation du sol précédent	rotation culturale	Rotation culturale	0	Rotation culturale	0								
Potentiel agro	bon											bon	0
Excès eau	Résurgences, sources							inondable	5	résurgences sources	0		
Taille	petit					petit	0			moyen	5		
Distance siège	loin					loin	0			loin	0		
		Solution		Solution		Solution		Solution		Solution		Solution	
		0		2		1		0		1		0	

Etape 3 : choix des règles d'adaptation (RA) à utiliser

RAS	RAT
RA de l'agriculteur du cas source remémoré	RA des agriculteurs de tous les cas sources

Etape 4 : sélection des cas sources (SELECT) à adapter

SELECT0	SELECT5
SELECT0 signifie une application des règles d'adaptation au problème du cas cible pour toute distance locale entre les descripteurs du problème cible et les prémices de la règle valant 0	SELECT5 signifie une application des règles d'adaptation au problème du cas cible pour toute distance locale entre les descripteurs du problème cible et les prémices de la règle valant 5

Règles appliquées au problème du cas cible et solutions d'adaptation

	RAS		RAT	
	Règle	Solution	Règle	Solution
SELECT0	R1	0	R1	0
	R2	2	R2	2
	R3	1	R3	1
			R6	0
SELECT5	R1	0	R1	0
	R2	2	R2	2
	R3	1	R3	1
	R4	0	R4	0
	R5	1	R5	1
			R6	0

Etape 5 : choix des algorithmes d'adaptation (ADAPT) à utiliser

ADAPT1 : algorithme pessimiste	ADAPT2 : algorithme optimiste	ADAPT3 : algorithme prudentielle
1. S'il existe au moins une solution d'adaptation valant 0 alors substitution de solution source remémorée par 0, sinon 2. S'il existe au moins une solution d'adaptation valant 1 alors substitution de solution source remémorée par 1, sinon 3. Substitution par 2	1. S'il existe au moins une solution d'adaptation valant 0 et une solution d'adaptation valant 2 alors substitution de solution source remémorée par 2, sinon 2. Substitution par 0, sinon 3. S'il existe au moins une solution d'adaptation valant 1 alors substitution par 1, sinon 4. Substitution par 2	1. Regroupement des règles selon leur solution 0, 1 ou 2 et création des groupes « R0 », « R1 » et « R2 » 2. Calcul de la taille moyenne des règles de R0, R1 et R2 (*i.e.* somme du nombre de prémices des règles/nombre de règles) 3. S'il existe une taille moyenne majoritaire parmi R0, R1 et R2 alors substitution de solution source remémorée par la solution du groupe à la taille moyenne majoritaire, sinon 4. Si le groupe R2 a une taille moyenne majoritaire alors substitution par 2, sinon, 5. Si le groupe R1 a une taille moyenne majoritaire alors substitution par 1, sinon, 6. Substitution par 0

Solutions d'adaptation substituées par le système à la solution du cas source 13

	ADAPT1	ADAPT 2	ADAPT 3
RAS & SELECT0	0	2	1
RAS & SELECT5	0	2	1
RAT & SELECT0	0	2	1

Figure 7.10 : illustration de la procédure d'adaptation du prototype SAMM à partir d'un exemple

2.4.2.Choix de l'appariement des règles d'adaptation au problème cible

En RàPC, la solution d'un cas source remémoré est généralement adaptée si et seulement si des règles d'adaptation sont utilisables par le système (cf. chapitre 3).

En théorie, les règles d'adaptation utilisables pour adapter la solution du cas source remémoré sont : (i) celles qui s'appliquent aux descripteurs du problème du cas cible pour lesquels la distance locale mesurée avec le cas source vaut 10 ou 20 (cf. occupation du sol de cas cible 1 et de cas source 13 de la figure 7.9 et règles 1 et 2 de la figure 7.10) ou (ii) celles qui s'appliquent aux descripteurs du problème du cas cible qui ne sont pas renseignés dans le cas source (cf. excès d'eau de cas cible 1 et de cas source 13 de la figure 7.9 et règle 4 de la figure 7.10).

Pour notre application, considérant que les RA prévalent sur les épisodes de résolution, nous avons défini que toute règle d'adaptation est utilisable par le système, dès lors que celle-ci est applicable au problème d'un cas cible.

Les modalités d'application de ces règles ont été définies de la manière suivante :

- Pour être applicable, une règle doit dans un premier temps être appariée au cas cible (cf. étape 1), et cet appariement n'est fait que si le problème cible est renseigné pour l'intégralité des descripteurs correspondant aux prémices de la règle d'adaptation : ce choix tient compte de l'effet combinatoire des critères de décision déterminant le potentiel d'insertion territoriale du miscanthus. Ainsi, la règle 3 de la figure 7.10 n'aurait pas été appariée au cas cible si seule la taille avait été renseignée dans le cas cible.

- Pour être appliquée, une règle doit dans un deuxième temps être composée de prémisses similaires aux descripteurs du problème cible. En théorie, seules les règles appariées et ayant des distances locales entre les descripteurs du problème du cas cible et les prémisses de la règle valant 0, peuvent servir pour adapter la solution d'un cas source remémoré. En pratique, faisant l'hypothèse que, pour notre application, les RA ne sont pas suffisantes pour couvrir la gamme de dissemblances entre les cas cibles et sources, nous utilisons aussi les règles ayant des distances locales de 5 avec le problème cible.

La figure 7.10 montre alors que pour l'exemple choisi, de nombreuses règles d'adaptation aux solutions parfois contradictoires ont été appliquées au problème du cas cible : cela signifie que la solution du cas source remémoré sera adaptée par le système ; cela signifie aussi qu'une hiérarchisation de ces règles sera nécessaire pour ne retenir qu'une seule solution d'adaptation ; pour ce faire, nous avons conçu et testé trois algorithmes d'adaptation.

2.4.3.Choix de la sélection des solutions d'adaptation ou algorithmes d'adaptation

Les trois algorithmes d'adaptation du prototype SAMM sont les suivants : l'algorithme pessimiste (ADAPT1) sélectionne en priorité les solutions d'adaptation valant 0 faisant l'hypothèse que les règles liées à ces solutions prévalent sur les autres et rendent l'insertion du miscanthus impossible sur la parcelle (ex : sol séchant) ; l'algorithme optimiste (ADAPT2) sélectionne les solutions d'adaptation valant 2 faisant l'hypothèse que de nombreux freins à l'insertion du miscanthus pourraient être levés dans un autre contexte d'insertion territoriale (ex : meilleure maîtrise de l'implantation, augmentation du prix de vente) ; l'algorithme prudentiel (ADAPT3) sélectionne les solutions d'adaptation issues des plus grandes règles appliquées au cas cible.
Le contenu de ces trois algorithmes est présenté dans la figure 7.10. Là encore, cette figure montre que les résultats des trois algorithmes diffèrent et souligne l'intérêt de tester ces algorithmes en phase de conception pour calibrer au mieux le prototype (cf. partie 3.2).

Règles d'arbitrage pour choisir une solution cible unique, pour tout cas source de la base ayant une solution 1 ou 2

Base de cas :

ID cas cible	ID cas source	Solution cas source
cible 1	source 1	1
cible 2	source 2	2
cible 3	source 3	1

Base de paires de cas cibles appariés aux cas sources remémorés

ID cas cible	ID cas source remémoré	Solution cas source remémoré
cible 1	-	-
cible 2	source 1	1
cible 2	source 2	2
cible 2	source 3	1

Règles d'arbitrage par relâchement pour choisir une unique solution cible à l'issue de l'étape de remémoration

1. Pour tout cas cible, si aucun cas source de la base n'est remémoré alors la solution du cas cible vaut 0*, sinon :
2. Pour tout cas cible, quelque soit les cas sources remémorés, la solution vaut 1-2 .

* Pour une application du modèle sur nos données d'enquêtes (pour d'autres applications, cf. discussion générale)

Règles d'arbitrage pour choisir une solution cible unique, pour tout cas source de la base ayant une solution 0, 1 ou 2

Base de cas :

ID cas cible	ID cas source	Solution cas source
cible 1	source 1	1
cible 2	source 2	2
cible 3	**source 3'**	**0**

Base de paires de cas cibles appariés aux cas sources remémorés

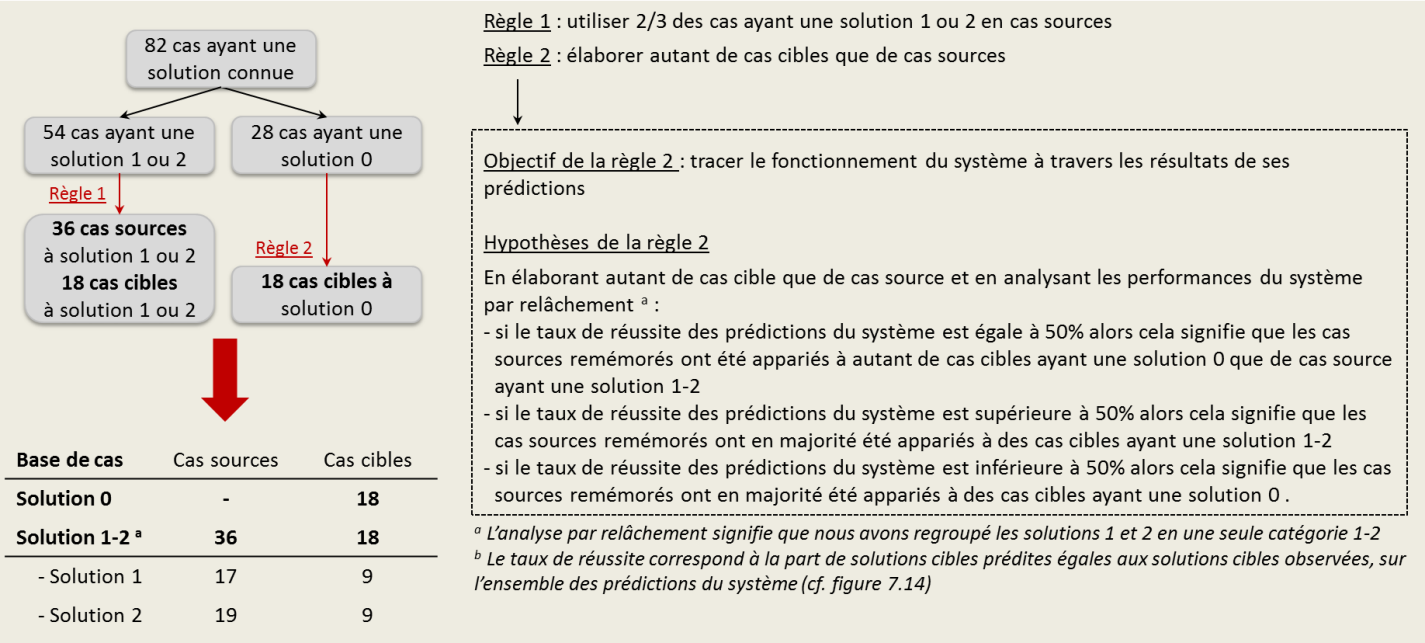
ID cas cible	ID cas source remémoré	Solution cas source remémoré
cible 1	**source 3'**	**0**
cible 2	source 1	1
cible 2	source 2	2
cible 2	**source 3'**	**0**

Règles d'arbitrage par relâchement pour choisir une unique solution cible à l'issue de l'étape de remémoration

1. Pour tout cas cible, si aucun cas source de la base n'est remémoré alors la solution du cas cible vaut 0, sinon :
2. Pour tout cas cible, si un unique cas source est remémoré alors la solution du cas cible vaut celle du cas source, sinon :
3. Pour tout cas cible, si tous les cas sources remémorés ont une solution 1-2 alors la solution du cas cible vaut 1-2, sinon :
4. Pour tout cas cible, si tous les cas sources remémorés ont une solution 0 alors la solution du cas cible vaut 0, sinon :
5. Pour tout cas cible, la solution de ces cas vaut soit 0 soit 1-2 .**

** Le choix de la solution unique peut alors se poursuivre par d'autres règles d'arbitrage plus complexes

Figure 7.11 : hypothèses servant à définir les règles d'attribution du rôle source aux cas de la base



Base de cas	Cas sources	Cas cibles
Solution 0	**-**	**18**
Solution 1-2 [a]	**36**	**18**
- Solution 1	17	9
- Solution 2	19	9

Figure 7.12 : règles et hypothèses servant à définir la composition de la base de cas

B. Résultats

1. Paramètres d'évaluation du système

1.1. Construction d'un jeu de données expérimental

Pour la construction d'un système de RàPC, tous les cas disponibles sont intégrés dans la base de cas pour obtenir et manipuler un maximum de connaissances.

Pour l'évaluation d'un système de RàPC, en revanche, un jeu de données expérimental est conçu. Ce jeu est composé d'une base de cas (sources) servant à l'apprentissage du système et de cas cibles, pour lesquels la solution durant cette étape d'évaluation est connue mais ignorée, servant à tester le système.

Pour construire ce jeu de données expérimental, nous avons distingué, dans les cas disponibles, ceux qui seront utilisés comme sources et ceux qui seront utilisés comme cibles. Pour cela, la construction du jeu test s'est faite en deux temps : nous avons premièrement établi des règles d'attribution de rôles (cible ou source), puis nous avons sélectionné les cas finalement utilisés par le système en fonction de règles de composition de la base.

- Concernant les règles d'attribution de rôles, nous avons d'une part choisi d'attribuer un **rôle cible à un corpus de cas ayant chacun une solution observée 0, 1 ou 2** (cf. partie 1.1.1). Nous avons d'autre part choisi d'attribuer un **rôle source à un corpus de cas ayant chacun une solution observée 1 ou 2** : l'exclusion des cas ayant une solution 0 ayant pour but de limiter l'arbitrage de l'utilisateur final si plusieurs cas sources sont remémorés pour un même cas cible, après la phase de remémoration (cf. figure 7.11). A noter alors que les solutions 0 prédites par le système sont le résultat de l'adaptation des solutions sources remémorées.

- Concernant les règles de composition de la base de cas, nous avons choisi d'attribuer un **rôle source aux 2/3 des cas ayant une solution 1 ou 2 et un rôle cible au dernier tiers de ces cas** ; ce taux est arbitraire et se fonde sur les taux d'apprentissage classiquement rencontrés en apprentissage supervisé. Nous avons ensuite choisi de prendre **autant de cas sources que de cas cibles pour tracer** le fonctionnement du système à travers les résultats de ses prédictions (cf. figure 7.12) ; c'est également un choix arbitraire qui peut être discuté.

Au final, 36 cas sources et 36 cas cibles sont utilisés comme base de données expérimentale pour évaluer les performances du système. Ils ont été sélectionnés par un unique tirage aléatoire.

1.2. Paramètres d'expérimentation

Les parties précédentes du chapitre montrent que la conception d'un système de RàPC pour prédire l'insertion territoriale du miscanthus à partir des décisions des agriculteurs peut être envisagée de multiples manières. Des tests sur l'effet, sur les prédictions du système, des paramètres du prototype et des algorithmes choisis, ont alors été conduits pour comprendre le fonctionnement du système appliqué à nos données et pour en permettre la calibration. Ainsi, 48 tests ont été mis en œuvre (cf. tableau 7.5) et élaborés à partir de quatre paramètres d'expérimentation :

- Le premier paramètre d'expérimentation du système est l'algorithme de remémoration décliné en quatre modalités (**REM1, REM2, REM3 et REM4**) correspondant chacune aux quatre algorithmes

Id tests	Paramètres				Id tests	Paramètres				Id tests	Paramètres				Id tests	Paramètres			
	REM	RA	SELECT	ADAPT		REM	RA	SELECT	ADAPT		REM	RA	SELECT	ADAPT		REM	RA	SELECT	ADAPT
1	REM1	RAS	SELECT 0	ADAPT 1	13	REM2	RAS	SELECT 0	ADAPT 1	25	REM3	RAS	SELECT 0	ADAPT 1	37	REM4	RAS	SELECT 0	ADAPT 1
2	REM1	RAS	SELECT 5	ADAPT 1	14	REM2	RAS	SELECT 5	ADAPT 1	26	REM3	RAS	SELECT 5	ADAPT 1	38	REM4	RAS	SELECT 5	ADAPT 1
3	REM1	RAT	SELECT 0	ADAPT 1	15	REM2	RAT	SELECT 0	ADAPT 1	27	REM3	RAT	SELECT 0	ADAPT 1	39	REM4	RAT	SELECT 0	ADAPT 1
4	REM1	RAT	SELECT 5	ADAPT 1	16	REM2	RAT	SELECT 5	ADAPT 1	28	REM3	RAT	SELECT 5	ADAPT 1	40	REM4	RAT	SELECT 5	ADAPT 1
5	REM1	RAS	SELECT 0	ADAPT 2	17	REM2	RAS	SELECT 0	ADAPT 2	29	REM3	RAS	SELECT 0	ADAPT 2	41	REM4	RAS	SELECT 0	ADAPT 2
6	REM1	RAS	SELECT 5	ADAPT 2	18	REM2	RAS	SELECT 5	ADAPT 2	30	REM3	RAS	SELECT 5	ADAPT 2	42	REM4	RAS	SELECT 5	ADAPT 2
7	REM1	RAT	SELECT 0	ADAPT 2	19	REM2	RAT	SELECT 0	ADAPT 2	31	REM3	RAT	SELECT 0	ADAPT 2	43	REM4	RAT	SELECT 0	ADAPT 2
8	REM1	RAT	SELECT 5	ADAPT 2	20	REM2	RAT	SELECT 5	ADAPT 2	32	REM3	RAT	SELECT 5	ADAPT 2	44	REM4	RAT	SELECT 5	ADAPT 2
9	REM1	RAS	SELECT 0	ADAPT 3	21	REM2	RAS	SELECT 0	ADAPT 3	33	REM3	RAS	SELECT 0	ADAPT 3	45	REM4	RAS	SELECT 0	ADAPT 3
10	REM1	RAS	SELECT 5	ADAPT 3	22	REM2	RAS	SELECT 5	ADAPT 3	34	REM3	RAS	SELECT 5	ADAPT 3	46	REM4	RAS	SELECT 5	ADAPT 3
11	REM1	RAT	SELECT 0	ADAPT 3	23	REM2	RAT	SELECT 0	ADAPT 3	35	REM3	RAT	SELECT 0	ADAPT 3	47	REM4	RAT	SELECT 0	ADAPT 3
12	REM1	RAT	SELECT 5	ADAPT 3	24	REM2	RAT	SELECT 5	ADAPT 3	36	REM3	RAT	SELECT 5	ADAPT 3	48	REM4	RAT	SELECT 5	ADAPT 3

Tableau 7.5 : plan d'expérimentations

Analyses des performances du prototype SAMM à partir d'une validation des prédictions du système à la stricte égalité des valeurs observées des cas cibles

Base de données : → **Test de validité :** → **Matrice de confusion :**

Sol observée	Sol prédite
0	0
0	1
0	2
0	0
0	1
0	2
1	2
2	0
1	0
1	1
1	2
2	0
2	1
2	2

Test validité
V_N [a]
F_P1 [e]
F_P2 [f]
V_N
F_P1
F_P2
F_P2
F_N [d]
F_N
V_P1 [a]
F_P2
F_N
F_P1
V_P2 [b]

		Solutions prédites			Σ solutions observées
		0	1	2	
Solutions observées	0	2	2	2	6
	1	1	1	2	4
	2	2	1	1	4
Σ solutions prédites		5	4	5	14

Légende matrice

V_N [a]
V_P1 [b]
V_P2 [c]
F_N [d]
F_P1 [e]
F_P2 [f]

Evaluation :

	Solutions prédites		
	0	1	2
Taux de précision[g]	0,40	0,25	0,20
Taux de vraies solutions	0,33	0,25	0,25
Taux de réussite[i]	0,29		

Analyses :

Remémoration
Sélection des cas cibles à adapter
Adpatation
Prédictions finales du système

[a] V_N : Vrai Négatif ou vraie solution 0
[b] V_P1: Vrai Positif 1 ou vraie solution 1
[c] V_P2 : Vrai Positif 2 ou vraie solution 2
[d] F_N : Faux Négatif ou fausse solution 0
[e] F_P1 : Faux Positif 1 ou fausse solution 1
[f] F_P2 : Faux Positif 2 ou fausse solution 2

[g] Taux de précision = nombre de V_P / Σ des solutions prédites (ou nombre de V_N / Σ des solutions prédites)
[h] Taux de vraies solutions = nombre de V_P / Σ des solutions observées (ou nombre de V_N / Σ des solutions observées)
[i] Taux de réussite = Σ des V_P / Σ des solutions prédites

Analyses des performances du prototype SAMM à partir d'une validation par relâchement des prédictions : i.e. à partir du regroupement des solutions 1 et 2

Base de données : → **Test de validité :** → **Matrice de confusion :**

Sol observée	Sol prédite
0	0
0	1
0	2
0	0
0	1
0	2
1	2
2	0
1	0
1	1
1	2
2	0
2	1
2	2

Test validité
V_N [j]
F_P [m]
F_P
V_N
F_P
F_P
V_P
F_N [l]
F_N
V_P [k]
V_P
F_N
V_P
V_P

		Solutions prédites		Σ solutions observées
		0	1 et 2	
Solutions observées	0	2	4	6
	1 et 2	3	5	8
Σ solutions prédites		5	9	14

Légende matrice

V_N [j]
V_P [k]
F_N [l]
F_P [m]

Evaluation :

	Solutions prédites	
	0	1 et 2
Taux de précision[g]	0,40	0,56
Taux de vraies solutions	0,33	0,63
Taux de réussite[i]	0,50	

Analyses :

Remémoration
Sélection des cas cibles à adapter
Adpatation
Prédictions finales du système

[j] V_N : Vrai Négatif ou vraie solution 0
[k] V_P : Vrai Positif ou vraie solution 1 ou 2
[l] F_N : Faux Négatif ou fausse solution 0
[m] F_P : Faux Positif ou fausse solution 1 ou 2

[g] Taux de précision = nombre de V_P / Σ des solutions prédites (ou nombre de V_N / Σ des solutions prédites)
[h] Taux de vraies solutions = nombre de V_P / Σ des solutions observées (ou nombre de V_N / Σ des solutions observées)
[i] Taux de réussite = Σ des V_P / Σ des solutions prédites

Figure 7.13 : analyses et évaluations des performances du prototype SAMM

présentés dans la partie 1.2.2. Pour rappel, l'algorithme de remémoration affecte : (i) l'évaluation de la similarité des cas par l'utilisation distincte de deux jeux de descripteurs de comparaison des cas (cf. partie 2.3.3) et (ii) l'identification et la sélection des cas sources les plus similaires aux cas cibles, par la procédure de remémoration (cf. partie 2.3.3). Ainsi dans la partie 4.2, nous évaluerons les capacités du prototype à sélectionner les cas sources les plus similaires aux cas cibles, par l'analyse des distances globales entre les problèmes de ces cas et par l'analyse des distances entre les solutions de ces cas, *via* un test de validité (cf. figure 7.13). Ce test consiste à comparer les solutions observées des solutions prédites : si les solutions sont jugées égales alors la solution prédite est classée comme vraie (V), sinon la solution prédite est classée comme fausse (F).

- Le second paramètre d'expérimentation est le choix des Règles d'Adaptation (**RA**) à utiliser. Ce paramètre est décliné en deux modalités : les règles d'adaptation de l'agriculteur du cas source remémoré (**RAS**) et les règles d'adaptation des agriculteurs de tous les cas sources de la base (**RAT**). Comme illustré dans la figure 7.10, ce paramètre définit la solution des cas à adapter par le système. Nous évaluerons l'effet de ce paramètre sur l'adaptation et sur les prédictions finales du système, par une comparaison systématique des prédictions faites à partir de RAS et de RAT.

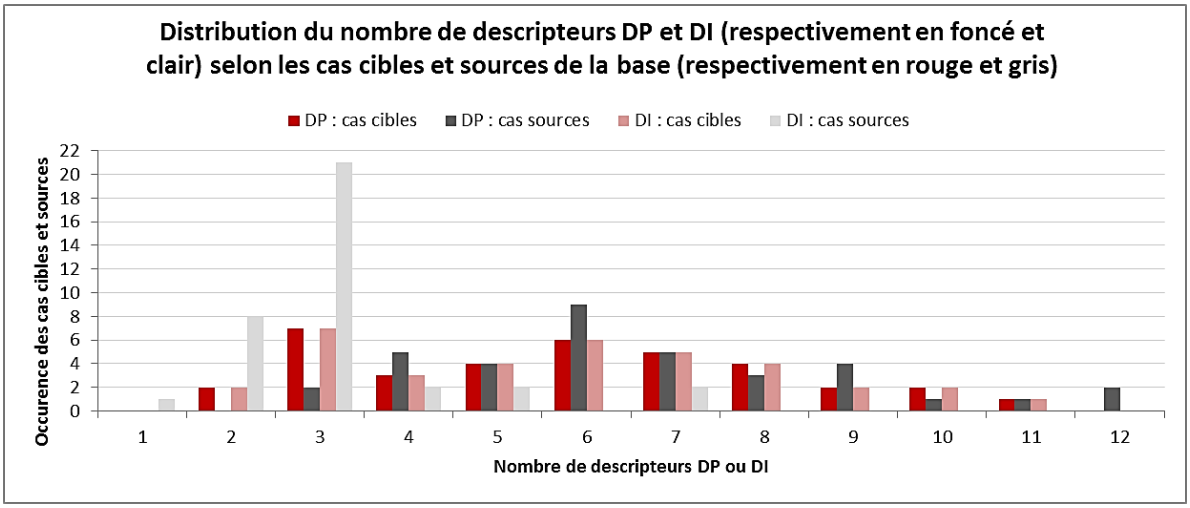
- Le troisième paramètre est le mode de sélection des cas sources (SELECT) à adapter, décliné en deux modalités : **SELECT0** et **SELECT5**. La modalité SELECT0 signifie une application des règles d'adaptation au problème du cas cible pour toute distance locale valant 0 et la modalité SELECT5, pour toute distance locale valant 5. Nous évaluerons l'effet de ces deux modes de sélection par la comparaison des cas sources adaptés (CSA), aux cas sources remémorés (CSR) pour lesquels la solution prédite a été classée comme fausse au test de validité (cf. figure 7.13 et partie 5.3.1).

- Le quatrième paramètre est l'algorithme d'adaptation décliné en trois modalités (**ADAPT1, ADAPT2, ADAPT3**), correspondant aux trois algorithmes présentés dans la partie 4. Pour rappel, l'algorithme d'adaptation sélectionne la solution à substituer à la solution source quand plusieurs RA s'appliquent à un même cas cible (cf. partie 4). Nous évaluerons dans la partie 5.4 l'effet de ce paramètre par la comparaison des solutions adaptées aux solutions cibles observées (cf. figure 7.13 et partie 4.3.1).

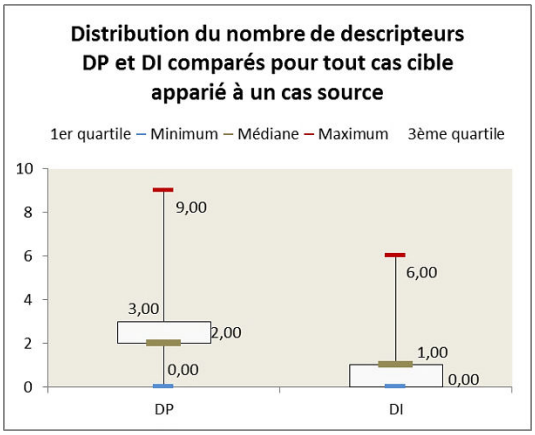
- L'effet combiné de ces quatre paramètres d'expérimentation sera enfin évalué dans la partie 4.4 par la comparaison des solutions finales prédites par le système aux solutions cibles observées (cf. figure 7.13 et partie 4.4).

Comme montré dans la figure 7.13, les analyses de performances du prototype se sont faites à partir de validations strictes ou relâchées des prédictions du système. Une validation stricte consiste à classer comme « vraie » toute solution prédite égale à la solution observée. Une validation relâchée consiste à regrouper les solutions 1 et 2 au sein d'une même catégorie 1-2 et à classer comme « vraie » toute solution prédite 1 ou 2, pour toute solution observée de catégorie 1-2.

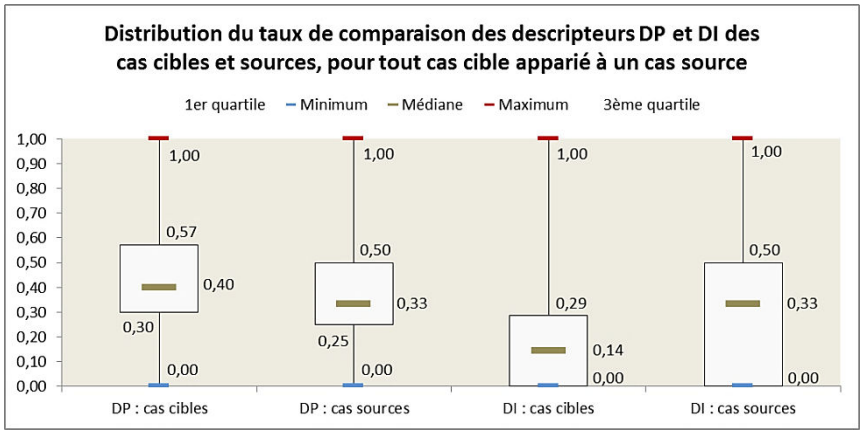
Pour ne pas alourdir nos analyses, nous présenterons les résultats d'évaluation à la stricte égalité pour les quatre paramètres testés ; pour l'analyse des prédictions finales, nous présenterons aussi ces résultats pour l'évaluation relâchée.



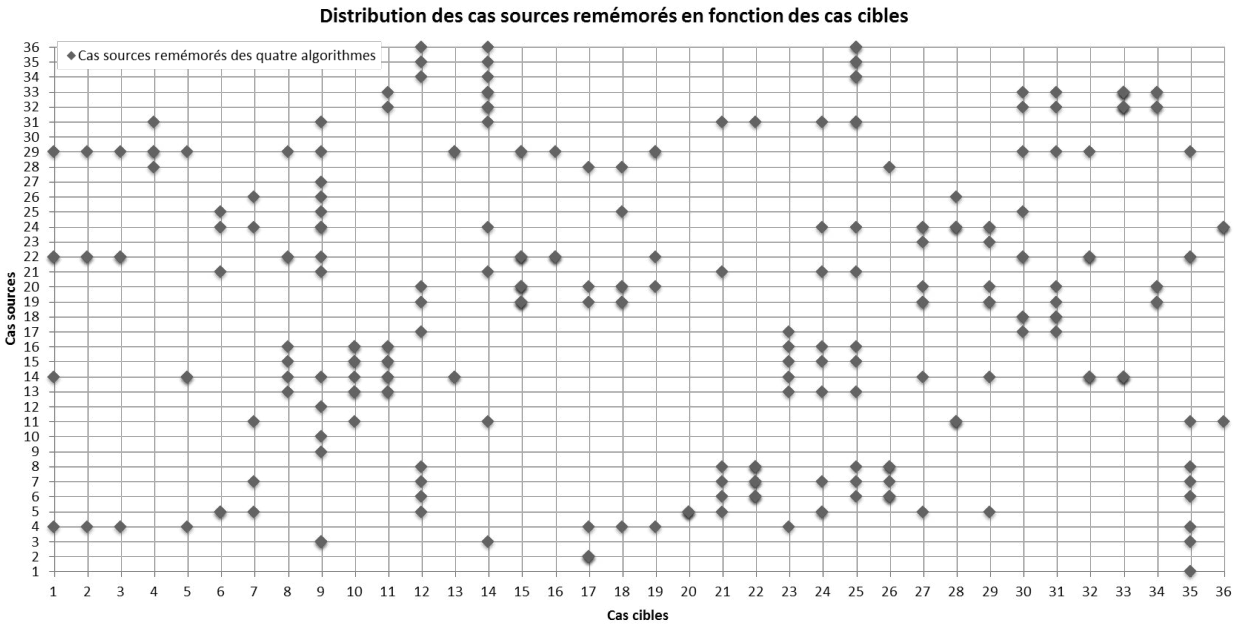
Graphique 7.1 : distribution du nombre de descripteurs DP et DI selon les cas cibles et sources de la base



Graphique 7.2 : distribution du nombre de descripteurs comparés



Graphique 7.3 : taux de comparaison des descripteurs des cas



Graphique 7.4 : distribution des cas sources remémorés en fonction des cas cibles

2. Analyse des performances du système

2.1. Analyse du niveau de comparaison de descripteurs des cas

Avec une base expérimentale de 36 cas sources et de 36 cas cibles, le prototype SAMM procède à 1296 appariements. En revanche, avec un nombre de descripteurs majoritairement situé en dessous de 6, le nombre de comparaisons de cette base expérimentale cas est limité (cf. graphique 7.1).

