



Modélisation des décisions d'assolement des agriculteurs et de l'organisation spatiale des cultures dans les territoires de polyculture-élevage

Noémie Schaller

► To cite this version:

Noémie Schaller. Modélisation des décisions d'assolement des agriculteurs et de l'organisation spatiale des cultures dans les territoires de polyculture-élevage. Economies et finances. AgroParisTech, 2011. Français. NNT : 2011AGPT0068 . pastel-00781098

HAL Id: pastel-00781098

<https://pastel.hal.science/pastel-00781098>

Submitted on 25 Jan 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Doctorat ParisTech THÈSE

pour obtenir le grade de docteur délivré par

**L'Institut des Sciences et Industries
du Vivant et de l'Environnement
(AgroParisTech)
Spécialité : Sciences agronomiques**

présentée et soutenue publiquement par

Noémie SCHALLER

le 2 décembre 2011

Modélisation des décisions d'assolement des agriculteurs et de l'organisation spatiale des cultures dans les territoires de polyculture-élevage

Directeur de thèse : **Philippe MARTIN**

Co-encadrement de la thèse : **Christine AUBRY**

Jury

M. Philippe FAVERDIN
M. Philippe LETERME
M. Patrick CARON
Mme Delphine LEENHARDT
Mme Anna Camilla MOONEN

Directeur de recherche, UMR PL, INRA Rennes
Professeur, UMR SAS, Agrocampus Ouest Rennes
Directeur général délégué, Cirad Montpellier
Directrice de recherche, UMR AGIR, INRA Toulouse
Maître de conférences, Land Lab,
Scuola Superiore Sant'Anna, Pise, Italie
Ingénieure de recherche, UMR SAD-APT, INRA Paris
Professeur, UMR SAD-APT, AgroParisTech

Rapporteur
Rapporteur
Examinateur
Examinatrice
Examinatrice
Co-directrice
Directeur

Mme Christine AUBRY
M. Philippe MARTIN

Projet soutenu par l'attribution d'une allocation doctorale Région Ile-de-France





Remerciements

« La thèse, c'est une aventure humaine formidable ! », avait dit un professeur de l'Agro de Grignon lors de la visite des labos de l'INRA de Versailles, quand j'étais en première année d'école. Je crois que c'est la première fois que j'entendais parler de thèse, je ne savais pas ce que c'était, et j'étais bien loin de me douter, qu'un jour, moi aussi je participerais à cette aventure... Et en effet, quelle aventure !!! Et quelle émotion en repensant à ces trois années écoulées ! La thèse, c'est effectivement une aventure humaine formidable, et je souhaite ici remercier très sincèrement toutes les personnes qui m'ont accompagnée, et qui ont contribué, de près ou de loin, d'une façon ou d'une autre, à l'aboutissement de ce travail.

Mes premiers remerciements vont bien entendu à mes directeurs de thèse, Philippe Martin et Christine Aubry : merci de m'avoir fait confiance depuis le début (au point de me faire venir depuis Bobo !), merci d'avoir su guider mon travail tout en me laissant une grande autonomie, merci de m'avoir fait bénéficier de votre expérience, de vos conseils et commentaires avisés, merci d'avoir trouvé le bon équilibre entre me pousser pour que je donne le meilleur et me rassurer dans les (nombreux) moments où je doutais. Merci aussi et surtout d'avoir toujours été disponibles malgré vos emplois du temps SURchargés et vos nombreuses responsabilités, et d'avoir été aussi réactifs pour toutes les précieuses relectures que vous avez faites en temps record (je vous soupçonne de travailler la nuit, ce n'est pas possible...). Philippe, je suis très heureuse d'avoir été ta 1^{ère} thésarde officielle. A tous les deux, ça a été un honneur et un plaisir de travailler sous votre direction, merci !

Je remercie les membres du jury qui m'ont fait l'honneur d'accepter d'évaluer ce travail : les rapporteurs Philippe Faverdin et Philippe Leterme, ainsi que les examinateurs Patrick Caron, Delphine Leenhardt et Camilla Moonen. Je vous en suis très reconnaissante.

Je voudrais ensuite exprimer toute ma gratitude aux personnes qui m'ont permis d'acquérir les données nécessaires à ce travail, et en premier chef, les agriculteurs de la plaine de Niort. Merci de m'avoir reçue dans vos exploitations et d'avoir répondu avec patience à toutes mes questions. Les informations et explications que vous m'avez livrées ont été d'une importance capitale dans ce travail ! Une partie des enquêtes a été réalisée dans le cadre du stage de Camille Bernard, dans les communes de Juscorps et Saint-Romans-des-Champs : merci donc aux agriculteurs de ces communes. Camille, merci non seulement pour ton travail et la qualité de ton stage (tes enquêtes m'ont été bien utiles !), mais aussi pour tous les bons moments passés ensemble. Ça a été extra de travailler avec toi, sur le terrain (ah, Mougou !) comme à Grignon. Merci également à Isabelle Michel et Marie Mawois pour les échanges que nous avons eus au moment du stage.

Merci aux 23 élus communaux qui ont accepté de nous recevoir et d'identifier les bâtiments agricoles et sièges d'exploitation de toute la zone. A cet égard, je remercie vivement l'équipe « bâtiments agricoles » : Cyrille Auguste et Catherine Cresciucci-Baron, merci pour la « nappe » et l'assemblage des cartes ; Cyrille Barrier et Justine Faure, merci pour votre bonne humeur sur le terrain. Justine merci pour ta rigueur et ton efficacité dans la saisie de toute la base de données. Je remercie tout spécialement Mme Gaufichon, qui nous a reçus à la fois pour une enquête en

exploitation, pour une enquête sur la commune, et qui nous a aidés à organiser la réunion de restitution des résultats aux agriculteurs : merci pour votre aide et votre gentillesse.

Une autre partie des données utilisées pour la thèse vient du CNRS de Chizé : merci au CEBC pour l'accès à la base de données spatialisées.

Au-delà des données, je n'aurais pas pu réaliser ce travail sans la collaboration, les conseils et les critiques de nombreuses personnes ou collectifs. Je remercie donc vivement :

- Alain Havet pour ton appui sur la partie « système d'élevage » des enquêtes. Merci pour ton aide sur les questionnaires d'enquêtes et sur leur traitement ensuite.

- le collectif « trois thèses assolements » formé avec Jérôme Dury et Mahuna Akplogan, ainsi que leurs encadrants Jacques-Eric Bergez et Frederik Garcia. Merci pour les discussions intéressantes et les regards croisés sur nos trois thèses. Un merci tout particulier à Jérôme qui a eu la gentillesse de m'associer à son travail de revue biblio.

- les Lorrains : El Ghali Lazrak, Jean-François Mari et Marc Benoît. Merci infiniment pour votre collaboration et le travail accompli ensemble autour de la comparaison entre règles de décisions et régularités stochastiques. Ça a été un plaisir de collaborer avec vous.

- les Bretons : Alexandre Joannon et Hugues Boussard. J'ajoute aussi Marie Castellazzi en Grande-Bretagne. Merci à vous trois pour votre collaboration essentielle sur LandSFACTS, dans la bonne humeur ! Marie, merci d'avoir toujours trouvé et solutionné les bugs en un temps éclair. Alexandre et Hugues, merci pour votre accueil à Rennes et votre aide sur la formalisation de DYSPALLOCC. Hugues, un merci tout spécial pour la formation UML, ton aide sur DYSPALLOCC, LandSFACTS, et APILandSFACTS. Et merci pour ton sens de l'humour face à mes idées parfois saugrenues.

- l'équipe DYPAL : Cédric Gaucherel, Thomas Houet et Mathieu Castets. Merci pour les discussions modélisation qui m'ont souvent aidée à clarifier mon propre message. J'espère que nous aurons l'occasion de poursuivre les collaborations démarrées !

- l'équipe PCE de Grignon : Alain Havet, Anne Mathieu et Brigitte Remy. Merci pour les nombreuses et agréables collaborations autour de la polyculture-élevage, ainsi que les discussions sur les conceptions des agriculteurs. Merci aussi au collectif PCE plus large du département SAD.

- les Camarguais : Sylvestre Delmotte, Jean-Marc Barbier, Santiago Lopez et Florine Mailly. Merci de m'avoir associée au stage vraiment intéressant de Florine, qui m'a fait découvrir d'autres décisions d'agriculteurs que celles des Niortais. J'espère aussi que nous pourrons poursuivre dans un avenir proche le travail commencé ensemble.

- Nicolas Piskiewicz, merci pour les discussions UML et modélisation ; Jean-Marc Gilliot (roi des SIG), merci pour ton aide précieuse sur ArcGis ; Laurence Guichard, merci pour ton œil expert sur les successions de cultures du Poitou-Charentes et ton dynamisme quotidien ; David Makowski, merci de m'avoir aidée dans ma tentative statistique de début de thèse (merci d'avoir été disponible alors que ma tentative était vouée d'avance à l'échec !) ; Nadine Andrieu, merci pour ton aide et conseils sur la validation des modèles ; Alain Bône merci pour les recherches biblio.

- les membres de mon comité de pilotage : Marc Benoît, Hugues Boussard, Jérôme Dury, Frederik Garcia, Jean-Marc Gilliot, Thomas Houet, Etienne Josien, Chantal Loyce, et Christophe Soulard. Merci pour vos conseils pertinents qui m'ont aidée à (ré-)orienter le travail. Votre regard extérieur m'a permis à chaque fois de prendre un peu plus de recul.

- l'équipe CONCEPTS dans laquelle s'insérait ma thèse, et animée par Muriel Tichit et Véronique Souchère. Un grand merci à elles et à tous les membres de l'équipe, pour m'avoir donné

l'opportunité de présenter l'avancée de ma thèse à plusieurs reprises, et pour tous les conseils dont j'ai pu bénéficier à ces occasions. Merci à tous les doctorants CONCEPTS et à Caroline Petit pour vos conseils « de thésard à thésard » et votre camaraderie.

- le groupe ModeliSAD m'a beaucoup apporté, comme son nom l'indique, sur les questions de modélisation. Merci aux organisateurs Aude Barbottin, Hugues Boussard, et Alexandre Joannon (encore eux !) de m'avoir donné l'occasion de présenter ma démarche en tout début de thèse. Même si l'exercice avait été éprouvant, il a été très utile, et déterminant pour la suite. Et merci pour toutes les autres rencontres au cours desquelles les échanges sont toujours passionnants.

- les membres du séminaire Réflexives®. Même si là encore, la semaine a été difficile, je remercie les organisateurs de ce séminaire qui m'a beaucoup apporté, et appris la démarche réflexive.

- les organisateurs et participants des célèbres JDD (merci Bernadette Leclerc !) ainsi que Jean-Marc Meynard qui fait toujours le déplacement à Saint-Martin de Londres. Merci non seulement pour les excellents moments de convivialité mais aussi pour la pause réflexive qu'offrent ces journées. Les échanges entre doctorants se sont avérés très enrichissants, et ce, chaque année !

D'un point de vue pratique, ma thèse a été financée par la région Ile-de-France via le DIM ASTREA (merci à Palmira de Carvalho pour les journées du DIM), et son fonctionnement par le projet ANR BioDivAgriM. Qu'ils soient ici remerciés. Merci à l'UMR SAD-APT pour m'avoir permis d'utiliser les voitures pour le terrain. Un grand merci aussi au personnel administratif et technique : Morgane Le Moigno, Florence Barré, Michelle Cuvelier et Emmanuel Napolitano, que j'ai le plus sollicités. Merci d'avoir répondu présents, même un dimanche après-midi de désespoir après le vol de mon ordi ! Merci aussi au personnel « temporaire » : Colombar, Daniel, Aurore, Charlotte.

Ma reconnaissance et mes plus vifs remerciements vont également à ABIES, Françoise Launay, Corinne Fiers, Alice François, Eric Birlouez et Donald White. Merci pour votre organisation sans faille, et pour toutes les formations et services que vous rendez à vos doctorants. Eric, merci pour le NCT et les conseils professionnels. Donald, *thank you so much for your help, you are great!*

Last but not least, je voudrais aussi remercier très sincèrement toutes les personnes qui ont aidé, même de façon informelle, la progression de mes idées et de mon travail. La recherche se fait en interaction avec les autres, et vous avez répondu présents, dans un couloir, un transilien, ou autour d'un café : Mourad Hannachi (merci pour l'abduction, les études de cas et tout le reste. Tes conseils ont été inestimables), Emilia Chantre (merci pour les phases de cohérence), Céline Ronfort (merci pour l'échelle territoire), Aude Barbottin (merci pour ton rôle-clé de « catalyseur » et de m'avoir fait « tilté » sur ce que d'autres n'arrivaient pas à me faire comprendre), Caroline Petit (merci pour les discussions sur les agriculteurs et les démarches AAC), Aurélie Cardona (merci pour les réflexions croisées sur le plan de thèse), Bruno Ringeval (merci pour tes fameuses questions bêtes qui, en gros, résumaient juste en une phrase la problématique de ma thèse). Merci à beaucoup d'autres que je m'excuse de ne pas citer ici nommément.

Je voudrais aussi faire un énorme hip hip hip hourra pour toutes les personnes qui, en plus de Philippe et Christine, ont relu et corrigé le manuscrit : merci de m'avoir aidée à clarifier le message et à traquer les fautes. Merci à Aude, Marianne, Alexandre, Hugues, Alain, Laure, Mourad, Emilia, Caroline, Marc, Céline (depuis Mada !), Bruno, Baudoin, Miriane, Jean-Pierre, Claire, Fabienne et Simon. Votre aide a été très précieuse, merci beaucoup !

Mes remerciements ne seraient pas complets sans prendre un porte-voix résonateur (*private joke*) et rendre un vibrant hommage au couloir Grignonnais. Je ne vous remercierai jamais assez pour avoir animé, culinairement, *ambiancément*, et *blaguistiquement* (merci Carambar !!!) mes trois années de thèse. Je le dis et le répète, il aurait fallu tenir un livre d'or pour compiler les blagues, délires et anecdotes des pauses cafés et repas du midi (et célébrissimes repas de couloir). Que d'éclats de rire sont sortis de cette petite cafèt (et petit patio) ! Merci à Cyrille (mon petit père, tu es le roi de la blague), Brigitte (merci d'avoir habité le couloir en nocturne avec moi), Aude, François (merci pour tes aux-revoir du soir et ton far aux pruneaux), Alain (merci pour ta gentillesse), Manu (merci pour les fous rires), Bertrand (merci pour tes gentilles attentions), Elodie, Françoise, Marianne, Moo (je te dois tant, qu'est-ce que j'aurais fait sans toi ?), Julien, Emilia et Céline (les filles, merci pour nos périples dans la bonne humeur, grâce à vous j'ai vu le Golden Gate et je suis montée sur un cheval !), Anne, Geneviève, Agnès, les Catherines, Véro S (merci pour tes anecdotes), Josette, Odile, Véro L (merci pour les DVD et nounours en chocolat !), Sophie, Joëlle, Marc (je compte sur toi pour la thèse hein ?), Fred (merci pour ton tempérament), Aurélie (merci pour la solidarité et les cinés mémorables) et Benoît. Merci à tous les stagiaires et CDD, dont la précarité de l'emploi n'a heureusement pas altéré la bonne humeur : Sophie Baltus, Justine, Solène, Camille, Marion, Nils, Angeline, Laurianne (merci pour ta gentillesse), Waël (sacré provocateur !), Lauram (ton soutien a beaucoup compté !!). Un merci spécial à mes deux « co-bureaux » préférés : Manu et Bertrand (élevé au rang de stagiaire exceptionnel !). Merci pour la bonne humeur et pour m'avoir supportée au jour le jour ! Merci aussi à Khaoussou pour son sourire chaque matin, et ses leçons de vie, et à Marielle notre chauffeuse de bus nationale. Merci d'ailleurs aux passagers du bus pour les bons moments et les conseils « solidarité thésards » : Adrien, Fabrice, Léo, Clément, Vincent, David, Mélissa, Claire, ainsi que Tatiana et Laure...