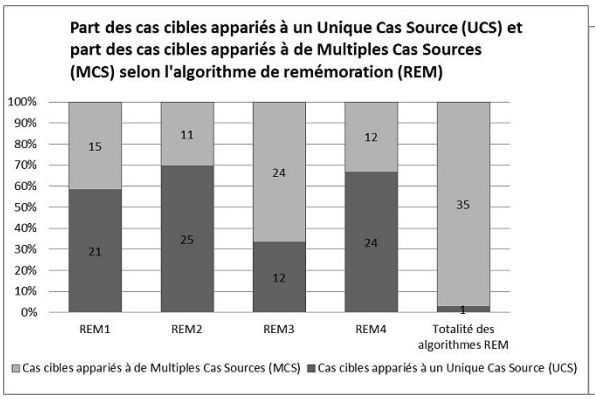
En effet, le graphique 7.2 montre que le nombre médian d'attribut-valeurs comparés est de 2 pour DP et de 1 pour DI. Cela se traduit par une comparaison médiane de 33% des descripteurs DP et DI des cas sources (cf. graphique 7.3) ; cela se traduit aussi par une comparaison médiane de 40% des descripteurs DP des cas cibles et de 14% des descripteurs DI de ces mêmes cas (cf. graphique 7.3).

Ainsi, les graphiques 7.2 et 7.3 montrent que dans leur globalité, les descripteurs DP et DI des cas sources se distinguent de ceux des cas cibles ; ces descripteurs sont en effet très variables dans la base. Ces graphiques montrent aussi que l'étape d'adaptation est une nécessité dans ce système pour compenser les faibles taux de comparaison des descripteurs des cas cibles, notamment pour les remémorations portant uniquement sur les descripteurs DI.

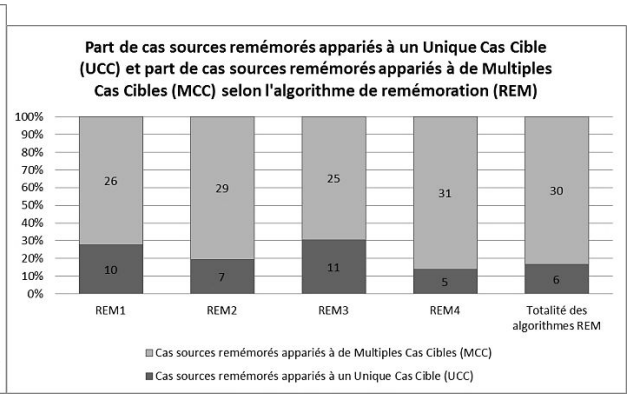
2.2. Evaluations de la remémoration

2.2.1. Préambule : analyse des cas sources remémorés

Le graphique 7.4 représente la distribution des cas sources remémorés par le système en fonction des cas cibles. Cette figure montre que cette distribution des cas sources remémorés est homogène. Cette figure montre aussi que plusieurs cas sources sont remémorés pour un même cas cible (lecture des points par colonne) et qu'un même cas source est remémoré pour plusieurs cas cibles (lecture des points par ligne). Les figures 7.5 et 7.6 résument bien ces faits.

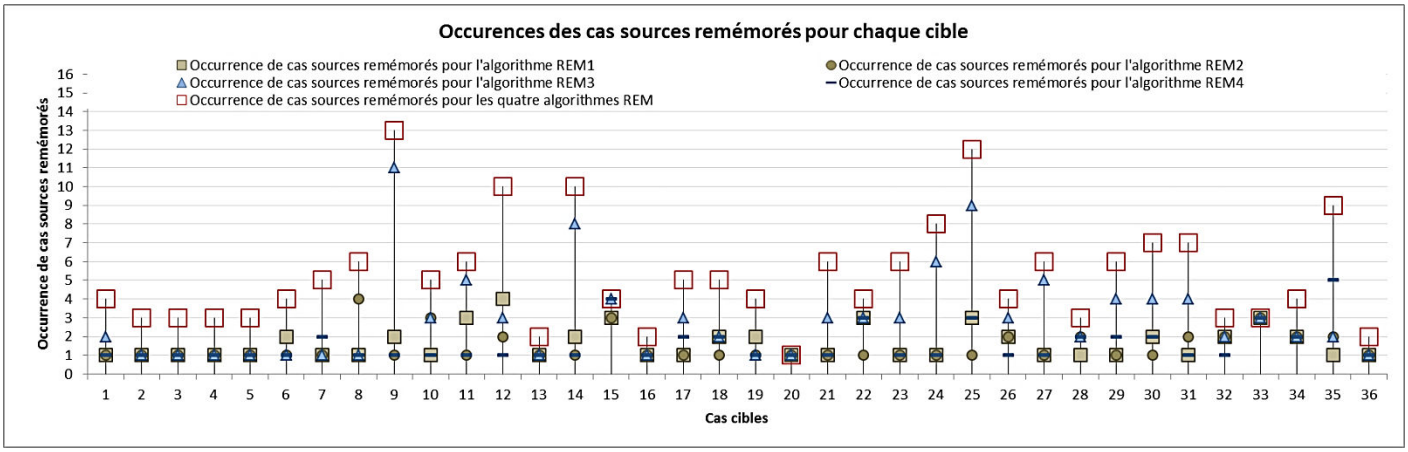


Graphique 7.5 : part des UCS et MCS

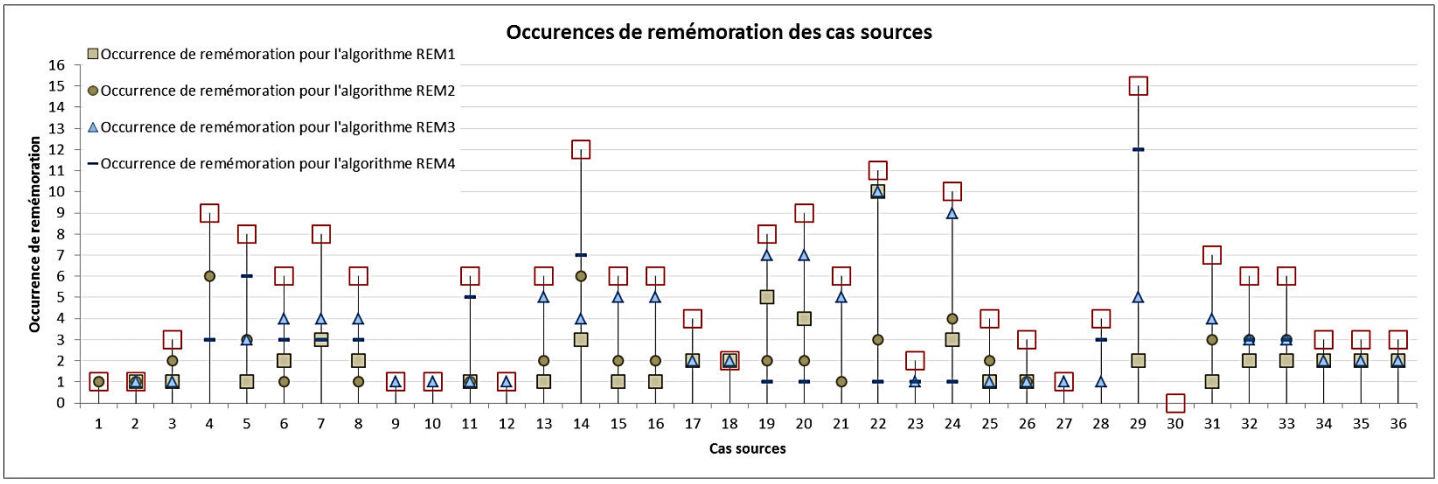


Graphique 7.6 : part des UCC et MCC

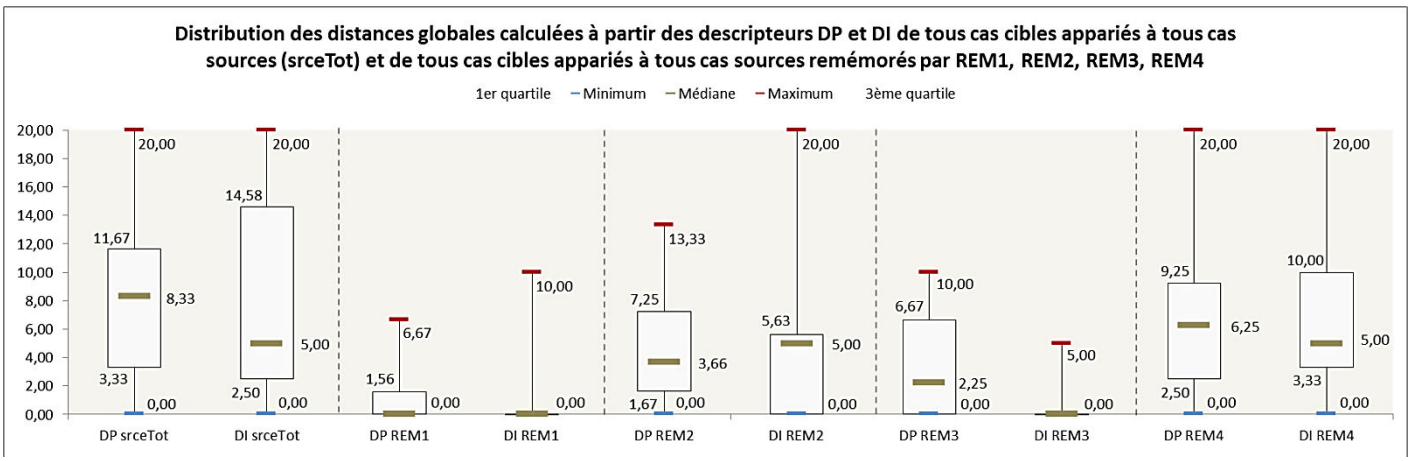
Le graphique 7.5 montre que pour les algorithmes REM1, REM2 et REM4 la majorité des cas cibles sont appariés à un unique cas source remémoré (noté UCS), tandis que la majorité des cas cibles sont appariés à de multiples cas sources remémorés (noté MCS) pour l'algorithme REM3 : pour REM3 le nombre médian de cas sources remémorés par cas cible est de 2. Le graphique 7.5 montre aussi que globalement, à l'issue des quatre remémorations, 97% des cas cibles sont appariés à de multiples cas sources remémorés : le nombre médian de cas sources remémorés par cas cible est alors de 4. De même, le graphique 7.6 montre que pour les algorithmes REM1, REM2, REM3 et REM4, la majorité des cas sources sont remémorés pour de multiples cas cibles (MCC) ; le nombre médian de cas cibles appariés à un cas source est de 2 pour REM1 et REM2, de 3 pour REM3 et REM4 et de 6 pour les quatre algorithmes confondus.



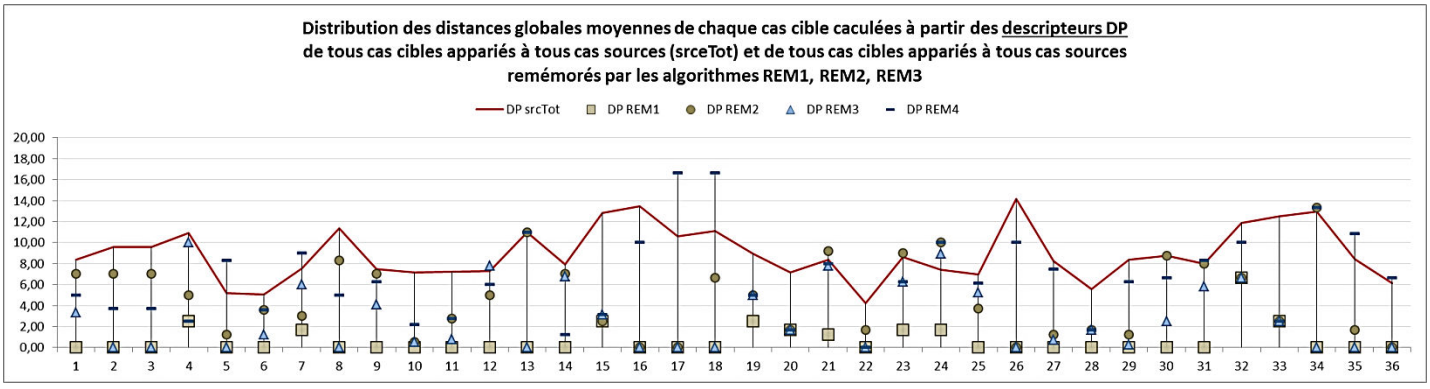
Graphique 7.7 : occurrence des cas sources remémorés pour chaque cas cible



Graphique 7.8 : occurrences de remémoration des cas sources



Graphique 7.9 : distribution des distances globales calculées à partir des descripteurs DP et DI



Graphique 7.10 : distribution des distances globales moyennes de chaque cas cible calculées à partir des DP

Le graphique 7.7 représente le nombre d'occurrences de cas sources remémorés pour chaque cas cible. Elle montre que les cas cibles 9, 25, 12 et 14 sont ceux qui ont été les plus fréquemment appariés à un cas source remémoré à l'issue des quatre algorithmes de remémoration (cf. symbole rouge) et qu'à l'inverse le cas cible 20 est celui qui a été le moins fréquemment apparié à un cas source. De la même manière, le graphique 7.8 représente l'occurrence de remémoration des cas sources. Elle montre que les cas sources 29, 14, 22 et 24 sont ceux qui ont été les plus fréquemment appariés à un cas cible à l'issue des quatre algorithmes de remémoration et qu'à l'inverse le cas source 30 n'a jamais été apparié à un cas cible.

Les graphiques 7.7 et 7.8 indiquent ainsi le niveau de centralité et de marginalité des cas cibles et sources de la base. Ces figures peuvent aider l'utilisateur final à améliorer la base de cas. Elles peuvent notamment être utilisées pour guider l'utilisateur final dans la suppression ou le maintien de cas sources très souvent remémorés par le système. Une suppression de ces cas permet par exemple de limiter les arbitrages de l'utilisateur pour sélectionner qu'une seule solution finale par cas cible ; à l'inverse, le maintien de ces cas peut être intéressant s'ils apportent suffisamment d'information.

2.2.2.Analyse des distances globales entre les cas

Le graphique 7.9 représente la distribution des distances globales entre les cas cibles et sources, calculées à partir des descripteurs DP et DI (cf. partie 2.2) : elle représente plus particulièrement les distances globales entre tous les cas cibles et sources de la base (cf. srceTot) et entre tous les cas cibles et les cas sources uniquement remémorés par le système, pour chaque algorithme testé (cf. REM1 ; REM2 ; REM3 ; REM4).

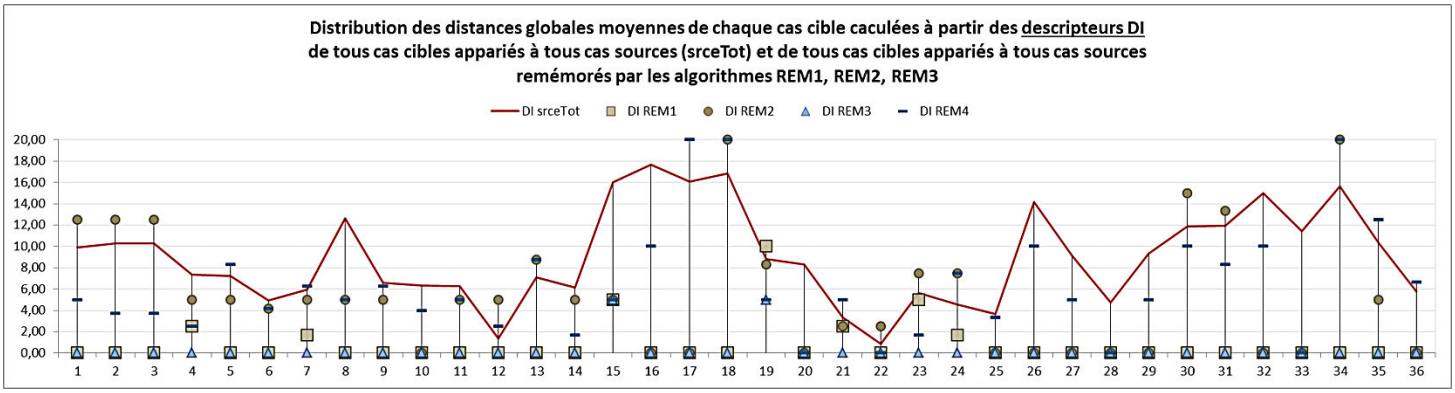
Cette figure montre que :
- la distance globale médiane calculée à partir de DI, pour tout cas cible comparé à tout cas source de la base (cf. srceTot) est inférieure à celle de DP ;
- les distances globales médianes, pour tous cas cibles comparés aux cas sources uniquement remémorés par le système (cf. REM1 ; REM2 ; REM3 ; REM4) sont inférieures à celles de srceTot ;
- les distances globales médianes de REM1 et REM3, tous descripteurs confondus, sont inférieures à celles de REM2 et REM4 : ceci est cohérent puisque le premier critère de remémoration de REM1 et REM3 est la minimisation des distances globales sur DP et DI ;
-les distances globales médianes calculées sur DI sont inférieures ou égales à celles calculées sur DP pour REM1, REM3 et REM4 ; la distance globale médiane de DI est en revanche supérieure à celle de DP pour REM2.

Le graphique 7.10 représente la distance globale moyenne de chaque cas cible, calculée à partir de DP pour tout cas source remémoré par le système (cf. REM1 ; REM2 ; REM3 ; REM4) et pour tout cas source de la base (cf. srceTot). Le graphique 7.11 représente cette distance calculée à partir de DI. Les deux figures montrent que les distances calculées sur DP diffèrent légèrement plus d'une remémoration à l'autre que celles calculées sur DI.

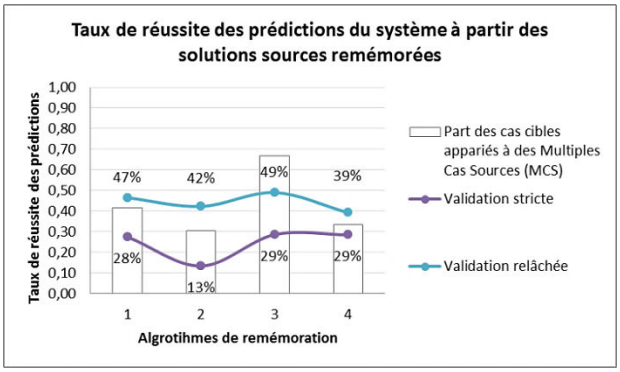
2.2.3.Analyse du taux de réussite des prédictions faites à partir des solutions sources

Le graphique 7.12 représente les taux de réussite des prédictions du système faites à partir des solutions des cas sources remémorés : ces taux sont calculés à partir de tests de validité établis à la stricte égalité et par relâchement.

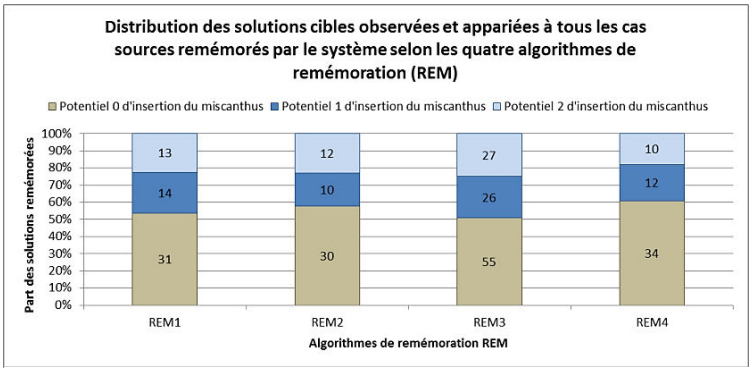
Le graphique 7.12 montre que :
- sans adaptation, 13 à 29% des prédictions du système sont correctes à la stricte égalité, contre 39 à 49% par relâchement
- l'algorithme de remémoration qui a le meilleur taux de réussite est l'algorithme REM3.



Graphique 7.11 : distribution des distances globales moyennes de chaque cas cible calculées à partir des DI



Graphique 7.12 : taux de réussite de la remémoration



Graphique 7.13 : distribution des solutions cibles observées et appariées à tous les cas sources remémorés par le système selon les algorithmes de remémoration

Analyses des performances du prototype SAMM à partir d'une validation des prédictions du système à la stricte égalité des valeurs observées des cas cibles

Base de données :

Sol cible observée	Sol Rem [j]	Sol Adapt [k]
0	0	1
0	2	
0	0	2
0	1	
0	2	
1	2	1
2	0	2
1	0	1
1	1	
1	2	0
2	0	1
2	1	1
2	2	

[j] Sol Rem : solution source remémorée
[k] Sol Adapt : solution source adaptée

Types de cas source
CSA [l]
CSR [m]
CSA
CSR
CSR
CSA
CSA
CSA
CSR
CSA
CSA
CSA
CSR

[l] CSA : Cas Source à solution Adaptée
[m] CSR : Cas Source à solution Remémorée

Test de validité pour Sol Rem :

V_N [a]
F_P2 [f]
V_N
F_P1 [e]
F_P2 [f]
F_P2
F_N [d]
F_N
V_P1 [b]
F_P2
F_N
F_P1
V_P2 [c]

[a] V_N : Vrai Négatif
[b] V_P1: Vrai Positif 1
[c] V_P2 : Vrai Positif 2
[d] F_N : Faux Négatif
[e] F_P1 : Faux Positif 1
[f] F_P2 : Faux Positif

Matrice de confusion :

		Types de cas source		Σ tests de validité
		CSA	CSR	
Test de validité	F [o]	6	3	9
	V [p]	2	2	4
Σ types de cas sources		8	5	13

Légende matrice

V_CSA : Vrais CSA
V_CSR : Vrais CSR
F_CSA : Faux CSA
F_CSR : Faux CSR

Evaluation :

	Types de cas source	
	CSA	CSR
Taux de précision [g]	0,75	0,40
Taux de vrais cas sources [h]	0,67	0,50
Taux de réussite [i]	0,62	

[o] F : valeurs du test de validité F_N, F_P1 ou F_P2
[p] V : valeurs du test de validté V_N, V_P1 ou V_P2

[g] Taux de précision = nombre de **V_CSA** / Σ CSA (ou nombre de **V_CSR** / Σ CSR)
[h] Taux de vraies types de cas sources = nombre **V_CSA** / Σ F (ou nombre de **V_CSR** / Σ V)
[i] Taux de réussite = Σ (**V_CSA, V_CSR**) / Σ (CSA, CSR)

Figure 7.14 : démarche d'évaluation des performances de sélection des cas sources à adapter (SELECTA)

Ces résultats sont cohérents avec le graphique 7.13 ; celui-ci montre que les cas sources remémorés ont en majorité été appariés à des cas cibles ayant une solution 0, justifiant alors un taux de réussite établi par relâchement inférieur à 50%.

2.3. Evaluations de l'adaptation

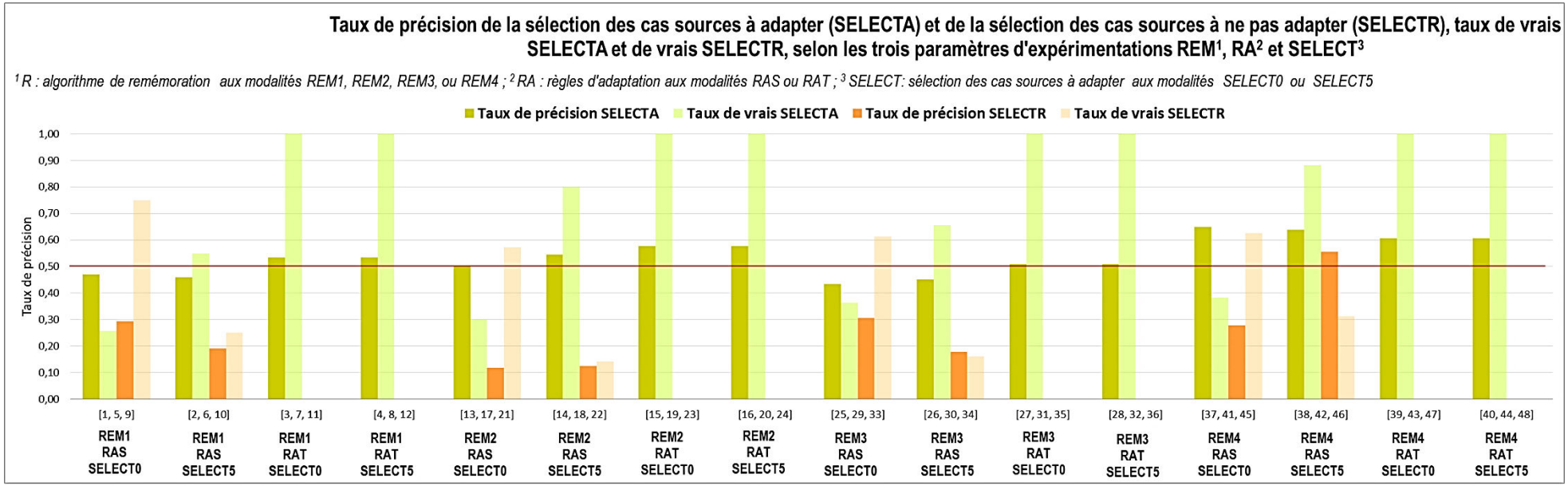
2.3.1.Analyse de la sélection des cas sources à adapter (SELECTA)

Pour analyser les performances du prototype SAMM lors de la sélection des cas sources à adapter (SELECTA), nous avons tout d'abord identifié deux types de cas sources traités par le système : les cas sources adaptés (CSA) et les cas sources non adaptés (CSR) (cf. figure 7.14). Nous avons ensuite identifié si le traitement des cas sources par le système était correct au vu du test de validité des solutions des cas sources remémorés (cf. test de validité pour Sol Rem de la figure 7.14). Ainsi, les cas sources correctement adaptés par le système sont ceux dont la valeur du test de validité vaut F (*i.e.* F_N, F_P1 ou F_P2) et les cas sources correctement non adaptés par le système sont ceux dont le test de validité vaut V (*i.e.* V_N, V_P1 ou V_P2) ; ces cas s'appellent respectivement vrais cas sources adaptés (V_CSA) et vrais cas sources non adaptés (V_CSR). C'est à partir ensuite du recensement des V_CSA et des V_CSR que nous avons analysé les performances du système pour sélectionner les cas sources à adapter (SELECTA). Considérant que ces performances, bien que distinctes, sont corrélées aux performances de sélection des cas sources à ne pas adapter (SELECTR), nous avons choisi de mettre en regard l'analyse des performances de SELECTA et de SELECTR.

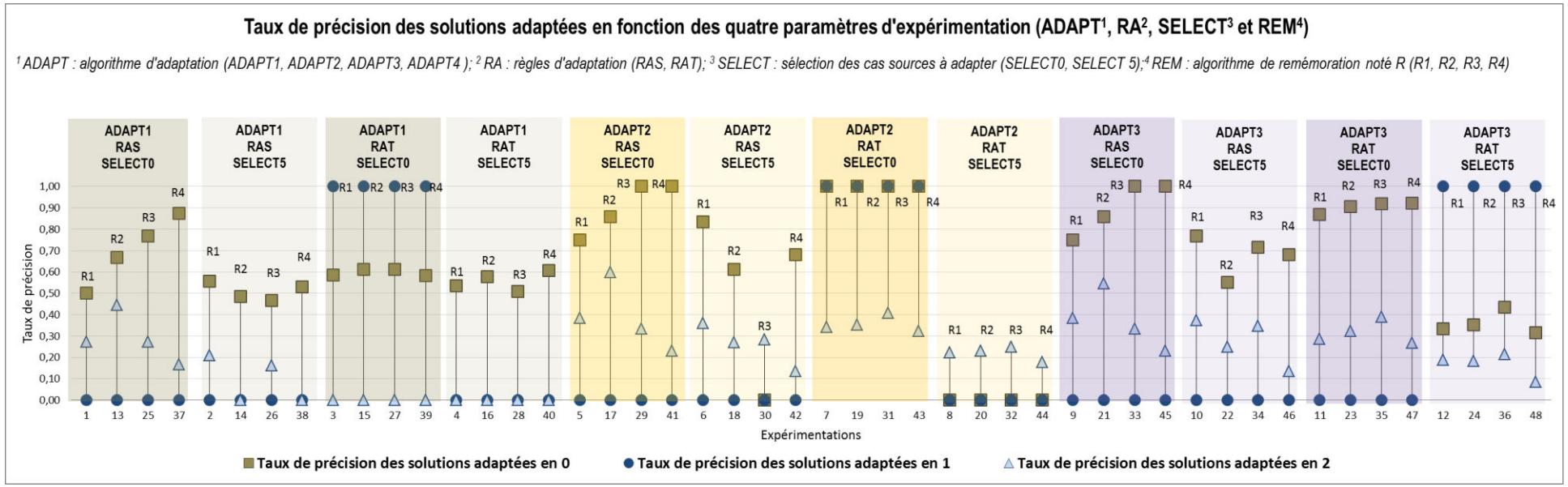
Cette analyse porte à la fois sur les taux de précision de SELECTA et de SELECTR du système ainsi que sur les taux de vrais SELECTA et de vrais SELECTR, selon les paramètres de remémoration, de règles d'adaptation utilisées et de SELECT (cf. figure 7.14 et graphique 7.14). La différence d'interprétation entre les taux de précision et les taux de vraies solutions peut être simplifiée de la manière suivante : le taux de vraies solutions évalue « ce que voit » le système (notion de rappel), tandis que le taux de précision des solutions évalue « ce que fait » le système (notion de précision). Ainsi, parmi les cas sources adaptés par le système, un taux de précision de 100% signifiera que tous les cas adaptés sont des V_CSA ; un taux de vrais SELECTA de 50% signifiera en revanche que seuls 50% des cas qui auraient dû être adaptés par le système, l'ont réellement étés.

Le graphique 7.14 montre que :
- les taux de précision de SELECTA sont supérieurs à ceux de SELECTR : ils varient entre 45 et 65% contre une variation de 15 à 55%.
- globalement, le taux de précision de SELECTA n'évolue pas entre les modes SELECT0 et SELECT5, sauf pour l'algorithme REM2-RAS où le taux de précision est plus élevé pour le mode SELECT5
- le taux de précision de SELECTA est supérieur pour les RAT, à l'exception de REM4
- les meilleurs taux de précision de SELECTA sont ceux de l'algorithme **REM4**

Concernant les taux de vrais SELECTA, le graphique montre que :
- les taux de vrais SELECTA varient entre SELECT0 et SELECT5 pour tous les RAS ; En effet, les taux sont meilleurs pour SELECT5 que pour SELECT0 ; ceci s'explique par un nombre d'applications de règles d'adaptation plus élevé en SELECT5 qu'en SELECT0, induisant alors un nombre plus élevé de cas sources adaptés
- tous les taux de vrais SELECTA des RAT valent 100% : ceci s'explique par une adaptation systématique des solutions sources, elle-même due à une application systématique de règles d'adaptation pour tous cas sources de la base. L'analyse des solutions adaptées, faite dans la partie suivante, permettra alors d'évaluer si ce phénomène de sur-adaptation est bénéfique ou non aux prédictions du système
- le meilleur taux de vrais SELECTA est encore celui de l'algorithme **REM4-RAS-SELECT5** (tests 38, 42, et 46) suivi de l'algorithme **REM2-RAS-SELECT5** (tests 14, 18 et 22).