Pour finir, je voudrais remercier toutes les personnes qui m'ont permis « d'arriver là ». Je pense aux anciens enseignants qui m'ont fait à aimer la biologie : M. Arnoult, Mme Bas, M. Bouscasse. Je pense aux profs de l'Agro qui m'ont fait aimer l'agronomie : Jean Roger-Estrade, Thierry Doré, Chantal Loyce, Marianne Le Bail et Philippe Martin. Merci à Philippe, Thierry et Marianne qui m'ont permis en cours de thèse de participer à l'enseignement des étudiants de 1A et de M2. Je pense aussi à mes précédents maîtres de stage du Cirad qui m'ont donné le goût de la recherche : Eric Scopel, Marc Corbeels, Nadine Andrieu, Patrick Dugué et Pierre-Yves Le Gal.

D'un point de vue plus personnel, je voudrais adresser mes derniers remerciements à ma famille, la famille Ringeval et mes proches. Les amis, vous m'avez permis de relativiser et de décompresser : « mais t'inquiète, personne va la lire, ta thèse ». Sans rire, merci pour votre amitié, votre grand cœur et les excellents moments passés ensemble : merci à ma Cloclo (Gisèle for ever), Nath (merci pour le colis !), Simon, Fabienne, Gégé, Mathilde, Elise, Marion, Raphy, Cec et François, Florent, Steph et Gui, Claire et Loïc, Fabien, Zobi et Milady, Pierre et Lila, Vince et Cha, Benji et Do, Penez, Mathieu, Bertrand (merci pour tes encouragements FB)...

Papa, Maman et Bobo, ainsi que les grands-parents, merci pour votre amour, votre soutien et le réconfort que vous savez m'apporter au quotidien. Merci de m'avoir fait grandir heureuse, d'être toujours là, je vous aime fort. Enfin, je voudrais dédier cette thèse à Bruno, mon compagnon, qui m'a tant soutenue pour la thèse et qui éclaire mon quotidien. Ces quelques lignes en fin de remerciements ne sauraient traduire ce que tu représentes pour moi.

Table des matières

REMERCIEMENTS	4
TABLE DES MATIERES	8
LISTE DES ACRONYMES	10
 INTRODUCTION	 11
DE LA NECESSITE DE CONCILIER PRODUCTION AGRICOLE ET PRESERVATION DES ECOSYSTEMES	11
LA GESTION DE L'OCCUPATION DU SOL ET DES PAYSAGES COMME LEVIER D'ACTION PRIVILEGIE	14
PRESENTATION GENERALE DE LA THESE	15
ORGANISATION DU MANUSCRIT.....	16
 CHAPITRE 1.	 17
CONTEXTE DE LA THESE.....	17
1.1) RELATIONS ENTRE ORGANISATION DES PAYSAGES AGRICOLES ET ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX.....	19
1.2) RELATIONS ENTRE ORGANISATION SPATIALE ET TEMPORELLE DES CULTURES DANS LES PAYSAGES AGRICOLES ET DECISIONS D'ASSOLEMENT DES AGRICULTEURS A L'ECHELLE DE L'EXPLOITATION AGRICOLE	26
1.3) PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS DE LA THESE	36
 CHAPITRE 2.	 40
DEMARCHE METHODOLOGIQUE	40
2.1) PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE : LE TERRITOIRE DE LA PLAINE DE NIORT	42
2.2) DISPOSITIF DE RECHERCHE.....	51
 CHAPITRE 3.	 70
EVALUATION DE LA COHERENCE ENTRE DECISIONS D'AGRICULTEURS AU NIVEAU EXPLOITATION AGRICOLE, ET REGULARITES D'ORGANISATION SPATIALE ET TEMPORELLE DES CULTURES AU NIVEAU PAYSAGE.....	70
3.1) CADRAGE THEORIQUE : COMPLEMENTARITE DES APPROCHES POUR LA MODELISATION DES DYNAMIQUES D'OCCUPATION DU SOL.....	72
3.2) ARTICLE ACCEPTE DANS LANDSCAPE ECOLOGY : "COMBINING FARMERS' DECISION RULES AND LANDSCAPE STOCHASTIC REGULARITIES FOR LANDSCAPE MODELLING"	75
3.3) CONCLUSION ET IMPLICATIONS POUR LA SUITE DE LA THESE.....	96
 CHAPITRE 4	 98
MODELISATION CONCEPTUELLE DES DECISIONS D'ASSOLEMENT A L'ECHELLE DE L'EXPLOITATION AGRICOLE	98
4.1) PRESENTATION GENERALE ET CHOIX DE CONCEPTION DU MODELE DYSPALLOC	102
4.2) DETAILS DU CONTENU DU MODELE DYSPALLOC	110
4.3) DISCUSSION SUR LES DECISIONS D'AJUSTEMENTS INFRA-ANNUELS DE LA PLANIFICATION D'ASSOLEMENT, IDENTIFIEES PAR ENQUETES.....	150

CHAPITRE 5.	159
EVALUATION DU MODELE DYSPALLOC A L'ECHELLE DE L'EXPLOITATION AGRICOLE.....	159
5.1) VALIDATION OPERATIONNELLE DU MODELE DYSPALLOC	161
5.2) VALIDATION DES CONCEPTS DE PARCELLES FIXES ET PARCELLES TEMPORAIRES INTRODUITS DANS LE MODELE DYSPALLOC	170
5.3) DISCUSSION PARTIELLE SUR LE MODELE DYSPALLOC.....	190
 CHAPITRE 6.	 196
UTILISATION DU MODELE DYSPALLOC A L'ECHELLE D'UN PAYSAGE COMPOSE D'EXPLOITATIONS AGRICOLES	196
6.1) CONSTRUCTION DE DONNEES D'ENTREE GENERIQUES POUR DYSPALLOC	199
6.2) SIMULATIONS D'ALLOCATIONS SPATIALES DE CULTURES AUX PARCELLES, A L'ECHELLE D'UN PAYSAGE COMPOSE D'EXPLOITATIONS	218
6.3) DISCUSSION SUR L'UTILISATION DE DYSPALLOC A L'ECHELLE D'UN PAYSAGE.....	226
 CHAPITRE 7.	 236
DISCUSSION GENERALE	236
7.1) DISCUSSION SUR LES APPORTS DE LA THESE	238
7.2) PERSPECTIVES	252
 CONCLUSION	 260
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	262
 NOUVEAU CHAPITRE DE LA THESE	 276
1. CADRE GENERAL ET ENJEUX DE LA THESE.....	279
2. DEROULEMENT, GESTION ET COUT ESTIME DU PROJET DE THESE	281
3. COMPETENCES PROFESSIONNELLES ET PERSONNELLES MISES EN ŒUVRE.....	285
4. RESULTATS ET IMPACTS DE LA THESE	289
5. IDENTIFICATION DE PISTES PROFESSIONNELLES	289
 ANNEXES.....	 292
ANNEXE 1. BILAN DES PRODUCTIONS SCIENTIFIQUES	294
ANNEXE 2. DESCRIPTIF DU PROJET ANR BIODIVAGRIM.....	310
ANNEXE 3. IDENTIFICATION DES TYPES D'EXPLOITATIONS, SIEGES D'EXPLOITATIONS ET BATIMENTS AGRICOLAS A PARTIR D'ENTRETIENS AUPRES DES ELUS LOCAUX DE LA PLAINE DE NIORT	314
ANNEXE 4. GUIDES D'ENTRETIENS POUR LES ENQUETES.....	324
ANNEXE 5. PRECISIONS SUR LES DECISIONS D'AJUSTEMENTS INFRA-ANNUELS DE PLANIFICATION D'ASOLEMENT (REGLES DE DECISIONS IDENTIFIEES PAR ENQUETES EN EXPLOITATIONS)	364
ANNEXE 6. COMPLEMENTES D'INFORMATIONS SUR LA CALIBRATION ET LA VALIDATION DU MODELE DYSPALLOC A L'ECHELLE DE L'EXPLOITATION AGRICOLE	372
ANNEXE 7. PARAMETRAGES DES SIMULATIONS D'ALLOCATION DES CULTURES AUX PARCELLES REALISEES DANS LE CHAPITRE 6 (LOGICIEL LANDSFACTS).....	382

Liste des acronymes

ANR	Agence Nationale pour la Recherche
AGIR	AGrosystèmes et développement territorial
APILand	Application Programming Interface Landscape
ARPENTAGE	Analyse de Régularités dans les Paysages: ENvironnement, Territoires, AGronomiE
ASP	Agence de Services et de Paiements
BIA	Biométrie et Intelligence Artificielle
CAD	Contrat d'Agriculture Durable
CIPAN	Culture Intermédiaire Piège A Nitrates
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique
CPS	Couple de cultures Précédent / Suivant
CRASH	Crop Rotation and Allocation Simulator using Heuristics
DR	Délai de Retour minimum d'une culture
DYPAL	DYnamic Patchy Landscape
DYSPALLOC	conceptual model of DYnamic and SPatially explicit ALLOcation of Crops to land decisions
EA	Exploitation Agricole
ha	hectare
IGN	Institut Géographique National
INRA	Institut National pour la Recherche Agronomique
INRIA	Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique
km	kilomètre
LandSFACTS	LANDscape Scale Functional Allocation of Crops Temporally and Spatially
MAEt	Mesure Agro-Environnementale territorialisée
NCS	Nombre de Cycles Successifs
OGM	Organisme Génétiquement Modifié
PAC	Politique Agricole Commune
PEMA	Police de l'Eau et du Milieu Aquatique
PPZA	Police des Périodes et Zones d'Alerte
RDD	Règles De Décisions
RGA	Recensement Général Agricole
RPG	Registre Parcellaire Graphique
SAD	Sciences pour l'Action et le Développement
SAU	Surface Agricole Utile
SIG	Système d'Informations Géographiques
SMEPDEP	Syndicat Mixte d'Etude, de Production et de Distribution d'Eau Potable
TS	Taille de Sole d'une culture
UML	Unified Modelling Language
UMR	Unité Mixte de Recherche
ZC	Zone Cultivable d'une culture

Introduction

De la nécessité de concilier production agricole et préservation des écosystèmes

Depuis une cinquantaine d'années, les modes de production de l'agriculture se sont profondément transformés, entraînant une augmentation considérable de la productivité par hectare et par travailleur, grâce notamment à la généralisation de la mécanisation et de l'utilisation des intrants (Foley et al., 2005; Meynard, 2008). Les objectifs d'autosuffisance alimentaire en Europe ont ainsi été atteints et même dépassés, mais de nombreux travaux dénoncent les conséquences environnementales négatives de l'intensification de l'agriculture moderne (Stoate et al., 2001). Le *Millenium Ecosystem Assessment* réalisé sous l'égide des Nations Unies (2005) souligne la responsabilité de l'agriculture dans plusieurs aspects de la dégradation des écosystèmes : dégradation de la qualité des eaux, réduction de la biodiversité, épuisement des ressources non renouvelables, etc. (MEA, 2005). Ainsi, l'agriculture doit aujourd'hui répondre à de nouvelles attentes de la société et il apparaît indispensable pour la recherche agronomique de participer à une « transformation des pratiques agricoles allant dans le sens : (1) d'une meilleure maîtrise des pollutions et de la dégradation des sols (...), (2) d'une plus grande autonomie vis-à-vis des ressources non renouvelables (...) et (3) de la construction d'une synergie entre la conservation et la valorisation de la biodiversité » (Meynard, 2008).

Concilier production agricole et protection des écosystèmes apparaît donc aujourd'hui comme un enjeu majeur. Le *Millenium Ecosystem Assessment* a défini les services écosystémiques comme « les bénéfices que l'Homme tire des écosystèmes », et a distingué quatre types de services (MEA, 2005) : les services d'approvisionnement (ex : nourriture, bois, fibre), les services de régulation (ex : climat, qualité de l'eau, pollinisation), les services culturels (ex : apport esthétique, récréatif), et les services d'auto-entretien (ex : formation des sols, cycles biogéochimiques).

Dans les agroécosystèmes très anthropisés, les services d'approvisionnement (essentiellement en produits agricoles) sont souvent exacerbés au détriment des autres services écosystémiques (Foley et al., 2005), comme l'illustre la Figure 1. 1. Afin de ne pas compromettre la capacité future des écosystèmes à fournir ces services, il apparaît alors nécessaire de rééquilibrer les services que peuvent fournir les agroécosystèmes. C'est dans cette optique que se sont notamment développées l'agroécologie (Dalgaard et al., 2003; De Schutter, 2010; Wezel et al., 2009), et l'agronomie des territoires (Benoît et al., 2007; Deffontaines et al., 1995).

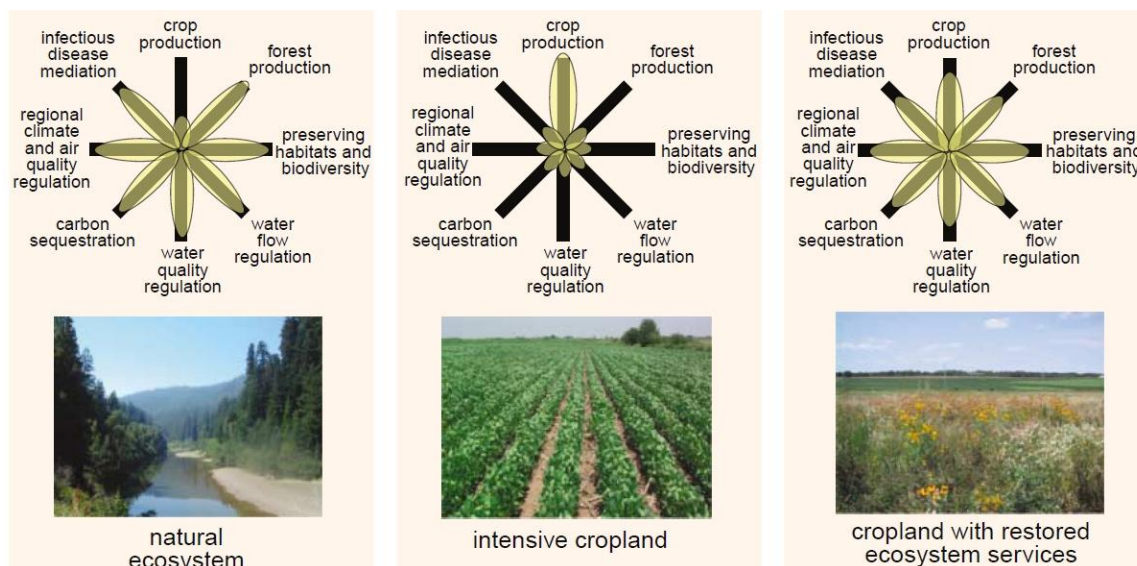


Figure 1. 1 : Comparaison de différents compromis de services écosystémiques dans différents écosystèmes ou agroécosystèmes. Source : (Foley et al., 2005)

L'agroécologie est un terme polysémique pouvant définir à la fois une discipline, une pratique agricole ou un mouvement social, et elle peut être considérée à différentes échelles, de la parcelle à l'agroécosystème (Wezel et al., 2009). Globalement, l'agroécologie **visé à mieux comprendre le fonctionnement des agroécosystèmes afin de mieux en tirer profit pour concilier production agricole et préservation des écosystèmes**. Certaines démarches visent par exemple à favoriser les interactions biotiques au sein des agroécosystèmes pour améliorer la gestion des ravageurs et la fertilisation des cultures, en réduisant le recours aux intrants chimiques (Médiène et al., 2011). Ces démarches s'inscrivent dans une volonté d'intensification écologique des systèmes de production agricole (Doré et al., 2011), en s'inspirant de l'observation des écosystèmes naturels (Malézieux, 2011).

En parallèle, la discipline « agronomie » a également évolué face aux nouveaux enjeux de l'agriculture. Son échelle de travail initiale était la parcelle, et l'agronome cherchait à comprendre les liens entre pratiques culturales, état du milieu, et rendement (Sebillotte, 1974). Puis une seconde échelle de travail est apparue, celle de l'exploitation agricole (EA), constituée de plusieurs parcelles, et pilotée par l'agriculteur. L'agriculteur est alors apparu comme objet d'étude à part entière : l'agronome visait à comprendre les raisons des pratiques des agriculteurs, afin de contribuer à les améliorer. Aujourd'hui, **l'échelle de travail de l'agronome passe progressivement au territoire agricole voire aux petites régions**¹ (Caron, 2005; Sebillotte, 2005), afin de contribuer à construire des systèmes de production agricole durables à l'échelle des territoires. Les recherches agronomiques portent désormais moins sur « comment faire changer les pratiques pour améliorer la

¹ Les nouvelles divisions de l'association européenne d'agronomie témoignent d'ailleurs de cette évolution de la discipline : Division 1 = Plant System Biology ; Division 2 = Field Scale Agroecology ; Division 3 = Cropping Systems at Farm, Regional and Global Scales (cf. <http://www.esagr.org/>)

production quantitative », mais davantage sur des systèmes conciliant production agricole et protection des ressources naturelles (Caron, 2005; Martin, 2011; Martin et al., 2006).

Ainsi, **l'agronomie des territoires¹ ou *landscape agronomy*²** (Benoît et al., 2007) **vise à étudier les liens entre processus environnementaux et systèmes de production agricole, à l'échelle des territoires agricoles.** L'agronomie des territoires a en particulier pour objectif de comprendre en quoi le paysage impacte les systèmes de production agricole, et en retour, en quoi les systèmes de production agricole impactent le paysage, afin d'améliorer la gestion des ressources naturelles dans les paysages (Mérot et al., Submitted) (cf. Figure 1. 2). Ceci conduit à « prendre plus explicitement en compte l'espace physique du fait de la composante spatiale des mécanismes concernés (circulation de l'eau, diffusion de pollen, etc.), mais aussi du fait de l'accroissement des acteurs impliqués et des différences d'objets gérés ou impactés dans les espaces par ces acteurs » (Martin, 2011).

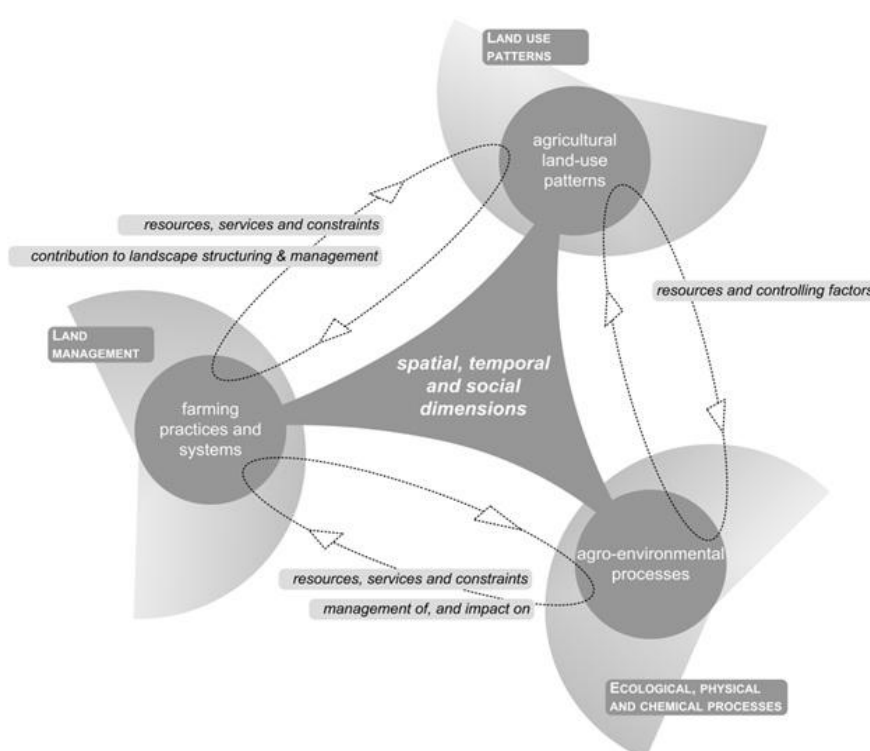


Figure 1. 2 : Modèle conceptuel sous forme de tripode, définissant le champ de la « landscape agronomy ». (Source : (Moonen et al., 2010))

¹ Le terme de « territoire » est difficilement traduisible en anglais, si bien que « agronomie des territoires » est traduite par *landscape agronomy*. Les termes de **paysage** et de **territoire** seront définis dans le chapitre 1. En résumé, nous entendons par paysage, l'agencement spatial des occupations du sol, et par territoire, un espace physique approprié par des acteurs.

² En tant qu'agronomes (« *agros* » = champ ; « *nomos* » = système de règles et de lois), ils proposent le paysage comme nouvel objet de recherche. Le mot paysage, *landscape* en anglais, provient du néerlandais *landschap*, composé de « *land* » (terre, espace) et du suffixe « *-schap* ». Benoît M., Mignolet C., Hermann S., Rizzo D., Moonen A.C., Barberi P., Galli M., Bonari E., Silvestri N., Thenail C., Lardon S., Rapey H., Marraccini E., Le Ber F., Meynard J.M. (2007) Landscape as designed by farming systems: a challenge for landscape agronomists in Europe, Farming Systems design 2007, methodologies for integrated analysis of farm production systems, Catania.

La gestion de l'occupation du sol et des paysages comme levier d'action privilégié

Dans l'optique d'une conciliation entre production agricole et autres services écosystémiques, de récents travaux considèrent la gestion de l'occupation du sol (*land-use* en anglais) et de l'organisation des paysages comme un levier d'action privilégié. Foley et al. (2005) indiquent que, pour que les services écosystémiques soient disponibles dans un paysage donné, il est nécessaire de gérer la structure de ce paysage¹. De même, d'autres auteurs soulignent que la composition et la configuration du paysage ainsi que l'occupation du sol déterminent dans quelle mesure l'agriculture bénéficie des services écosystémiques et, inversement, contribue à garantir ces services écosystémiques² (Brussaard et al., 2010). La **composition du paysage** peut être définie comme la proportion des différentes occupations du sol présentes dans le paysage (elle correspond en quelque sorte à la couleur des polygones représentant les éléments de paysage). La **configuration du paysage** est définie par la forme des éléments de paysages et leur arrangement spatial au sein du paysage (elle correspond en quelque sorte aux traits qui délimitent les éléments de paysage) (Gaucherel and Houet, 2009).

Ainsi, au-delà du niveau d'intensification des systèmes de production agricole, **la gestion de l'occupation du sol et de l'organisation** (au sens de composition et configuration) **des paysages dans le temps et dans l'espace** ont des conséquences sur le fonctionnement des écosystèmes, et **constituent un levier d'action privilégié au niveau local**. L'échelle des paysages agricoles est en effet aujourd'hui de plus en plus reconnue comme étant pertinente pour gérer des questions environnementales locales (mais pouvant avoir des répercussions plus globales). Une étude prospective sur l'évolution des rapports entre agriculture et environnement (Buissière, 2005) propose d'ailleurs plusieurs scénarios dans lesquels les territoires agricoles jouent un rôle majeur dans le maintien de la qualité environnementale des agroécosystèmes³.

¹ "Many of these strategies involve management of landscape structure through the strategic placement of managed and natural ecosystems, so the services of natural ecosystems (...) are available across the landscape mosaic." Foley J.A., DeFries R., Asner G.P., Barford C., Bonan G., Carpenter S.R., Chapin S.C., Coe M.T., Daily G.C., Gibbs H.K., Helkowski J.H., Holloway T.H., Howard E.A., Kucharik C.J., Monfreda C., Patz J.A., Prentice I.C., Ramankutty N., Snyder P.K. (2005) Global Consequences of Land Use. *Science* 309:570-574. DOI: 10.1126/science.1111772.

² "Landscape composition and configuration and land use determine to what extent agriculture benefits from ecosystem services with which biodiversity may be associated and, vice versa, to what extent agriculture contributes to ecosystem services and biodiversity." Brussaard L., Pulleman M., Kuyper T.W. (2010) Soil ecology for agricultural production and ecosystem services, in: I. S.-T. J. Wery, A. Perrin (Eds), *Agropolis International Editions* (Ed.), Proceedings of 'Agro2010 the XIth ESA Congress', Montpellier, France. pp. 163-164.

³ Scénario « partition environnementale » : zonage des territoires en lien avec des politiques environnementales locales fortes (pour la préservation des ressources dans des zones non productives) ; Scénario « organisation régionale » : affaiblissement du rôle de la Politique Agricole Commune et développement de projets territoriaux portés par les régions, avec des degrés de réussite variables d'un territoire à l'autre en ce qui concerne les enjeux environnementaux. Buissière C.d.l. (2005) Agriculture et

Dans les faits, on observe d'ailleurs une territorialisation des politiques liées au développement durable¹ et la mise en place croissante de mesures agri-environnementales territorialisées, visant à favoriser la multifonctionnalité de l'agriculture et à limiter ses impacts négatifs. En parallèle, on assiste à la mise en place de nombreux zonages environnementaux, faisant l'objet d'une gestion spécifique par les acteurs locaux (Martin, 2009b) (ex : zones Natura 2000, syndicats de bassin versant, aire d'alimentation de captage d'eau potable, etc.).

Présentation générale de la thèse

Ce travail de thèse relève de la discipline *landscape agronomy*. Il part du double constat suivant :

- la gestion de l'occupation du sol et de l'organisation des paysages est un levier d'action privilégié pour gérer les services écosystémiques au niveau local (cf. ci-dessus) ;
- l'organisation des paysages agricoles résulte en grande partie de l'activité des agriculteurs exploitant ces paysages (Benoît, 1990; Thenail et al., 2009).

Face à ce constat, la modélisation des paysages agricoles à partir de la compréhension des activités des agriculteurs apparaît comme une étape-clé pour décrire et comprendre les dynamiques d'organisation des paysages, et leurs potentielles relations ou conséquences sur les services écosystémiques.

Dans le cadre de ce travail de thèse, nous traitons de la question de la **modélisation de l'organisation spatiale et temporelle des cultures dans les paysages agricoles**. En nous appuyant sur le **cas du territoire de la plaine de Niort** (Deux-Sèvres, Poitou-Charentes, France), nous étudions les **relations entre les décisions des agriculteurs à l'échelle de leurs exploitations et l'organisation spatiale et temporelle des cultures dans le paysage agricole**. Nous cherchons ici à comprendre en quoi les décisions d'assolement et de successions de cultures des agriculteurs permettent de rendre compte de l'organisation spatiale et temporelle des cultures dans le paysage.

Cette thèse a été réalisée dans le cadre du **projet ANR** (Agence Nationale de la Recherche) « **BioDivAgriM** » (2008-2011). Il s'agissait d'un projet interdisciplinaire (écologues, agronomes, économistes, informaticiens, etc.) s'intitulant « conservation de la biodiversité dans les agroécosystèmes : une modélisation spatialement explicite des paysages ». Il visait à comprendre les conséquences des changements d'organisation spatiale des systèmes de culture au niveau du parcellaire et des exploitations agricoles, sur la biodiversité des agroécosystèmes au niveau paysager. Au niveau institutionnel, cette thèse a été réalisée à l'UMR SAD-APT (Unité Mixte de Recherche Sciences pour l'Action et le Développement –

environnement : quatre scénarios à l'horizon 2025, Ministère de l'environnement - Ministère de l'agriculture et de la pêche. pp. 7.

¹ http://www.agroparistech.fr/cnfpt/colloque/dd_ingenierie_territoriale_2010/spip.php?article2

Activités, Produits, Territoires), et plus particulièrement dans l'équipe « **CONCEPTS** »¹ (CONCilier Environnement et Productions dans les Territoires agricoles et les *Supply Chains*). Enfin, la thèse a été financée par le DIM ASTREA² de la région Ile-de-France.

Organisation du manuscrit

Ce document est divisé en sept chapitres :

- Le **chapitre 1** expose le contexte de la thèse et la construction de la problématique. Il traite des relations entre décisions d'assolement en exploitation agricole et organisation spatiale et temporelle des cultures dans les paysages agricoles.
- Le **chapitre 2** décrit la démarche méthodologique de la thèse. Nous présentons la zone d'étude (territoire de la plaine de Niort) et le dispositif de recherche.
- Le **chapitre 3** traite des relations entre régularités (spatiales et/ou temporelles) identifiées à l'échelle du paysage et règles de décisions d'agriculteurs identifiées à l'échelle de l'exploitation agricole, dans l'optique d'une modélisation des dynamiques d'organisation spatiale des paysages.
- Le **chapitre 4** présente le modèle conceptuel de décisions d'assolement construit à l'échelle de l'exploitation agricole (à partir d'enquêtes en exploitations).
- Le **chapitre 5** expose l'évaluation de ce modèle à l'échelle de l'exploitation agricole.
- Le **chapitre 6** montre les résultats obtenus avec ce modèle utilisé à l'échelle d'un paysage composé d'exploitations, en termes de simulation de l'impact des décisions d'assolement à l'échelle de l'exploitation agricole, sur l'organisation spatiale des cultures.
- Le **chapitre 7** discute de la méthodologie développée et de l'ensemble de ces résultats, et ouvre sur des perspectives possibles à ce travail.