Graphique 7.14 : taux de précision et de vrais SELECTA en fonction des trois paramètres d'expérimentation REM, RA et SELECT



Graphique 7.15 : taux de précision des solutions adaptées

Concernant le taux de précision de SELECTR, le graphique 7.14 montre que :
- il n'y a pas de taux de précision pour les RAT ; ceci s'explique par l'absence de CSR (cf. paragraphe précédent)
- le meilleur taux de précision de SELECTR est celui de l'algorithme REM4-RAS-SELECT5.

Concernant les taux de vrais SELECTR, le graphique montre que :
- les taux de vrais SELECTR sont meilleurs pour SELECT0 que pour SELECT5 : ceci est cohérent car un nombre d'applications de règles d'adaptation plus élevé entraine plus de SELECTA.
- le meilleur taux de vrais SELECTR est celui de l'algorithme REM1-RAS-SELECT0.

Il convient maintenant de coupler cette analyse à celle des performances d'adaptation du système.

2.3.2.Analyse de la précision des solutions adaptées par le système

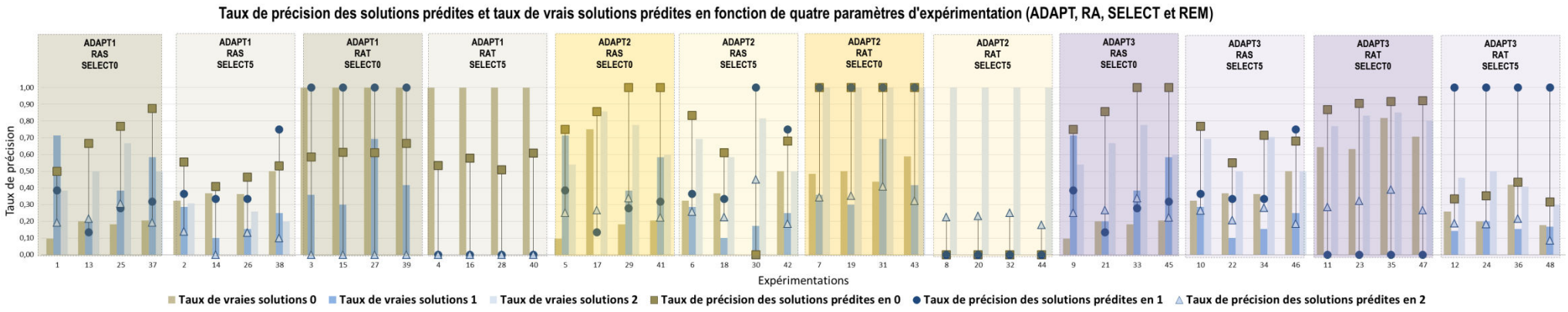
Le graphique 7.15 représente les taux de précision des solutions adaptées par le système en fonction des quatre paramètres d'expérimentation (ADAPT, RA, SELECT et REM) : ces taux sont déclinés pour les solutions adaptées 0, 1 et 2. Pour rappel, ces taux de précision ont été calculés à partir d'un test de validité à la stricte égalité, comparant les solutions cibles observées aux solutions adaptées par le système ; ils permettent d'évaluer les capacités du système à adapter correctement les solutions sources parmi l'ensemble des CSA, dont la sélection vient d'être analysée dans la partie précédente.

Ainsi, ce graphique montre que les taux de précision varient selon les solutions adaptées de type 0, 1 ou 2. De manière générale, on observe que les meilleurs taux de précision sont ceux des solutions adaptées 0 et que les solutions sources ne sont presque jamais adaptées en solution 1, sauf pour les algorithmes ADAPT1-RAT-SELECT0 (tests 3, 15, 27 et 39), ADAPT2-RAT-SELECT0 (tests 7, 19, 31 et 43), ADAPT3-RAT-SELECT5 (tests 12, 24, 36 et 48) : cela signifie qu'appliquée à nos données, la hiérarchisation des solutions d'adaptation conçue dans nos algorithmes écrase de manière significative les solutions d'adaptation 1 (implantation du miscanthus), au profit des solutions 0 (pas de miscanthus) puis des solutions 2 (miscanthus possible) dans une moindre mesure. Le graphique montre cependant que l'utilisation de RAT en SELECT0 pour les algorithmes ADAPT1 et ADAPT2 et en SELECT5 pour l'algorithme ADAPT3 permet des adaptations de solutions sources en solutions 1 (cf. graphique 7.15).

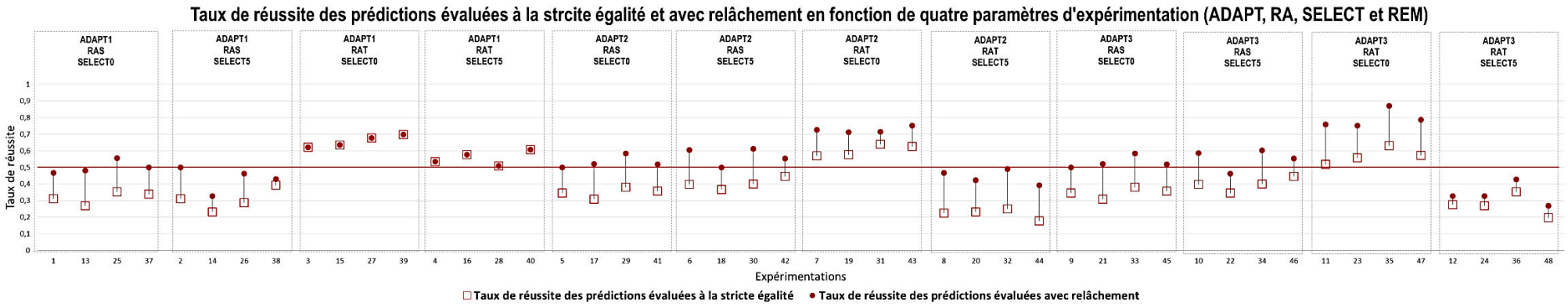
Considérant comme important que le système prédise en priorité les deux potentiels d'insertion territoriale du miscanthus les plus certains du processus de décision des agriculteurs (*i.e.* la solution 0 et la solution 1), notre attention se porte sur les algorithmes **ADAPT1-RAT-SELECT0** (tests 3, 15, 27 et 39), **ADAPT2-RAT-SELECT0** (tests 7, 19, 31 et 43), **ADAPT3-RAT-SELECT5** (tests 12, 24, 36 et 48), seuls capables de fournir des solutions d'adaptation 0 et 1. Notons alors que de ce point de vue, le phénomène de sur-adaptation de ces algorithmes (cf. partie précédente) semble bénéfique au système.

Si nous considérons en revanche comme important de s'extraire du contexte économique, politique, agronomique et territorial de notre zone et de notre période d'étude (cf. chapitres 4, 5 et 6), pour faire de la géoprospective par exemple, la priorité que nous donnons alors à notre système porte sur les prédictions des solutions 0 et 2. A ce titre, nous retenons notre attention pour les algorithmes **ADAPT2-RAS-SELECT0-REM2** (test 17), **ADAPT2-RAT-SELECT0** (tests 7, 19, 31 et 43), **ADAPT3-RAS-SELECT0-REM2** (test 21), **ADAPT3-RAT-SELECT0-REM3** (test 35) pour lesquels les taux de précision des solutions adaptées 0 et 2 sont les meilleurs.

Puisque tous les cas sources ne sont pas adaptés par le système (cf. partie précédente), il convient maintenant de coupler notre analyse à celle portant sur les solutions non adaptées : autrement dit, il convient d'analyser les performances de prédiction des solutions finales prédites par le système.



Graphique 7.16 : taux de précision des solutions finales prédites par le système



Graphique 7.17 : taux de réussite des prédictions finales du système

2.4. Evaluation des prédictions finales du système

Le graphique 7.16 représente les taux de précision et de vraies solutions prédites 0, 1 et 2. Concernant les taux de précision, le graphique 7.16 montre que ceux des solutions prédites 0 sont en majorité supérieurs à ceux des solutions prédites 1 et 2. Ce graphique montre aussi que les taux de précision des solutions prédites 1 sont globalement meilleurs que ceux des solutions adaptées 1 (cf. graphique 7.16). Malgré tout, les meilleurs taux restent ceux des algorithmes précédemment retenus, *i.e.* ADAPT1-RAT-SELECT0, ADAPT2-RAT-SELECT0, ADAPT3-RAT-SELECT5. Ce graphique montre d'autre part que les taux de précision des solutions prédites 2 sont parfois moins bons, notamment pour les algorithmes **ADAPT2-RAS-SELECT0-REM2** (test 17) et **ADAPT3-RAS-SELECT0-REM2** (test 21).

Concernant les taux de vraies solutions prédites 0, 1 et 2, le graphique 7.16 montre que :

- l'algorithme ADAPT1-RAT-SELECT0 permet en moyenne de prédire 44% des solutions cibles 1 et 100% des solutions cibles 0,
- l'algorithme ADAPT2-RAT-SELECT0 permet lui aussi en moyenne de prédire 44% des solutions cibles 1 contre 50% des solutions cibles 0
- l'algorithme ADAPT3-RAT-SELECT5 permet en moyenne de prédire correctement 17% des solutions cibles 1 et 26% des solutions cibles 0.

En donnant notre priorité à un système capable de prédire des solutions 0 et 1, nous ciblons alors notre attention sur l'algorithme ADAPT1-RAT-SELECT0 : nous ciblons plus particulièrement notre attention sur les algorithmes **ADAPT1-RAT-SELECT0-REM3** (test 27) et **ADAPT1-RAT-SELECT0-REM4** (test 39), dont le premier maximise le taux de vraies solutions cibles 1 et le second maximise le taux de précision des solutions cibles 0. A ce niveau d'analyse, considérant que le test 27 prédit, certes, un peu moins correctement les solutions cibles 0 (mais tout en étant capable de les prédire à 100%) et considérant surtout, qu'il prédit très correctement les solutions cibles 1 tout en en prédisant le plus grand nombre, nous portons notre préférence sur le test 27. L'analyse du taux de réussite sera utilisée par la suite pour confirmer ou non cette préférence.

Le graphique 7.16 montre également que l'algorithme ADAPT2-RAT-SELECT0 permet de prédire correctement 100% des solutions cibles 2 et 50% des solutions cibles 0 ; l'algorithme ADAPT3-RAT-SELECT0-REM3 (test 35) permet quant à lui de prédire correctement 85% des solutions cibles 2 et 82% des solutions cibles 0. En donnant notre priorité à un système capable de prédire des solutions 0 et 2, nous ciblons alors notre attention sur l'algorithme **ADAPT3-RAT-SELECT0-REM3** (test 35).

Les taux de réussite des 48 procédures testées dans la thèse sont présentés dans le graphique 7.17. Ce graphique montre que les deux meilleurs taux évalués à la stricte égalité sont bien ceux des procédures 27 et 39, tandis que le meilleur taux évalué par relâchement est bien la procédure 35 (cf. tableau 7.6). Ce graphique montre d'autre part que les taux de réussite des procédures 27 et 39 sont très proches : celui de la procédure 27 est de 68% pour un nombre de cas sources remémorés de 108 tandis que celui de la procédure 39 est de 70% pour un nombre de cas sources remémorés de 56. Ces résultats montrent qu'avec le double de cas sources remémorés, la procédure 27 permet un taux de réussite équivalent à celui de la procédure 39 : nous expliquons cette performance par le taux de vraies solutions cibles 1 supérieur à celui du test 39. En présence d'une base de cas de petit effectif (36 cas sources), ce constat confirme alors notre préférence pour la **procédure 27**.

Tests	Taux de réussite strict	Taux de réussite relâché	Taux de précision des solutions 0	Taux de précision des solutions 1	Taux de précision des solutions 2	Taux de vraies solutions 0	Taux de vraies solutions 1
27	**68%**	**68%**	**61%**	**100%**	**-**	**100%**	**69%**
39	70%	70%	67%	100%	-	100%	42%
35	**63%**	**87%**	**92%**	**-**	**39%**	**82%**	**0%**
47	57%	79%	92%	-	27%	71%	0%

Tableau 7.6 : synthèse des performances des tests 27 et 35

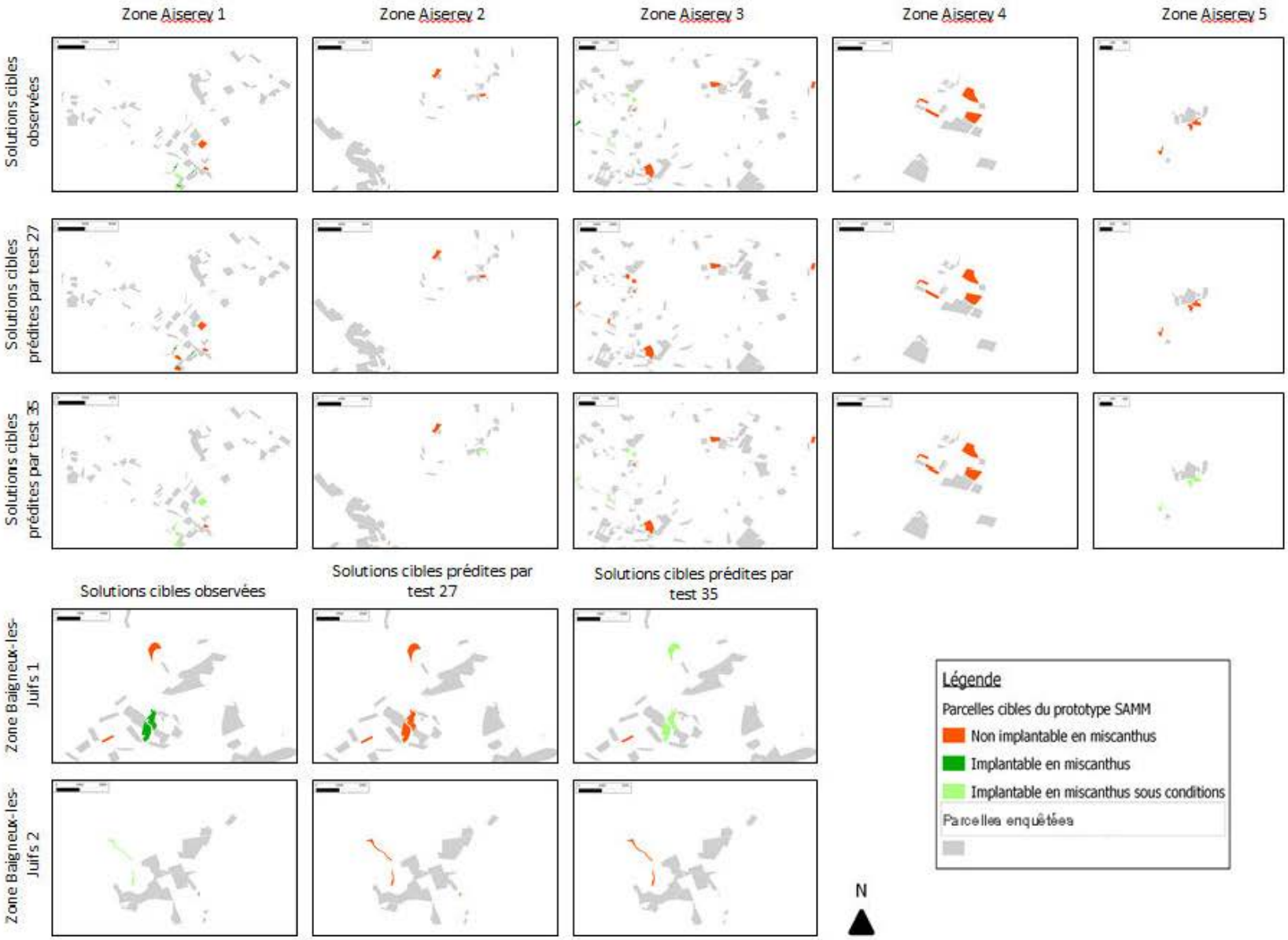


Figure 7.15 : cartographie des solutions observées et prédites par le prototype SAMM

2.5. Conclusions sur la calibration du prototype SAMM

Au vu de l'analyse précédente, dans l'objectif d'une part, de prédire en priorité les deux potentiels d'insertion territoriale du miscanthus les plus certains du processus de décision des agriculteurs (*i.e.* la solution 0 et la solution 1), nous avons choisi de calibrer le prototype SAMM sur l'algorithme ADAPT1-RAT-SELECT0-REM3 correspondant à la **procédure 27**. Dans l'objectif d'autre part, de faire de la géoprospective, nous avons choisi de calibrer le prototype SAMM sur l'algorithme ADAPT3-RAT-SELECT0-REM3 correspondant à la **procédure 35**.

La figure 7.15 cartographie les résultats de prédictions de ces deux procédures pour différentes zones géographiques enquêtées dans le département de la Côte d'Or, *i.e.* pour les parcelles situées dans le secteur d'Aiserey (secteur découpé en cinq zones) et dans le secteur de Baigneux-les-Juifs (secteur découpé en deux zones).

Malgré les bons résultats de prédiction de ces deux procédures, les graphiques précédents et la figure 7.15 montrent une forte dépendance des prédictions à la composition de la base de cas. Il nous semble donc nécessaire de poursuivre les efforts d'acquisition de connaissances d'adaptation pour améliorer les performances du prototype SAMM (cf. discussion générale du chapitre 8).

PARTIE 4 : DISCUSSION GENERALE

Chapitre 8

Discussion générale de la thèse

Comme annoncé dans l'introduction générale et dans le chapitre 4, l'objectif de la thèse a été de construire un modèle spatialement explicite de l'insertion territoriale du miscanthus, à partir des processus de décisions des agriculteurs. Cette mise au point méthodologique s'est appuyée sur un cas d'étude concret, des agriculteurs bourguignons, en situation d'innovation agronomique.

Au vu des difficultés méthodologiques des modèles existants à (i) modéliser finement les processus de décision des agriculteurs, relatifs au changement de l'utilisation des terres et en lien avec l'organisation de leur territoire et à (ii) étendre la simulation de ces processus sur des territoires plus englobants et/ou plus étendus (cf. chapitres 1 et 2), notre problématique de thèse a été d'identifier **dans quelle mesure le modèle du raisonnement à partir de cas pouvait être utile pour transposer des décisions prises dans un territoire particulier à d'autres territoires similaires, afin d'établir un nouveau cadre de modélisation empirique et spatialement explicite du changement de l'utilisation des terres, appuyé sur un changement de niveau par dissémination horizontale des processus de décisions locaux** (cf. chapitres 1 et 2).

Pour répondre à cette problématique, et plus particulièrement, pour concevoir le modèle de RàPC, deux actions principales ont, en réalité, été menées. La première action a consisté en l'acquisition de connaissances sur les processus de décision des agriculteurs relatifs à l'insertion territoriale du miscanthus, constatant le manque de connaissances scientifiques sur ces processus, (cf. chapitres 5 et 6) - pour ce faire, deux séries d'enquêtes en EA de Côte-d'Or (région Bourgogne) ont été menées. La deuxième action a consisté en la conception et l'évaluation d'un premier modèle de RàPC, le prototype SAMM, pour prédire l'insertion territoriale du miscanthus à partir de connaissances qualitatives issues d'enquêtes (cf. chapitres 4 et 7).

Ainsi, à travers la présentation des résultats de ces deux actions, dans les chapitres 5, 6 et 7, nous avons d'ores et déjà pu discuter de trois points : (i) de l'importance des dimensions globale et territoriale à prendre en compte pour comprendre et modéliser le consentement à produire du miscanthus (cf. chapitre 5) et (ii) de la nécessité de modéliser l'insertion territoriale du miscanthus au cas par cas (cf. chapitre 6). Ces différentes discussions ont permis de valider les choix méthodologiques de la thèse (enquêtes compréhensives et modélisation par RàPC), sans pour autant avoir explicitement répondu à la problématique de la thèse. Dans ce chapitre, nous avons donc choisi d'apporter les éléments de discussion nécessaires, pour répondre à cette problématique.

Afin de discuter les intérêts et limites du modèle de RàPC pour modéliser l'insertion territoriale du miscanthus, à partir des processus de décision des agriculteurs, nous avons choisi de dissocier (i) les apports et limites des nouvelles connaissances acquises durant la thèse sur les processus de décision des agriculteurs, (ii) des intérêts et limites propres au RàPC pour modéliser l'insertion territoriale du miscanthus.

Ainsi, nous discuterons dans une première partie des apports et limites des résultats d'enquêtes de la thèse pour comprendre, modéliser et anticiper les dynamiques d'insertion territoriale du miscanthus.

Puis nous discuterons dans une deuxième partie des intérêts et des limites du RàPC, comme alternative possible à la modélisation du changement de l'utilisation des terres, au vu des bénéfices et des difficultés rencontrés lors de la conception du prototype SAMM.

Des perspectives de travail seront également apportées pour nuancer ces premières conclusions, qui restent à nos yeux relatives, compte tenu du caractère exploratoire de cette thèse.

1. Apports et limites des résultats d'enquêtes de la thèse pour comprendre, modéliser et anticiper les dynamiques d'insertion territoriale du miscanthus

1.1. Apports des résultats d'enquêtes pour comprendre, modéliser et anticiper les dynamiques d'insertion territoriale du miscanthus

Au vu de notre état de l'art initial sur les connaissances scientifiques relatives à l'insertion territoriale du miscanthus (cf. chapitre 1), les résultats des deux enquêtes menées dans la thèse constituent un nouvel apport de connaissances, dans une thématique de recherche encore jamais appréhendée sous l'approche globale et territoriale de l'EA.

Dans le chapitre 5, portant sur l'étude des déterminants de l'insertion territoriale du miscanthus au niveau de l'EA, nous avons premièrement conclu que le consentement des agriculteurs à produire du miscanthus était déterminé par les opportunités que la culture pouvait leur offrir pour gérer le temps et l'espace dans une EA, sous contrainte des capacités biophysiques du territoire et de la stratégie de production de l'EA. Cette étude confirme alors l'importance des dimensions globale et territoriale à prendre en compte pour comprendre et modéliser le consentement à produire du miscanthus ; elle confirme de plus que les hypothèses économiques employées dans ces modèles sont trop simplificatrices. Il en est de même pour les modèles spatialement explicites, dans la mesure où cette étude montre que la localisation du miscanthus est déterminée par des facteurs économiques mais aussi techniques et sociaux et par des contraintes d'exploitation de la parcelle à appréhender de manière relative et non de manière absolue, comme c'est le cas aujourd'hui dans ces modèles. Ainsi, l'étude confirme que la seule prise en compte de la rentabilité des terres n'est pas adaptée pour modéliser l'insertion territoriale du miscanthus, tout comme l'utilisation de règles génériques d'allocation de culture.

Dans le chapitre 6, portant sur l'étude des règles de décision spatialement explicites au niveau de la parcelle, nous avons deuxièmement conclu qu'il existait un lien entre les contraintes parcellaires perçues par les agriculteurs et les capacités de l'insertion territoriale du miscanthus à parer ces contraintes, notamment concernant les contraintes économiques et logistiques d'exploitation des parcelles et celles liées à la préservation environnementale. Dans cette étude, l'analyse de 144 règles de décision, extraites du discours de 13 EA, révèle ainsi que l'insertion territoriale du miscanthus repose sur un processus spatialement explicite de décision, complexe et dont la complexité même est souvent reconnue mais jamais expliquée dans la littérature.

Il convient donc dans cette partie de discuter des résultats de l'analyse du processus de décision des agriculteurs, au niveau de la parcelle et dans sa dimension spatialement explicite, en **termes de nouvelles connaissances pour proposer de nouvelles perspectives d'amélioration des modèles existants**.

1.1.1. De nouveaux points de vue décisionnels à prendre en compte dans les modèles

Les résultats de l'étude sur les déterminants de l'insertion territoriale du miscanthus au niveau de la parcelle montrent que l'insertion territoriale de cette culture est déterminée par deux référentiels de décision et cinq points de vue décisionnels (cf. chapitre 6). Au vu des référentiels et points de vue existants dans les modèles économétriques et spatialement explicites du changement de l'utilisation des terres, ces résultats offrent selon nous un premier apport de connaissances pour de nouvelles perspectives d'amélioration de ces modèles.

En effet, les deux référentiels de décision, le référentiel « miscanthus » et le référentiel « système de l'EA », sont bien deux référentiels pris en compte dans les modèles existants, utilisant d'un côté des

variables relatives à la culture du miscanthus (ex : prix de vente du miscanthus, qualité des sols pour allouer le miscanthus) et de l'autre, des variables relatives au système de l'EA en place (ex : prix de vente du blé, taille de l'EA, occupation du sol de l'EA).

En revanche, ces modèles ne prennent pas en compte les cinq points de vue décisionnels émergeant du discours des enquêtés et méritent donc des améliorations pour mieux représenter les processus empiriques de décision des agriculteurs. D'une part, si les capacités de la parcelle à produire du miscanthus (point de vue décisionnel 1) sont toujours prises en compte (ex : conditions pédoclimatiques et pente), les capacités de la parcelle à en permettre la récolte (point de vue décisionnel 2), elles, sont plus rares et représentées, de fait, de manière réductrice, par les variables biophysiques (point de vue décisionnel 1), ne tenant alors pas compte de la géométrie de la parcelle, de la largeur des chemins d'accès, etc. D'autre part, les capacités d'amélioration du système de l'EA (point de vue décisionnel 3), elles ne sont jamais prises en compte, que ce soit pour améliorer les conditions économiques et logistiques d'exploitation des parcelles (point de vue décisionnel 4) et/ou pour améliorer la préservation environnementale des parcelles (point de vue décisionnel 5). Pour ce dernier point de vue, les hypothèses d'allocation du miscanthus excluant systématiquement les zones protégées du territoire, contribuent même, selon nous, à masquer des dynamiques prospectives d'insertion territoriale du miscanthus proposées par les agriculteurs, favorables à l'insertion de la culture en zones vulnérables, Natura 2000 et dans les bassins d'alimentation de captage d'eau potable (cf. chapitre 6).

Nous considérons donc que l'intégration des variables relatives à ces cinq points de vue est une condition nécessaire à l'amélioration des modèles existants. Au-delà de la modélisation de l'insertion territoriale du miscanthus, l'intégration de ces différents points de vue nous parait aussi, à terme, inévitable pour modéliser l'insertion territoriale de cultures pérennes et/ou économes en intrants, porteuses à ce jour de multiples attentes de la société. Les variables à prendre alors en compte, pour ce faire, sont présentées dans la partie suivante.

1.1.2.De nouvelles variables territoriales à intégrer dans les modèles

Les résultats de l'étude sur les déterminants de l'insertion territoriale du miscanthus au niveau de la parcelle montrent que l'insertion territoriale de cette culture est expliquée par 76 critères de décision, 32 variables décisionnelles, elles-mêmes regroupables en six catégories de variables, *i.e.* des variables relatives : (i) aux caractéristiques agronomiques et (ii) à la géométrie de la parcelle, (iii) à ses conditions d'accessibilité, (iv) à ses caractéristiques de voisinage, et (v) à ses caractéristiques foncières et (vi) à la préservation environnementale (cf. chapitre 6). Or, au vu des catégories et des variables prises en compte dans les modèles, ces résultats offrent selon nous un deuxième apport de connaissances pour améliorer les modèles existants, par l'intégration de nouvelles variables territoriales.

En effet, le modèle CLUE et les SMA (présentés dans le chapitre 2) ne tiennent par exemple jamais compte de la géométrie des parcelles (taille, forme), dans la mesure où pour le modèle CLUE, la résolution des unités spatiales de simulation descend rarement en dessous d'1km² et ne coïncide donc pas avec une unité parcellaire, et dans la mesure où pour les SMA, les simulations s'appuient sur des territoires fictifs représentés par une grille cellulaire. Ainsi, à l'exception des travaux de Harvolk *et al*. (2013), de Rizzo *et al*. (2014) et de notre thèse, le parcellaire de l'EA n'est à notre connaissance jamais intégré dans les modèles relatifs à l'insertion territoriale du miscanthus. Or la géométrie des parcelles est une variable déterminant fortement le potentiel d'insertion territoriale de cette culture (cf. chapitre 6). Nous considérons donc que cette variable est indispensable à prendre en compte pour comprendre et modéliser les dynamiques d'insertion territoriale du miscanthus, à partir des décisions des agriculteurs et que pour ce faire, l'intégration du parcellaire des EA (ex : Morlon et Benoît, 1990) aux modèles est une nécessité.

L'intégration d'un parcellaire dans les modèles est d'autant plus une nécessité que, outre la prise en compte de la géométrie de la parcelle, un parcellaire permet aussi la prise en compte des conditions d'accessibilité des parcelles et de leur voisinage, *i.e.* des variables jouant elles aussi un rôle déterminant dans les décisions des agriculteurs (cf. chapitre 6), tandis qu'elles restent très mal représentées à ce jour dans les modèles existants.
En effet, concernant l'accessibilité des parcelles, cette variable est uniquement décrite dans les modèles par la distance de l'unité de simulation à l'usine, alors que les agriculteurs tiennent aussi compte dans leurs décisions, des distances d'une parcelle relativement au siège d'EA et aux autres parcelles de miscanthus, ainsi que du niveau de carrossabilité du trajet parcouru, de la largeur du réseau d'accès, de la présence d'un obstacle de franchissement, etc.
Concernant le voisinage, si certains modèles prennent en compte le voisinage habité pour exclure l'insertion du miscanthus d'unités spatiales voisines des zones urbaines (allant d'ailleurs à l'encontre de certaines dynamiques actuelles et prospectives d'insertion du miscanthus observées par nos enquêtes), ces modèles prennent peu en compte le voisinage de la forêt et des cours d'eau. Outre les difficultés d'accès aux données que nos résultats sous-tendent pour intégrer à terme ces variables dans les modèles, ces résultats de thèse soulignent aussi la nécessité, pour améliorer les modèles, de la prise en compte de l'organisation du territoire au niveau de l'EA.

Par ailleurs, la représentation de l'organisation des territoires au niveau de l'EA, permettrait aussi de décrire ces territoires par (i) des variables relatives au foncier, absentes des modèles existants et pourtant fortement déterminantes du potentiel d'insertion territoriale du miscanthus, mais aussi par (ii) des variables relatives aux systèmes de cultures en place, *via* notamment la prise en compte des usages structurants du territoire (cf. chapitre 6) et des rotations, comme suggéré aussi dernièrement par Verburg *et al*. (2013) et comme d'ores et déjà réalisé par Gaucherel *et al*. (2010).

Par les résultats de nos enquêtes, nous considérons donc que l'intégration d'un parcellaire réel et d'une description fine du territoire au niveau de l'EA est un préalable pour intégrer dans les modèles existants de nouvelles variables territoriales, déterminant fortement les décisions des agriculteurs, comme montré dans le chapitre 6.

Par ailleurs, l'ensemble des variables géométriques, d'accessibilité, de voisinage, etc. décrites dans cette partie, ainsi que l'ensemble des variables agronomiques décrites dans le chapitre 6, contribuent aussi à nos yeux à remettre en question le concept même de marginalité des terres et les cartes de potentialités existantes, comme présenté dans la partie suivante.

1.1.3.Remise en question de la « marginalité » des terres et des cartes de potentialités

Les résultats obtenus sur les déterminants de l'insertion territoriale du miscanthus au niveau de la parcelle montrent que l'insertion territoriale de cette culture est déterminée par un processus de décision complexe, étroitement lié aux perceptions des niveaux de contraintes des parcelles par les agriculteurs (cf. chapitre 6). Cette analyse contribue alors à une remise en question du concept de marginalité des terres, qui repose sur des critères absolus et des cartes de potentialité des terres qui elles, reposent sur des variables agronomiques assez réductrices, comparées aux quatorze variables agronomiques réellement prises en compte dans les processus de décisions des agriculteurs (cf. chapitre 6).