¹ <http://www.versailles-grignon.inra.fr/sadapt/equipes/concepts>

² http://www.dim-astrea.fr/dim_astrea

Contexte de la thèse



A l'échelle globale, l'occupation du sol et les changements d'occupation du sol (*land-use changes* en anglais) ont de nombreux impacts sur le fonctionnement des écosystèmes (biodiversité, dégradation des sols, cycle du carbone et changement climatique, etc.) (Lambin et al., 2006). De nombreuses études visent ainsi à prédire les changements d'occupation du sol dans différentes régions du globe (Lambin et al., 2003; Rounsevell et al., 2005; Veldkamp and Fresco, 1996; Verburg et al., 2006a; Verburg and Veldkamp, 2001), afin d'anticiper leurs impacts sur les services écosystémiques (Metzger et al., 2006). A ces échelles larges, « on se limite le plus souvent à de grandes classes d'occupation du sol (agricole, forêt, bâti) sans prendre en compte les aspects diversité des cultures et des successions de cultures », bien qu'ils puissent jouer un rôle important sur les processus écologiques (Martin, 2009b).

Nous nous proposons d'aborder spécifiquement l'occupation du sol des paysages agricoles, en lien avec les pratiques des principaux gestionnaires de ces espaces (*land managers* en anglais), à savoir les agriculteurs. Nous exposons dans ce chapitre le contexte général et la problématique de la thèse : dans la section 1.1, nous présentons les liens entre organisation du paysage et enjeux environnementaux ; puis dans la section 1.2, nous abordons les liens entre organisation spatiale et temporelle des cultures, et décisions d'assolement des agriculteurs, avant de présenter la problématique (section 1.3).

1.1) Relations entre organisation des paysages agricoles et enjeux environnementaux

1.1.1) Définition d'un paysage agricole

Nous utilisons la **définition du paysage agricole donnée par les écologues du paysage** (Burel and Baudry, 2003; Burel and Baudry, 2010) : nous considérons qu'un paysage agricole est constitué **(1) d'une mosaïque de cultures**, évoluant dans le temps en raison des successions de cultures appliquées par les agriculteurs, et fortement influencée par les pratiques agricoles, et **(2) d'éléments semi-naturels** plus stables dans le temps (ex : haies, bosquets, etc.) et indirectement influencés par les pratiques agricoles (Figure 1. 3).

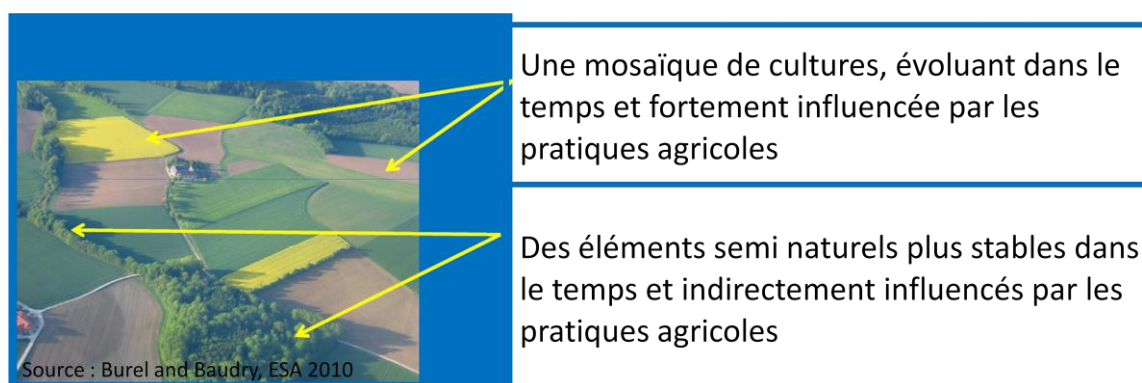


Figure 1. 3 : Définition d'un paysage agricole. Source : (Burel and Baudry, 2010)

Dans tout ce travail de thèse, nous nous focalisons exclusivement sur la mosaïque de cultures. Par organisation du paysage, nous entendons donc organisation spatiale et temporelle des cultures (composant la mosaïque de cultures dans le paysage).

Remarque 1 : un système de culture est défini par deux éléments, (1) « la nature des cultures et leur ordre de succession », (2) « les itinéraires techniques appliqués à ces différentes cultures, ce qui inclut le choix des variétés pour les cultures retenues » (Sebillotte, 1990a). Dans ce travail, nous nous focalisons sur les successions de cultures et nous n'étudions pas explicitement les itinéraires techniques.

Remarque 2 : dans ce travail, nous parlons essentiellement de paysage, et peu de territoire. Le territoire est généralement défini comme « une portion d'espace approprié par des acteurs »¹ (Aubry, 2007). Nous n'étudions pas spécifiquement ici les interactions entre espace et différents acteurs, et préférons donc parler de paysage.

1.1.2) Impacts de l'organisation spatiale et temporelle des cultures sur divers enjeux environnementaux

L'organisation spatiale et temporelle des cultures a des impacts sur divers enjeux environnementaux à l'échelle des paysages agricoles, cet impact étant toutefois très variable suivant l'enjeu environnemental considéré car les processus biophysiques en jeu ne sont pas les mêmes.

Pour les questions de biodiversité, il est généralement admis que l'hétérogénéité et la complexité du paysage sont favorables à la biodiversité (Benton et al., 2003; Joannon et al., 2008; Sabatier, 2010; Sabatier et al., 2010; Tschardt et al., 2005). Benton et al. (2003) expliquent qu'il est nécessaire de maintenir une hétérogénéité d'habitats à plusieurs échelles spatiales (de l'échelle infra-parcelle à l'échelle du paysage, en passant par l'échelle de l'exploitation agricole, notée EA), pour que différents taxons puissent trouver un habitat favorable. Sabatier (2010) montre, pour le cas d'un agroécosystème prairial, que la proportion des différentes occupations du sol dans un paysage (i.e. la composition de la mosaïque de cultures) détermine les compromis possibles entre production et conservation de la biodiversité. Il montre par ailleurs que la modification des arrangements spatiaux de ces occupations du sol (i.e. de la configuration de la mosaïque de cultures) permet d'améliorer ce compromis, confirmant ainsi l'importance de la structure du paysage pour concilier production agricole et conservation de la biodiversité. L'effet positif de l'hétérogénéité du paysage sur la biodiversité est toutefois à moduler en fonction des

¹ Le territoire est associé à une multitude de définitions. Nous retenons la plus courante, celle qui définit le territoire comme un « espace approprié avec sentiment ou conscience de son appropriation ». Brunet R., Ferras R., Théri H. (2009) Les mots de la géographie. Dictionnaire critique. 3ème édition, Paris, collection dynamiques du territoire.

espèces considérées¹ (Fischer et al., 2011) et des contextes paysagers (Flohre et al., 2011; Tscharncke et al., 2005).

Pour des questions liées à des flux de pathogènes ou à des flux de gènes entre parcelles, l'hétérogénéité du paysage semble au contraire défavorable. Par exemple, en ce qui concerne la dispersion des spores d'un des principaux agresseur du colza (le phoma), il a été montré que le nombre moyen de spores par unité de surface était plus faible dans les situations où la distance entre les parcelles (sources et puits de pathogènes) était maximisée (Lô-Pelzer et al., 2010). Ceci indique qu'une mosaïque de cultures caractérisée par de grandes parcelles et de grandes distances entre parcelles (autrement dit une faible hétérogénéité du paysage) permet davantage de réduire la dispersion du phoma entre parcelles de colza, et de maîtriser cet agresseur à l'échelle paysage (Lô-Pelzer et al., 2010). Le même type de raisonnement s'applique pour les flux de pollen entre cultures génétiquement modifiées (GM) et non génétiquement modifiées (non-GM) : plusieurs auteurs ont développé des modèles simulant les échanges de pollen entre parcelles (en fonction de la taille et de la forme des parcelles, de la proportion de maïs et de cultures GM dans le paysage, de la vitesse du vent, des dates de floraison, etc.) (modèle GeneSys pour le colza (Colbach et al., 2001) ; modèle MAPOD pour le maïs (Angevin et al., 2008)). Il apparaît logiquement que plus la proportion de cultures GM est grande et plus la surface d'échanges entre parcelles est grande (grand nombre de parcelles à surface réduite), plus les risques de mélanges entre cultures GM et non-GM sont importants (Klein et al., 2006; Le Bail et al., 2010). A proportion de cultures GM identique, les mosaïques de cultures caractérisées par de grandes parcelles apparaissent plus favorables pour gérer une éventuelle coexistence entre cultures GM et non-GM² (Le Bail et al., 2010), à condition toutefois que la coexistence soit également gérée en aval par les entreprises de collecte stockage (Coléno et al., 2009).

Pour des questions liées à des flux hydriques (ex : ruissellement érosif, flux de polluants), **ce sont la topographie et la position des cultures par rapport à cette topographie qui impactent les flux hydriques en sortie de bassin versant** : par exemple, « la présence d'une culture « érodable » à l'aval d'une culture ruisselante sera un facteur de risque important par rapport aux coulées boueuses » (Boiffin et al., 1988; Martin, 2011). L'organisation spatiale des cultures dans un bassin versant, ainsi que les successions de cultures (et la gestion des inter-cultures), constituent ainsi un déterminant majeur du ruissellement érosif à l'échelle d'un bassin versant (Joannon et al., 2006; Ronfort, 2010). La configuration de la mosaïque de cultures et en particulier les limites entre parcelles ont également une influence importante sur les phénomènes érosifs en raison de leur impact sur la connectivité entre les parcelles (van Oost et al., 2000), même si cette influence peut varier au cours même d'une

¹ "Farmland and forest bird species in agricultural landscapes therefore appear to be mainly enhanced by landscape complexity owing to the availability of nesting and sheltering places in non-crop habitats, while openland bird species require high proportions of arable land." Fischer C., Flohre A., Clement L.W., Batáry P., Weisser W.W., Tscharncke T., Thies C. (2011) Mixed effects of landscape structure and farming practice on bird diversity. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 141:119-125. DOI: 10.1016/j.agee.2011.02.021.

² Le seuil légal pour qu'une culture soit considérée comme non-GM est fixé à 0,9% : un lot doit donc contenir moins de 0,9% de culture GM pour être considéré comme non-GM (Coléno, F. UMR SAD-APT, comm.pers.).

année (Fiener et al., 2011). Enfin, il a été montré que l'organisation de la mosaïque de cultures (en particulier la localisation des cultures et la connectivité entre les parcelles) joue également un rôle important en ce qui concerne la pollution des eaux par les nitrates ou par les pesticides (Beaujouan et al., 2001; Benoît et al., 1997; Payraudeau and Gregoire, 2011) : la localisation de cultures jouant le rôle de puits à nitrates, en aval de cultures polluantes potentiellement, peut par exemple réduire la contamination par les nitrates des eaux de surface d'un bassin versant (Beaujouan et al., 2001), s'il existe des circulations latérales d'eau. L'influence de l'hétérogénéité de l'occupation du sol sur la qualité de l'eau dépend toutefois de l'échelle spatiale considérée au sein du bassin versant (Uriarte et al., 2011).

Si l'organisation spatiale des mosaïques de cultures intervient dans de nombreux processus écologiques à l'échelle des paysages agricoles, **la dimension temporelle est également importante dans la mesure où elle peut faire évoluer dans le temps les processus précédemment décrits**. Par exemple, certaines successions de cultures présentent plus ou moins de risques par rapport au lessivage de nitrates ou au ruissellement érosif (en raison de leur durée d'inter-culture notamment) (Martin and Meynard, 1997). Il a en outre été montré que la proportion de parcelles précédemment cultivées en colza et la distance de ces parcelles à une parcelle donnée impactent le taux de parasitisme d'un ravageur du colza dans cette parcelle les années suivantes (Rusch et al., 2011). Cet impact peut être positif ou négatif sur le taux de parasitisme du ravageur, en fonction des échelles spatiales considérées, cet impact dépendant aussi de la proportion d'éléments semi-naturels dans le paysage (Rusch et al., 2011). Enfin, le nombre d'années passées au cours desquelles ont été cultivées des cultures GM a une influence sur la pollinisation croisée entre cultures GM et non-GM les années suivantes (Colbach et al., 2009).

Ainsi, l'organisation spatiale et temporelle des cultures au sein d'un paysage agricole a divers impacts environnementaux, et l'organisation de la mosaïque de cultures peut donc constituer un levier d'action au niveau du paysage pour gérer différentes questions environnementales, à condition de connaître les moteurs de l'organisation spatiale des cultures et la temporalité de mise en place de cette organisation.

1.1.3) Méthodes utilisées pour caractériser l'organisation spatiale et temporelle des cultures à l'échelle des paysages

L'organisation spatiale et temporelle des cultures a été étudiée *via* différents types d'approches, visant soit à modéliser les dynamiques d'organisation du paysage (section 1.1.3.1), soit à comprendre les moteurs de ces dynamiques (section 1.1.3.2).

1.1.3.1) Méthodes visant à modéliser les dynamiques d'organisation des paysages agricoles

De nombreuses méthodes ont été développées pour décrire et modéliser l'organisation spatiale de l'occupation du sol dans les paysages agricoles, ainsi que l'évolution de cette organisation, à partir de données historiques et spatialement explicites.

(1) Il peut s'agir de **méthodes statistiques** (Castellazzi et al., 2007b) : ces auteurs ont par exemple développé des tests statistiques pour évaluer le caractère non aléatoire de l'hétérogénéité des cultures dans le temps, dans l'espace ou les deux. D'autres auteurs, e.g. (Veldkamp and Fresco, 1996; Verburg and Veldkamp, 2001; Verburg et al., 2002), utilisent des données passées sur l'occupation du sol (agricole et non agricole) et tentent de corrélérer les évolutions de l'occupation du sol à des variables explicatives démographiques, socio-économiques, climatiques, biophysiques, etc. (modèle CLUE, Conversion of Land Use and its Effects). Ces approches statistiques reposent sur l'hypothèse que les processus à l'origine de l'évolution de l'occupation du sol sont stationnaires (Veldkamp and Lambin, 2001).

(2) Il peut également s'agir de **méthodes de fouille de données et de modélisation stochastique**. Le modèle CarrotAge (Le Ber et al., 2006), basé sur des chaînes de Markov, a ainsi été développé pour identifier des régularités et/ou des changements dans les successions de cultures passées, à partir de bases de données spatialisées – ici les données Teruti (Benoît et al., 2001; Le Bas et al., 2005). Les modèles markoviens « permettent de représenter des observations temporelles et spatiales comme des successions d'états où les transitions entre états dépendent, suivant l'ordre du modèle, de l'état courant et des n états précédents » (Benoît et al., 2001).

Ces méthodes de fouille de données sur les successions de cultures ont également été utilisées pour prédire les successions de cultures à venir dans un territoire, à partir de données spatialement explicites d'occupation du sol passées (Leenhardt et al., 2005) : ces auteurs couplent une carte d'occupation des sols en année n et des probabilités de transition entre cultures issues de modèles markoviens, pour prédire la carte d'occupation des sols en année n+1, afin d'anticiper les besoins en eau d'irrigation à l'échelle régionale.

L'outil ArpentAge¹ (Analyse de Régularités dans les Paysages: Environnement, Territoires, Agronomie) (Lazrak et al., 2010) a ensuite été développé pour identifier des régularités à la fois spatiales et temporelles dans les successions de cultures : il permet de localiser des régularités temporelles de successions de cultures dans un territoire (Lazrak et al., 2010).

Utilisant une approche similaire par fouille de données, complétée par des dires d'experts, (Mignolet et al., 2007) cartographient des zones homogènes d'un point de vue des pratiques agricoles (successions de cultures et itinéraires techniques).