En effet, nous montrons un lien ténu entre le potentiel d'insertion territoriale du miscanthus et les contraintes parcellaires : plus précisément, cette étude montre que les contraintes fonctionnelles des parcelles perçues par chaque enquêté jouent à la fois un rôle de levier et de frein à l'insertion territoriale du miscanthus (cf. chapitre 6). Ces contraintes sont essentiellement regroupables en cinq catégories : (i) les risques de mauvais rendements de la parcelle, (ii) le temps et le coût de travail des

parcelles contraignantes à exploiter, (iii) le temps et le coût des déplacements jusqu'à la parcelle, (iv) les exigences environnementales induites par des zones protégées ou (v) par d'autres facteurs divers (cf. chapitre 6).

Or dans la littérature, la définition de la marginalité des terres, bien que très floue et sans faire l'objet d'un consensus entre différents travaux (cf. chapitre 1), repose essentiellement sur les points de vue économique et productif de l'utilisation des terres, évalués de manière absolue par les niveaux de rendements moyens des terres, tenant ainsi compte de la première catégorie de contraintes, sans tenir compte pour autant des quatre autres issues de l'analyse de discours des agriculteurs enquêtés. Un apport de la thèse pourrait être alors de contribuer à donner une nouvelle définition de la marginalité.

Cependant, en dépit du protocole d'enquêtes choisi, en référence à notre état de l'art sur les processus de décision des agriculteurs, pour orienter la description du parcellaire en termes de contraintes et d'atouts (cf. chapitre 1), nous avons tenté d'évaluer la déclinaison possible du concept de marginalité dans les territoires des agriculteurs enquêtés. Or ce concept s'est vite avéré difficile à appréhender par les agriculteurs, compte tenu d'une homogénéité d'ensemble de leur parcellaire et des différents points de vue que ce terme général englobe. Nous préférons donc remettre en question la pertinence de ce concept plutôt que de lui attribuer une nouvelle définition, compte tenu de ses difficultés à refléter les processus réels de décision des agriculteurs.

Par ailleurs, le rapport complexe entre le potentiel d'insertion territoriale du miscanthus et les contraintes parcellaires, révélé dans notre thèse, repose sur : (i) le niveau de contrainte perçu par l'enquêté relativement à l'ensemble des caractéristiques parcellaires de l'EA et relativement aux préférences de l'agriculteur (effet seuil), (ii) la combinaison hiérarchique de ces niveaux de contraintes sur une même parcelle (effet combinatoire) et (iii) les préférences des agriculteurs face aux risques liés à ces contraintes.

Ces résultats remettent donc en question non seulement le concept de marginalité défini de manière absolue mais également les cartes de potentialités, à ce jour faites elles aussi sur des critères absolus. Par ailleurs, l'identification des variables territoriales présentées dans la partie précédente montre que ces cartes de potentialités restent trop simplistes, face à la diversité des variables agronomiques et d'autres types, réellement prises en compte dans les processus de décision des agriculteurs.

1.1.4.La remise en question des règles génériques d'allocation spatiale des cultures

Comme présentés dans le chapitre 6, les résultats des enquêtes soulignent le besoin d'une modélisation au cas par cas des décisions des agriculteurs prises pour chaque parcelle, compte tenu de la difficulté d'une reconstitution des niveaux de contrainte de chaque parcelle, relativement à l'ensemble des caractéristiques parcellaires de l'EA et relativement aux préférences de l'agriculteur. Les connaissances issues de cette thèse conduisent alors à une remise en question des modèles d'allocation de cultures reposant sur des règles génériques.

En dépit de nos efforts pour proposer de nouvelles pistes d'amélioration des modèles existants, afin de comprendre et de prédire les dynamiques d'insertion territoriale du miscanthus, notre travail de thèse, essentiellement centré sur une approche compréhensive des pratiques des agriculteurs, contient trois limites principales, qu'il convient de présenter dans la partie suivante.

1.2. Limites des résultats d'enquêtes pour comprendre, modéliser et anticiper les dynamiques d'insertion territoriale du miscanthus

1.2.1. Des résultats d'enquêtes à coupler à des études sur les risques et l'acceptabilité sociale

Par nos enquêtes, nous avons montré que les processus de décision relatifs à l'insertion territoriale du miscanthus étaient en partie déterminés par les préférences de l'agriculteur face à des risques économiques (ex : risque de pertes de récolte en bordure de forêt) et sociaux (ex : risque d'une possible intensification des tensions relationnelles entre l'agriculteur et les habitants du village). Pour autant, nous n'avons pas étudié de manière approfondie les effets de ces risques sur le processus de décision des agriculteurs, dans la mesure où cette analyse nécessite des protocoles d'enquêtes et d'expérimentation particuliers, comme ceux mobilisés en économie expérimentale.

Nous considérons donc que les résultats de nos enquêtes ne suffisent pas à eux seuls, à comprendre, modéliser et anticiper les dynamiques d'insertion territoriale du miscanthus. Ces résultats doivent être ainsi mis en regard avec ceux de Bocquého (2012) portant sur les préférences des agriculteurs face aux risques économiques et avec ceux sur l'acceptabilité sociale (Dockerty *et al*., 2012).

1.2.2. Un bilan environnemental de l'organisation des territoires qui reste à instruire

Le bilan environnemental de l'insertion territoriale du miscanthus est très attendu compte tenu des enjeux de réduction de gaz à effet de serre que cette culture est supposée pouvoir apporter en tant qu'alternative aux énergies fossiles. Or les processus de décision des agriculteurs ne tiennent pas compte de ces bilans environnementaux, qui à terme, pourraient être structurants pour l'organisation des territoires, du fait des initiatives des agriculteurs en quête d'une réduction des coûts énergétiques de leurs pratiques et/ou par des injonctions externes à l'EA. Ces bilans sont donc à instruire comme d'ores et déjà réalisé par Dufossé (2013) pour deux régions françaises. Il conviendrait alors d'évaluer l'effet des résultats de ces bilans à venir sur les processus de décision des agriculteurs, afin d'identifier de nouvelles dynamiques potentielles d'insertion territoriale du miscanthus. Cette dimension des effets et des conséquences des choix effectués est restée en dehors de notre champ de recherche.

1.2.3. Une analyse des effets de l'organisation des filières agro-industrielles sur les dynamiques d'insertion territoriale du miscanthus à approfondir

La troisième limite de la thèse est de ne pas avoir approfondi les effets de l'organisation des filières agro-industrielles sur les dynamiques d'insertion territoriale du miscanthus.

En effet, dans la thèse, l'identification et la compréhension des dynamiques d'insertion territoriale du miscanthus se sont faites par enquêtes sur les processus de décision des agriculteurs, aux niveaux de l'EA et de la parcelle. Ces deux niveaux de décision ont été choisis sur la base de notre état de l'art sur les processus de décision des agriculteurs, dans lequel l'agriculteur et plus globalement l'EA sont considérés comme étant au cœur d'un système multi-acteurs, multi-niveaux et multidimensionnel, intégrant de fait dans leurs décisions des injonctions et des contraintes externes à l'EA (cf. chapitre 1) et permettant alors d'identifier les déterminants des pratiques agricoles, à la fois internes et externes à l'EA.

Néanmoins, une récente étude réalisée par l'INRA à la demande des ministères en charge de l'Agriculture et de l'Ecologie, sur les freins et leviers à la diversification des cultures, au niveau de l'EA et des filières, montre le rôle prépondérant de l'organisation des filières agro-industrielles, sur les processus de diversification des EA et par suite, sur l'insertion de nouvelles cultures dans le territoire (Meynard *et al*., 2013).

Encadré 8.1 : Bourgogne Pellets regarde pousser ses idées

Article du forumecho.com, rédigé par Berty Robert et mis en ligne en février 2013

http://www.forumeco.com/read/article/4332/bourgogne-pellets-regarde-pousser-ses-idees

« Le salon de l'agriculture, qui vient de fermer ses portes, aura eu un écho tout à fait particulier, du côté d'Aiserey (…). C'est là que se trouve le siège de Bourgogne Pellets, PME fondée sur les cendres de la sucrerie qui a fermé ses portes en 2007. L'entreprise a voulu profiter de l'impact médiatique du salon de l'agriculture pour lancer une litière pour chat, nommée Nullodor Végétal (…). Conçue en collaboration avec une autre entreprise de Côte-d'Or, le laboratoire Demavic, basé à Longvic et spécialisé dans les produits de soins et d'hygiène pour animaux, cette litière tient cette capacité à réduire les mauvaise odeurs du fait qu'elle est fabriquée à partir de Miscanthus (…). Au départ, le but était de produire des granulés à base de miscanthus afin d'en faire du combustible pour chaudière. L'idée, néanmoins, se heurte à une inadaptation de la plupart des chaudières par rapport à un produit qui a tendance à les encrasser de manière plus importante qu'avec des granulés bois. Mais, comme on l'a dit, le miscanthus est une boîte à idées pour Bourgogne Pellets. L'entreprise n'a pas perdu son temps et a trouvé d'autres propriétés aux produits réalisés à partir de cette plante. *« Nous avons constaté, explique son directeur, Yves Grosjean, qu'elle avait des qualités pour faire des litières pour chevaux. Dans le domaine du bâtiment, le miscanthus pourrait aussi être un bon isolant, à la manière du chanvre. On pourrait même imaginer des applications dans le domaine des agroplastiques, puisque c'est un matériau léger ».* La litière pour chat lancée au salon de l'agriculture résulte donc d'un partenariat avec le laboratoire Demavic. « Cette société, poursuit Yves Grosjean, n'avait pas, dans sa gamme, de litière végétale. Nous avons travaillé à la faisabilité du produit. Cela a nécessité, par exemple, de revoir notre process industriel dans la mesure où la litière n'est pas en granulés, mais en miettes. Nous avons dû investir 120.000 euros dans un émietteur, un tamiseur et une machine à ensacher. Pour nous, cette production permet aussi de valoriser l'outil industriel. Le miscanthus a en tout cas une énorme qualité : il est capable d'absorber trois fois plus que son poids en urine de chat, d'où sa capacité à réduire fortement les odeurs ». La commercialisation va démarrer en avril et l'objectif pour 2013 est une production de 500 tonnes (environ 100.000 sacs) avant d'atteindre 3.000 tonnes à l'horizon 2015. Dans toute cette démarche, Bourgogne Pellets a pu compter sur le soutien de Dijon Céréales qui suit la petite entreprise de près. À terme, l'espoir de la petite équipe de Bourgogne Pellets, c'est de faire en sorte que ces litières végétales pour animaux de compagnie assurent 50% de l'activité totale du site (…) ».

Encadré 8.2 : Bourgogne Pellets : des difficultés mais une équipe loin d'être résignée

Article d'AgriBourgogne.fr, rédigé par Aurélien Genest et mis en ligne le 27 février 2014

http://www.agribourgogne.fr/rubrique.php?arch_num=2610

« Les débouchés de l'entreprise basée à l'ancienne sucrerie d'Aiserey ne sont pas à la hauteur de la production. L'année 2014 s'annonce encore difficile mais des pistes d'amélioration sont annoncées.

L'exercice 2012/2013 a été difficile pour Bourgogne Pellets, organisme spécialisé dans les cultures énergétiques (miscanthus, swichgrass). *« A l'évidence, il n'y a pas de quoi fanfaronner quand on voit les chiffres »* lance le président Cyrille Fèvre, lors de l'assemblée générale du 14 février, *« nous annonçons encore un résultat négatif cette année. Malgré cela, nous nous battons toujours et encore. Il faut réagir vite. Heureusement, le groupe Dijon Céréales nous apporte un soutien important, mais nous sommes conscients que ce n'est pas une solution durable. Nous devons rapidement voir le bout du tunnel »*. Le président souligne également la confiance exprimée par les planteurs malgré les difficultés. Sur un potentiel de production de 4 500 tonnes, moins de 1 500 sont aujourd'hui commercialisées à des prix intéressants. *« Les retours sur la qualité de nos produits sont très bons, mais la concurrence est assez exacerbée au niveau de la litière »* regrette Cyrille Fèvre. Le reste des 4500 tonnes se dirige aujourd'hui vers des marchés de dégagement sur l'énergie. « Ce secteur, que l'on espère plus valorisant à l'avenir, n'assure pour l'instant aucune rentabilité aux producteurs. Avec seulement 50€/tonne, le bénéfice réalisé est nul et les problèmes de trésoreries s'accumulent » ajoute le président, qui fait part de récoltes partielles pour 2014.

Travail sur les granulés bois

« Les planteurs adhérents de Bourgogne Pellets doivent être patients » rassure Yves Grosjean, le directeur de Bourgogne Pellets, « les cultures que nous avons implantées ont de l'avenir. Les débouchés progressent trop doucement mais ils progressent ! Le conseil d'administration et l'équipe de Bourgogne Pellets ne ménagent pas leurs efforts ». Le gros « problème » évoqué lors de cette assemblée générale est l'ampleur des investissements de ces dernières années : « nous avons investi trop fort et trop vite dans un outil de travail qui ne fonctionne qu'a 25% de son potentiel et nous sommes sur des marchés nouveaux avec de nouveaux produits » rappelle Cyrille Fèvre. Afin de trouver la « meilleure rentabilité possible » et « gaver » l'outil industriel pour écraser les charges, Bourgogne Pellets poursuit son travail sur la conquête de nouveaux marchés dans le but d'améliorer son chiffre d'affaires en paillis et litières. La création de Bourgogne Énergies, avec Dijon Céréales, permettra de mieux rentabiliser l'activité granulés bois. Cette activité regroupera l'usine d'Ivry-en-Montagne qui produira à terme 15 000 tonnes de pellets bois certifiés, le camion souffleur et l'ensacheuse de Bourgogne Pellets qui fonctionnera pour 6 000 tonnes, de même que le service commercial de Bourgogne Pellets pour le négoce bois. Pour Cyrille Fèvre, cette organisation devrait permettre de cumuler les marges, maîtriser les approvisionnements sur ce marché et amortir les charges spécifiques qui y sont liées ».

Dans notre zone d'étude, les liens étroits entre les processus d'insertion territoriale du miscanthus et l'organisation de filières de collecte se confirment. Ces liens s'illustrent d'une part, par une moindre insertion du miscanthus dans le bassin d'approvisionnement de Baigneux-les-Juifs, car ce bassin n'a pas été animé par un technicien apportant le conseil nécessaire et attendu des agriculteurs pour réussir leur implantation dans les zones pédoclimatiques les plus adaptées au miscanthus. Ces liens s'illustrent d'autre part, par les difficultés de commercialisation du miscanthus rencontrés par la coopérative Bourgogne Pellets (cf. encadrés 8.1 et 8.2) qui a alors arrêté les nouvelles implantations de la culture depuis 2012. Pour la coopérative Bourgogne Pellets, ces liens étroits se sont aussi concrétisés par un conseil de localisation ou non des cultures dans le territoire de l'EA par le technicien.

Ainsi, nous considérons que les règles de décision collectées dans la thèse sont sous l'influence des filières agro-industrielles locales de notre zone d'étude. Il n'est donc pas suffisant à nos yeux d'expliquer les dynamiques d'insertion territoriale du miscanthus à partir de cette unique étude de cas. Ce travail est donc à compléter par d'autres enquêtes à mener dans d'autres bassins de production de miscanthus et par l'intégration de nouvelles connaissances dans le prototype SAMM relatives à l'organisation des filières (cf. aussi partie 3.3.3).

1.3. Conclusion des apports et limites des résultats d'enquêtes et perspectives de recherche

Les enquêtes menées dans la thèse ne constituent pas en soi un travail suffisant pour apporter une expertise complète sur les dynamiques d'insertion territoriale du miscanthus actuelle et à venir. En revanche, les connaissances acquises par nos enquêtes sont un premier apport solide de connaissances pour soulever les limites actuelles des modèles existants et pour en proposer des pistes d'amélioration.

Par ailleurs, ces connaissances mettent sur le devant de la scène des attentes fortes de la part des agriculteurs pour améliorer leur système de production en place, concernant notamment les aspects logistiques et ergonomiques de l'exploitation des parcelles et des chantiers agricoles, et concernant aussi la mise en culture et l'itinéraire technique de parcelles, plus spécifiquement situées au voisinage des habitations, pour éviter une nuisance en termes de pollution.

Le miscanthus est donc un objet d'étude qui à nos yeux, permet de donner une réponse claire à la publication de Morlon et Trouche (2005) s'interrogeant sur l'intérêt des recherches sur l'organisation spatiale des chantiers agricoles : non, l'organisation spatiale des chantiers n'est pas « une question dépassée ». Au vu des résultats d'enquêtes, l'organisation spatiale des chantiers apparait même comme un facteur très structurant des pratiques de l'agriculteur, des représentations de son territoire et des dynamiques foncières actuelles et à venir.

Le miscanthus a également été un objet d'étude intéressant pour révéler des attentes fortes de la part des agriculteurs enquêtés pour produire des cultures moins polluantes et économes en intrants, ou proches des habitations. Les questions de recherche relatives au voisinage (Papy et Torre, 2003) nous semblent donc importantes à explorer en agronomie des territoires, pour comprendre et anticiper d'éventuelles nouvelles dynamiques de localisation des cultures et pourquoi pas, d'éventuels nouveaux besoins en systèmes de culture innovants.

2. Intérêts et limites du raisonnement à partir de cas pour modéliser le changement de l'utilisation des terres à partir des décisions d'agriculteurs

Le prototype SAMM développé dans la thèse est selon nous assimilable à un modèle spatialement explicite de changement de l'utilisation des terres, dans la mesure où : (i) l'insertion territoriale du miscanthus (phénomène modélisé par le prototype SAMM) implique un changement d'utilisation des terres existantes de l'EA et où (ii) les unités de simulation du modèle (cas) correspondent bien à des unités spatialement explicites, il s'agit en effet de parcelles issues des îlots du Registre Parcellaire Graphique (cf. chapitres 6 et 7).

Le prototype SAMM est également assimilable à un modèle de décision dans la mesure où toutes les connaissances intégrées dans le système reposent sur les processus de décision des agriculteurs enquêtés. Un cas est décrit en trois parties : la partie problème décrit les caractéristiques générales de la parcelle, l'index du problème décrit les caractéristiques de la parcelle prises en compte dans les décisions des agriculteurs relatives à l'insertion du miscanthus et la partie solution décrit le potentiel d'insertion du miscanthus de la parcelle. Ainsi, sans reposer directement sur un corpus de règles de décision comme dans un système expert, le prototype SAMM raisonne sur des cas contenant eux-mêmes des règles de décision d'agriculteurs. Par ailleurs, les connaissances de similarité utilisées pour remémorer un cas source similaire à un cas cible, reposent intégralement sur des règles de décision d'agriculteurs ; il en est de même pour les connaissances d'adaptation qui permettent d'adapter la solution du cas source remémoré aux caractéristiques du cas cible. Ainsi, le processus de résolution de problème du prototype SAMM repose intégralement sur les processus de décision des agriculteurs que nous avons formalisés en connaissances du système ; cela en fait son originalité par rapport aux autres systèmes de RàPC (cf. chapitre 3). Cela en fait aussi ses forces et ses faiblesses pour modéliser le changement de l'utilisation des terres, comme discuté ci-dessous.

2.1. Le RàPC pour modéliser un phénomène nouveau à partir des décisions des agriculteurs ?

2.1.1. Intérêts du prototype SAMM pour modéliser un phénomène nouveau

Comme présenté dans le chapitre 3 de la thèse, les intérêts d'un système de RàPC relatifs à la modélisation d'un phénomène nouveau reposent sur trois points : (i) la capacité de ce système à modéliser un phénomène sans connaissance complète du domaine, (ii) sa capacité à apprendre de ses erreurs et à mémoriser de nouveaux cas résolus et (iii) sa capacité à interagir avec un utilisateur, permettant l'amélioration en continu des performances du système selon l'apprentissage même de son utilisateur. Ainsi, le RàPC est souvent préféré aux systèmes experts pour modéliser un phénomène nouveau (cf. chapitre 3).

Concernant le prototype SAMM, (i) l'aboutissement de la conception et de l'implantation du système reposant exclusivement sur le cadre formel du RàPC et (ii) les capacités du système à fournir des prédictions d'insertion territoriale du miscanthus, par calibration, selon des taux de réussite encourageants (cf. chapitre 7), confirment qu'un phénomène nouveau puisse être appréhendé par le modèle du RàPC, en dépit d'une connaissance très incomplète de son domaine, comme celui du miscanthus (cf. chapitre 1). Par ailleurs, l'automatisation partielle du prototype SAMM, permettant à son utilisateur de modifier les paramètres et les connaissances du système, selon des besoins de révision, identifiés par de nouvelles acquisitions de connaissances, nous semble, aussi, bien s'adapter à la modélisation de phénomènes nouveaux. Ceci est aussi effectif dans le prototype SAMM pour la mémorisation de nouveaux cas résolus, rendue possible par voie manuelle grâce à un environnement informatique simple, permettant le chargement rapide de nouvelles bases de cas.
Ainsi, nous considérons que le RàPC peut être une alternative intéressante aux modèles experts (cf. chapitre 3) et aux SMA (cf. chapitre 2) pour modéliser un phénomène nouveau. En effet, un SMA

nécessite d'importantes connaissances du domaine pour la spécification des décisions des agents et pour la formulation des hypothèses d'évolution des ressources de l'environnement de simulation liées au temps (Le Page *et al.*, 2010), tandis que la première mise en œuvre du prototype SAMM apporte des prédictions fiables de l'insertion territoriale du miscanthus, alors même que : (i) les processus de décision des agriculteurs relatifs à l'ensemble des territoires favorables et défavorables à l'insertion du miscanthus ne sont pas tous encore connus, ni même que (ii) l'ensemble des interactions de l'agriculteur avec son territoire, issu de nos enquêtes, ne soit parfaitement compris (cf. chapitre 6).

Cependant, comme déjà nuancé dans le chapitre 3, le RàPC est un système à base de connaissances. Ainsi, s'il n'est pas nécessaire d'avoir une connaissance complète du domaine pour résoudre des problèmes, ce système a néanmoins besoin de cas et de connaissances de similarité et d'adaptation. Ces connaissances sont souvent acquises par expertise ou par apprentissage à partir de cas collectés. Comme les cas et ces deux types de connaissance sont globalement difficiles à acquérir quel que soit le domaine d'application du RàPC, il convient maintenant de présenter en quoi la nouveauté de notre domaine d'application a rendu la conception du prototype SAMM difficile, afin ensuite, de suggérer de possibles nouvelles conditions de recherche pour limiter ces difficultés.

2.1.2.Difficultés de conception du prototype SAMM liées à la nouveauté du domaine modélisé

<u>Le manque de connaissances expertes pour élaborer les connaissances utiles au système</u>

Notre état de l'art sur les processus de décision des agriculteurs relatifs à l'insertion territoriale du miscanthus, présenté dans le chapitre 1, montre qu'il n'y avait pas de connaissance scientifique sur les processus de décision spatialement explicites et que les déterminants du consentement à produire du miscanthus ne sont pas encore identifiés de manière consensuelle.

Par ailleurs, notre travail collaboratif avec le technicien de la coopérative Bourgogne Pellets (pour spatialiser les parcelles allouées en miscanthus dans le bassin d'approvisionnement de la coopérative en vue de l'échantillonnage d'EA à enquêter, cf. chapitre 6), nous a amené à constater une forte expertise de cet acteur pour localiser et décrire les parcelles allouées en miscanthus, ainsi que pour fournir une vision d'ensemble des pratiques d'insertion du miscanthus dans le territoire. En revanche, cette vision globale n'a pas permis à cet expert d'identifier les processus de décision précis des agriculteurs relativement à leur territoire d'EA pour expliquer l'allocation de chacune des parcelles. Ainsi, les connaissances fournies par cet expert n'ont pas pu servir directement à la conception du modèle, en termes d'élaboration des cas ni même en termes de connaissances de similarité ou d'adaptation.

Plus globalement, l'expertise fine et complète d'autres experts rencontrés dans le cadre d'entretiens individuels ou de réunions collectives, n'a pas non plus pu servir à l'élaboration de ces connaissances précises.

Ainsi, le caractère novateur du domaine traité à modéliser par RàPC ne nous a pas permis d'accéder à des connaissances expertes à représenter dans le modèle. Ces connaissances ont donc été élaborées à partir des enquêtes, et plus particulièrement à partir des règles de décision des agriculteurs (cf. chapitre 7) donnant lieu à deux principales difficultés pour la conception du prototype SAMM : les difficultés de définition des cas et les difficultés de formalisation des connaissances de similarité et d'adaptation.

Conséquences des difficultés de définition des cas pour la conception du système

Les difficultés de définition des cas ont été présentées à plusieurs reprises dans ce mémoire, pour justifier : (i) la démarche générale de la thèse (cf. chapitre 4), (ii) la démarche d'échantillonnage de la deuxième série d'enquêtes (cf. chapitre 6) et (iii) la démarche de conception du prototype SAMM (cf. chapitre 7). Il va donc sans dire que les répercussions de ces difficultés ont été très importantes sur le déroulement d'ensemble de ce travail de thèse et qu'elles ont conditionné son temps de réalisation.

Pour rappel, les difficultés de définition des cas ont porté sur les choix du niveau de décision et du type de décision à prendre, pour définir le niveau de représentation des parties problème et solution d'un cas (cf. chapitre 7), considérant, grâce aux résultats de nos enquêtes, qu'à l'instar d'autres pratiques agricoles, l'insertion du miscanthus était décidée au niveau de la parcelle, de l'EA et de l'agriculteur (cf. chapitres 1 et 3).

En d'autres termes, bien qu'une connaissance complète du domaine n'ait pas été nécessaire à la conception du prototype SAMM, des connaissances sur la hiérarchisation du niveau d'importance des déterminants relatifs aux niveaux de l'EA et de la parcelle auraient, elles, été nécessaires. Les conséquences sont que le processus de conception du prototype SAMM a été itératif reposant sur un long dispositif d'acquisition de connaissances de deux ans (cf. chapitre 4).

Conséquences des difficultés de formalisation des connaissances de similarité et d'adaptation

Les difficultés de définition de la similarité et des connaissances d'adaptation pour la conception du prototype SAMM ont été présentées dans le chapitre 7. Le manque de connaissances expertes nous a ainsi empêché d'acquérir des connaissances de similarité et d'adaptation auprès d'experts, comme couramment réalisé dans les systèmes à base de connaissances. Il en est de même pour la méthode d'apprentissage supervisé, limitée par le petit nombre de cas qu'il nous a fallu élaborer à partir des enquêtes.

Ainsi, les connaissances de similarité et d'adaptation du prototype SAMM ont été extraites des règles de décision des agriculteurs prises au niveau de la parcelle (cf. chapitre 7). Par conséquent, le problème et la solution ont été décrits au niveau de la parcelle, ne tenant plus compte des niveaux de décision de l'agriculteur (consentement à produire) et de l'EA (part de l'assolement dédié). Cela signifie en d'autres termes, que dans le prototype SAMM, le consentement à produire du miscanthus est uniquement déterminé par les descriptions intrinsèque et extrinsèques de la parcelle (cf. chapitres 6 et 7), avec le risque alors de surévaluer les dynamiques d'insertion territoriale du miscanthus.

2.1.3.Perspectives pour modéliser un phénomène nouveau par RàPC

Globalement, utiliser les processus de décision des agriculteurs pour élaborer les connaissances du système ne nous semble pas défavorable à la qualité des prédictions du modèle, au vu des résultats de la calibration du système (cf. chapitre 7) et considérant que le consentement à produire du miscanthus est aussi pour partie déterminé au niveau de la parcelle (cf. chapitre 6). Elle nous paraît même être un avantage quand les connaissances sont incomplètes. Cependant, n'oublions pas que modéliser un phénomène nouveau est par nature difficile et que le RàPC, malgré son positionnement spécifique, n'évite pas toutes les difficultés. Utiliser le RàPC pour un phénomène nouveau, nous laisse à penser que ce modèle doit donc s'inscrire dans une démarche de recherche exploratoire (Castella *et al*., 2007) et non prédictive.

2.2. Le RàPC pour disséminer un processus de décision très contextualisé d'une parcelle à une autre, au sein d'une étude de cas

Pour rappel, les SMA permettent une modélisation fine des processus de décision des agriculteurs, mais ne sont pas facilement transposables d'un cas d'étude à l'autre, en raison de la spécificité de leur domaine de validité (cf. chapitre 2). En revanche les conclusions des travaux de recherche sur le système de RàPC ROSA montrent : (i) que le RàPC s'adapte bien aux questions difficilement traitables par les méthodes classiques de l'agronomie des territoires, *i.e.* des questions complexes, incertaines, variables dans le temps et l'espace, (ii) que le RàPC permet d'outiller une dissémination des processus de décision d'une exploitation agricole à une autre, tout en tenant compte de leur variabilité particulière dans l'espace. Cependant, face aux difficultés d'acquisition de connaissances d'adaptation, la phase d'adaptation des systèmes de RàPC, comme dans le système ROSA, n'est souvent pas développée. Quels sont alors les intérêts et limites du prototype SAMM par rapport aux modèles de changement de l'utilisation des terres et par rapport au système ROSA ?

2.2.1.Intérêts du prototype SAMM

Dans cette thèse, nous considérons que le prototype SAMM est bien un modèle qui repose sur des décisions très contextualisées au niveau de la parcelle, dans le sens où les décisions modélisées sont fonction d'un effet seuil et d'un effet combinatoire des niveaux de contraintes d'une parcelle (cf. chapitre 6). Nous considérons aussi que le prototype SAMM est dans l'absolu capable de disséminer un processus de décision très contextualisé d'une parcelle à une autre, au sein d'une étude de cas, tout en tenant compte de leur variabilité particulières dans l'espace, compte tenu de l'évolution des taux de réussite du système après la phase d'adaptation, passant de 27% à 70% (cf. chapitre 7).

Par rapport aux modèles existants de changement de l'utilisation des terres, l'intérêt du prototype SAMM est ainsi de résoudre des cas décrits dans leur localité, en utilisant des variables territoriales fines mais aussi des parcellaires réels d'EA et en utilisant un raisonnement par analogie qui permet d'éviter la généralisation des processus de décision des agriculteurs, souvent mal adaptée à la résolution de problèmes contextualisés. L'intérêt du prototype SAMM par rapport au système ROSA, quant à lui, est l'implantation de l'étape d'adaptation. On se situe aussi à un niveau plus fin de description des parcellaires et des décisions, qui correspond aussi à celui où se modifient, par touches successives, les paysages agricoles.

Cependant, malgré ces intérêts, la conception du prototype SAMM est porteuse de limites, notamment concernant sa phase d'adaptation.

2.2.2.Limites du prototype SAMM

Pour rappel, dans le prototype SAMM, la solution et la procédure d'adaptation du prototype ont été atypiques par rapport à d'autres travaux en RàPC. En effet, du point de vue de l'adaptation, l'originalité de notre application est : (i) que la solution des cas est qualitative et discrète (0, 1 et 2), (ii) que le potentiel d'insertion est fonction d'un effet combinatoire des caractéristiques parcellaires et (iii) que la résolution du problème n'est pas linéaire (comme pour certains domaines d'application tels qu'en médecine). Cette solution nous contraint alors à : (i) une adaptation par substitution, (ii) à ce que les connaissances d'adaptation s'appuyent sur des relations de dépendance absolues mais aussi relatives aux caractéristiques d'ensemble des parcelles et (iii) à ce que ces connaissances, difficilement reconstituables par le concepteur à partir des épisodes de résolution observés, s'appuyent sur des règles d'adaptation issues de l'expertise des agriculteurs enquêtés.

Or les connaissances d'adaptation n'ont pas été facilement accessibles par les mises en situation. De ce fait, elles ont été extraites du discours général des agriculteurs (cf. chapitre 7). Mais ces

connaissances ne spécifient pas le lien entre la dissemblance des cas et la règle d'application. Pour rappel, le prototype SAMM adapte la solution d'un cas source remémoré dès qu'une règle d'adaptation est applicable au problème cible apparié au cas source (cf. chapitre 7). Ceci présente la limite d'adapter un cas source sans que les prémisses d'une règle d'adaptation correspondent nécessairement aux descripteurs dissemblables entre les problèmes du cas cible et du cas source. Cette limite explique que pour certains algorithmes, l'adaptation s'opère pour tous les cas sources remémorés, entraînant alors une sur-adaptation. Les performances variables entre algorithmes sont de fait étroitement liées à la composition de la base de cas (cf. chapitre 7). Pour améliorer le prototype, il convient donc de mieux cibler l'utilisation des règles d'adaptation.

Pour cela, après remémoration du ou des cas sources similaire(s) à un cas cible, nous proposons que le système crée une liste de descripteurs de comparaison des cas ayant une distance locale de 20 (il s'agit des descripteurs dissemblables), puis nous proposons d'appliquer les règles d'adaptation du système non plus au problème source mais uniquement aux descripteurs de cette liste. Pour cela, nous considérons aussi nécessaire d'acquérir de nouvelles connaissances d'adaptation. En effet, les études compréhensives nécessaires à mener étant donnée la nouveauté du phénomène étudié, ne nous semblent pas pour autant adéquates comme démarche d'acquisition de connaissances d'adaptation. Nous proposons d'autres types d'enquêtes pour obtenir ces connaissances.

2.2.3.Perspectives pour disséminer un phénomène très contextualisé par RàPC

Pour améliorer l'étape d'adaptation du prototype SAMM, de nouvelles connaissances d'adaptation sont nécessaires à acquérir, et doivent en priorité permettre d'identifier clairement la dissemblance entre les problèmes et le nouveau potentiel d'insertion territorial associé. Le choix d'une nouvelle démarche d'acquisition de connaissances relève alors du choix de nouvelles techniques d'enquêtes.

Or les techniques d'enquêtes en EA sont diverses (Matthieu, 2005) et jouent un rôle majeur sur l'acquisition de connaissances, comme le prouve cette thèse. En effet, si la première série d'enquêtes menée par entretiens compréhensifs et sans support cartographique systématique nous a permis d'explorer l'exhaustivité des déterminants du consentement à produire du miscanthus (cf. chapitre 5), cette première série d'enquêtes exploratoires, à elle seule, ne nous a en revanche pas permis d'acquérir les connaissances utiles à la conception du prototype SAMM (cf. chapitre 6). Pour acquérir ces connaissances, un support cartographique représentant le parcellaire de l'EA a en effet été nécessaire, justifiant une deuxième série d'enquêtes. Cet outil de médiation a alors permis de collecter des règles de décision prises au niveau de la parcelle et d'obtenir des règles spatialement explicites utiles à : (i) l'élaboration des cas du système, (ii) la formalisation de connaissances de similarité et dans une moindre mesure à (iii) la formalisation partielle de connaissances d'adaptation (cf. chapitre 7). Plus globalement, nous avons constaté que, dans la thèse, le support cartographique a permis de collecter des règles de décision plus concrètes, nous permettant par exemple de collecter des règles de non implantation du miscanthus, complètement absentes de la première série d'enquêtes. Ce premier constat confirme à nos yeux que la cartographie est un bon outil d'explicitation du discours des enquêtés, comme d'ores et déjà démontré dans différents travaux, portant par exemple, sur les cartes à dire d'acteurs (Benoît *et al*., 2006 ; Debolini *et al*., 2013).

Si la cartographie du parcellaire de l'EA a donc essentiellement permis de collecter des épisodes de résolution de problèmes (cas), nous avons en revanche constaté que l'utilisation du parcellaire ne permettait pas de faciliter l'acquisition de connaissances d'adaptation (cf. chapitres 6 et 7). En effet, dans leur discours, les situations parcellaires pour lesquelles les agriculteurs modifieraient leurs décisions, ne relèvent pas forcément de territoires existants dans leur parcellaire d'EA, ni de territoires connus en dehors de leur EA, ni même de territoires réels ; mais elles relèvent davantage de situations prototypiques (ex : terres séchantes, forme en pointe) que leur territoire réel d'EA ne contient pas. Ainsi, selon nous, si le parcellaire est nécessaire pour bien comprendre et formaliser les

processus de décision des agriculteurs relatives à leur territoire et par suite relatives à des dynamiques réelles d'insertion territoriale du miscanthus, il n'est en revanche pas suffisant pour acquérir des connaissances d'adaptation nécessaires aux simulations d'un système de RàPC. Plus largement, au vu de la littérature sur les outils de médiation, nous faisons l'hypothèse que la représentation du territoire de l'EA empêche l'agriculteur d'exprimer toutes ses règles de décision et qu'il est nécessaire de dévoiler les décisions implicites en soumettant un autre territoire à l'agriculteur.

Un autre outil de médiation est donc à réfléchir pour la suite de ces travaux. Pour cela, il conviendrait de s'appuyer sur les travaux d'ores et déjà existants de modélisation avec les acteurs d'un territoire (Voinov et Bousquet, 2010), notamment sur les méthodes de mises en situation, telles que les jeux de rôles et le « jeu de territoire » proposée par Lardon (2013).

2.3. Le RàPC pour disséminer des processus de décision sur de nouveaux territoires et fournir une aide pour anticiper le changement de l'utilisation des terres induit par les cultures énergétiques ?

Nous venons de montrer que le RàPC peut être utilisé pour disséminer un processus de décision très contextualisé d'une parcelle à une autre, au sein d'une même zone d'étude, sous réserve d'une amélioration de la démarche générale d'acquisition de connaissances du système. Il convient maintenant de se demander dans quelle mesure le prototype SAMM peut être appliqué sur d'autres territoires que ceux étudiés dans la thèse, afin notamment de répondre aux objectifs d'usage des modèles spatialement explicites du changement de l'utilisation des terres (cf. chapitre 2).

En effet, les modèles de la communauté du changement de l'utilisation des terres sont limités dans leur capacité à modéliser les processus de décision des agriculteurs sur de grands territoires : ces modèles ont des difficultés à disséminer leurs simulations par changement de niveau d'organisation horizontal (*scaling out*), tandis que ce changement de niveau permettrait une modélisation plus fine des processus de décision locaux que par changement de niveau ascendant (*scaling up*). De nouvelles méthodes et outils de *scaling out* sont donc attendus par cette communauté (cf. chapitre 2).

2.3.1.Intérêts du prototype SAMM pour un changement de niveau horizontal

Les principaux intérêts du prototype SAMM pour disséminer des processus de décision sur d'autres parcelles d'une même zone d'étude ont d'ores et déjà été présentés dans la partie 2.2.1. Pour une propagation plus particulière des processus de décision d'une zone d'étude sur un territoire élargi, le prototype SAMM présenterait également l'intérêt de tenir compte d'une diversité de processus de décision pour chaque EA, ce qui n'est pas permis en apprentissage supervisé comme réalisé dans Rizzo *et al*. (2014) (cf. chapitre 2).

Pour autant, dans sa version actuelle, le prototype SAMM ne nous paraît pas être opérationnel pour disséminer des processus de décision sur de nouveaux territoires. Les raisons sont de deux ordres, à la fois liées à des difficultés indépendantes du cadre de modélisation par RàPC (difficultés d'accès aux données pour décrire de nouveaux cas) et à des difficultés propres à une application territoriale du RàPC.

2.3.2.Limites du prototype SAMM pour un changement de niveau horizontal

La première limite du prototype SAMM pour une application du système sur d'autres territoires en vue d'un changement de niveau horizontal des processus de décision des agriculteurs est la collecte de nouveaux cas, en raison des difficultés d'accès aux données descriptives des parcelles

relativement au fonctionnement de l'EA. Signalons ici que nous considérons que cette limite n'est pas propre au RàPC, mais qu'elle s'impose d'elle-même dès lors qu'un élargissement horizontal repose sur une étude de cas et plus spécifiquement, dès lors qu'il repose sur un modèle décisionnel, dans lequel les décisions des individus relèvent de variables territoriales fines (cf. parties 1.1.1 et 1.1.2), de variables qualitatives et relatives à l'EA et des représentations sociales de l'agriculteur.

En effet, d'une part, certaines variables décisionnelles de l'insertion territoriale du miscanthus ne sont tout simplement pas accessibles dans les bases de données géographiques portées à notre connaissance (ex : caractère carrossable des réseaux d'accès). D'autre part, si certaines variables peuvent être mesurées par analyse spatiale (Rizzo *et al*., 2014) et que ces valeurs quantitatives peuvent ensuite être discrétisées, cette discrétisation, en vue d'une description des parcelles relativement au territoire de l'EA, reste une étape difficile. Pour la distance de la parcelle au siège d'EA, cette mesure est même limitée par l'inaccessibilité, à ce jour, de la géo-localisation du siège des EA. Par ailleurs, les variables disponibles, telles que celles relatives à la description des sols, peuvent avoir une échelle de description qui ne coïncide pas forcément avec le niveau de précision avec lequel les agriculteurs prennent leur décision. Par exemple, l'insertion territoriale du miscanthus peut être due à une hétérogénéité du type de sol au sein d'une même parcelle, dont l'hétérogénéité même ne pourra jamais être représentée dans une base de données à petite échelle. Enfin, l'unité même de décision de l'agriculteur pour insérer le miscanthus, la parcelle, n'est pas accessible à ce jour, dans la mesure où l'actuel Registre Parcellaire Graphique ne contient que des îlots (groupements de parcelles). Nous resterons donc encore longtemps tributaires d'informations collectées directement avec les agriculteurs.

Ainsi, nous jugeons que les cas potentiellement descriptibles à partir d'une analyse spatiale et de bases de données géographiques, risquent d'être des cas « dégradés », au vu de leur moindre capacité à représenter les variables décisionnelles de l'insertion territoriale du miscanthus, que des cas finement décrits par des données d'enquêtes. Ainsi, à terme, il conviendrait d'obtenir *a minima* la géo-localisation des sièges d'EA pour enrichir les modèles existants d'une description du territoire au niveau de l'EA. Il conviendrait également de rechercher de nouveaux indicateurs parcellaires, relatifs aux contraintes de production et d'exploitation des parcelles, comme celles dues à l'ombrage des forêts, situées au voisinage des parcelles, dont l'effet de contrainte est plus ou moins perçu par les agriculteurs, en fonction de l'exposition de la parcelle, du linéaire de lisière arborée, de la taille de la parcelle, etc.

Nous considérons donc comme peu judicieux de poursuivre ce travail de thèse par une application directe du modèle sur d'autres territoires décrits par des bases de données géographiques, sans obtenir une meilleure description des cas par ces nouvelles pistes de recherche. Cette application directe ne nous semble pas non plus judicieuse au vu du travail restant à mener pour finaliser la conception même du système, pour une application sur un territoire élargi.

En effet, la deuxième limite du prototype SAMM est qu'il a été conçu à partir de cas issus d'une même zone d'étude. Si ces cas représentent d'ores et déjà des territoires agricoles contrastés en raison d'un échantillonnage d'EA à enquêter sur deux petites régions agricoles distinctes (cf. chapitre 4), nous considérons que cette diversité territoriale n'est pas suffisante pour parer à un possible biais géographique, quand on applique le modèle à d'autres territoires que ceux enquêtés. En effet, bien qu'elle soit identique dans les qualificatifs employés par les agriculteurs, nous pouvons nous demander dans quelle mesure la description qualitative d'un territoire d'EA, située dans une région donnée, peut être jugée similaire à la description qualitative d'un autre territoire d'EA, situé dans une autre région. Par exemple, nous pouvons nous demander dans quelle mesure une parcelle décrite comme « petite » dans la Beauce peut être considérée comme identique à une « petite » parcelle dans une région bocagère de Normandie, au vu du potentiel d'insertion territoriale du

miscanthus. Ainsi, identifier et caractériser le caractère relatif de nos recherches est un enjeu épistémologique de taille, à l'heure où les modèles génériques sont si couramment mis en avant.

La prise en compte de l'effet régional de la description des cas n'est pas une question de recherche complètement nouvelle en RàPC, puisque, très peu étudiée malgré tout, celle-ci a fait l'objet d'une récente publication par Hastings *et al*. (2010), pour étendre leur système, initialement conçu dans un seul état des USA, à plusieurs états de ce même pays. Pour cela, les auteurs ont utilisé une fonction d'ajustement permettant d'adapter leurs prédictions aux différents contextes régionaux (cf. chapitre 3).

Ainsi, un travail de recherche conséquent nous semble encore nécessaire, pour évaluer, non plus de manière théorique mais de manière opérationnelle, les intérêts et limites du RàPC comme alternative aux méthodes actuelles de dissémination horizontale des processus de décision des agriculteurs et plus globalement, comme alternative possible aux modèles existants de changement de l'utilisation des terres.

Pour ce faire, nous proposons en perspectives de ce travail de poursuivre l'acquisition de connaissances sur les processus d'insertion territoriale du miscanthus, en vue de l'élaboration de fonctions d'ajustement.

2.4. Conclusion des intérêts et limites du raisonnement à partir de cas pour modéliser le changement de l'utilisation des terres à partir des décisions d'agriculteurs

Nous avons présenté dans le chapitre 2 les intérêts potentiels du RàPC pour disséminer les processus de décision des agriculteurs sur de plus larges territoires, et être à terme une alternative possible aux modèles existants du changement de l'utilisation des terres.

Dans ce chapitre de discussion générale, nous avons confirmé ces intérêts théoriques et avons exposé les limites existantes du prototype SAMM pour atteindre ces objectifs d'un point de vue plus opérationnel.

Ces limites relèvent (i) d'un processus lent d'acquisition de connaissances en raison de la nouveauté du phénomène modélisé, (ii) d'un protocole d'enquêtes peu adapté à l'acquisition de connaissances d'adaptation relatives à des processus de décision très contextualisés et (iii) de difficultés d'accès aux données pour représenter des cas, afin de tester l'applicabilité du modèle sur d'autres territoires que celui étudié dans la thèse. L'intérêt du RàPC présenté dans cette thèse est néanmoins d'aboutir rigoureusement à identifier ces limites, première étape pour améliorer un travail de recherche.

Par ailleurs, les perspectives d'amélioration de ce premier prototype, conçu dans une démarche exploratoire, nous semblent prometteuses et dessiner des voies de recherche intéressantes. D'une part, ces améliorations permettront d'approfondir l'intérêt même du RàPC pour à terme le positionner comme une démarche de modélisation alternative aux modèles de changement de l'utilisation des terres. D'autre part, poursuivre des recherches sur la conception d'un système de RàPC appliqué à l'insertion territoriale du miscanthus permet aussi d'accompagner un processus d'acquisition de connaissances, qui nous semble encore nécessaire, pour comprendre et anticiper la réorganisation des territoires induite par l'insertion du miscanthus, comme d'autres cultures pérennes et l'agroforesterie.

CONCLUSION

Les travaux de recherche conduits dans cette thèse, dans le cadre du PROJET FUTUROL, ont eu pour objectifs d'étudier les processus de décision des agriculteurs, de manière spatialement explicite, sur l'insertion territoriale du *Miscanthus x giganteus* en proposant un nouveau cadre de modélisation, le Raisonnement à Partir de Cas.

L'intérêt d'un nouveau cadre de modélisation s'explique par les limites méthodologiques actuelles des modèles existants de changement de l'utilisation des terres, changement induit par les cultures énergétiques, à représenter finement les processus de décision des agriculteurs, tout en permettant l'application de ces modèles décisionnels à des territoires plus englobants ou plus étendus. En effet, d'une part, l'application des modèles décisionnels à des territoires plus englobants nécessite un changement de niveau d'organisation ascendant (*scaling up*), pour lequel, selon la théorie de la hiérarchie, des phénomènes émergents sont à prendre en compte dans les processus modélisés, alors même que ces phénomènes sont difficilement observables aux niveaux d'organisation étudiés. D'autre part, l'application des modèles décisionnels à des territoires plus étendus nécessite une dissémination horizontale (*scaling out*), pour laquelle d'importantes connaissances sont nécessaires au nouveau paramétrage des modèles décisionnels au domaine de validité très contextualisé, ce qui en limite les possibilités d'applications opérationnelles (Rounsevell *et al*., 2012c).

Pourtant, cette approche de dissémination horizontal suscite l'intérêt récent de la communauté du changement de l'utilisation des terres, notamment pour sa capacité théorique à permettre une modélisation fine des processus de décision des individus, au niveau d'organisation même où ils sont observés. C'est pourquoi, nous avons choisi de proposer une nouvelle méthode de dissémination horizontale pour modéliser les processus de décisions des agriculteurs relatifs à l'organisation de leur territoire.

Nous avons plus particulièrement choisi le cadre formel du raisonnement à partir de cas (RàPC) en raison des conclusions encourageantes d'une première application territoriale du RàPC, faisant état de son adaptabilité à modéliser des phénomènes, complexes, incertains, liés au temps et à l'espace, et plus globalement, à traiter des questions de recherche relatives à l'agronomie des territoires (Osty *et al*., 2008). Ainsi, les travaux de recherche présentés dans cette thèse correspondent à la mise en œuvre d'un modèle de raisonnement à partir de cas pour modéliser l'insertion territoriale du miscanthus, et ainsi proposer une nouvelle démarche de modélisation des systèmes techniques agricoles.

En raison des connaissances existantes limitées sur les processus de décision des agriculteurs relatifs à l'insertion spatialement explicite du miscanthus dans les territoires, **la première tâche de ce travail** a porté sur l'acquisition de telles connaissances. Pour ce faire, nous avons mené deux séries d'enquêtes en EA, dans le département de la Côte d'Or où des dynamiques importantes d'insertion territoriale du miscanthus ont été observées. Nous avons tout d'abord enquêté les agriculteurs de 10 EA sur les déterminants de l'insertion territoriale du miscanthus au niveau de l'EA. Dans un deuxième temps, pour répondre aux besoins de conception du système de RàPC, nous avons redéfini un nouvel échantillon d'EA à enquêter, cette fois-ci sur les règles spatialement explicites de l'insertion territoriale du miscanthus au niveau de la parcelle ; ces nouvelles enquêtes ont été menées dans 13 EA.

Les principaux résultats de ces deux séries d'enquêtes permises grâce à la qualité de l'accueil et le temps donné par les agriculteurs, montrent que le consentement des agriculteurs à produire du miscanthus est déterminé par les opportunités que la culture peut offrir pour gérer le temps et l'espace dans une EA, sous contrainte des capacités biophysiques du territoire et de la stratégie de production de l'EA. Ils montrent aussi qu'il existe un lien ténu entre les contraintes parcellaires perçues par les agriculteurs et les capacités du miscanthus à parer ces contraintes, notamment concernant les contraintes économiques et logistiques d'exploitation des parcelles et celles liées à la

préservation environnementale. Ces résultats montrent enfin que le processus de décision des agriculteurs est complexe et très contextualisé.

En effet, nos résultats sur les déterminants de l'insertion territoriale du miscanthus au niveau de la parcelle, issus de l'analyse de 144 règles de décision extraites du discours de 13 EA, montrent premièrement que l'insertion de cette culture est expliquée par une pluralité de variables (32 variables) de six natures différentes (agronomiques, géométriques, d'accessibilité, de voisinage, foncières et environnementales). Ces résultats montrent deuxièmement que l'insertion territoriale du miscanthus est expliquée par deux référentiels et cinq points de vue décisionnels (ex : capacités de production du miscanthus, capacité d'amélioration du système de production en place). Ces résultats montrent troisièmement (i) que le potentiel d'insertion du miscanthus n'est pas déterminé par des caractéristiques territoriales isolées les unes des autres mais bien par leur articulation sur une même portion de territoire et (ii) que ce potentiel est étroitement lié aux niveaux de contraintes combinées de chaque parcelle, perçus relativement à l'ensemble des caractéristiques parcellaires de l'EA (ex : éloignement et taille de la parcelle) et aux préférences de l'agriculteur (ex : voisinage de la parcelle). Ainsi, nos résultats montrent que le processus de décision des agriculteurs est complexe et très contextualité, remettant alors en question la pertinence d'une modélisation par des règles génériques, au profit d'une modélisation au cas par cas.

La deuxième tâche de la thèse a consisté en l'élaboration d'un prototype de RàPC sur la base des connaissances acquises lors des enquêtes. Le prototype présenté dans ce mémoire est le prototype SAMM, pour Spatial Allocation Modelling of Miscanthus, développé en langage Java sous l'environnement Eclipse. Dans ce prototype, un cas décrit une parcelle (partie problème du cas) et son potentiel d'insertion du miscanthus (partie solution). Ces cas ont été formalisés et stockés dans une base de cas à partir du discours des agriculteurs enquêtés, et plus particulièrement, à partir de leurs règles de décision. Les connaissances de similarité et d'adaptation du prototype ont elles aussi été élaborées à partir de ces règles. Les performances du prototype SAMM ont été évaluées à partir d'une base d'apprentissage de 36 cas sources et d'une base de test de 36 cas cibles, issus de la base de cas. Différents algorithmes ont alors été testés et les résultats de cette évaluation permettent d'atteindre des taux de prédiction très encourageants, atteignant 70% de réussite. Néanmoins, ce travail exploratoire n'est pas complètement abouti selon nous. Un nouveau protocole d'enquête est notamment à prévoir pour améliorer les connaissances d'adaptation, dont la constitution est l'étape généralement la plus difficile du RàPC.

Ainsi, les principaux enseignements tirés de ce travail exploratoire sont que le RàPC est un cadre formel de modélisation pertinent à utiliser pour modéliser un phénomène contextualisé, tel que le potentiel d'insertion territoriale du miscanthus, qui dépend des contraintes parcellaires et des préférences des agriculteurs. Concernant les potentialités de cette méthode à être une alternative au modèle spatialement explicite du changement de l'utilisation des terres, ayant souvent vocation à fournir des prédictions à des niveaux d'organisation globaux en vue d'appuyer des décisions politico-réglementaires, il nous semble que ce travail de thèse n'est pas suffisant pour apporter à lui seul les éléments définitifs permettant de positionner le RàPC d'un point de vue opérationnel. Un travail complémentaire à cette thèse serait à prévoir pour approfondir les possibilités d'application du prototype SAMM à d'autres territoires que celui enquêté, permettant alors d'avoir une meilleure idée des intérêts et limites du RàPC pour une dissémination horizontale des processus de décision des agriculteurs.

En revanche d'un point de vue théorique et au vu des premiers résultats de cette thèse, ce cadre de modélisation nous paraît très prometteur pour modéliser des phénomènes liés à l'organisation des territoires agricoles. En effet, de par ses besoins en connaissances de similarité et d'adaptation, le RàPC plonge le chercheur/modélisateur au cœur des processus de décision des agriculteurs et dans de nouveaux espaces de décision encore très peu étudiés, comme ceux permettant le transfert de

connaissances d'une situation donnée vers une autre. Plus globalement, nous considérons que le RàPC peut être un cadre de modélisation intéressant à l'heure où les liens entre agriculture et territoire se complexifient de par la multifonctionnalité attendue des pratiques agricoles (Soulard, 2005), et où des dispositifs génériques de développement local ne suffisent plus, tandis que des expériences locales conduites ailleurs peuvent être d'un appui précieux au développement territorial, dès lors que l'on sait comment adapter cette expérience dans son propre territoire (Bertrand, 2014).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Aamodt A., Plaza E., 1994. Case-based reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches. AI communications. 7, 39-59.

AEBIOM. European Bioenergy Outlook, 2013. Bruxelles, Belgium: European Biomass Association; 2013

Agarwal C., Green G.M., Grove J.M., Evans T.P., Schweik C.M., others, 2002. A review and assessment of land-use change models: dynamics of space, time, and human choice.

Agudo B.D., Watson I., 2012. Case-Based Reasoning Research and Development: 20th International Conference, ICCBR 2012, Lyon, France, September 3-6, 2012, Proceedings. Springer Berlin Heidelberg.

An L., 2012. Modeling human decisions in coupled human and natural systems: Review of agent-based models. Ecological Modelling. 229, 25-36. doi:10.1016/j.ecolmodel.2011.07.010

Antizar-Ladislao B., Turrion-Gomez J.L., 2008. "Second-generation biofuels and local bioenergy systems". Biofuels, Bioproducts & Biorefining, Vol. 2, p. 455-469.

Association France Miscanthus, 2009. Cultivons l'énergie de demain avec le Miscanthus ! http://www.cgb-france.fr/IMG/pdf/Brochure_miscanthus_2009.pdf last accessed February 22

Aubry C., Biarnes A., Maxime F., Papy F., Brossier J., Dent B., 1998. Modélisation de l'organisation technique de la production dans l'entreprise agricole: la constitution de systèmes de culture du Bassin Parisien.

Aubry C., Papy F., Capillon A., 1998. Modelling decision-making processes for annual crop management. Agricultural systems. 56, 45-65. doi:10.1016/S0308-521X(97)00034-6

Augustenborg C.A., Finnan J., McBennett L., Connolly V., Priegnitz U., Müller C., 2012. Farmers' perspectives for the development of a bioenergy industry in Ireland. GCB Bioenergy 4, 597-610. doi:10.1111/j.1757-1707.2011.01151.x

Auricoste C., Deffontaines JP., Fiorelli JL., Langlet A., Osty PL. Friches, 1983. Parcours et activité d'élevage. Points de vue d'agronomes sur les potentialités agricoles ; le cas des Vosges et des Causses. Versailles, INRA publications, 55p.

Badra F., 2009. Extraction de connaissances d'adaptation en raisonnement à partir de cas. Université Henri Poincaré-Nancy I.

Bauen A.W., Dunnett A.J., Richter G.M., Dailey A.G., Aylott M., Casella E., Taylor G., 2010. Modelling supply and demand of bioenergy from short rotation coppice and Miscanthus in the UK. Bioresource technology, 101(21), 8132-8143. doi:10.1016/j.biortech.2010.05.002

Benoît M., 1985. La gestion territoriale des activités agricoles: l'exploitation et le village: deux échelles d'analyse en zone d'élevage ; cas de la Lorraine (région de Neufchâteau) (Doctoral dissertation).

Benoît M., 1990. La gestion territoriale de l'activité agricole dans un village lorrain. Mappemonde, 4, 15-17.

Benoît M., Lefranc C., Bernard P. Y., Husson J.P., 2002. De l'assolement observé à l'assolage à expliquer: agronomes et géographes à la croisée des préoccupations environnementales et paysagères. Rendu d'expériences" transfrontalières". Agronomes et Territoires, Deuxième édition des entretiens du Pradel (P. PRÉVOST Éd.), L'Harmattan, Paris, 229-242.

Benoît M., Kernéïs E., Pons Y., Gerbaud A., Hermann S., Le Ber F., 2004. "Agricultural land design modelling : a methodological proposal". 6th European Symposium on Farming and Rural Systems Research and Extension, Vila Real (Portugal), 4-7 avril, p. 349-360.

Benoît M., Deffontaines J.P., Lardon S., 2006. Acteurs et territoires locaux: vers une géoagronomie de l'aménagement. Editions Quae.

Benoît M., Rizzo D., Marraccini E., Moonen A.C., Galli M., Lardon S., Rapey H., Thenail C., Bonari E., 2012. Landscape agronomy: a new field for addressing agricultural landscape dynamics. Landscape ecology. 27, 1385-1394.

Bertrand N., 2014. Aide à la décision pour le développement territorial : de nouveaux enjeux pour la recherche - Avant-propos [WWW Document]. URL http://www.set-revue.fr/Gouvernance_D%C3%A9veloppement_Territoires_Enjeux_Recherche_Avant-propos (accessed 8.22.14).

Bessou C., Ferchaud F., Gabrielle B., Mary B., 2011. Biofuels, Greenhouse Gases and Climate Change, in: Lichtfouse, E., Hamelin, M., Navarrete, M., Debaeke, P. (Eds.), Sustainable Agriculture Volume 2. Springer Netherlands, pp. 365-468.

Bocquého G., Jacquet F., 2010. The adoption of switchgrass and miscanthus by farmers: Impact of liquidity constraints and risk preferences. Energy Policy 38, 2598-2607. doi:10.1016/j.enpol.2010.01.005

Bocquého G., Jacquet F., Reynaud A., 2011. Determinants of miscanthus adoption: an empirical investigation among French farmers. Paper submitted to the 5th "Journées de recherches en sciences sociales", Dijon, France, December, 8-9.

Bocquého G., Jacquet F., Reynaud A., 2012. Adoption of perennial energy crops and behavioral preferences. An empirical investigation among French farmers.

Bocquého G., 2012. Risque, temps et adoption des cultures pérennes énergétiques: exemple du cas français. Thèse de doctorat en économie, AgroParisTech.

Bonin M., 2001. Nouvelles fonctions de l'agriculture et dynamiques des exploitations: une analyse chorématique dans les Monts d'Ardèche. Mappemonde, 62(2), 11-16.Bonneviale J-R. (1989). "L'approche globale de l'exploitation agricole : d'où vient-elle ? Evolution des concepts et des méthodes". Approche globale de l'exploitation agricole. INRAP, p. 29-55.

Bosch O.J., Gibson R., Kellner K., Allen W., 1997. Using case-based reasoning methodology to maximise the use of knowledge to solve specific rangeland problems. Journal of Arid Environments. 35, 549-557. doi:10.1006/jare.1996.0178

Brandão M., Milà i Canals L., Clift R., 2011. Soil organic carbon changes in the cultivation of energy crops: Implications for GHG balances and soil quality for use in LCA. Biomass Bioenergy 35, 2323-2336. doi:10.1016/j.biombioe.2009.10.019

Brassac C., Le Ber F., 2005. Inscription spatiale d'une activité cognitive collective de représentation de l'espace. Intellectica 41, 181-200.

Briassoulis H., 2000. Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches. Regional Research Institute, West Virginia University.

Brossier J., 1989. Risque et incertitude dans la gestion de l'exploitation agricole. Quelques principes methodologiques. Le risque en agriculture. Coll. A travers champs, ORSTOM, Paris, 25-26.

Bühler E.-A., Camara A., Lopez-Ridaura S., Soulard C.T., others, 2010. Farms and territories: crossing agronomy and geography to elaborate multifunctional farming systems. Innovation and Sustainable Development in Agriculture and Food.

Cadoux S., Riche A.B., Yates N.E., Machet J.-M., 2012. Nutrient requirements of Miscanthus x giganteus: Conclusions from a review of published studies. Biomass Bioenergy 38, 14-22. doi:10.1016/j.biombioe.2011.01.015

Caillault S., Marie M., 2010. Pratiques agricoles, perceptions et représentations du paysage: quelles articulations? Approches croisées Nord/Sud. Norois 9-20.

Campbell J.E., Lobell D.B., Genova R.C., Field C.B., 2008. The Global Potential of Bioenergy on Abandoned Agriculture Lands. Environ. Sci. Technol. 42, 5791-5794. doi:10.1021/es800052w

Capillon A., Sebillotte M., 1986. "Etude des systèmes de production des exploitaitons agricoles. Une typologie". Caribbean seminar on farming system research methodology. INRA-IICA, p. 85-111.

Carton S., Tristant D., Guibout F., Lapierre O., 2008. Intérêts et potentialités de la production de miscanthus. Faisabilité du développement des cultures énergétiques en Ile-de- France. Ferme Expérimentale AgroParisTech, Projet Grignon Energie Positive, rapport intermédiaire, 52 p.

Castella J.-C., Pheng Kam S., Dinh Quang D., Verburg P.H., Thai Hoanh C., 2007. Combining top-down and bottom-up modelling approaches of land use/cover change to support public policies: Application to sustainable management of natural resources in northern Vietnam. Land Use Policy 24, 531-545. doi:10.1016/j.landusepol.2005.09.009

Castella J.-C., Trung T.N., Boissau S., 2005. Participatory simulation of land-use changes in the northern mountains of Vietnam: the combined use of an agent-based model, a role-playing game, and a geographic information system. Ecol. Soc. 10, 27.