Enfin, d'autres auteurs utilisent des arbres de décisions stochastiques pour modéliser l'allocation spatiale et temporelle des cultures aux parcelles dans un paysage composé d'exploitations agricoles (EA) (Sorel et al., 2010).

Ces méthodes permettent ainsi, à partir de bases de données importantes, de caractériser la mosaïque des cultures dans ses dimensions spatiales et temporelles, et de **construire des modèles de simulation de l'allocation de cultures aux parcelles** en fonction de contraintes spatiales et/ou temporelles, tel que le logiciel LandSFACTS² (Castellazzi et al., 2007a;

¹ Nous présenterons et utiliserons cet outil dans le chapitre 3.

² Nous présenterons ce logiciel dans le chapitre 5. Nous utiliserons ce logiciel dans les chapitres 5 et 6.

Castellazzi et al., 2010b). Il existe de nombreux autres **modèles de simulation spatialement explicite des paysages** (Gaucherel and Houet, 2009), ou plateformes de modélisation des paysages, comme la plateforme L1/DYPAL par exemple (Gaucherel et al., 2006) : ces modèles diffèrent par leur représentation du spatial (raster ou vecteur), par les dimensions spatiale et temporelle qu'ils prennent en compte, par les opérations simulées sur les éléments de paysage (allocation de cultures aux parcelles et/ou modification des limites de parcelles), et par leurs finalités¹ (Gaucherel and Houet, 2009). Ces modèles sont souvent utilisés comme données d'entrée de modèles simulant des phénomènes écologiques nécessitant une approche spatialement explicite.

Ces méthodes et ces modèles permettent de décrire et de simuler l'organisation spatiale et temporelle de la mosaïque de cultures au sein d'un paysage, mais elles ne relient pas directement cette organisation (et son évolution) **à des moteurs sous-jacents** (techniques, économiques, etc.). Très peu d'études combinent des connaissances statistiques sur l'organisation du paysage, à des connaissances sur les pratiques des gestionnaires locaux identifiées par enquêtes (Pocewicz et al., 2008).

1.1.3.2) Méthodes visant à comprendre les moteurs de l'organisation des paysages agricoles

D'autres méthodes visent à comprendre les moteurs de l'organisation spatiale et temporelle des cultures au sein des paysages, afin d'expliquer et éventuellement de prédire l'évolution de cette organisation.

Ces méthodes reposent sur l'hypothèse que **l'organisation spatiale et temporelle des paysages est le résultat des activités des acteurs de ces paysages**, et en particulier des décisions de ces acteurs. Ces méthodes visent donc à **modéliser les décisions des acteurs** présents dans le paysage pour en déduire l'évolution de l'organisation spatiale et temporelle du paysage. Elles reposent très souvent sur des **modèles multi-agents** (Matthews et al., 2007), qui présentent l'avantage de prendre en compte à la fois les décisions individuelles des acteurs, mais aussi les interactions entre acteurs. Ces modèles sont particulièrement utiles pour traiter de problèmes intégrant de fortes composantes sociale et spatiale (Bousquet and Le Page, 2004) car ils permettent de relier des décisions humaines simulées, à des processus environnementaux spatialisés : ces modèles sont donc souvent utilisés dans des démarches d'aide à la décision collective pour la gestion de ressources naturelles (collectif COMMOD pour la modélisation d'accompagnement, cf. (Etienne, 2010)).

Dans les paysages agricoles, les principaux acteurs sont les agriculteurs (Bacic et al., 2006). Or, une récente revue de littérature (Mérot et al., 2009) a montré que même si

¹ "The modelled landscapes have (a) a varying degree of landscape discontinuity (raster-vector); (b) various spatial and temporal dimensions (involving different scales), (c) operations dealing with diverse landscape elements; and (d) distinct degrees of specificity and finality." Gaucherel C., Houet T. (2009) Preface to the selected papers on spatially explicit landscape modelling: Current practices and challenges. Ecological Modelling 220:3477-3480. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2009.06.025.

certaines descriptions de l'organisation de la mosaïque de cultures peut être reliée aux pratiques agricoles (Mignolet et al., 2007), la gestion technique des agriculteurs à l'échelle de l'EA est rarement étudiée comme un facteur explicatif de l'organisation spatiale et temporelle des cultures dans les paysages (Mérot et al., 2009). La plupart des auteurs qui étudient les agriculteurs comme moteurs de l'organisation des paysages, visent en effet davantage à simuler de futurs changements d'occupation du sol qu'à simuler l'organisation spatiale et temporelle des cultures à l'échelle du paysage. Ces auteurs considèrent des moteurs de l'organisation des paysages qui sont à la fois internes et externes aux EA (Mottet et al., 2006; Valbuena et al., 2010), aussi bien biophysiques que socio-économiques. Certains travaillent à partir d'études de cas à une échelle locale (Mottet et al., 2006), afin de comprendre les causes des décisions des agriculteurs et les conséquences sur les changements d'occupation du sol dans le paysage local. D'autres ont la volonté d'utiliser les connaissances acquises à l'échelle des EA pour remonter à une échelle plus globale (échelle régionale par exemple) : ils réalisent alors une typologie des acteurs en présence (Valbuena et al., 2008) et focalisent ensuite sur la dynamique des EA (cessation d'activités, agrandissement, diversification), dans le but de prédire les changements d'occupation du sol à l'échelle régionale (Valbuena et al., 2010).

Enfin, certains travaux visent à construire des scénarios prospectifs de l'évolution de l'agriculture à une échelle locale, en combinant des moteurs externes et internes aux EA (Ronfort, 2010). La spatialisation de ces scénarios prospectifs à une échelle locale permet de simuler l'organisation spatiale et temporelle des cultures à l'échelle d'un bassin versant, et d'en déduire une évaluation environnementale (ex : ruissellement érosif ici) (Ronfort et al., 2011).

En résumé, nous avons vu que :

- (i) l'organisation spatiale et temporelle des cultures au sein d'un paysage a des impacts sur divers enjeux environnementaux et peut être considérée comme un levier d'action pour gérer ces enjeux environnementaux ;**
- (ii) l'organisation spatiale et temporelle des cultures au sein des paysages a surtout été modélisée *via* des méthodes statistiques ou de modélisation stochastique, sans expliciter les moteurs sous-jacents de cette organisation.**

L'objectif de notre travail étant de voir si la modélisation des décisions d'assolement des agriculteurs permet de rendre compte de l'organisation spatiale et temporelle des cultures à l'échelle des paysages, **nous abordons, dans la section suivante, les décisions d'assolement des agriculteurs** (à l'échelle de l'exploitation agricole) : nous explorons les liens qui peuvent exister entre organisation spatiale et temporelle des cultures et décisions d'assolement des agriculteurs, afin d'étudier la possibilité que ces décisions constituent un des moteurs de cette organisation dans les paysages agricoles.

1.2) Relations entre organisation spatiale et temporelle des cultures dans les paysages agricoles et décisions d'assolement des agriculteurs à l'échelle de l'exploitation agricole

1.2.1) Définition des décisions d'assolement des agriculteurs

Nous définissons l'**assolement** (*cropping plan* en anglais) (Nevo et al., 1994) à l'échelle d'une exploitation et une année donnée, comme :

- La **liste des cultures cultivées** ;
- La **surface de chaque culture** (ou autrement dit les proportions de chaque culture) ;
- La **répartition spatiale des cultures au sein des parcelles** de l'exploitation agricole.

De même que (Dury et al., 2011), nous avons donc une **vision spatialisée de l'assolement**, qui ne se limite pas aux seules proportions de cultures (Figure 1. 4). Ceci implique que : (i) les mêmes proportions de cultures réparties différemment dans les parcelles de l'EA constituent pour nous des assolements différents ; (ii) si les limites des parcelles cultivées sont modifiées (même si les limites externes de l'EA restent identiques), alors la répartition des cultures dans les parcelles est modifiée et l'assolement également.

Fig. 1 Crop acreage and crop allocation are the two interlocking elements of a cropping plan. a Crop acreage can be simplified as the crop area distribution, represented here by means of a pie chart, while b crop allocation calls for the explicit representation of land units, in a map for instance, or their characterisation in terms of various land attributes

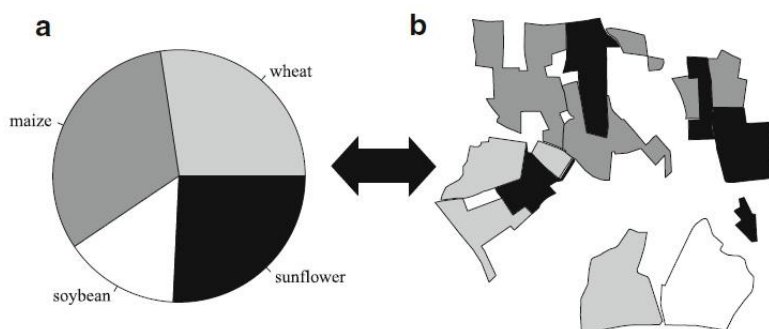


Figure 1. 4 : Définition de l'assolement. Source : (Dury et al., 2011)

Nous définissons les **décisions d'assolement** pour une exploitation agricole et une année donnée, comme **l'ensemble des décisions prises par l'agriculteur pour choisir de façon définitive les cultures, leurs surfaces respectives, et leur répartition dans les parcelles de l'EA** (Aubry et al., 1998b). Si certaines parcelles sont contigües, **ces décisions incluent donc la définition des limites de parcelles au sein du parcellaire de l'exploitation**.

Remarque 1 : dans toute la suite du travail, nous appelons **parcellaire de l'exploitation**, **l'ensemble des parcelles¹ appartenant à l'exploitation**, ces parcelles pouvant être

¹ Une **parcelle** est une « pièce de terre d'un seul tenant portant, au cours d'un cycle cultural donné, la même culture ou la même association de cultures gérée par un seul individu ou par un groupe déterminé d'individus » Milleville P. (1972) Approche agronomique de la notion de parcelle en milieu traditionnel africain : la parcelle d'arachide en moyenne Casamance. Cahier ORSTOM, série biologique 17:23-37.

contigües ou non. Le parcellaire d'exploitation définit ainsi les limites des parcelles, mais pas les cultures allouées aux parcelles une année donnée. Nous préférons le terme de parcellaire à celui de territoire car ce dernier sous-entend éventuellement d'autres éléments faisant partie de l'EA (chemins, etc.), sur lesquels l'agriculteur n'alloue pas de cultures.

Remarque 2 : les **notions d'assolement et de successions de cultures sont très liées**. La notion de succession de cultures correspond à la dimension temporelle de l'assolement pris sur plusieurs années ; et la notion d'assolement correspond à la dimension spatiale d'une succession de cultures prise une année donnée. Il est possible de dériver les proportions moyennes annuelles des cultures à partir de la connaissance des successions de cultures (Dogliotti et al., 2003; Dury et al., 2011). Par exemple, pour une succession colza / blé / tournesol / blé, les proportions moyennes annuelles pour quatre ans sont de 25% pour le colza et pour le tournesol, et 50% pour le blé. Les proportions réelles annuelles des cultures dépendent toutefois de l'allocation des cultures aux parcelles (et de la surface des parcelles).

Remarque 3 : certains auteurs parlent de **rotations de cultures** (Dogliotti et al., 2003) et pas de **successions de cultures**. Nous utilisons la définition de (Leteinturier et al., 2006) : une rotation de cultures comporte une dimension cyclique et une durée de rotation fixe (ex : 5 ans, et au bout des 5 années de rotation, on redémarre systématiquement au début de la rotation). Une succession de cultures décrit l'ordre dans lequel des cultures se succèdent sur une parcelle donnée. Nous préférons la notion de successions de cultures car elle comporte plus de flexibilité (voir (Castellazzi et al., 2008) pour une description de cette flexibilité).

1.2.2) Les décisions d'assolement des agriculteurs peuvent impacter l'organisation spatiale des cultures

Les décisions d'assolement peuvent avoir un impact sur l'organisation spatiale des cultures (i) à l'échelle de l'exploitation agricole, et (ii) à l'échelle du paysage.

(i) A l'échelle de l'EA, la structure du parcellaire (distance entre parcelles, surface des parcelles, etc.) et les caractéristiques des terrains de l'exploitation (types de sol, pente, etc.) conditionnent fortement les décisions concernant la localisation des cultures (Le Ber and Benoit, 1998; Morlon and Benoît, 1990; Morlon and Trouche, 2005a), ce qui conditionne l'organisation spatiale des cultures dans l'EA. Ces auteurs affirment que l'utilisation d'une parcelle ne peut se comprendre qu'en lien avec la place qu'elle occupe au sein du parcellaire, ce qui renvoie à une vision systémique de l'assolement (interdépendance des éléments de décisions de l'agriculteur (Papy, 2001)). Cette affirmation est valable pour des EA de grandes cultures, dans lesquelles les distances entre parcelles impactent fortement le déroulement des chantiers, et, en conséquence, le choix d'organisation spatiale des cultures dans le parcellaire (Morlon and Trouche, 2005b). Cette affirmation est aussi valable dans les EA d'élevage, dans lesquelles la distance entre parcelles et siège d'exploitation (ainsi que la surface des parcelles) joue un rôle prépondérant sur l'usage fourrager qui est fait de chaque parcelle (pâturage, fauche, etc.) (Brunschwig et al., 2006; Marie et al., 2009). Il semble qu'il

existe certains seuils de distance, au-delà desquels certains usages ne sont pas choisis comme possibles par l'agriculteur (ex : seuil de 500 m pour le pâturage des vaches laitières) (Brunschwig et al., 2006). Il apparaît ainsi nécessaire de considérer la dimension spatiale des activités de l'agriculteur pour comprendre l'organisation spatiale des cultures dans l'EA (Soulard et al., 2002) (schéma d'organisation territoriale de l'exploitation).

Plusieurs auteurs ont en outre mis en évidence que les agriculteurs décomposaient leur parcellaire d'exploitation en entités de gestion intermédiaires entre l'échelle de la parcelle et l'échelle de l'EA (Joannon et al., 2005), afin de simplifier leurs décisions. Ils peuvent par exemple regrouper des parcelles soit en raison de leur proximité géographique, soit en raison de la similarité des usages qui en sont faits (Aubry et al., 1998b; Josien et al., 1994), ce qui détermine également l'organisation spatiale des cultures dans l'EA.

(ii) Les décisions d'assolement, bien que prises au niveau de l'exploitation agricole, peuvent aussi impacter l'organisation spatiale des cultures à une échelle plus vaste : l'organisation spatiale des cultures au sein des EA laitières de Lorraine a par exemple des répercussions sur l'organisation spatiale des cultures à l'échelle du village (Benoît, 1990). La structure des parcellaires d'exploitation, qui détermine fortement l'allocation des cultures aux parcelles, a en retour de forts impacts sur la structure du paysage de bocage de Bretagne (Thenail and Baudry, 2004). En paysage d'openfields, la diversité des cultures et successions de cultures choisies par les agriculteurs, ainsi que la diversité des tailles de parcelles cultivées, entraînent une diversité de mosaïques de cultures à l'échelle communale, ce qui constitue d'ailleurs des habitats plus ou moins favorables pour des oiseaux comme la perdrix grise (Joannon et al., 2008). Enfin, pour différents paysages agricoles en France, (Thenail et al., 2009) ont montré que les décisions d'assolement prises au niveau individuel conditionnaient fortement l'organisation de la mosaïque de cultures à l'échelle du paysage.

En conséquence, pour créer une mosaïque de cultures favorable à tel ou tel enjeu environnemental à l'échelle du paysage, il pourrait être utile de coordonner les décisions d'assolement de plusieurs agriculteurs ayant leur exploitation dans ce paysage. De telles démarches d'assolements concertés ont été testées à l'échelle du bassin versant pour réduire les risques de ruissellement érosif (Joannon et al., 2006; Le Goff, 2007; Silvestre, 2004). Ces démarches nécessitent toutefois d'explicitier la temporalité du processus de décision d'assolement au cours de l'année agricole, afin de connaître les moments où ces décisions sont planifiées puis ajustées, et les moments au-delà desquels des modifications du choix d'assolement ne sont plus possibles.

1.2.3) Etat de l'art sur la modélisation des décisions d'assolement des agriculteurs

Cette section est largement inspirée de l'article de revue bibliographique¹ des modèles de décisions d'assolement et de successions de cultures réalisé par Jérôme Dury et dont je suis

¹ <http://www.springerlink.com/content/h52584337g21ro24/fulltext.pdf>

co-auteure (Dury et al., 2011). Nous décrivons ici tout d'abord les modèles visant à déterminer un assolement optimal (section 1.2.3.1), puis les modèles visant à décrire les processus de décisions des agriculteurs, en particulier de décisions d'assolement (section 1.2.3.2).

1.2.3.1) Modèles visant à déterminer un assolement optimal

De nombreux modèles visent à **rechercher un assolement optimal, maximisant par exemple le revenu net de l'agriculteur et/ou l'efficacité de l'utilisation des ressources**. Dans ce cas, les décisions d'assolement sont considérées comme un problème déterministe d'allocation des ressources aux parcelles, en fonction d'un certain nombre de contraintes (Dury et al., 2011). Il s'agit de chercher une combinaison cultures/parcelles optimale qui respecte des contraintes.

L'assolement optimal est alors simulé *via* des méthodes de programmation linéaire. Certains auteurs considèrent un seul critère d'optimisation, le plus souvent la maximisation du revenu net de l'agriculteur (Itoh et al., 2003; Nevo et al., 1994). D'autres auteurs considèrent que les décisions d'assolement doivent remplir plusieurs objectifs à la fois, parfois contradictoires, et ils maximisent une fonction objectif intégrant plusieurs critères d'optimisation (ex : revenu net et impact environnemental) (Annetts and Audsley, 2002; Tsakiris and Spiliotis, 2006). Les contraintes appliquées au système concernent la disponibilité en eau (Tsakiris and Spiliotis, 2006), la disponibilité en main d'œuvre (Itoh et al., 2003), ou encore la disponibilité en matériel sur l'EA (Annetts and Audsley, 2002).

En ce qui concerne les exploitations d'élevage (ici bovin laitier), certains auteurs ont construit un modèle capable de générer des assolements pluriannuels respectant la stratégie globale de l'éleveur ainsi que ses règles de décisions (Garcia et al., 2005b). Pour chaque assolement généré, ce modèle (TOURNESOL) calcule les besoins en matières premières (herbe, fourrages, céréales, pailles, etc.) et la production de matières premières permise par l'assolement : chaque assolement est ensuite évalué sur sa capacité à couvrir les besoins de l'EA tout en respectant les contraintes (accessibilité au pâturage, potentiel agronomique des parcelles, règles agronomiques de successions de cultures, etc.) et les préférences de l'éleveur (autonomie fourragère). La décision consiste alors à optimiser l'allocation des cultures aux parcelles pour maximiser une fonction objectif combinant ces critères (Garcia et al., 2005b). Cette optimisation est réalisée au moyen d'un algorithme évolutionnaire¹ qui permet de trouver une solution qui tend vers l'optimum (Chardon, 2008; Garcia et al., 2005b).

¹ Les algorithmes évolutionnaires s'inspirent du principe de sélection naturelle : ils « consistent à faire « évoluer » une population de solutions au cours d'un certain nombre de « générations », en appliquant une pression de « sélection » selon la fonction-objectif à optimiser ». Ils sont décrits dans Chardon X. (2008) Evaluation environnementale des exploitations laitières par modélisation dynamique de leur fonctionnement et des flux de matière : développement et application du simulateur Mélodie, Thèse de doctorat, AgroParisTech, Rennes. pp. 227.

Par ailleurs, des approches par optimisation sous contraintes sont également utilisées pour **explorer les tendances d'évolution des occupations du sol à des échelles plus vastes que celle de l'EA**, sous l'effet de changements économiques (Baltas and Korka, 2002; Chavas and Holt, 1990). Ces approches économétriques s'appuient sur l'hypothèse que les agriculteurs choisissent leurs assolements en maximisant leur profit ; ils visent à prédire l'évolution des surfaces des cultures en fonction de l'évolution des prix agricoles (Dury et al., 2011). (Rounsevell et al., 2003) se basent sur cette même hypothèse de maximisation du profit des agriculteurs pour simuler l'organisation de l'occupation du sol à l'échelle régionale. Or, d'autres auteurs (Vavra and Colman, 2003) s'opposent à cette hypothèse de maximisation du profit de la part des agriculteurs : ces auteurs montrent, à partir d'études de cas au Royaume-Uni, que les variables économiques ne permettent pas d'expliquer les changements de surfaces des cultures à l'échelle des exploitations agricoles car (i) les agriculteurs peuvent répondre à des objectifs différents d'une EA à l'autre, (ii) les EA peuvent en être à des stades différents de leur cycle de vie, et (iii) les agriculteurs ne favorisent pas nécessairement leur revenu à court terme mais peuvent décider de leur assolement une année donnée avec une vue à plus long terme (Dury et al., 2011).

1.2.3.2) Modèles visant à décrire les processus de décisions des agriculteurs

Comme (Vavra and Colman, 2003), de nombreux auteurs considèrent que les agriculteurs n'ont pas une rationalité parfaite et ne prennent pas leurs décisions uniquement en maximisant leur profit ou une fonction objectif (Chardon, 2008; Edwards-Jones, 2006; Murray-Rust et al., 2011; Sebillotte and Soler, 1990). Les décisions des agriculteurs sont d'ailleurs très particulières : (1) elles sont implicites et presque jamais écrites car le décideur est également l'exécutant (Aubry, 2000) ; (2) elles nécessitent une grande anticipation et sont prises dans un contexte d'incertitude (climatique, économique, etc.) (Aubry, 2000; Garcia et al., 2005a). L'effet d'une décision ne peut en effet pas être mesuré immédiatement, mais souvent seulement au terme du cycle de production. Pour ces raisons, ces auteurs considèrent plutôt que l'agriculteur a une rationalité limitée (Simon, 1955), et qu'il « ne cherche pas forcément la meilleure décision, mais une décision qui lui paraît satisfaisante à un moment donné, compte-tenu des informations dont il dispose » (Sebillotte and Soler, 1990).

Ainsi, de **nombreux auteurs se sont intéressés aux processus décisionnels des agriculteurs**, soit pour développer des modèles d'aide à la décision intégrant les modes de gestion réels des agriculteurs (Aubry et al., 1998a; Girard and Hubert, 1999; Sebillotte, 1990b) ; soit pour développer des modèles du fonctionnement des EA qui intègrent « non seulement les processus biophysiques mais aussi les processus décisionnels, afin de décrire le comportement des agroécosystèmes et de permettre d'étudier différentes options de gestion »¹ (Chardon, 2008; Cros et al., 2003; Garcia et al., 2005a; Le Gal et al., 2010).

¹ La citation provient de Chardon (2008).

En dehors des décisions d'ordre stratégique (décisions de long terme, peu réversibles, ex : choix des productions, des investissements, de la politique commerciale, etc.), les décisions¹ des agriculteurs sont pour la plupart cycliques et récurrentes (Duru et al., 1988; Sebillotte and Soler, 1990). Pour un cadre stratégique fixé, le **modèle d'action de l'agriculteur** (Duru et al., 1988; Sebillotte and Soler, 1990) interprète les processus de décisions comme suit :

- « un ou plusieurs objectifs généraux qui définissent le terme vers lequel convergent les décisions de l'agriculteur ;
- un programme prévisionnel, portant sur l'horizon de temps concerné, et des états-objectifs intermédiaires qui définissent des points de passage à l'occasion desquels l'agriculteur pourra faire des bilans en vue de savoir où il en est de la réalisation de ses objectifs généraux (se trouvent ainsi fixés les indicateurs qui serviront aux décisions) ;
- un corps de règles, établi en fonction d'un champ d'événements et de situations futurs reconnus comme possibles par l'agriculteur, qui définit la nature des décisions à prendre à chaque étape pour atteindre les objectifs fixés, et la nature des solutions de rechange à mettre en œuvre si, à certains moments, ce déroulement souhaité n'est pas réalisable »².

Il est généralement admis que les **agriculteurs combinent action planifiée et action située (i.e. pilotage de cette planification)**³, ce qui requiert à la fois anticipation et réactivité / flexibilité (Chardon, 2008). Une planification entièrement prédéterminée n'est pas suffisante pour représenter de façon adéquate le comportement d'un agriculteur (Vayssières et al., 2007). Il existe d'ailleurs chaque année des écarts entre les décisions planifiées et les décisions finalement prises (Aubry, 2000; Aubry et al., 1998a).

Le modèle d'action, qui décrit les décisions des agriculteurs comme un processus de planification puis de pilotage, a ensuite été utilisé dans de nombreux travaux français sur les décisions des agriculteurs, aussi bien en productions végétales qu'animales : gestion d'une sole de blé en grandes cultures (Aubry et al., 1998a), gestion de l'organisation du travail en système cotonnier (Dounias et al., 2002), gestion de l'irrigation pour la production de foin (Mérot et al., 2008), gestion des effluents d'élevage (Aubry et al., 2006), gestion d'un troupeau de bovins allaitants (Ingrand et al., 2003), etc.

¹ On peut distinguer des décisions stratégiques, tactiques, et opérationnelles. Les décisions tactiques et opérationnelles sont considérées comme cycliques et récurrentes car elles concernent « l'organisation des processus productifs dans l'EA, c'est-à-dire d'une part les actes techniques, à l'échelle des cycles de production ou des successions de cultures et à l'échelle élémentaire (journée, voire inférieure, domaine des décisions opérationnelles), d'autre part l'attribution des ressources productives aux productions et leur mise en œuvre dans les opérations culturales ». Aubry C. (2007) La gestion technique des exploitations agricoles. Composante de la théorie agronomique, INPT, Mémoire d'habilitation à diriger les recherches, Toulouse. pp. 101.

² La citation provient de Duru et al. (1988)

³ Notons que d'autres auteurs considèrent que les agriculteurs n'ajustent pas leur planification au fur et à mesure mais re-planifient leurs activités régulièrement en fonction de l'évolution de l'état du système ; la période pour laquelle le plan est établi étant plus longue que l'intervalle entre deux révisions. Voir Snow V.O., Lovatt S.J. (2008) A general planner for agro-ecosystem models. Computers and Electronics in Agriculture 60:201-211. DOI: 10.1016/j.compag.2007.08.001.

Ces travaux ont permis d'identifier et de **formaliser des règles de décisions d'agriculteurs**, de type « si... alors..., sinon... », « dès que... alors... », « tant que... alors... », etc. Ces règles concernent le déclenchement, l'enchaînement, le séquençement, l'arbitrage ou encore le regroupement des activités des agriculteurs (Aubry et al., 1998a).

D'autres auteurs ont décrit de façon très formelle les processus décisionnels des agriculteurs, et ont construit une **ontologie des concepts** liés aux tâches de conduite de la production (Martin-Clouaire and Rellier, 2003). Une ontologie est définie comme un « ensemble structuré de concepts, définis et mis en relation les uns avec les autres (chacun représentant un élément constitutif du domaine), visant à décrire de façon formelle un domaine de connaissance. L'objectif est d'établir une base de connaissance consensuelle et claire, partagée entre différents modélisateurs et utilisable en informatique » (Chardon, 2008). De telles ontologies ont récemment été appliquées à la gestion de systèmes fourragers par exemple (Martin, 2009a).

En ce qui concerne plus particulièrement les décisions d'assolement des agriculteurs, certains auteurs ont proposé un **modèle conceptuel de constitution des assolements pour les EA de grandes cultures** (Aubry et al., 1998b; Maxime et al., 1995) (Figure 1. 5).

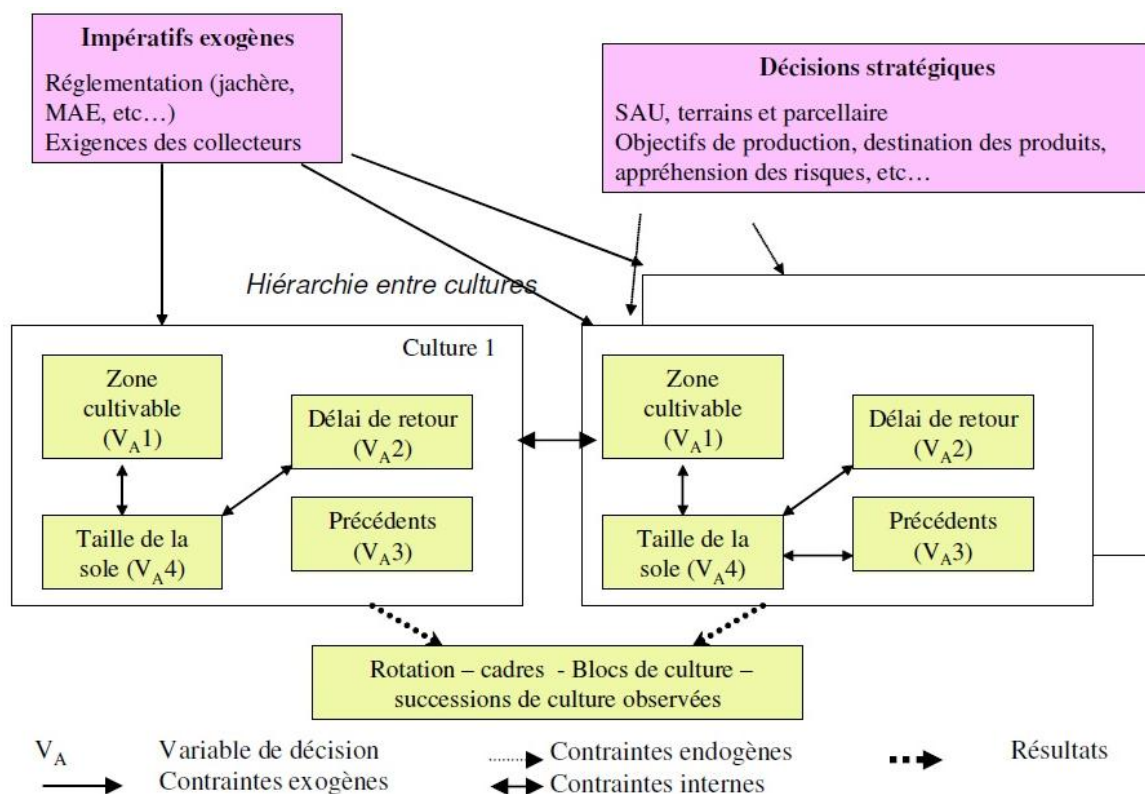


Figure 1. 5: **Modèle conceptuel de constitution des assolements pour les EA de grandes cultures.** Source : (Aubry, 2007), sur la base de (Aubry et al., 1998b; Maxime et al., 1995)

Ce modèle conceptuel est constitué de **quatre variables décisionnelles**, interdépendantes, qui décrivent ce sur quoi porte la décision de l'agriculteur. Ces variables sont (Aubry et al., 1998b; Maxime et al., 1995) :

- la **zone cultivable (ZC)** de la culture, qui est l'ensemble des parcelles de l'EA jugées par l'agriculteur comme favorables ou tolérables pour cette culture. Elle dépend des caractéristiques des terrains et du parcellaire de l'EA. La zone cultivable détermine la localisation des cultures dans le parcellaire.
- le **délai de retour (DR)**, qui est le temps minimum devant s'écouler avant le retour de la même culture sur la même parcelle. Il dépend des risques phytosanitaires acceptés par l'agriculteur et/ou imposés par certains cahiers des charges. Le délai de retour détermine les successions de cultures.
- les **couples précédent/suivant (CPS)**, qui sont l'ensemble des couples de cultures dont la succession temporelle est favorisée ou au contraire limitée (voire interdite) par l'agriculteur en fonction des effets précédent¹ et suivant² qu'il choisit de favoriser ou limiter. Ces couples déterminent aussi les successions de cultures.
- la **taille de sole (TS)** de la culture, qui est la surface de l'ensemble des parcelles consacrées à la culture sur l'EA une année donnée. Elle dépend des objectifs de l'agriculteur et de contraintes internes (ex : disponibilité en main d'œuvre) ou externes (ex : contrat avec une coopérative) à l'EA.