Castella J.-C., Verburg P.H., 2007. Combination of process-oriented and pattern-oriented models of land-use change in a mountain area of Vietnam. Ecological modelling. 202, 410-420. doi:10.1016/j.ecolmodel.2006.11.011

Cerf M., Sebillotte M., 1997. Approche cognitive des décisions de production dans l'exploitation agricole. Economie rurale 239, 11-18.

Charvet J.-P., Sivignon M., 2002. Géographie humaine : questions et enjeux. Armand Colin, 347p.

Clancy D., Breen J., Moran B., Thorne F., Wallace M., 2011. Examining the socio-economic factors affecting willingness to adopt bioenergy crops. Journal of International Farm Management. 5, 25-40.

Clifton-brown J.C., Stampfl P.F., Jones M.B., 2004. Miscanthus biomass production for energy in Europe and its potential contribution to decreasing fossil fuel carbon emissions. Global change biology. 10, 509-518. doi:10.1111/j.1529-8817.2003.00749.x

Cook S.E., Fujisaka S., 2004. Spatial dimension of scaling up and out. In Pachico D., Fujisaka S. (Eds.), Scaling up and out: achieving widespread impact through agricultural research - Vol. 3. CIAT, chapitre 4 : p. 53-63

Cour des Comptes, 2012. La politique d'aide aux biocarburants, rapport public thématique.

Cour des Comptes, 2013. La politique de développement des énergies renouvelables, rapport public thématique.

Cordier A., 2008. Interactive and Opportunistic Knowledge Acquisition in Case-Based Reasoning. Université Claude Bernard-Lyon I.

Cordier A., Fuchs B., 2006. Apprendre à mieux adapter en raisonnement à partir de cas.

Cordier A., Fuchs B., Mille A., 2006. De l'Ingénierie à l'Apprentissage des connaissances d'adaptation en Raisonnement à Partir de Cas., in: Actes d'IC. pp. 41-50.

Dale V.H., Kline K.L., Wiens J., Fargione J., 2010. Biofuels: Implications for Land Use and Biodiversity.

Darnhofer I., Gibbon D., Dedieu B., 2012. Farming Systems Research: an approach to inquiry (pp. 3-31). Springer Netherlands.

Darré J-P, 2004. « Bases théoriques et antécédents de l'étude des formes de connaissance dans les activités pratiques », in J-P Darré, A. Mathieu, J. Lasseur (coord.), Le sens des pratiques. Conceptions d'agriculteurs et modèles d'agronomes, Paris, INRA Editions, pp. 53-69.

Dauber J., Brown C., Fernando A.L., Finnan J., Krasuska E., Ponitka J., Styles D., Thrän D., Van Groenigen K.J., Weih M., Zah R., 2012. Bioenergy from "surplus" land: environmental and socio-economic implications. BIORISK, 7, 5-50. doi:10.3897/biorisk.7.3036

Dauber J., Jones M.B., Stout J.C., 2010. The impact of biomass crop cultivation on temperate biodiversity. GCB Bioenergy 2, 289-309. doi:10.1111/j.1757-1707.2010.01058.x

Deffontaines J.P., 1996. Du paysage comme moyen de connaissance de l'activité agricole, à l'activité agricole comme moyen de production du paysage : l'agriculteur producteur de paysages, un point de vue d'agronome. Compte-Rendus de l'Académie d'Agriculture de France, 82(4): 54-69.

Dockerty T., Appleton K., Lovett A., 2012. Public opinion on energy crops in the landscape: considerations for the expansion of renewable energy from biomass. J. Environ. Plan. Manag. 55, 1134-1158.

Dohleman F.G., Long S.P., 2009. More productive than maize in the Midwest: how does Miscanthus do it? Plant Physiology. 150, 2104-2115. doi:10.1104/pp.109.139162

Don A., Osborne B., Hastings A., Skiba U., Carter M.S., Drewer J., Flessa H., Freibauer A., Hyvönen N., Jones M.B., others, 2012. Land-use change to bioenergy production in Europe: implications for the greenhouse gas balance and soil carbon. Gcb Bioenergy 4, 372-391.

Du Y., Liang F., Sun Y., 2012. Integrating spatial relations into case-based reasoning to solve geographic problems. Knowledge-Based Systems. 33, 111-123. doi:10.1016/j.knosys.2012.03.002

Du Y., Wen W., Cao F., Ji M., 2010. A case-based reasoning approach for land use change prediction. Expert Systems with Applications. 37, 5745-5750. doi:10.1016/j.eswa.2010.02.035

Ducrot R., Botta A., D'Aquino P., Antona M., Abrami G., Farolfi S., Müller J.P., Lagabrielle E., Le Page C., 2010. Changement d'échelle et niveaux d'organisation multiples. Dans La modélisation d'accompagnement : une démarche participative en appui au développement durable, pages 251-275. Editions Quae. ISBN 9782759206209

Dufossé K., 2013. Bilan environnemental des cultures lignocellulosiques pour la production de bioéthanol de 2ème génération. Thèse de doctorat en agronomie, AgroParistech. Le 19 décembre 2013.

Dury J., Schaller N., Garcia F., Reynaud A., Bergez J.E., 2012. Models to support cropping plan and crop rotation decisions. A review. Agronomy for sustainable development. 32, 567-580.

Dutta S., Wierenga B., Dalebout A., 1997. Case-based reasoning systems: From automation to decision-aiding and stimulation. Knowledge and Data Engineering, IEEE Transactions on 9, 911-922.

European Commission, 2009. Renewable Energy Directive (Directive 2009/28/EC) of the European Parliament and of the Council, dated of the 23 April 2009.

European Commission, 2009. Fuel Quality Directive (Directive 2009/30/EC) of the European Parliament and of the Council, dated of the 23 April 2009.

Evans T.P., Ostrom E., Gibson C., 2002. Scaling issues with social data in integrated assessment modeling. Integrated Assessment. 3, 135-150.

Ferber J., Perrot J. F., 1995. Les systèmes multi-agents: vers une intelligence collective. InterEditions.

Fischer G., Prieler S., Van Velthuizen H., Berndes G., Faaij A., Londo M., De Wit M., 2010. Biofuel production potentials in Europe: Sustainable use of cultivated land and pastures, Part II: Land use scenarios. Biomass Bioenergy 34, 173-187. doi:10.1016/j.biombioe.2009.07.009

Förster M., Helms Y., Herberg A., Köppen A., Kunzmann K., Radtke D., Ross L., Itzerott S., 2008. "A site-related suitability analysis for the production of biomass as a contribution to sustainable regional land-use." Environmental Management, Vol. 41, p. 584-598.

Francart C., Pivot J.-M., others, 1998. Incidences de la structure parcellaire sur le fonctionnement des exploitations agricoles en régions de bocage. Ingénieries-EAT.

Fritsche U.R., Sims R.E., Monti A., 2010. Direct and indirect land-use competition issues for energy crops and their sustainable production-an overview.

Fuchs B., Mille A., 1999. A Knowledge-level Task Model of Adaptation in Case-Based Reasoning, in: Althoff, K.-D., Bergmann, R., Branting, L.K. (Eds.), Case-Based Reasoning Research and Development, Lecture Notes in Computer Science. Springer Berlin Heidelberg, pp. 118-131.

Fuchs B., Mille A., 2000. Une modélisation au niveau connaissance du raisonnement à partir de cas. In Aussenac-Gilles, N., editor, Actes des journées francophones d'acquisition des connaissances (IC'00), pages 3-10, Toulouse

Gabrielle B., Bamière L., Caldes N., De Cara S., Decocq G., Ferchaud F., Loyce C., Pelzer E., Perez Y., Wohlfahrt J., others, 2014. Paving the way for sustainable bioenergy in Europe: technological options and research avenues for large-scale biomass feedstock supply. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 33, 11-25.

Gaucherel C., Griffon S., Misson L., Houet T., 2010. Combining process-based models for future biomass assessment at landscape scale. Landscape Ecology. 25, 201-215.

Gawel E., Ludwig G., 2011. "The iLUC dilemma: How to deal with indirect land use changes when governing energy crops?". Land Use Policy, Vol. 28, p. 846-856.

Gedikoglu H., 2012. Impact of Off-Farm Employment on Farmers' Willingness to Grow Switchgrass and Miscanthus, in: 2012 Annual Meeting, February 4-7, 2012, Birmingham, Alabama.

Gibson C.C., Ostrom E., Ahn T.-K., 2000. The concept of scale and the human dimensions of global change: a survey. Ecological economics. 32, 217-239.

GIEC, 2007 : Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri R.K. et Reisinger A.]. GIEC, Genève, Suisse, 103 pages.

Girard N., 1992. Intelligence artificielle et agriculture : quelles applications ? Mémoire de DEA, Université de Lyon 1, Institut d'Analyse des Systèmes Biologiques et Socio-Economiques Villeurbanne (FRA), 36 p.

Girard N., 2004. Représenter la diversité des pratiques pour reformuler un problème. Une méthode typologique support de partenariat. FaçSADe n°21, janvier/mars 2004.

Girard N., 2006. Catégoriser les pratiques d'agriculteurs pour reformuler un problème en partenariat Une proposition méthodologique. Cahiers Agricultures. 15, 261-272.

Girard N., 2006. Grilles-répertoires et cartes cognitives pour expliciter des « construits » dans des groupes. Actes de la Semaine de la Connaissance, Journée «Activité collective et connaissances dans les organisations », Nantes, juin 2006, pp 281-290.

Girard N., Duru M., Hazard L., Magda D., 2008. Categorising farming practices to design sustainable land-use management in mountain areas. Agronomy for sustainable development. 28, 333-343.

Glithero N.J., Wilson P., Ramsden S.J., 2013. Prospects for arable farm uptake of Short Rotation Coppice willow and miscanthus in England. Applied energy. 107, 209-218. doi:10.1016/j.apenergy.2013.02.032

Global Footprint Network, 2013, Atlas de l'empreinte écologique et de la biocapacité des pays membres de la Francophonie : préparer les économies pour la concurrence globale sur les ressources naturelles. Union Internationale pour la Conservation de la Nature, Institut de la Francophonie pour le développement durable (Eds.), publié sous la direction de Fatimata Dia, 108 pages.

GLP, 2005. Science Plan and Implementation Strategy. IGBP Report No. 53/IHDP Report No. 19. IGBP Secretariat, Stockholm. 64pp

Guichard L., Ballot R., 2010. PERSYST : paramétrage de l'outil en Bourgogne. Réunion de validation - 28 octobre 2010. INRA UMR Agronomie.

Gurtler J-L, Féménias A, Blondy J., 2009. Agriculture Énergie 2030: fiche-variable production de bioénergies.

Harrington L., White J., Grace P., Hodson D., Hartkamp A.D., Vaughan C., Meisner C., others, 2002. Delivering the goods: scaling out results of natural resource management research. Conservation ecology. 5, 19.

Harvolk S., Kornatz P., Otte A., Simmering D., 2013. Using existing landscape data to assess the ecological potential of Miscanthus cultivation in a marginal landscape. GCB Bioenergy n/a-n/a. doi:10.1111/gcbb.12078

Hastings A., Clifton-Brown J., Wattenbach M., Mitchell C.P., Stampfl P., Smith P., 2009. Future energy potential of Miscanthus in Europe. GCB Bioenergy 1, 180-196. doi:10.1111/j.1757-1707.2009.01012.x

Hastings A., Clifton-Brown J., Wattenbach M., Stampfl P., Mitchell C.P., Smith P., 2008. Potential of Miscanthus grasses to provide energy and hence reduce greenhouse gas emissions. Agronomy for sustainable development. 28, 465-472. doi:10.1051/agro:2008030

Hastings J., Branting K., Lockwood J., 2002. CARMA: A case-based rangeland management adviser. AI Magazine. 23, 49.

Hastings J.D., Latchininsky A.V., Schell S.P., 2009. Sustainability of grasshopper management and support through CARMA, in: System Sciences, 2009. HICSS'09. 42nd Hawaii International Conference on. IEEE, pp. 1-10.

Haughton A.J., Bond A.J., Lovett A.A., Dockerty T., Sünnenberg G., Clark S.J., Bohan D.A., Sage R.B., Mallott M.D., Mallott V.E., Cunningham M.D., Riche A.B., Shield I.F., Finch J.W., Turner M.M., Karp A., 2009. A novel, integrated approach to assessing social, economic and environmental implications of changing rural land-use: a case study of perennial biomass crops. Journal of Applied Ecology. 46, 315-322. doi:10.1111/j.1365-2664.2009.01623.x

Hellmann F., Verburg P.H., 2011. Spatially explicit modelling of biofuel crops in Europe. Biomass Bioenergy 35, 2411-2424. doi:10.1016/j.biombioe.2008.09.003

Hillier J., Whittaker C., Dailey G., Aylott M., Casella E., Richter G.M., Riche A., Murphy R., Taylor G., Smith P., 2009. Greenhouse gas emissions from four bioenergy crops in England and Wales: Integrating spatial estimates of yield and soil carbon balance in life cycle analyses. GCB Bioenergy 1, 267-281. doi:10.1111/j.1757-1707.2009.01021.x

Houet T., Hubert-Moy L., Corgne S., Marchand J.-P., 2008. Approche systémique du fonctionnement d'un territoire agricole bocager. Espace Géographique 270-286.

IEA Bioenergy, 2009. Bioenergy-a sustainable and reliable energy source. International Energy Agency Bioenergy, Paris, France.

IEA, 2013. Key World Energy Statistics. International Energy Agency.

INRA-ENSSAA, 1977. Pays Paysans Paysages dans les Vosges du sud. INRA, Paris

IPCC, 2011. Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [Edenhofer O., Pichs-Madruga R., Sokona Y., Seyboth K., Matschoss P., Kadner S., Zwickel T., Eickemeier P., Hansen G., Schlömer S., von Stechow C. (Eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC, 2013. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Kaufmann J.-C., 1996. L'entretien compréhensif. Paris : Nathan.

Jacopin R., 2011. Paysages et pratiques des agriculteurs dans le Sud du Plateau Lorrain : logiques d'organisation et effets sur l'environnement. Nancy 2.

Jensen K., Clark C.D., Ellis P., English B., Menard J., Walsh M., de la Torre Ugarte D., 2007. Farmer willingness to grow switchgrass for energy production. Biomass Bioenergy 31, 773-781.

Kaster D.S., Medeiros C.B., Rocha H.V., 2005. Supporting modeling and problem solving from precedent experiences: the role of workflows and case-based reasoning. Environmental Modelling & Software. 20, 689-704. doi:10.1016/j.envsoft.2004.03.014

Kolodner J.L., 1992. An introduction to case-based reasoning. Artificial Intelligence Review. 6, 3-34.

Lacheheb S. E., 2012. Développement d'un prototype de raisonnement à partir de cas (Mémoire, Université de Lorraine - Faculté des Sciences et Technologies, Vandoeuvre-lès-Nancy, FRA)

Lambin E.F., Geist H.J., Lepers E., 2003. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. Annual review of environment and resources. 28, 205-41.

Lambin E.F., Meyfroidt P., 2010. Land use transitions: Socio-ecological feedback versus socio-economic change. Land Use Policy 27, 108-118. doi:10.1016/j.landusepol.2009.09.003

Lambin E.F., Turner B.L., Geist H.J., Agbola S.B., Angelsen A., Bruce J.W., Coomes O.T., Dirzo R., Fischer G., Folke C., George P.S., Homewood K., Imbernon J., Leemans R., Li X., Moran E.F., Mortimore M., Ramakrishnan P.S., Richards J.F., Skånes H., Steffen W., Stone G.D., Svedin U., Veldkamp T.A., Vogel C., Xu J., 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. Global environmental change. 11, 261-269. doi:10.1016/S0959-3780(01)00007-3

Landais E., Deffontaines J.-P., 1990. Les Pratiques des agriculteurs : point de vue sur un courant nouveau de la recherche agronomique. In Brossier J., Vissac B., Le Moigne J.-L (Dir.), « Modélisation systémique et système agraire : décision et organisation », Actes du Séminaire du Département de recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement (SAD), Saint-Maximin, 2-3 mars 1989, INRA, Paris, p. 31-64.

Laroche B., 1997. Détermination et représentation cartographique de la capacité de stockage en eau des sols du département de la Côte d'Or. Rapport de stage de fin d'études. 71 p.

Lardon S., Deffontaines JP., Baudry J., Benoît M., 1990. L'espace est aussi ailleurs. In Brossier J., Vissac B., Le Moigne J.-L (Dir.), « Modélisation systémique et système agraire : décision et organisation », Actes du Séminaire du Département de recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement (SAD), Saint-Maximin, 2-3 mars 1989, INRA, Paris, p. 31-64.

Lardon S., Le Ber F., Metzger J.-L., Osty P.-L., others, 2005. Une démarche et un outil pour modéliser et comparer l'organisation spatiale d'exploitations agricoles (An approach and a tool to modelize and compare the spatial organization of farms). Revue internationale de Géomatique. 15, 263-280.

Laurent C., Maxime F., Mazé A., Tichit M., 2003. Multifonctionnalité de l'agriculture et modèles de l'exploitation agricole. Economie Rurale 273, 134-152.

Lazrak E.G., 2012. Fouille de données stochastique pour la compréhension des dynamiques temporelles et spatiales des territoires agricoles. Contribution à une agronomie numérique des territoires. PhD thesis, Université de Lorraine.

Le Bail M., Meynard J.-M., others, 2003. Yield and protein concentration of spring malting barley: the effects of cropping systems in the Paris Basin (France). Agronomie 23, 13-27.

Le Bail M., 2005. Le bassin d'approvisionnement : territoire de la gestion agronomique de la qualité des productions végétales, in: P. Prevost (Ed.), Agronomes et territoires. Deuxième édition des entretiens du Pradel, L'Harmattan, Paris. pp. 213-228.

Le Ber F., Brassac C., 2008. Étude longitudinale d'une procédure de modélisation de connaissances en matière d'organisation du territoire agricole. Revue d'anthropologie des connaissances. 2, 151-168.

Le Ber F., Lieber J., Napoli A., others, 2006. Les systèmes à base de connaissances. Encyclopédie de l'informatique et des systèmes d'information. 1197-1208.

Le Ber F., Napoli A., Metzger J.-L., Lardon S., 2003. Modeling and Comparing Farm Maps using Graphs and Case-based Reasoning. J UCS 9, 1073-1095.

Le Gal P.-Y., Dugué P., Faure G., Novak S., 2011. How does research address the design of innovative agricultural production systems at the farm level? A review. Agricultural Systems. 104, 714-728.

Le Gal P.-Y., Merot A., Moulin C.-H., Navarrete M., Wery J., 2010. A modelling framework to support farmers in designing agricultural production systems. Environmental Modelling & Software. 25, 258-268. doi:10.1016/j.envsoft.2008.12.013

Le Roy S., avec la collaboration de Odent B.E., Bouchut J. et Eglin Y., 2007. Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux du département de Côte d'Or. Rapport BRGM/RP-55427-FR.

Lesur C., 2012. Cultiver Miscanthus x giganteus en parcelles agricoles: du diagnostic agro-environnemental à la conception-évaluation ex ante de systèmes de culture à vocation énergétique. Thèse de doctorat AgroParisTech, ABIES, 168 p+ annexes.

Lewandowski I., Clifton-Brown J.C., Scurlock J.M.O., Huisman W., 2000. Miscanthus: European experience with a novel energy crop. Biomass Bioenergy 19, 209-227. doi:10.1016/S0961-9534(00)00032-5

Li R., di Virgilio N., Guan Q., Feng S., Richter G.M., 2013. Reviewing models of land availability and dynamics for biofuel crops in the United States and the European Union. Biofuels, Bioproducts and Biorefining. n/a-n/a. doi:10.1002/bbb.1419

Li R., Guan Q., Merchant J., 2012. A geospatial modeling framework for assessing biofuels-related land-use and land-cover change. Agriculture, Ecosystems & Environment. 161, 17-26. doi:10.1016/j.agee.2012.07.014

Lieber J., 2008. Contributions à la conception de systèmes de raisonnement à partir de cas. Université Henri Poincaré-Nancy I.

Lieber J., d' Aquin M., Brachais S., Napoli A., 2004. Une étude comparative de quelques travaux sur l'acquisition de connaissances d'adaptation pour le raisonnement à partir de cas. Actes 12ème Atelier Raison. À Partir Cas RàPC'04 53-60.

Liu J., Dietz T., Carpenter S.R., Folke C., Alberti M., Redman C.L., Schneider S.H., Ostrom E., Pell A.N., Lubchenco J., 2007. Coupled human and natural systems. AMBIO: A Journal of the Human Environment. 36, 639-649.

Liu T.T., McConkey B.G., Ma Z.Y., Liu Z.G., Li X., Cheng L.L., 2011. Strengths, Weaknessness, Opportunities and Threats Analysis of Bioenergy Production on Marginal Land. Energy Procedia 5, 2378-2386. doi:10.1016/j.egypro.2011.03.409

López de Mántaras R., McSherry D., Bridge D., Leake D., Smyth B., Craw S., Falting B., Maher M.L., Cox M.T., Forbus K., Keane M.T., Aamodt A., Watson I., 2005. Retrieval, reuse, revision and retention in case-based reasoning. Knowledge Engineering Review, 20(3):215-240. 7, 15, 131

Lovett A.A., Sünnenberg G.M., Richter G.M., Dailey A.G., Riche A.B., Karp A., 2009. "Land use implications of increased biomass production identified by GIS-based suitability and yield mapping for Miscanthus in England". BioEnergy Research, Vol.2, p. 17-28.

Marie M., 2009. Des pratiques des agriculteurs à la production de paysage de bocage. Étude comparée des dynamiques et des logiques d'organisation spatiale des systèmes agricoles laitiers en Europe (Basse-Normandie, Galice, Sud de l'Angleterre). Université de Caen.

Marie M., Le Gouée P., Bermond M., 2008. "De la terre au sol: des logiques de représentations individuelles aux pratiques agricoles. Etudes de cas en Pays d'Auge (Basse-Normandie)". Etude et Gestion des sols, INRA, No. 1, 19-35.

Martin L., Le Ber F., Wohlfahrt J., Bocquého G., Benoît M., 2012. Modelling farmers' choice of miscanthus allocation in farmland: a case-based reasoning model. 2012 International Congress of Environmental Modelling and Software. Managing Resources of a Limited Planet, Sixth Biennial Meeting, Leipzig, Germany, Seppelt R., Voinov A.A., Lange S., Bankamp D. (Eds.)

Mathieu A., Thinon P. et Havet A., 2005. Les enquêtes en exploitation agricole sur les usages du territoire, in Agricultures et Territoires, Ed. Laurent C. et Thinon P., Hermès Science, Lavoisier, pp. 93- 113

Matthews R.B., Gilbert N.G., Roach A., Polhill J.G., Gotts N.M., 2007. Agent-based land-use models: a review of applications. Landscape Ecology. 22, 1447-1459. doi:10.1007/s10980-007-9135-1

Maxime F., Mollet J.M., Papy F., 1995. Aide au raisonnement de l'assolement en grande culture. Cahiers Agricultures. 4:351-362.

Menter H., Kaaria S., Johnson N., Ashby J., 2004. Scaling up. In Pachico D., Fujisaka S. (Eds.), Scaling up and out: achieving widespread impact through agricultural research - Vol. 3. CIAT, chapitre 1 : p. 9-23

Metzger J.-L., 2005. Contribution à l'élaboration d'un modèle de Raisonnement à Partir de Cas pour l'aide à l'interprétation d'organisations spatiales agricoles. Université Henri Poincaré - Nancy I.

Meynard J.M., Aggeri F., Coulon J.B., Habib R., Tillon J.P., 2006. Recherches sur la conception de systèmes agricoles innovants. Rapport groupe travail.

Meynard J.-M., Messéan A., Charlier A., Charrier F., Fares M., Le Bail M., Magrini M.-B., Savini I., 2013. Freins et leviers à la diversification des cultures : étude au niveau des exploitations agricoles et des filières. OCL 20, D403. doi:10.1051/ocl/2013007

Mignolet C., 2008. Modélisation de l'organisation spatiale des systèmes agricoles et de son évolution dans des démarches d'appui au développement. PhD thesis, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech).

Mille A., 2006. From case-based reasoning to traces-based reasoning. Annual Reviews in Control. 30, 223-232.

Milleville P., 1987. Recherches sur les pratiques des agriculteurs. Les cahiers de la Recherche Développement. 16, 3-7.

Monforti F., Bódis K., Scarlat N., Dallemand J.-F., 2013. The possible contribution of agricultural crop residues to renewable energy targets in Europe: A spatially explicit study. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 19, 666-677. doi:10.1016/j.rser.2012.11.060

Morlon P., Benoit M., others, 1990. Etude méthodologique d'un parcellaire d'exploitation agricole en tant que système. Agronomie 10, 499-508.

Morlon P., Trouche G., 2005. Nouveaux enjeux de la logistique dans les exploitations de grande culture. Cahiers Agricultures. 14, 305-311.

Mota J.S., Câmara G., Fonseca L.M., Escada M.I.S., Bittencourt O.O., 2008. Applying case-based reasoning in the evolution of deforestation patterns in the Brazilian Amazonia.

Musters C.J.M., De Graaf H.J., Ter Keurs W.J., 1998. Defining socio-environmental systems for sustainable development. Ecological Economics. 26, 243-258.

Naïtlho M., Lardon S., Yotte M., 2003. Approche spatiale de l'exploitation agricole : modélisation de l'organisation spatiale d'une exploitation. Educagri Editions.

Ostwald M., Jonsson A., Wibeck V., Asplund T., 2013. Mapping energy crop cultivation and identifying motivational factors among Swedish farmers. Biomass Bioenergy 50, 25-34.

Osty P.-L., 1976. "L'exploitation agricole vue comme un système". Contribution aux journées de la Société Française d'Economie Rurale. 27-28 octobre.

Osty P.-L., Le Ber F., Lieber J., 2008. Raisonnement à partir de cas et agronomie des territoires. Revue d'anthropologie des connaissances. Vol. 2, n° 2, 169-193. doi:10.3917/rac.004.0169

Otman G., 1997. Terminologie de l'Intelligence Artificielle avec index anglais-français. La maison du dictionnaire.

Overmars K.P., Verburg P.H., Veldkamp A., 2007. Comparison of a deductive and an inductive approach to specify land suitability in a spatially explicit land use model. Land Use Policy 24, 584-599. doi:10.1016/j.landusepol.2005.09.008

Papy F., Torre A., 2003. Quelles organisations territoriales pour concilier production agricole et gestion des ressources naturelles ? (à partir de questions d'agronomie et d'économie). Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement. 1, 151-169.

Parker D.C., Entwisle B., Rindfuss R.R., Vanwey L.K., Manson S.M., Moran E., An L., Deadman P., Evans T.P., Linderman M., others, 2008a. Case studies, cross-site comparisons, and the challenge of generalization: comparing agent-based models of land-use change in frontier regions. Journal of Land Use Science. 3, 41-72.

Parker D.C., Hessl A., Davis S.C., 2008b. Complexity, land-use modeling, and the human dimension: Fundamental challenges for mapping unknown outcome spaces. Geoforum 39, 789-804. doi:10.1016/j.geoforum.2007.05.005

Paulrud S., Laitila T., 2010. Farmers' attitudes about growing energy crops: A choice experiment approach. Biomass Bioenergy 34, 1770-1779. doi:10.1016/j.biombioe.2010.07.007

Petit M., 1981. "Théorie de la décision et comportement adaptatif des agriculteurs". Formation des agriculteurs et apprentissage de la décision. ENSSAA-INPSA-INRA-INRAP, p. 1-36.

Pointereau P., Bochu J-L., Couturier C., Coulon F., Arnal A., Giorgis S., 2009. Les impacts environnementaux et paysagers des nouvelles productions énergériques sur les parcelles et bâtiments agricoles. SOLAGRO, Agences Paysages, rapport final, 152 p.

Py M., 1994. Un modèle conceptuel de raisonnement par analogie. Revue d'intelligence artificielle, 8 :63-99, 1994.

Rajagopal D., Sexton S.E., Roland-Holst D., Zilberman D., 2007. Challenge of biofuel: filling the tank without emptying the stomach? Environmental Research Letters. 2, 044004. doi:10.1088/1748-9326/2/4/044004

Ram A., Wiratunga N., 2011. Case-Based Reasoning Research and Development: 19th International Conference on Case-Based Reasoning, ICCBR 2011, London, UK, September 12-15, 2011, Proceedings. Springer Science & Business Media.

Recio Garcia J.A., 2008. jCOLIBRI: A multi-level platform for building and generating CBR systems, PhD. Thesis, Universidad Complutense de Madrid, Madrid.

Riesbeck C. K., Schank R. C., 1989. Inside Case-Based reasoning. Lawrence Erlbaum Associates Publishers, Hillsdale, New Jersey.

Rindfuss R.R., Walsh S.J., Turner II B.L., Fox J., Mishra V., 2004. Developing a science of land change: Challenges and methodological issues. PNAS 101.

Rizzo D., 2009. L'analisi agronomico-territoriale nella stima della fragilità agro-ambientale di un paesaggio terrazzato. Thèse en Sciences Agraires, Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa (Italie), 136 p.

Rizzo D., Marraccini E., Lardon S., Rapey H., Debolini M., Thenail C., Benoît M., 2012. How can landscape management be enhanced by farming systems? A landscape agronomy perspective, in: 10th European IFSA Symposium.

Rizzo D., Marraccini E, Lardon S, Rapey H., Debolini M., Benoît M., Thenail C., 2013. Farming systems designing landscapes: land management units at the interface between agronomy and geography. Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography 113:71-86. doi: 10.1080/00167223.2013.849391

Rizzo D., Martin L., Wohlfahrt J., 2014. Miscanthus spatial location as seen by farmers: A machine learning approach to model real criteria. Biomass Bioenergy 66, 348-363. doi:10.1016/j.biombioe.2014.02.035

RMT Biomasse, 2010. Produire, mobiliser et valoriser durablement la biomasse énergie. Kit pédagogique. 69 p.

RMT Biomasse, 2012. Biomasse Energie: le point sur 15 idées reçues. Eléments d'expertise sur la valorisation énergétique de la biomasse agricole. RMT Biomasse Energie Environnement et Territoire. 53 p.

RMT Biomasse, 2013. Le miscanthus. Fiche culture. 10 p.

Rossi A.M., Hinrichs C.C., 2011. Hope and skepticism: Farmer and local community views on the socio-economic benefits of agricultural bioenergy. Biomass Bioenergy 35, 1418-1428. doi:10.1016/j.biombioe.2010.08.036

Rounsevell M.D.A., Pedroli B., Erb K.-H., Gramberger M., Busck A.G., Haberl H., Kristensen S., Kuemmerle T., Lavorel S., Lindner M., Lotze-Campen H., Metzger M.J., Murray-Rust D., Popp A., Pérez-Soba M., Reenberg A., Vadineanu A., Verburg P.H., Wolfslehner B., 2012a. Challenges for land system science. Land Use Policy 29, 899-910. doi:10.1016/j.landusepol.2012.01.007

Rounsevell M.D.A., Arneth A., Brown D.G., de Noblet-Ducoudré N., Ellis E., Finnigan J., Galvin K., Grigg N., Harman I., Lennox J., Magliocca N., Parker D., O'Neil B., Verburg P.H., Young O., 2012b. Incorporating human behaviour and decision making processes in land use and climate system models. GLP Report No. 7. GLP-IPO, São José dos Campos.

Rounsevell M.D.A., Robinson D.T., Murray-Rust D., 2012c. From actors to agents in socio-ecological systems models. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. 367, 259–269. doi:10.1098/rstb.2011.0187

Roussey C., Chanet J., Soulignac V., Bernard S., 2011. Les ontologies en agriculture. Revue des sciences et technologies de l'information. Vol. 16/3, pp.55-84

Rudel T.K., 2008. Meta-analyses of case studies: A method for studying regional and global environmental change. Global Environmental Change 18, 18-25. doi:10.1016/j.gloenvcha.2007.06.001

Schaldach R., Priess J.A., 2008. Integrated models of the land system: a review of modelling approaches on the regional to global scale. Living Reviews in Landscape Research. 2.