Ces variables sont interdépendantes car par exemple, la taille de sole est maximisée par les décisions prises concernant la zone cultivable (ZC) et le délai de retour (DR) de la culture. Elles sont soumises à l'influence de contraintes internes ou externes aux EA.

Ce modèle conceptuel permet de déterminer des **blocs de cultures** et des **rotations-cadres** (Aubry et al., 1998b; Maxime et al., 1995). Un bloc de culture est « un ensemble de parcelles culturales d'une exploitation sur lequel est pratiqué un système de culture donné » (Maxime et al., 1995). Une rotation-cadre est une succession de cultures construite autour de cultures prioritaires pour l'agriculteur (encore appelées cultures « pivot ») et d'autres cultures, plus interchangeables dans la succession de cultures (Aubry et al., 1998b).

¹ Effet précédent = « variation d'états du milieu, entre le début et la fin de la culture considérée, sous l'influence combinée du peuplement végétal et des techniques qui sont appliquées, l'ensemble étant soumis aux influences climatiques » Sebillotte M. (1990a) Système de culture, un concept opératoire pour les agronomes, in: L. Combe, Picard, D. (Ed.), Les systèmes de culture, INRA, Paris. pp. 165-196.

² Effet suivant (ou sensibilité du suivant) = « ampleur des réactions de la culture de rang « n+1 » (le suivant) à la diversité des états du milieu créés par la culture de rang « n » (le précédent), sous un climat donné et compte tenu des techniques utilisées sur le suivant », ou autrement dit l'aptitude d'une culture qui suit à valoriser la diversité des états du milieu créés par le précédent, compte tenu du climat et des techniques appliquées » ibid.

A partir de ce modèle développé pour les EA de grandes cultures, **d'autres modèles ont été construits pour les systèmes maraîchers** : SALADPLAN (Navarrete and Le Bail, 2007) pour les systèmes à base d'endives et de laitues en régions tempérées, ou LYLU (Mawois, 2009; Mawois et al., 2010) pour les systèmes à base de légumes feuilles en régions tropicales. Comme les systèmes maraîchers comportent des cultures infra-annuelles (et pas annuelles comme précédemment), la constitution des assolements dans ces systèmes comporte des spécificités qui ont permis d'identifier des variables supplémentaires (en plus des quatre variables présentées ci-dessus) : nombre de cycles culturels, durée des cycles, etc.

Si ces modèles conceptuels permettent de décrire le contenu des décisions (*via* les variables décisionnelles) et certaines entités de gestion mobilisées par les agriculteurs (ex : blocs de cultures), ils ne permettent toutefois pas de simuler en tant que tel le processus de décision, et surtout l'assolement qui en résulte. Ces auteurs s'accordent sur le fait que le processus de décision d'assolement est itératif, mais ils n'explicitent pas les étapes du raisonnement suivi par l'agriculteur au point que l'on puisse simuler la planification de l'assolement et/ou les ajustements de cette planification d'assolement. Enfin, ces modèles ne comportent pas de dimension spatiale explicite, si bien qu'il n'est pas possible de renseigner la dimension spatiale de l'assolement (la répartition des cultures dans le parcellaire de l'exploitation) à partir des seules variables décisionnelles décrites ici.

Ainsi, la revue bibliographique des modèles de décisions d'assolement de (Dury et al., 2011) montre que :

(i) **la modélisation des décisions d'assolement repose le plus souvent sur une hypothèse de rationalité complète de l'agriculteur, et sur une procédure d'optimisation** visant à trouver la meilleure combinaison cultures-parcelles sous certaines conditions. Or, dans un contexte de plus en plus incertain et changeant, il semble plutôt nécessaire d'améliorer la capacité d'adaptation des agriculteurs, et par exemple de rechercher des marges de manœuvres possibles concernant leur assolement, plutôt que de prescrire des solutions optimales (Darnhofer, 2008).

(ii) **la dimension temporelle des décisions d'assolement n'est pas assez prise en compte dans les modèles existants**. Le processus de décision est en effet le plus souvent représenté comme un événement unique, ayant lieu une fois par an. Il conviendrait au contraire de considérer les décisions d'assolement comme le résultat d'une succession de décisions de planification et d'adaptations faites à différents pas de temps (infra-annuel, annuel, ou pluriannuel), avec des ajustements possibles au fur et à mesure que l'information devient disponible pour l'agriculteur.

(iii) **la dimension spatiale des décisions d'assolement n'est pas assez prise en compte dans les modèles existants**. Dans la plupart des modèles en effet, l'assolement n'est pas représenté spatialement : il est décrit comme la distribution de surfaces de cultures dans différents types de sols, sans expliciter les logiques de localisation des cultures dans le parcellaire en fonction de la structure du parcellaire, et sans expliciter non plus les décisions liées à la délimitation des parcelles au sein du parcellaire (lorsque les parcelles sont contigües).

1.3) Problématique et objectifs de la thèse

La bibliographie montre tout d'abord que l'organisation spatiale et temporelle des cultures impacte de nombreuses questions environnementales à l'échelle du paysage (Benton et al., 2003; Joannon et al., 2006; Le Bail et al., 2010), et que l'organisation de la mosaïque de cultures à l'échelle du paysage peut donc constituer un levier d'action pour gérer ces questions environnementales (Foley et al., 2005).

La mosaïque de cultures a été décrite et modélisée par différentes méthodes statistiques et/ou de fouille de données (Lazrak et al., 2010), mais, pour pouvoir utiliser cette mosaïque comme un levier d'action, il est indispensable de comprendre les moteurs de cette organisation (Murray-Rust et al., 2011).

Dans les paysages agricoles, un des moteurs majeurs de l'organisation spatiale et temporelle des cultures est l'activité agricole, *via* les décisions d'assolement prises par les agriculteurs, à l'échelle de leurs exploitations individuelles (Rindfuss et al., 2004; Thenail et al., 2009). Cela signifie que l'échelle pertinente pour gérer une question environnementale (ex : bassin versant pour le ruissellement érosif) ne coïncide pas avec l'échelle où sont prises les décisions d'organisation spatiale et temporelle des cultures (l'exploitation agricole) : il s'agit du « spatial scale mismatch » décrits par plusieurs auteurs en écologie (Cumming, 2006; Pelosi et al., 2010). Il pourrait donc être nécessaire, pour tendre vers une mosaïque de cultures favorable à une question environnementale dans un bassin versant par exemple, de coordonner la mise en place de l'organisation spatiale des cultures dans plusieurs EA présentes dans ce bassin versant.

Il apparaît donc nécessaire de comprendre les liens entre décisions d'assolement à l'échelle de l'exploitation et organisation spatiale et temporelle des cultures à l'échelle du paysage, pour comprendre les conséquences possibles des décisions des agriculteurs sur l'organisation des cultures à l'échelle du paysage (et sur le fonctionnement des écosystèmes (Burel and Baudry, 2005)), et éventuellement coordonner ces décisions d'assolement.

Or, la revue bibliographique sur la modélisation des décisions d'assolement des agriculteurs (Dury et al., 2011) montre que les décisions d'assolement sont insuffisamment modélisées dans leurs dimensions spatiale et temporelle, d'où la nécessité d'approfondir les dimensions spatiale et temporelle de ces décisions.

En conséquence, la problématique générale de la thèse est la suivante :

En quoi la modélisation des décisions d'assolement dans leurs dimensions spatiale et temporelle au niveau de l'exploitation agricole permet-elle de rendre compte :

- (i) de l'organisation spatiale des cultures au niveau du paysage agricole, et**
- (ii) de la temporalité des décisions conduisant à cette organisation spatiale ?**

Nous faisons en effet l'hypothèse qu'il existe de grands déterminants communs aux EA d'un même territoire (conditions pédoclimatiques, contexte économique, etc.), mais que les agriculteurs internalisent ces déterminants et que la modélisation de leurs décisions d'assolement permet de rendre compte et de modéliser l'organisation spatiale et temporelle des cultures dans les paysages agricoles.

La problématique de la thèse est divisée en trois sous-questions, dont l'articulation sera présentée au chapitre 2 (démarche méthodologique). Ces trois questions sont les suivantes :

- Question 1 : En quoi les régularités d'organisation spatiale et temporelle des cultures identifiées au niveau du paysage relèvent-elles de décisions d'agriculteurs prises au niveau de l'exploitation agricole ; et inversement, les décisions des agriculteurs sont-elles à l'origine de régularités d'organisation au niveau du paysage ?
- Question 2 : La modélisation des décisions d'assolement dans leurs dimensions spatiale et temporelle au niveau de l'exploitation permet-elle de rendre compte de l'organisation spatiale des cultures à l'échelle de l'exploitation agricole, et de la temporalité des décisions conduisant à cette organisation spatiale ?
- Question 3 : Peut-on utiliser ce modèle de décisions d'assolement à l'échelle de l'exploitation pour rendre compte de l'organisation spatiale des cultures à l'échelle d'un paysage composé d'exploitations ?

Les **objectifs de la thèse** sont les suivants :

(1) évaluer la cohérence entre (i) l'identification, au niveau du paysage, de régularités stochastiques concernant l'organisation spatiale et temporelle des cultures et (ii) l'identification, au niveau des EA, de règles de décisions d'agriculteurs concernant la localisation des cultures et l'évolution de la localisation des cultures au cours du temps.

(2) construire un modèle conceptuel des décisions d'assolement à l'échelle de l'exploitation agricole permettant d'une part d'approfondir les dimensions spatiale et temporelle de ces décisions, et d'autre part de simuler l'organisation spatiale des cultures d'une année à l'autre à l'échelle de l'EA.

Ce modèle aura en particulier pour but de :

- expliciter les règles de localisation des cultures au sein du parcellaire, et expliciter les règles de délimitation des parcelles au sein du parcellaire (quand ces parcelles sont contiguës), afin de pouvoir relier la dimension spatiale des assolements à des questions environnementales¹.

¹ « S'il reste cantonné à sa seule dimension temporelle, indépendamment de la taille, de la forme, de la nature des contours des parcelles dans lesquelles il est pratiqué, s'il n'inclut pas l'organisation spatiale des cultures, le concept de système de culture ne permet pas d'évaluer correctement les effets des pratiques culturales sur les

- expliciter la temporalité du processus de décision d'assolement au cours d'une année agricole, afin de connaître les moments où ces décisions sont planifiées puis ajustées, et les moments au-delà desquels des modifications du choix d'assolement ne sont plus possibles (dans l'optique d'une coordination des assolements entre plusieurs agriculteurs).

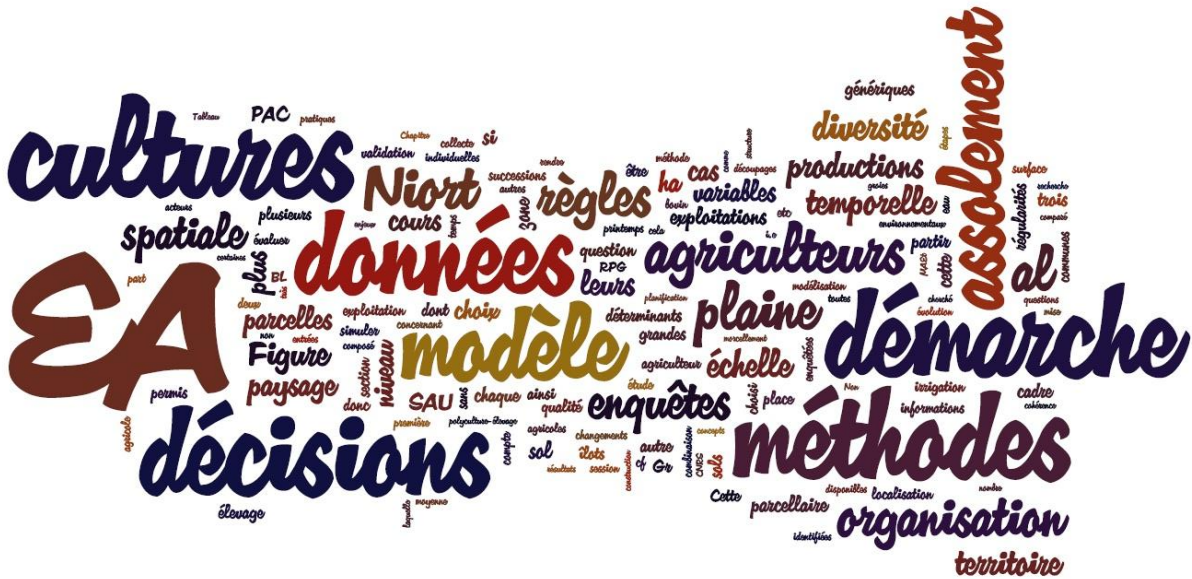
- être applicable aux EA de polyculture-élevage, dans lesquelles coexistent des cultures de vente annuelles et des cultures fourragères pluriannuelles. Les paysages agricoles dans lesquels la mosaïque de cultures peut être un levier d'action pour gérer certaines questions environnementales sont en effet le plus souvent des zones de polyculture-élevage, dans lesquelles les surfaces en herbe jouent un rôle majeur sur les processus écologiques (habitats pour certaines espèces, réduction du ruissellement érosif, etc.).

(3) utiliser ce modèle à l'échelle d'un paysage composé d'exploitations pour évaluer si la modélisation des décisions d'assolement à l'échelle des EA permet de rendre compte de l'organisation spatiale des cultures d'une année à l'autre à l'échelle du paysage.

flux latéraux d'eau, de terre, de minéraux, de graines, de pollen..., ou encore sur la structuration spatiale des habitats d'espèces animales et végétales ». Papy F., Baudry J. (2005) Le système de culture : différents niveaux d'organisation territoriale à distinguer et articuler, in: P. Prevost (Ed.), Agronomes et territoires. Deuxième édition des Entretiens du Pradel, L'Harmattan. pp. 9.