Schaller N., 2011. Modélisation des décisions d'assolement des agriculteurs et de l'organisation spatiale des cultures dans les territoires de polyculture-élevage. AgroParisTech.

Schaller N., Martin P., Mari J.-F., Aubry C., Benoît M., 2012. Combining farmers' decision rules and landscape stochastic regularities for landscape modelling. Landscape Ecology. 27, 433-446.

Schank R. C., 1982. Dynamic memory. A theory of reminding and learning in computers and people. Cambridge University Press.

Scharlemann J.P.W., Laurance W.F., 2008. "How green are biofuels". Science, Vol. 319, p. 43-44.

Shastri Y., Rodríguez L., Hansen A., Ting K.C., 2011. Agent-Based Analysis of Biomass Feedstock Production Dynamics. BioEnergy Res. 4, 258-275. doi:10.1007/s12155-011-9139-1

Schnitzler A., 2011. Miscanthus : L'homme cultive-t-il un nouvel envahisseur? Metz- université Paul Verlaine de Metz - Laboratoire des Interactions Ecotoxicologie, Biodiversité, Ecosystèmes (LIEBE), 41p

Sebillotte M., 1990b. Les processus de décision des agriculteurs : conséquences pour les démarches d'aide à la décision, in: J. Brossier, Vissac, B., Lemoigne, J.L. (Ed.), Modélisation systémique et systèmes agraires, INRA Paris. pp. 103-117

Sherrington C., Bartley J., Moran D., 2008. Farm-level constraints on the domestic supply of perennial energy crops in the UK. Energy Policy 36, 2504-2512.

Sherrington C., Moran D., 2010. Modelling farmer uptake of perennial energy crops in the UK. Energy Policy 38, 3567-3578. doi:10.1016/j.enpol.2010.02.034

Shortall O.K., 2013. “Marginal land” for energy crops: Exploring definitions and embedded assumptions. Energy Policy. 62, 19-27

Simon H.A., 1955. A behavioral model of rational choice. The Quaterly Journal of Economics 69:99-118.

Simon D., Tyner W. E., Jacquet F., 2010. "Economic analysis of the potential of cellulosic biomass available in France from agricultural residue and energy crops." BioEnergy Research, Vol. 3, p. 183-193.

Slade S., 1991. Case-based reasoning: A research paradigm. AI magazine. 12, 42.

Smyth B., Keane M.T., 1994. Retrieving adaptable cases. Springer.

Soulard C.T., 2005. La multifonctionnalité de l’agriculture en pratique : étude des relations entre exploitations agricoles et étangs de la Dombes. Cybergeo: European journal of geography. doi:10.4000/cybergeo.6610

Soulard C.T., 2005. Les agriculteurs et la pollution des eaux. Proposition d'une géographie des pratiques. Natures sciences sociétés, 13(2), 154-164.

Spencer J.L., Raghu S., 2009. Refuge or Reservoir? The Potential Impacts of the Biofuel Crop Miscanthus x giganteus on a Major Pest of Maize. PLoS ONE 4, e8336. doi:10.1371/journal.pone.0008336

Stampfl P.F., Clifton-Brown J.C., Jones M.B., 2007. "European wide GIS based modelling system for quantifying the feedstock from Miscanthus and the potential contribution to renewable energy targets". Global Change Biology, Vol. 13, p. 2283-2295.

Tilman D., Socolow R., Foley J.A., Hill J., Larson E., Lynd L., Pacala S., Reilly J., Searchinger T., Somerville C., others, 2009. Beneficial biofuels—the food, energy, and environment trilemma. Science 325, 270.

Turner B.L., Lambin E.F., Reenberg A., 2007. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. Proceedings of the National Academy of Sciences. 104, 20666-20671. doi:10.1073/pnas.0704119104

Turner B.L., Meyer W.B., Skole D.L., others, 1994. Global land-use/land-cover change: towards an integrated study. AMBIO-STOCKHOLM.- 23, 91-91.

Turner II B.L., Kasperson R.E., Meyer W.B., Dow K.M., Golding D., Kasperson J.X., Mitchell R.C., Ratick S.J., 1990. Two types of global environmental change: Definitional and spatial-scale issues in their human dimensions. Global Environmental Change. 1, 14-22.

Valbuena D., Verburg P.H., Bregt A.K., 2008. A method to define a typology for agent-based analysis in regional land-use research. Agriculture, Ecosystems & Environment. 128, 27-36.

Valbuena D., Verburg P.H., Bregt A.K., Ligtenberg A., 2010. An agent-based approach to model land-use change at a regional scale. Landscape Ecology. 25, 185-199.

Valentine J., Clifton-Brown J., Hastings A., Robson P., Allison G., Smith P., 2012. Food vs. fuel: the use of land for lignocellulosic “next generation”energy crops that minimize competition with primary food production. GCB Bioenergy 4, 1-19.

Van Eeckhout L., 2014 (20 août). Ressources naturelles : l'humanité vit « à crédit » pour le reste de l'année. Le Monde. http://www.lemonde.fr/planete/article/2014/08/19/ressources-naturelles-l-humanite-vit-a-credit-pour-le-reste-de-l-annee_4473543_3244.html?xtmc=jour_depassement&xtcr=9

Verburg P.H., 2006. Simulating feedbacks in land use and land cover change models. Landscape Ecology. 21, 1171-1183. doi:10.1007/s10980-006-0029-4

Verburg P.H., Eickhout B., van Meijl H., 2008. A multi-scale, multi-model approach for analyzing the future dynamics of European land use. The Annals of Regional Science. 42, 57-77.

Verburg P.H., Mertz O., Erb K.-H., Haberl H., Wu W., 2013. Land system change and food security: towards multi-scale land system solutions. Current opinion in environmental sustainability. 5, 494-502.

Verburg P.H., Overmars K.P., 2009. Combining top-down and bottom-up dynamics in land use modeling: exploring the future of abandoned farmlands in Europe with the Dyna-CLUE model. Landscape Ecology. 24, 1167-1181. doi:10.1007/s10980-009-9355-7

Verburg P.H., Schot, P.P., Dijst, M.J., Veldkamp, A., 2004. Land use change modelling: current practice and research priorities. GeoJournal 61, 309-324.

Verburg P.H., Soepboer W., Veldkamp A., Limpiada R., Espaldon V., Mastura S.S., 2002. Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S model. Environmental management. 30, 391-405.

Vernier J., 2012. Les énergies renouvelables. Que sais-je, n°3240.

Voinov A., Bousquet F., 2010. Modelling with stakeholders. Environmental Modelling & Software. 25, 1268-1281.

Voiron-Canicio C. (2006). « L'espace dans la modélisation des interactions nature-société ». Actes du Colloque International « Interactions Nature-Société, analyse et modèles », La Baule, 3 - 6 mai 2006, 6 p.

Watson I., 1999. . Knowledge-based systems. 12, 303-308.

Watson I., Marir F., 1994. Case-based reasoning: A review. The knowledge engineering review. 9, 327-354.

Williams P.R.D., Inman D., Aden A., Heath G.A., 2009. "Environmental and Sustainability Factors Associated With Next-Generation Biofuels in the US: What Do We Really Know?" Environmental Science & Technology, Vol. 43, n°13, p. 4763-4775.

Wigboldus S., Leeuwis C., 2013. Towards responsible scaling up and out in agricultural development, Centre for Development Innovation, Wageningen, UR, 77 p.

Xiao Y., Mignolet C., Mari J.-F., Benoît M., 2014. Modeling the spatial distribution of crop sequences at a large regional scale using land-cover survey data: A case from France. Computers and electronics in agriculture. 012, 51-63.

Yin R.K., 2014. Case study research: Design and methods. Sage publications. 312 p.

Young O.R., Berkhout F., Gallopin G.C., Janssen M.A., Ostrom E., van der Leeuw S., 2006. The globalization of socio-ecological systems: An agenda for scientific research. Global Environmental Change. 16, 304-316.

Zandonadi R.S., Luck J.D., Stombaugh T.S., Shearer S.A., 2013. Evaluating field shape descriptors for estimating off-target application area in agricultural fields. Computers and electronics in agriculture. 96, 217-226.

Zub H.W., Brancourt-Hulmel M., 2010. Agronomic and physiological performances of different species of Miscanthus , a major energy crop. A review. Agronomy for sustainable development. 30, 201-214. doi:10.1051/agro/2009034

ANNEXES

Annexe 1 : présentation synthétique du prototype de RàPC 1

Un premier prototype de RàPC pour modéliser l'insertion territoriale du miscanthus a été développé en deuxième année de thèse, dans le cadre d'un stage de master 2 en informatique (Lacheheb, 2012). Ce prototype a été développé en langage java, jusqu'à l'étape de remémoration, à partir de la plateforme logicielle jCOLIBRI (Recio Garcia, 2008). Ce travail s'est inscrit dans la continuité des enquêtes menées en première année de thèse : l'expertise utilisée pour la conception de ce système a donc reposé sur les résultats de ces enquêtes portant sur les déterminants de l'insertion territoriale du miscanthus étudiés au niveau de l'EA (cf. chapitres 4 et 5).

1. Structure du prototype de RàPC 1

1.1. Base de cas

Les résultats des enquêtes 1 nous ont conduits à faire l'hypothèse que le processus de décision de l'insertion territoriale du miscanthus des agriculteurs reposait sur trois niveaux de décision (agriculteur, EA, parcelle) agissant en cascade sur la décision finale de l'insertion territoriale de la culture dans une EA donnée. Dans cette hypothèse, ces 3 niveaux de décision sont dissociés entre eux. Cette hypothèse a en effet été élaborée dans l'objectif de simplifier le processus de décision des agriculteurs pour en permettre la modélisation. Ainsi, le processus de décision des agriculteurs a été conceptualisé en trois étapes et trois niveaux de décision selon la figure I.

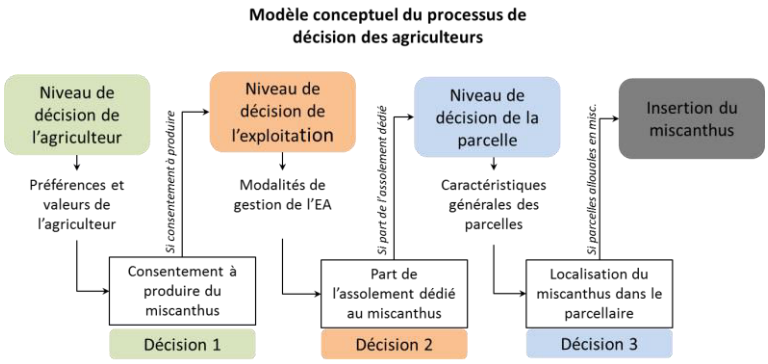


Figure I : modèle conceptuel du processus de décision des agriculteurs issu des enquêtes 1

Nous avons choisi de représenter les cas au niveau de décision de l'EA pour trois raisons.
- La première est que les préférences de l'agriculteur peuvent être rattachées à la description de l'EA.
- La seconde est que la description des parcelles peuvent être agrégée au niveau du parcellaire.
- La troisième est que le processus de décision des agriculteurs, tel que nous l'avons conceptualisé, s'apparente à une prise de décision du haut vers le bas (i.e. de l'EA à la parcelle). Or de nombreux modèles de changement de l'utilisation des terres reposent sur une démarche de changement de niveau descendant (cf. chapitre 2) : à partir de décisions agrégées au niveau englobant, ils réussissent à localiser les changements de l'utilisation des terres au niveau inférieur, ayant alors recours à une désagrégation des processus observés.

Ainsi, le modèle conceptuel du prototype 1 définit **un cas comme étant une exploitation agricole ayant choisi ou non d'implanter du miscanthus**.

EXPLOITATION AGRICOLE (27 attributs)
Activité principale
Agriculture biologique (oui/non)
Agriculture raisonnée FARRE (oui/non)
Mesures Agro-Environnemales (oui/non)
Technique de Conservation du Sol (oui/non)
Diversification (oui/non)
Surface Agricole Utile
Surface en Rotation Culturale (ha) / SAU (ha)
Surface en Prairie Permanente Productive / SAU
Surface en Gel Permanent / SAU
Surface ayant un autre usage / SAU
Surface en Faire Valoir Direct / SAU
Surface en Zone Vulnérable / SAU
Rendement moyen du blé
Nombre de passages de fongicide pour le blé
Nombre de passages d'azote pour le blé
Matériels en commun (oui/non)
Recours à l'entreprise de travauxagricoles
Temps de travail total
Activité hors EA dédiée à l'entreprise de travauxagricoles
Activité hors EA dédiée auxfonctions d'élu
Activité hors EA comme employé
Conjoint travaillant dans l'EA (oui/non)
Succession (oui/non)
Baisse de la consommation énergétique
Production d'énergie pour l'auto-consommation
Production d'énergie pour la vente
CONTRAINTES DE PRODUCTION (3 attributs)
Surface Totale des Ilots Peu Rentables (STIPR) / SAU
Surface Totale des Ilots classés par critères de rentabilité / STIPR
Surface Totale des Ilots classés par critères de rentabilité / SAU
ASSOLEMENT (en cours de traitement)
SOLS (3 attributs)
Surface Agricole Utile classée par type de sol / SAU
Surface Totale des Ilots au sol peu rentable / SAU
Surface Totale des Ilots au sol peu rentable / STIPR classée par type de sol
TRAJECTOIRE PASSEE DE L'EA (2 attributs)
Changement dans le passé (oui/non)
Innovation dans le passé (oui/non)
TRAJECTOIRE FUTURE DE L'EA (1 attribut)
Changement dans le futur (oui/non)

ORGANISATION SPATIALE DE L'EA (18 attributs)
Nombre d'Ilots du parcellaire
Surface Totale des Ilots de taille t1 / SAU
Surface Totale des Ilots de taille t2 / SAU
Surface Totale des Ilots de taille t3 / SAU
Surface Totale des Ilots de taille t4 / SAU
Surface Totale des Ilots de distance d1 / SAU
Surface Totale des Ilots de distance d2 / SAU
Surface Totale des Ilots de distance d3 / SAU
Surface Totale des Ilots de distance d4 / SAU
Surface Totale des Ilots de pente p1 / SAU
Surface Totale des Ilots de pente p2 / SAU
Surface Totale des Ilots de pente p3 / SAU
Surface Totale des Ilots de pente p4 / SAU
Surface Totale des Ilots proches d'un cours deau / SAU
Surface Totale des Ilots proches d'une forêt / SAU
Surface Totale des Ilots enclavés dans une forêt / SAU
Surface Totale des Ilots proches des habitations / SAU
Surface Totale des Ilots enclavés dans les habitations / SAU
t1 < 1 ha ; t2 [1ha, 5 ha[; t3 [5ha,10 ha[; t4 ≥ 10 ha
d1 < 1 km ; d2 [1km, 5km[; d3 [5km,10 km[; d4 ≥ 10 km
p1 < 1 % ; p2 [1%, 5%[; p3 [5%,10 %[; p4 ≥ 10 %

AGRICULTEUR (6 attributs)
Age
Année d'installation
Formation
Nombre d'enfants
Pratique de la chasse
Volonté d'innover (oui/non)
PERCEPTION DU FUTUR (4 attributs)
Evolution de la PAC
Evolution de la demande de biomasse énergie
Evolution du prixdu blé
Evolution du prixdu fioul
PERCEPTION DU MISCANTHUS (3 attributs)
Favorable à l'environnement (oui/non)
Favorable eu temps de travail (oui/non)
Rentable (oui/non)

Tableau I. Description de la partie problème du cas

PRATIQUES DE LOCALISATION DU MISCANTHUS (13 attributs)
Nombre de parcelles de miscanthus
Surface de Miscanthus (SM) totale / SAU
SM classée par l'usage précédent RC, PPP, GP et autre / Surface totale de l'usage correspondant
SM classée par taille de parcelle t1, t2, t3 et t4 / STI (Surface Totale des Ilots) de la classe de taille correspondante
SM en Faire Valoir Direct (FVD1) / Surface en FVD1
SM classé par distance d1, d2, d3 et d4 / STI de la classe de distance correspondante
SM proche d'une forêt / SM totale
SM en parcelles hydromorphes / SM totale
SM classée par pente p1, p2, p3 et p4 / STI de la classe de pente correspondante
SM proche d'un cours d'eau / STI proches d'un cours d'eau
SM en zone vulnérable / Surface totale en zone vulnérable
SM proche des habitations / STI proches des habitations
SM classée par type de sol / Surface Agricole Utile classée par type de sol correspondant

Tableau II. Description de la partie solution du cas

Le cas est ainsi composé d'un problème qui décrit la gestion de l'EA (assolement, effectifs du troupeau), la structure du parcellaire (proportions de terres éloignées, de parcelles inférieures à 1 ha etc.) et les caractéristiques de l'agriculteur (âge, responsabilités professionnelles, etc.). La solution du cas décrit les décisions d'insertion territoriale du miscanthus des EA. Ces décisions ont elles aussi été agrégées à ce niveau. En effet, décrire le problème au niveau de l'EA ne nous aurait pas empêchés de décrire la solution au niveau de la parcelle (par exemple). Mais puisque l'adaptation de la solution dépend de la distance entre les problèmes, il nous a semblé plus judicieux de décrire la solution sur le même niveau de décision. Ainsi, la solution exprime les décisions d'insertion territoriale du miscanthus par des taux d'insertion de la culture exprimés en fonction de la SAU et de la surface totale des autres descripteurs du parcellaire, telles que la surface totale des terres éloignées, etc.

Dans le prototype de RàPC 1, un cas est donc composé de 80 variables : 67 pour la partie problème et 13 pour la partie solution (cf. tableaux I et II). Ces variables proviennent d'une base de données d'enquêtes de Boquého (2012) dite GB2012. Elles ont été choisies par expertise, parmi 552 variables enquêtées par Boquého (2012).

1.2. Démarche générale de résolution du problème

Dans ce premier prototype, le processus de résolution du système, *i.e.* le processus de détermination de l'insertion potentielle du miscanthus dans le territoire d'une EA, a été conçu en reproduisant le processus de décision des agriculteurs mis en avant à l'issue des premières enquêtes, selon le schéma suivant.

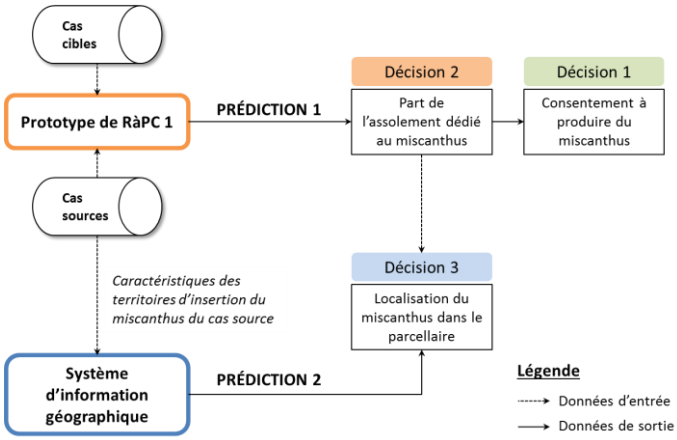


Figure II : modèle conceptuel de résolution de problème du prototype de RàPC 1

En effet, par la remémoration et la réutilisation de la solution du cas remémoré, le système de RàPC 1 propose des taux d'insertion territoriale du miscanthus, correspondant ainsi aux deux étapes du processus de décision des agriculteurs. C'est ensuite par la projection du parcellaire du cas cible dans un système d'information géographique que l'utilisateur identifie de manière spatialement explicite les parcelles potentiellement allouables en miscanthus, correspondant à la troisième étape du processus de décision des agriculteurs.

1.3. Processus de remémoration

La remémoration du cas source s'est faite par la recherche des plus proches voisins, consistant à identifier un cas de la base de cas, où dans un espace donné, les attributs du problème sont les plus proches des attributs du problème cible. L'algorithme utilisé est l'algorithme de classification k-NN.
Le calcul de distance entre les attributs quant à lui, a été établi à partir de fonctions prédéfinies par la plateforme jCOLIBRI selon le type de données à traiter (cf. figure III). Ces fonctions permettent de comparer des chaînes de caractères et des attributs numériques. Pour tester l'effet des attributs du problème (sélectionnés dans un premier temps par expertise et dont la sélection nécessite selon nous d'être affinée pour réduire le bruit d'une trop grande sélection d'attributs), nous avons établi une pondération des attributs, ajustable par l'utilisateur *via* des curseurs de poids (cf. figure III). Par défaut, tous les calculs de distance ont le même poids.

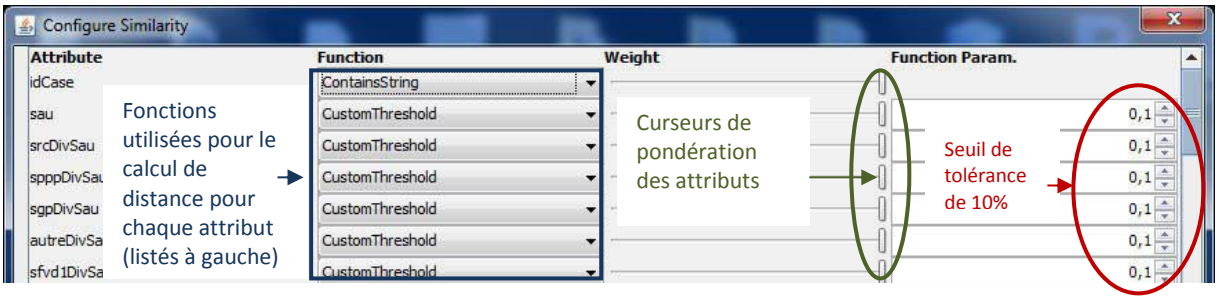


Figure III : copie d'écran de la requête de remémoration proposée à l'utilisateur du modèle

Pour la distance sur les attributs numériques, nous avons établi un seuil de tolérance pouvant être ajusté par l'utilisateur ; par défaut celui-ci est fixé à 10% (cf. figure III). Cela signifie par exemple, que pour une SAU du cas cible égale à 100ha, la SAU des cas sources les plus proches du cas cible sera celle comprise entre 90 et 110ha.

Pour la distance sur les attributs textuels, cette mesure considère un objet proche d'un autre en fonction de la longueur de la chaîne de caractères qu'ont ces objets en commun. Cette mesure ne prend pas en compte la sémantique des objets. Or compte tenu de la diversité des objets possibles pour décrire chaque attribut (ex : pour l'attribut sol, la base de données GB2012 contient plus de 121 objets différents), une mesure reposant sur une matrice de similarité entre la sémantique des objets nous est apparue plus pertinente.

Pour ce faire, nous avons cherché à classer les objets entre eux par une ontologie. Mais deux problèmes, l'un d'ordre conceptuel et l'autre d'ordre informatique, ne nous ont pas permis d'implanter d'ontologies dans le prototype 1 à ce jour.
En effet, pour l'attribut sol, nous avons par exemple construit une première ontologie où les arcs représentent une relation de subsomption entre concepts (du type « argile » est plus générale que « argile noire » et « argile noire » est un type « d'argile »). Mais, la description des sols par les termes vernaculaires utilisés par les agriculteurs, ne nous a pas permis de finaliser cette ontologie. Une expertise auprès de la Chambre d'agriculture régionale de Bourgogne, nous a permis d'obtenir une nomenclature des sols, classés en 20 classes avec pour certaines des noms locaux associés. Nous avons alors cherché les correspondances entre les noms locaux issus de la nomenclature et ceux de GB2012 et n'avons pas réussi à classer l'ensemble des données GB2012. D'autre part, nous nous sommes confrontés à un problème de développement informatique qui n'a pas pu être résolu durant le stage du développeur.

2. Jeu de données expérimental

Initialement, nous voulions construire le prototype 1 à partir des 10 cas enquêtés en première année. Mais le trop grand contraste entre ces cas en termes de *problème* (ex : activité du cas) et de *solution* (adoption et localisation du miscanthus) nous laissait présager une calibration du modèle difficile et non pertinente. Les mesures de similarité et règles d'adaptation risquaient en effet d'être trop complexes et spécifiques aux grandes distances existantes entre ces cas. Parallèlement, nous avons obtenu la base de données d'enquêtes de Bocquého (2012).

L'échantillon d'enquêtes étant représentatif (111 agriculteurs) des agriculteurs de la zone d'étude, nous avons sélectionné 10% de cet échantillon d'enquêtes pour constituer la base de cas du modèle. Dans le prototype, la base de cas est donc constituée de 12 cas, représentatifs des adoptants et des non adoptants de miscanthus de la zone d'étude. En effet, nous les avons sélectionnés par la méthode des K-médoïdes, consistant à sélectionner les individus les plus proches du point central de chacune des deux classes (adoptant, non adoptant), cette méthode étant moins sensible au bruit et aux valeurs aberrantes. Pour cette sélection, nous avons utilisé l'algorithme PAM (Partitioning Around Medoids).

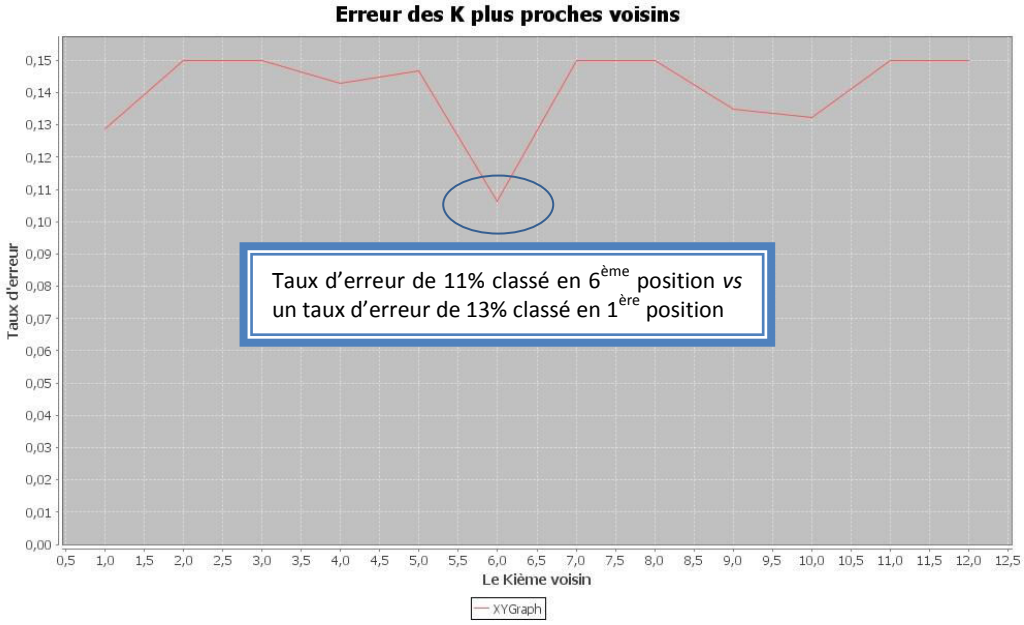
En revanche, l'utilisation potentielle des autres enquêtées (les 99 restants) comme des cas cibles pour calibrer et valider le modèle, n'a pas été possible dans le présent prototype. En effet, dans la base de données les agriculteurs enquêtés ont été amenés à décrire les caractéristiques de certaines parcelles de l'exploitation agricole (celles jugées marginales et celles où le miscanthus a été localisé) ainsi qu'à décrire l'organisation

spatiale du parcellaire en renseignant des surfaces et des proportions du parcellaire, mais ceci, sans qu'une géolocalisation de ces surfaces ne soit faite. Or pour identifier les parcelles du cas cible correspondant aux critères d'implantation de cas source, il est nécessaire de travailler avec un parcellaire.

Dans un souci d'échéance, nous avons donc préféré calibrer le modèle à partir de cas cibles provenant des données d'enquêtes de première année pour lesquelles nous disposions d'information géolocalisée pour 3 cas cibles. Nous avons ainsi calibré le modèle à partir de **3 cas cibles** et **12 cas sources**.

3. Evaluation

Les résultats de la remémoration sont représentés dans le graphique 1. L'abscisse représente le classement fait par le modèle des 12 cas de la base, du plus proche au plus éloigné du cas cible (NB : contrairement à l'affichage obtenu, les valeurs en abscisses correspondent à des entiers). Ce classement a son importance quand l'utilisateur demande par exemple de connaître la solution des 3 premiers cas sources les plus proches du cas cible. L'axe des ordonnées quant à lui représente le taux d'erreur entre la *solution* prédite (taux d'implantation du miscanthus du cas source) et la valeur réelle d'implantation du miscanthus du cas cible. Ainsi, plus le cas source est proche du cas cible, plus le taux d'erreur doit être faible. Or ce graphique montre que le classement des cas sources du plus proche au plus éloigné ne coïncide pas avec une évolution exponentielle du taux d'erreur. Nous observons en effet un décrochement important de la courbe pour le cas source 6 qui présente le plus faible taux d'erreur parmi tous les cas sources de la base (cf. graphique I).



Graphique I : classement des cas sources fait par le modèle en fonction du taux d'erreur entre la valeur réelle et la valeur prédite du taux d'implantation du miscanthus

Annexe 2 : guides d'entretien des enquêtes 1 au niveau de l'EA

Exemple pour les planteurs de miscanthus

Pour commencer, je vous propose de revenir au début, au moment où vous vous êtes décidé à mettre en place une culture énergétique pérenne comme le miscanthus et de vous laisser ensuite raconter les choses.

Déterminants de l'adoption du miscanthus et autres cultures énergétiques pérennes

Comment vous est venue l'idée de mettre en place une culture énergétique pérenne ?
Racontez-moi comment ce choix s'est fait?

- Objectifs initiaux de l'EA et son fonctionnement
- Perceptions des facteurs incitatifs et limitants (productions et objectifs de l'EA, conditions techniques et organisationnelles, etc.)

Questions subsidiaires :

1. Est-ce que vous pourriez me présenter ce qui a été fait dans le cadre du PRN sucre ?
   - Actions : qui, quand, par quels moyens, quelles sont les personnes concernées ?
   - Relations entre ces personnes : quand, contexte et pourquoi.
2. Les cultures énergétiques, est-ce que c'était la première fois que vous en entendiez parler ?
3. Que pensiez-vous du dispositif mis en place dans le cadre du PRN sucre ? Aujourd'hui ?

Insertion des cultures énergétiques pérennes et répercussions pour l'EA

Pouvez-vous m'expliquer comment est-ce que vous avez inséré les cultures énergétiques pérennes et ce que cela a éventuellement changé dans la gestion de votre exploitation, dans votre façon de travailler ?

- Moyens (achat de matériel, réorganisation des rotations et de l'assolement, etc.)
- Pratiques et localisation
- Répercussions : économiques, conseil, travail collectif, réseau social, organisation spatiale

Approfondir les répercussions (positives ou négatives) en saisissant les objectifs de l'agriculteur.
Recueillir l'organisation spatiale de l'exploitation (dessin)

Raisonnement de l'organisation spatiale de l'exploitation agricole

Pouvez-vous m'expliquer comment vous choisissez l'assolement de votre EA ? Par exemple, où est-ce que vous avez localisé vos pâtures (ou certaines cultures) et pourquoi ?

- Pâtures vs SCOP
- Cultures alimentaires vs énergétiques
- Cultures énergétiques annuelles et pluriannuelles vs pérennes

➲ *Si le fonctionnement de l'EA est déterminant, bien faire préciser :*
- *objectifs d'EA (production, conduite du troupeau/des cultures)*
- *pratiques et organisation du travail dans leur dimension spatiale*

➲ *Si conditions biophysiques des soles, bien recueillir le vocabulaire employé*

Quelles rotations suivez-vous ? Pourquoi ?
Vos rotations et votre assolement vous semblent-ils bien adaptés? En êtes-vous satisfait ?

Est-ce que le choix de la localisation des cultures énergétiques pérennes a été facile pour vous ?
En êtes-vous satisfait ?

Perception des cultures énergétiques, de l'environnement et du paysage

Pouvez-vous me décrire un territoire qui vous semblerait le plus adapté pour insérer des cultures énergétiques pérennes ?

- Critères (de localisation)
- Organisation idéale entre acteurs

Questions subsidiaires

1. Que pensez-vous des potentialités de votre territoire ?
2. En dehors de votre exploitation, dans le village voire même dans la région, où verriez-vous s'implanter des cultures énergétiques pérennes ? (photos satellitaires)
3. Comment visualisez-vous dans le futur, l'environnement de votre exploitation et le paysage qui vous entourent ? Par exemple, est-ce que vous pensez que le développement des cultures énergétiques pérennes va modifier le territoire ?

Quelle vision avez-vous du métier d'agriculteur de demain ? Quelles perspectives pour l'EA ?
Enfin que pensez-vous des cultures énergétiques et des cultures énergétiques pérennes ?

Relations de l'agriculteur

Pourriez-vous me citer 3-4 personnes avec lesquelles vous êtes plus particulièrement en relation et avec lesquelles vous allez parler de votre travail d'agriculteur ?

Fiche d'exploitation

Présentation de l'exploitation :

- Statut juridique (GAEC, SARL, individuel) : ……
- Main d'œuvre :

Nom - Prénom Age	Statut et travail réalisé dans l'exploitation	Niveau d'études et expériences antérieures

Date d'installation et SAU à l'installation : ……

Evolution de l'activité depuis installation : ……
……
……
……
……

Responsabilités professionnelles (élu) et adhésions à des organismes agricoles : ……
……
……
Responsabilité communale : ……
Implication dans des associations extra-professionnelles : ……

Description de l'exploitation :

SAU actuelle : …… Surface actuelle dédiée aux cultures énergétiques pérennes : ……
Nb de parcelles dédiées aux cultures énergétiques pérennes, année et modalités d'implantation : ……
……
……
……

Assolement (récolte 2011) :
Prairies temporaires : …… Prairies permanentes : …… Maïs fourrage et ensilage : ……
Céréales : …… Colza : …… Autres : ……
……
……

Troupeau allaitant / laitier (quota : ……) Race : ……
Nb vaches mères : …… Nb génisses pour renouvellement : ……
Type de production : broutards …… taurillons …… bœufs ……
Autres productions : ……

Adhésion à des organismes :
- intrants : ……
- commercialisation de la viande : ……
- commercialisation des céréales : ……
- autres : ……
- marché à thermes : ……

Situation familiale : ……
Niveau d'études et profession du conjoint : ……
Profession des parents (si non agriculteurs) : ……

Annexe 3 : Extraits de discours des enquêtes 2

ID îlot	VARIABLE	DESCRIPTION DE LA VARIABLE (*DISCOURS*)	PERCEPT°	DESCRIPTION DE LA PERCEPTION	POTENTIEL AGRONOMIQUE		
					USAGE ET REGLES	RDT	DESCRIPTION
36,5ha	**sol** argilo-limoneux	"argilo-limoneux", "[...] vous avez le côté droit de la parcelle qui est plus limoneux que le côté gauche" [donc limoneux et plutôt argilo-limoneux sur la partie ouest]	A	"c'est ça le pb, c'est que vous avez le côté droit de la parcelle qui est plus limoneux que le côté gauche. La parcelle actuellement elle est coupé en deux de toute facon"	"blé à gauche sur 18,36ha et orge de printemps sur le reste: 18,10ha"	80qtx de blé / 45qtx de colza	"c'est bon. C'est une bonne parcelle, 100qtx de blé à l'ha, ce n'est pas tous les ans qu'on les fait, cette année c'était une année exceptionnelle. En moyenne on est à 80qtx/ha. Colza, aucun souci, cette année on fait 45qtx"
	obstacle dans la parcelle	"un pilone électrique"	N	"dans la grande parcelle à côté [36,5ha], il y en a un aussi, mais un pilone sur 36ha ce n'est pas gênant"			
4,06ha	**sol** argileux	"argileux"	A				
	obstacle dans la parcelle	"on a deux pilones électriques"	C	"la contrainte, c'est que l'on a deux pilones électriques dedans, c'est tout" / "dans la grande parcelle à côté, il y en a un aussi, mais un pilone sur 36ha ce n'est pas gênant, mais deux pilones dans 4, c'est beaucoup plus embêtant. Bon c'est la seule contrainte que l'on ait quoi"			"bonne parcelle" / "bons rendements"
	forme	"c'est des petits coins et recoins"	C	"et puis le faite que c'est des petits coins et recoins mais ça de toute façon... La forme on va dire, mais bon après..." / "c'est comme ça"			
5495471	**sol** argilo-calcaire	"c'est argileux, argileux calcaire-sableux quoi" / "il y a un peu de sable à des endroits mais enfin c'est argilo-calcaire"	N	"c'est déjà un peu moins bon" / "c'est dû [potentiel moyen] au type de sol, car c'est à plat, c'est tout à plat ["De toute façon ici, il n'y a que des champs à plat. Ça commence à monter au desus de la carrière à l'ouest, mais ici c'est tout à plat"]		70-80qtx de blé	"c'est moyen. Cela ne vaut pas ce que l'on avait vu avant" /
	fome	"elle est comme elle est" / "ça fait des coins"	C	" Le seul truc, c'est que c'est plus contraignant à travailler car ça fait des coins c'est tout. Mais après..."			
	voisinage d'habitations	"il y a un petit jardin au milieu, d'un habitant"	N	"Non, aucun problème de voisinage"			
5495551	**sol** limono-argileux	"limons argileux"	A	"autrement [que les puits] il n'y a acune contrainte sur la parcelle"			
	protect° environnementale: périmètre de protection de captage d'eau potable	"il y a le puits de captage à côté, on est dans la zone la plus à l'extérieur du puits de captage" / "c'est la seule que j'ai par rapport au puits de captage, car le puits se trouve à l'est [à la pointe la plus claire car il y a les bois]. Mais comme ils sont à je ne sais pas combien de profondeur les puits, les zones de protection je veux dire, de toute façon, ce n'est pas nous les intrants que l'on va mettre sur les parcelles à 500m à vol d'oiseau qui... le temps que cela descende dans la nappe qu'ils pompent... ça va pê descendre mais 50m plus bas" /	C	"la seule contrainte que l'on a, on va dire" / "actuellement on n'a aucune contrainte dessus, mais un jour ça pourra pê changer, on ne sait pas. Et puis ils avaient la bonne idée de couper la parcelle en deux dans le sens de la diagonale [SO au NE]"		80qtx de blé	"bonnes terres" / "80qtx de blé sans aucun pb"
	forme		N	"la forme de toute façon..." / "autrement [que les puits] il n'y a acune contrainte sur la parcelle"			
5495473	**sol** argilo-sableux	"argilo calcaire... enfin argilo-sableux même" / "on a des grosses veines de sable"	C	"une année sèche, on est plus pénalisé sur une parcelle comme ça que sur une autre parcelle" / "les années où il pleut, il n'y a pas de souci quoi"			"elle est un petit peu moins bonne, donc mettez moyenne. Après je veux dire... ca dépend des années" / "des années comme 2003, vous allez descendre jusqu'à 60qtx de blé"
5495345	**sol** argilo-calcaire	"argilo-calcaire sur l'ensemble. C'est homogène".	A				
5495490	**taille** grande		N	"coupée en 2 car ça fait quand même des parcelles... bon ça se fait des parcelles de 30ha, mais bon après... c'est plus par rapport à la rotation. Là elle est coupée en deux [N au S] à partir du cran. Il y a une partie qui fait 15,5 et une autre 14,60 et puis voilà"		80qtx	"très bonne parcelle" / "bonne parcelle. Bon rdt" / "80 sur une moyenne de 10 ans. Après c'est sûr que cette année, on en a fait 100 ici donc... mais ce n'est pas tous les ans, malheureusement"
	sol argileux	"argileux"	A	"aucune contrainte"			
5495343	**voisinage**	"au bout c'est une bassin de rétention de l'autoroute	N		"comme pour le restant de l'exploitation"		"c'est des très bonnes terres aussi. C'est le même type de terRes qu'à côté"
	forme		N	"elle est comme ça. Ça ne pose pas de pb spécifique pour la faire"			
5495346	**sol** sableux	"argilo-sableux, très sableux même" / "on voit bien la veine de sable, la veine qui monte dessus"	C	"rdt c'est moyen car c'est vraiment du argilo-sableux, très sableux même. Une année sèche, on se ramasse une gamelle, chaque fois"			"rdt c'est moyen" / "en sachant que une année comme cette année, on fait des très bons rdts, c'est comme tout"
5495348	**sol** argileux	"argileux"	A		"même rotation"		"très bon rdt"
	accès		N	"pas de contraintes d'accès"			
5495491	**sol** argilo-calcaire séchant	"argilo-calcaire. Ce que nous on va appeler terres rouges ici, terres à vigne quoi. C'est de l'argilo-calcaire. C'est des terres qui n'ont pas de fond, qui sont plus légères, quoi. Ce n'est pas des terres comme celle que l'on voyait tout à l'heure qui ont des veines de sable. Là, il n'y a pas de veines de sable mais il y a moins de terre en dessous. Il y a moins d'épaisseur de terres arables, de terres cultivables quoi"	C	"on la cultive pareil. Après bon, des années comme cette année ça va très bien et puis après des années comme l'année dernière, on se ramasse complètement" / "donc plus séchant qu'en temps de sécheresse. De toute façon, si tôt que l'on a un coup de sec, ça marque tout de suite"		50qtx de blé / 80qtx d'orge d'hiver	"donc potentiel moyen. Oui, sur une moyenne de 10 ans c'est moyen. L'année dernière on faisait 50qtx de blé quoi. Et puis cette année, on avait de l'orge d'hiver, on a fait 80qtx d'orge d'hiver"
	forme	"c'est des vignes" / "au milieu des vignes" / "on est enclavé au milieu des vignes. Bon, des coins, des recoins..."	C	"c'est un peu la contrainte" / "ça fait une contrainte automatiquement"			

Annexe 4 : exemples de sorties du prototype SAMM (extrait des résultats du test 1)

Identifiant Cas Cible	Identifiant Cas Source	Solution Cas Source	Distance Globale Index	Distance Min Index	Distance Max Index	Distance Globale Pb	Distance Min Pb	Distance Max Pb	Nb Attributs Comparés Index	Nb Attributs Comparés Pb	Nb Attributs Comparés Index / Nb Attributs Index	Remémoration Cas Source	Valeur de l'adaptation
anonyme	anonyme	2	5.0	5	5	1.6666666	0	5	1	3	0.03125	0	
anonyme	anonyme	2	5.0	5	5	5.0	5	5	1	2	0.03125	0	
anonyme	anonyme	1	5.0	5	5	2.5	0	5	2	4	0.0625	0	
anonyme	anonyme	2	12.5	5	20	7.0	0	20	2	5	0.0625	0	
anonyme	anonyme	1	5.0	5	5	3.3333333	0	5	2	3	0.0625	0	
anonyme	anonyme	1	12.5	5	20	12.5	5	20	2	2	0.0625	0	
anonyme	anonyme	1	12.5	5	20	12.5	5	20	2	2	0.0625	0	
anonyme	anonyme	1	12.5	5	20	12.5	5	20	2	2	0.0625	0	
anonyme	anonyme	2	5.0	5	5	5.0	5	5	1	1	0.03125	0	
anonyme	anonyme	2	5.0	5	5	5.0	5	5	1	1	0.03125	0	
anonyme	anonyme	1	12.5	5	20	8.333333	0	20	2	3	0.0625	0	
anonyme	anonyme	2	5.0	5	5	5.0	5	5	1	1	0.03125	0	
anonyme	anonyme	1							0	3	0.0	0	
anonyme	anonyme	2	0.0	0	0	6.6666665	0	20	1	3	0.03125	0	
anonyme	anonyme	1							0	3	0.0	0	
anonyme	anonyme	1							0	3	0.0	0	
anonyme	anonyme	1							0	2	0.0	0	
anonyme	anonyme	1							0	2	0.0	0	
anonyme	anonyme	2	5.0	5	5	2.5	0	5	1	2	0.03125	0	
anonyme	anonyme	2	5.0	5	5	1.6666666	0	5	1	3	0.03125	0	
anonyme	anonyme	2							0	2	0.0	0	
anonyme	anonyme	1	0.0	0	0	0.0	0	0	1	3	0.03125	1	
anonyme	anonyme	2							0	1	0.0	0	
anonyme	anonyme	1							0	2	0.0	0	
anonyme	anonyme	2							0	2	0.0	0	
anonyme	anonyme	2							0	2	0.0	0	

INDEX DES FIGURES, TABLEAUX, GRAPHIQUES, CARTES ET ENCADRES

Index des figures

Figure 1.1 : Essai de formalisation de l'approche des pratiques des agriculteurs 20
Figure 1.2 : Représentation systémique du fonctionnement d'un territoire agricole bocager 22
Figure 1.3 : Effets de la taille et de la forme de la parcelle sur le temps de travail 24
Figure 1.4 : Représentation de l'organisation d'un parcellaire d'EA 26
Figure 1.5 : Représentation schématique des quartiers centrés autour de chaque point d'eau pour le remplissage du pulvérisateur 26
Figure 1.6 : Paysages simulés pour étudier l'impact paysager du miscanthus sur l'acceptabilité sociale 36
Figure 2.1 : Plan du chapitre 2 40
Figure 2.2 : Représentation schématique du système de l'utilisation des terres 42
Figure 2.3 : Exemples de couplage des systèmes sociaux et environnementaux 42
Figure 2.4 : Représentation schématique des composants des systèmes d'utilisation des terres et des systèmes climatiques à différents niveaux d'organisation 44
Figure 2.5 : Démarches de changement de niveaux d'organisation 46
Figure 2.6 : Structure du modèle de Verburg *et al*. (2008) couplant plusieurs modules appliqués à différents niveaux d'organisation 48
Figure 2.7 : Scenarios utilisés dans le projet EURURALIS 48
Figure 2.8 : Démarche *bottom-up* de Castella *et al*. (2005) 50
Figure 2.9 : Représentation imagée d'un agent en interaction avec son environnement 50
Figure 2.10 : Méthode d'allocation des usines de bioéthanol et de biodiesel de 1er et 2ème génération 54
Figure 2.11 : Méthode d'allocation des cultures énergétiques de 1ère et 2ème génération 54
Figure 2.12 : Résultats de l'allocation des cultures énergétiques de 1 ère et 2ème génération dans le sud-ouest de la France, sous deux scénarios EURURALIS 54
Figure 2.13 : Représentation schématique du réseau de neurones utilisés pour observer les pratiques de localisation des cultures au niveau régional 56
Figure 2.14 : Caractéristiques des modèles couplés 60
Figure 2.15 : Représentation de la complémentarité des résultats des modèles 60
Figure 2.16 : Démarche de recherche sur la contribution du système d'utilisation des terres à la sécurité alimentaire 62
Figure 2.17 : Différences entre *scaling out* par horizontalité et verticalité 64
Figure 2.18 : Proposition d'une alternative au changement de niveau strictement vertical par disséminations horizontale puis verticale des processus de changement de l'utilisation des terres 64
Figure 2.19 : Représentation des processus d'innovation mobilisant le concept de dissémination horizontale 66
Figure 2.20 : Exemples de méthodes de dissémination horizontale employée pour la gestion des ressources naturelles 66
Figure 2.21 : Démarche générale d'élaboration des typologies 68
Figure 2.22 : Présentation des grilles répertoires 68
Figure 2.23 : Cycle de raisonnement à partir de cas 72
Figure 2.24 : Représentation d'un cas dans le système ROSA 72
Figure a : Carré d'analogie (dans encadré) 78
Figure b : Exemple de scripts et de ses spécialisations (dans encadré) 78
Figure 3.1 : Cadre méthodologique du RàPC et techniques associées 79
Figure 3.2 : Hiérarchie partielle des *index* dans une *base de cas* hiérarchique, où les index sont représentés par un trait plein et les cas par un trait pointillé 80
Figure 3.3 : Ontologie du domaine de ROSA 82
Figure 3.4 : Fonction d'influence déterminant le prix d'une voiture cible en fonction de l'écart de son kilométrage avec une voiture source 84
Figure 3.5 : Règles d'adaptation du prix de vente d'une voiture 84
Figure 3.6 : Décomposition des tâches du module de raisonnement à partir de cas 85

Figure 3.7 : Typologie des méthodes d'adaptation rencontrée dans la littérature 86
Figure 3.8 : Adaptation par chemins de similarité 86
Figure c : Interface graphique du système FRAKAS (dans encadré) 90
Figure d : Elicitation du type de sauterelle du système CARMA (dans encadré) 90
Figure 3.9 : Processus d'enrichissement continu des connaissances existantes et nouvelles pour la gestion durable des pâturages 92
Figure 3.10 : Visualisation d'un cas 94
Figure 3.11 : Démarche générale du système CARMA 96
Figure 3.12 : Extrait de discours entre agronomes et informaticiens lors de la modélisation du domaine 99
Figure 3.13 : Panorama des principales approches d'acquisition de connaissances 100
Figure 3.14 : Exemple de cas pour lequel un point de vue d'attrait des brebis est présent 100
Figure 4.1 : Positionnement scientifique de la thèse parmi quatre communautés de recherche 106
Figure 4.2 : Processus itératif d'acquisition des connaissances nécessaires au développement du prototype 2 (SAMM) présenté dans cette thèse 108
Figure 4.3 : Les 4 régions naturelles de Côte-d'Or et ses petites régions naturelles 114
Figure 4.4 : Caractéristiques climatiques de la station de Dijon-Longvic 115
Figure 5.1 : Dessin de son parcellaire par un enquêté 124
Figure 5.2 : Représentation du territoire d'insertion du miscanthus enquêté 132
Figure 5.3 : Représentation des changements de pratiques de localisation du miscanthus d'un territoire réel à un territoire idéal 132
Figure 6.1 : Représentation schématique de l'intérêt des EA *a priori* similaires pour partie afin de reconstituer les relations de dépendance entre le problème et la solution des cas 140
Figure 6.2 : Schéma général du croisement d'informations de quatre sources de données permettant la géolocalisation de 63 parcellaires d'EA 142
Figure 6.3 : Schéma général d'échantillonnage des EA des enquêtes 2 143
Figure 6.4 : Représentation schématique de la formalisation des deux discours extraits des entretiens 146
Figure 6.5 : Processus d'élaboration et de catégorisation des variables décisionnelles issues des 144 règles de décision des enquêtés 150
Figure 6.6 : Référentiels et points de vue décisionnels liés à l'insertion territoriale du miscanthus 157
Figure 7.1 : Représentation schématique des étapes automatisées (A) et manuelles (M) du cycle de RàPC du prototype SAMM 172
Figure 7.2 : Représentation schématique de la description générale des cas 172
Figure 7.3 : Processus d'indexation des cas de la base 174
Figure 7.4 : Représentation schématique du processus d'appariement des cas sources 176
Figure 7.5 : Environnement de mise en œuvre du prototype SAMM 178
Figure 7.6 : Démarche de définition d'un cas s'appuyant sur les processus de décision des agriculteurs 180
Figure 7.7 : Elaboration de la matrice de similarité du prototype SAMM 184
Figure 7.8 : Exemples d'élaboration de matrices de distance selon différents points de vue 185
Figure 7.9 : Illustration de la procédure de remémorations du prototype SAMM à partir d'un exemple 186
Figure 7.10 : Illustration de la procédure de remémorations du prototype SAMM à partir d'un exemple 188
Figure 7.11 : Hypothèses servant à définir les règles d'attribution du rôle source aux cas de la base 190
Figure 7.12 : Règles et hypothèses servant à définir la composition de la base de cas 190
Figure 7.13 : Analyses et évaluations des performances du prototype SAMM 192
Figure 7.14 : Démarche d'évaluation des performances de sélection des cas sources à adapter (SELECTA) 198
Figure 7.15 : Cartographie des solutions observées et prédites par le prototype SAMM 204

Index des tableaux

Tableau 1.1 : Concepts de l'organisation des territoires 22

Tableau 1.2 : Représentation des qualités agronomiques des sols et localisation des productions 24

Tableau 1.3 : Principales études menées sur le consentement à produire des cultures énergétiques dont le miscanthus 28

Tableau 1.4 : Disparité des résultats de plusieurs travaux sur les déterminants socio-économiques du consentement à produire du miscanthus 33

Tableau 1.5 : Description des parcelles marginales implantées en miscanthus d'après les enquêtes de Bocquého (2012) 34

Tableau 1.6 : Déterminants du consentement à produire des cultures énergétiques 36

Tableau 2.1 : Classification des modèles de changement de l'utilisation des terres 42

Tableau 2.2 : Présentation des démarches de modélisation des systèmes sociaux et environnementaux 46

Tableau 2.3 : Classification des théories utilisées dans les modèles de changement de l'utilisation des terres 46

Tableau 2.4 : Paramètres utilisés dans le modèle de Bauen *et al*. (2010) 56

Tableau 2.5 : Variables du modèle de Shastri *et al*. (2011) 58

Tableau 3.1 : Typologie des connaissances d'un système de RàPC 81

Tableau 3.2 : Mesure de similarité *ad hoc* entre deux parcelles *i* et *j* 82

Tableau 3.3 : Liste des opérateurs d'adaptation 84

Tableau 3.4 : Exemples d'applications possibles du RàPC en agronomie et en géographie 92

Tableau 3.5 : Variables descriptives de l'organisation des territoires du système ROSA 94

Tableau 3.6 : Etapes permettant la représentation du fonctionnement et de l'organisation spatiale des EA 96

Tableau 3.7 : Etapes de transformations des chorèmes en graphes conceptuels 96

Tableau 4.1 : Echantillon des enquêtes 1 et 2 parmi les 111 EA enquêtées 111

Tableau 4.2 : Echantillon des enquêtes 1 et 2 parmi les 111 EA enquêtées (adapté de Bocquého, 2012) 111

Tableau 4.3 : Variables issues des données de Bocquého (2012) utilisées pour les échantillons 1 et 2 de la thèse 112

Tableau 5.1 : Échantillonnage des enquêtés 124

Tableau 5.2 : Liste des supports spatiaux utilisés par l'enquêté pendant l'entretien 124

Tableau 5.3 : Liste des variables décrivant les pratiques d'insertion territoriale du miscanthus 126

Tableau 5.4 : Les opportunités du miscanthus exprimés par les agriculteurs (occurrence sur les 10 EA enquêtées) 126

Tableau 5.5 : Classification des motivations et des freins à l'adoption du miscanthus exprimés par les enquêtés : liste des facteurs « accélérateurs », « freins » et « ambivalents » classés par occurrence sur les 10 agriculteurs enquêtés 128

Tableau 5.6 : Les facteurs de localisation du miscanthus exprimés par les enquêtés (classement par occurrence sur les 10 agriculteurs enquêtés) 130

Tableau 5.7 : Perception des enquêtés de la qualité des sols des parcelles de miscanthus en termes d'atouts (en vert) et de contraintes (en rouge) relatifs au potentiel de production des cultures classiques de l'exploitation 130

Tableau 5.8 : Règles prospectives d'insertion territoriale du miscanthus 132

Tableau 6.1 : Liste des variables descriptives des EA utilisées pour échantillonner les EA des enquêtes 2 141

Tableau 6.2 : Liste des variables descriptives des parcelles investiguées durant les entretiens 144

Tableau 6.3 : Conditions d'implantation du miscanthus pour le potentiel « implantable en miscanthus sous conditions » 148

Tableau 6.4 : Caractéristiques de la base de règles 148

Tableau 6.5 : Occurrences des critères de décision par catégories de variables décisionnelles 151

Tableau 6.6 : Liste des principales variables décisionnelles liées à l'insertion territoriale du miscanthus 152

Tableau 6.7 : Critères de décision appartenant à plus de 5% des règles de décision des enquêtés 155

Tableau 6.8 : Contraintes liées à l'insertion territoriale du miscanthus et causes possibles de la contrainte classées selon le potentiel d'insertion du miscanthus, *i.e.* favorables, défavorable ou ambivalent 158

Tableau 6.9 : Contraintes non liées à l'insertion territoriale du miscanthus 158

Tableau 7.1 : Composition de la base de cas 172

Tableau 7.2 : Composition des règles d'adaptation du prototype SAMM 174
Tableau 7.3 : Liste des descripteurs du problème des cas 182
Tableau 7.4 : Niveaux de connaissances des solutions des cas selon les phases du système de RàPC 183
Tableau 7.5 : Plan d'expérimentations 192
Tableau 7.6 : Synthèse des performances des tests 27 et 35 203

Index des graphiques

Graphique 6.1 : Occurrence et classement des variables décisionnelles en fonction de la part de celles-ci parmi l'ensemble des 144 règles de décision citées par les enquêtés 152
Graphique 6.2 : Fréquence des potentiels d'insertion territoriale du miscanthus pour chaque critère de décision 154
Graphique 6.3 : Distribution des contraintes parcellaires équivalant ou non à des critères de décision liés à l'insertion territoriale du miscanthus 157
Graphique 7.1 : Distribution du nombre de descripteurs DP et DI selon les cas cibles et sources de la base 194
Graphique 7.2 : Distribution du nombre de descripteurs comparés 194
Graphique 7.3 : Taux de comparaison des descripteurs des cas 194
Graphique 7.4 : Distribution des cas sources remémorés en fonction des cas cibles 194
Graphique 7.5 : Part des UCS et MCS 195
Graphique 7.6 : Part des UCC et MCC 195
Graphique 7.7 : Occurrence des cas sources remémorés pour chaque cas cible 196
Graphique 7.8 : Occurrences de remémoration des cas sources 196
Graphique 7.9 : Distribution des distances globales calculées à partir des descripteurs DP et DI 196
Graphique 7.10 : Distribution des distances globales moyennes de chaque cas cible calculées à partir des DP 196
Graphique 7.11 : Distribution des distances globales moyennes de chaque cas cible calculées à partir des DI 198
Graphique 7.12 : Taux de réussite de la remémoration 198
Graphique 7.13 : Distribution des solutions cibles observées et appariées à tous les cas sources remémorés par le système selon les algorithmes de remémoration 198
Graphique 7.14 : Taux de précision et de vrais SELECTA en fonction des trois paramètres d'expérimentation REM, RA et SELECT 200
Graphique 7.15 : Taux de précision des solutions adaptées 200
Graphique 7.16 : Taux de précision des solutions finales prédites par le système 202
Graphique 7.17 : Taux de réussite des prédictions finales du système 202

Index des cartes

Carte 4.1 : Zone d'étude de la thèse délimitée par la zone d'enquêtes de Bocquého (2012) 109
Carte 4.2 : Orientation technico-économique de la commune des régions Bourgogne et Franche-Comté 112
Carte 4.3 : Reconstitution des PRA de la zone d'étude à partir des communes enquêtées par Bocquého (2012) 113
Carte 4.4 : Capacité moyenne de stockage en eau des sols de Côte-d'Or 114
Carte 4.5 : Les grands reliefs de Côte-d'Or 114
Carte 6.1 : Localisation des îlots décrits par les enquêtés lors des enquêtes 2 146

Index des encadrés

Encadré 1.1 : Définitions relatives à l'approche globale de l'EA 18
Encadré 1.2 : Définitions relatives à l'approche territoriale de l'EA 18
Encadré 1.3 : Définition des unités spatiales de gestion de l'EA 26
Encadre 1.4 : Définitions des contraintes, atouts et éléments neutre d'un territoire d'EA 27
Encadré 1.5 : Hypothèses et résultats des modèles économétriques de Bocquého (2012) 30
Encadré 1.6 : Répartition de la localisation du miscanthus sur les terres marginales et non marginales de l'échantillon enquêté 34
Encadré 2.1 : Présentation de la plateforme GLOBE comme outil d'aide à la méta-analyse d'étude de cas 62
Encadré 3.1 : Le raisonnement analogique 78
Encadré 3.2 : L'apprentissage à partir d'expériences dans le domaine de la psychologie cognitive et de la philosophie 78
Encadré 3.3 : Exemples d'interactions avec l'utilisateur 90
Encadré 7.1 : Algorithmes de remémoration 176
Encadré 7.2 : Algorithmes d'adaptation 176
Encadré 7.3 : Exemple de résultats obtenus après comparaison d'un cas source à un cas cible 179
Encadré 8.1 : Bourgogne Pellets regarde pousser ses idées 216
Encadré 8.2 : Bourgogne Pellets : des difficultés mais une équipe loin d'être résignée 216

Résumé de thèse

Modéliser l'insertion territoriale du *Miscanthus x giganteus* à partir des décisions des agriculteurs : une approche exploitant le modèle du raisonnement à partir de cas

Le *Miscanthus x giganteus* est une culture pérenne nouvellement produite en Europe. Sans être à ce jour fortement insérée dans les territoires, cette culture présenterait un intérêt fort pour un usage énergétique. Or l'insertion de cette culture dans le territoire présage une réorganisation territoriale pérenne. De nombreuses études visent alors à modéliser les dynamiques spatialement explicites de l'insertion du miscanthus dans le territoire pour identifier des bassins d'approvisionnement durables. C'est dans ce courant de recherche que se positionne notre thèse. Celle-ci vise plus particulièrement à proposer un nouveau cadre de modélisation des processus de décision des agriculteurs, permettant la dissémination horizontale (*scaling out*) de ces processus issus d'études de cas, vers des territoires élargis. Pour cela, la thèse exploite le modèle du raisonnement à partir de cas, consistant à résoudre un problème en s'appuyant sur un raisonnement analogique. Elle articule (i) une démarche d'acquisition de connaissances sur les processus de décision des agriculteurs relatifs à l'insertion territoriale du miscanthus, à partir d'enquêtes menées dans le département de Côte d'Or (région Bourgogne) et (ii) la conception et évaluation d'un prototype *ad hoc* de raisonnement à partir de cas. La phase d'acquisition des connaissances montre que le processus d'insertion territoriale du miscanthus est complexe : celui-ci est étroitement lié aux contraintes parcellaires du territoire, notamment en termes de logistique d'exploitation des parcelles et de leur préservation environnementale. Ces connaissances nous conduisent alors à discuter du choix des variables biophysiques et humaines intégrées à ce jour dans les modèles spatialement explicites. La phase de conception et d'évaluation du prototype de raisonnement à partir de cas montre quant à elle que le modèle du raisonnement à partir de cas est particulièrement bien adapté pour modéliser un phénomène contextualisé. Evalués sur nos données d'enquêtes, ces résultats nous conduisent à discuter des modalités d'application du prototype sur d'autres bassins de production de miscanthus.

Mots-clefs : dissémination horizontale, modélisation spatialement explicite, processus de décision complexe, gestion territoriale, représentation des connaissances, acquisition de connaissances d'adaptation

Modelling miscanthus allocation in farmland based on farmers' decisions : a framework using the case-based reasoning model

Miscanthus x giganteus is the perennial crop, newly produced in Europe. Even if miscanthus is not so heavily produced nowadays, this crop would be of great interest for energy use. However, the allocation of miscanthus could produce a sustainable reorganization of the landscape. Therefore, many studies aim to model the land use change caused by miscanthus, in order to identify sustainable supply areas: our research belongs to this field. In our research, we propose a new framework for modeling decision-making process of farmers, relying on scaling out. More accurately, we propose to use the case-based reasoning model which solves problems based on an analogical reasoning. Then our research is structured: (i) by a knowledge acquisition step about decision-making process of farmers, based on farm surveys, conducted in the Côte d'Or department (Burgundy region) and (ii) by the design and evaluation of an *ad hoc* prototype of case-based reasoning. On the one hand, results of knowledge acquisition phase show that miscanthus allocation process is complex, more accurately, that miscanthus allocation process is closely related to land constraints, particularly in terms of logistic and environmental preservation of plots. These results lead us to discuss the selection of biophysical and human variables included to the current spatially explicit models. On the other hand, the design and evaluation phase of our prototype shows that case-based reasoning is particularly well suited to model a contextual phenomenon. These results lead us to discuss the modalities for implementing the prototype in other production areas of miscanthus.

Key words : scaling out, spatially explicit model, complex decision-making process, farmland management, knowledge representation, adaptation knowledge acquisition