Chapitre 2.

Démarche méthodologique



Dans ce chapitre, nous présentons la **zone d'étude** et la **démarche mise en œuvre** pour traiter notre question de recherche. Nous avons choisi de travailler dans le **territoire de la plaine de Niort (Deux-Sèvres, région Poitou-Charentes)**. Dans la section 2.1, nous présentons ce territoire et montrons en quoi il est pertinent pour étudier l'organisation spatiale et temporelle des cultures en lien avec les décisions d'assolement des agriculteurs. Puis dans la section 2.2, nous exposons le dispositif de recherche mis en œuvre pour traiter la question (i.e. en quoi la modélisation des décisions d'assolement dans leurs dimensions spatiale et temporelle au niveau de l'exploitation agricole permet-elle de rendre compte de l'organisation spatiale des cultures dans les paysages agricoles, et de la temporalité des décisions conduisant à cette organisation spatiale ?).

2.1) Présentation de la zone d'étude : le territoire de la plaine de Niort

La plaine de Niort se situe au sud du département des Deux-Sèvres. Ce territoire couvre 38 communes, sur une surface d'environ 42 000 ha (Figure 2. 1). Depuis 2008, il a reçu le label de zone atelier¹, la zone atelier « Plaine et Val de Sèvre ».



Figure 2. 1 : Localisation du territoire de la plaine de Niort et délimitation de la zone atelier « Plaine et Val de Sèvre »

¹ Les zones ateliers (aujourd'hui au nombre de 9 en France) ont été mises en place depuis une vingtaine d'années par le programme « Environnement Vie et Société du CNRS ». Une zone atelier est un « espace de recherche, d'observations et de méthodes réunissant des équipes de recherche organisées autour de problématiques interdépendantes ». Il s'agit d'une « plate-forme de recherche associant des équipes de recherche multidisciplinaire et des partenaires opérationnels », d'un « territoire de grande dimension déterminé autour d'une seule problématique permettant de croiser des approches écologiques, sociales et économiques », d'un « lieu d'interactions entre chercheurs, citoyens et institutions régionales et locales », et enfin d'un « observatoire de l'évolution des séries de données pouvant alimenter un Observatoire de Recherche en Environnement ». (<http://www.zaplainevaldesevre.fr/index.php>)

Il s'agit d'une plaine majoritairement céréalière, avec des élevages caprins et bovins plutôt en recul, et située à l'intersection entre plusieurs entités paysagères : le Marais Poitevin à l'Ouest, aux sols humides et inondables ; la ville de Niort au Nord-Ouest ; la région du Mellois à l'Est, plateau aux sols argileux ; et la forêt de Chizé au Sud (Lelaure, 2006).

Nous avons choisi d'étudier le territoire de la plaine de Niort pour trois raisons majeures :

- (1) de nombreuses données sont disponibles et plusieurs collaborations ont été possibles sur ce territoire dans le cadre du projet ANR « BioDivAgriM » (section 2.1.1) ;
- (2) la plaine de Niort présente une diversité d'exploitations agricoles (EA), de grandes cultures et de polyculture-élevage, et de facteurs territoriaux, dont nous faisons l'hypothèse qu'elle peut entraîner une diversité de décisions d'assolement, à l'origine de la mosaïque de cultures observée (section 2.1.2) ;
- (3) la mosaïque des cultures de ce territoire impacte des enjeux environnementaux localement importants, et fait l'objet d'une gestion par les acteurs locaux (section 2.1.3).

2.1.1) Un territoire avec de nombreuses données disponibles et collaborations possibles

La plaine de Niort a tout d'abord été choisie en raison des données disponibles et collaborations possibles qu'elle présentait. De précédents travaux dans le cadre du programme ANR « ADD-Prairies » ont permis de caractériser le fonctionnement des EA et leurs évolutions face à un contexte de récents changements (Assoul, 2005; Havet et al., 2010; Lelaure, 2006; Lemaire, 2008; Martin et al., 2009b; Meola, 2007).

Par ailleurs, deux bases de données spatialisées complémentaires sont disponibles :

- La **base de données du CNRS de Chizé** dans le cadre de la zone atelier « Plaine et Val de Sèvre », a été établie grâce à des suivis de l'occupation du sol réalisés depuis la fin des années 1990 (relevés de terrain). Ces données spatialisées, spécifiques du territoire de la plaine de Niort, renseignent sur l'**historique des limites de parcelles agricoles et leur occupation du sol (50 catégories d'occupation du sol)**. Elles permettent de connaître les découpages spatiaux des parcelles pour chaque année, mais elles ne donnent pas d'informations sur les territoires d'exploitations (i.e. on ne sait pas à quelle EA appartiennent les parcelles).
- Les **Registres Parcellaires Graphiques (RPG)**¹ sont disponibles pour toute la France depuis 2006 auprès de l'Agence de Services et de Paiement (ASP). Ces données

¹ Un **îlot PAC** est défini comme une portion de terrain d'un seul tenant, d'une seule et même exploitation, ne pouvant pas se chevaucher, stable dans le temps et limitée par des éléments facilement repérables et permanents (chemin, route, cours d'eau...) et par les limites départementales. Il est constitué d'une ou plusieurs parcelles contigües, cultivées ou non. Adapté de la définition de <http://www.projetgiea.fr/>
Les **données RPG** comprennent : les données graphiques de chaque îlot PAC avec la commune de l'îlot PAC, les cultures de l'îlot PAC regroupées selon une nomenclature de 28 groupes et les surfaces des regroupements obtenus, la surface de l'îlot PAC, son caractère irrigué ou non, la forme juridique de l'EA, la surface déclarée de l'EA, le département de rattachement administratif de l'EA, la classe d'âge pour les exploitants individuels et un identifiant numérique anonyme de l'EA (cf. <http://www.asp-public.fr/?q=node/856>)

correspondent aux déclarations PAC anonymes des EA françaises. Elles renseignent sur les **parcellaires d'EA** et **l'occupation du sol des îlots PAC** (28 catégories d'occupation du sol), **sans toutefois donner les limites de parcelles à l'intérieur des îlots PAC** (i.e. on connaît les cultures et leurs surfaces au sein de l'îlot PAC mais pas leur localisation au sein de ce dernier).

L'ensemble de ces données spatiales peut ainsi être mobilisé pour étudier les liens entre organisation spatiale et temporelle des cultures et décisions d'assolement des agriculteurs. Le programme ANR « BioDivAgriM » a permis de mettre en œuvre plusieurs collaborations dans cette voie (ex : modélisation stochastique du paysage de la plaine de Niort, utilisation de modèle de simulation d'allocation de cultures aux parcelles, etc.). L'annexe 2 décrit brièvement le programme ANR « BioDivAgriM ».

2.1.2) Un territoire lieu d'une diversité potentielle de décisions d'assolement

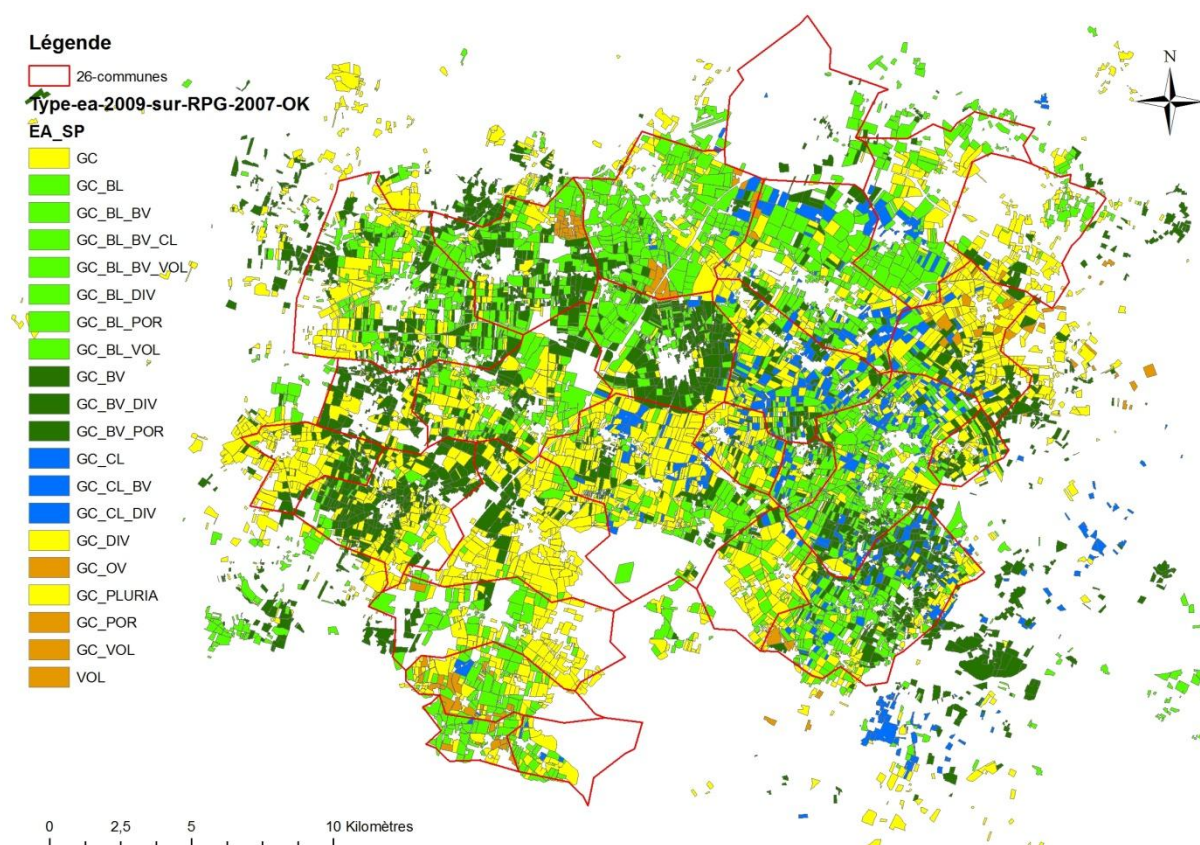
Même si certaines décisions peuvent être partagées entre agriculteurs, nous faisons l'hypothèse qu'il existe dans la plaine de Niort une diversité de décisions d'assolement, dont nous souhaitons pouvoir rendre compte et montrer les liens avec l'organisation spatiale et temporelle des cultures. Cette **diversité de décisions d'assolement peut résulter de plusieurs facteurs**, décrits ci-après :

- Une diversité de combinaisons des productions dans les EA (section 2.1.2.3)
- Une diversité de conditions pédoclimatiques pour les EA (section 2.1.2.2)
- Une diversité de structures des parcellaires d'exploitations (section 2.1.2.3)
- Une diversité d'acteurs économiques en présence dans le territoire (section 2.1.2.4).

2.1.2.1) Une diversité de combinaisons des productions dans les exploitations agricoles

Les données disponibles pour la plaine de Niort (CNRS et RPG) ne renseignent pas sur la combinaison des productions dans les EA : elles informent sur l'assolement mais pas sur les productions animales. C'est pourquoi nous avons réalisé en 2009 une série d'enquêtes auprès des élus des communes de la plaine de Niort. Ces enquêtes visaient à **caractériser la diversité de combinaisons des productions dans les EA**, et aussi à identifier les bâtiments agricoles et sièges d'EA du territoire, de façon anonyme (cf. Annexe 3 décrivant la démarche et les principaux résultats obtenus par les enquêtes communales).

Les enquêtes communales nous ont permis de renseigner la combinaison des productions de 308 EA, sur un total de 475 EA ayant au moins un îlot PAC dans la plaine de Niort. Ceci représente au total 36 399 ha de surface agricole déclarée (dont 30 172 ha à l'intérieur de la plaine de Niort, sur 35 128 ha de surface agricole totale dans la plaine de Niort, d'après les données RPG 2007). La combinaison des productions y a été caractérisée à dire d'acteurs, d'après l'ensemble des productions qu'ils connaissaient des EA, et pas seulement la production majoritaire.



GC = grandes cultures ; BL = élevage bovin lait ; BV = élevage bovin viande ; CL = élevage caprin lait ; VOL = élevage de volailles ; DIV = diversifié ; POR = élevage porcin ; OV = élevage ovin ; PLURIA = pluriactif
Manquent les communes de Prissé la Charrière, Thorigné et Vouillé

Figure 2. 2 : Localisation des grandes orientations de productions des exploitations de la plaine de Niort (orientations de productions identifiées par enquêtes communales en 2009 à partir du RPG 2007 (23 communes)

La Figure 2. 2 permet de localiser les **quatre grandes orientations** de production dans la plaine de Niort : **grandes cultures ; polyculture-élevage bovin laitier ; polyculture-élevage bovin allaitant ; et polyculture-élevage caprin**. Nous constatons que la majorité des surfaces sont occupées par des EA de polyculture-élevage (23 663 ha, 65% de la surface identifiée), dont 51% par des EA de bovins laitiers (12 100 ha), 36% de bovins viande (8 530 ha) et 10% de caprins laitiers (2 368 ha). 12 736 ha, soit 35% de la surface identifiée, sont exploités par des EA de grandes cultures. Ces dernières se situent surtout dans les parties Sud-ouest et Nord-est de la plaine de Niort, zones dans lesquelles les informations récoltées n'ont pas été complètes (trois communes manquantes). Il est donc probable que la proportion de surfaces exploitées par des EA de grandes cultures soit ici sous-estimée. De précédents travaux (Assoul, 2005; Lelaure, 2006; Lemaire, 2008; Meola, 2007) ont d'ailleurs montré que les EA de grandes cultures devenaient majoritaires, la tendance étant au recul des activités d'élevage, à la spécialisation céréalière et à l'agrandissement des EA.

2.1.2.2) Une diversité de conditions pédoclimatiques limitantes pour la ressource en eau

La plaine de Niort présente des **sols assez hétérogènes** (Figure 2. 3). Les **sols majoritaires** sont des **groies argilo-calcaires**, sains et de bonne portance, mais dont la réserve utile est

limitée. Cela en fait des **sols très sensibles au déficit hydrique**. Leur profondeur et leur quantité d'argile sont variables et conditionnent leur potentiel agronomique : plus les groies sont profondes et riches en argiles (jusqu'à 40%), plus la réserve utile est importante (jusqu'à 100 mm), et meilleur est le potentiel agronomique (Agenis-Nevers and Galdi, 2006). Sur les groies peu profondes, les cultures de printemps telles que le maïs doivent être irriguées, pour éviter les baisses de rendement. Dans la plaine, on trouve également quelques terres rouges, de meilleur potentiel mais sensibles à la battance (Agenis-Nevers and Galdi, 2006). Dans les zones basses, on trouve des sols de vallée avec des réserves utiles importantes, propices aux cultures de printemps sans irrigation, mais peu adaptés aux cultures d'hiver car facilement inondables (Lelaure, 2006). Enfin, dans les zones intermédiaires entre plaine et zones basses, on trouve des sols hétérogènes, souvent hydromorphes (Lelaure, 2006).

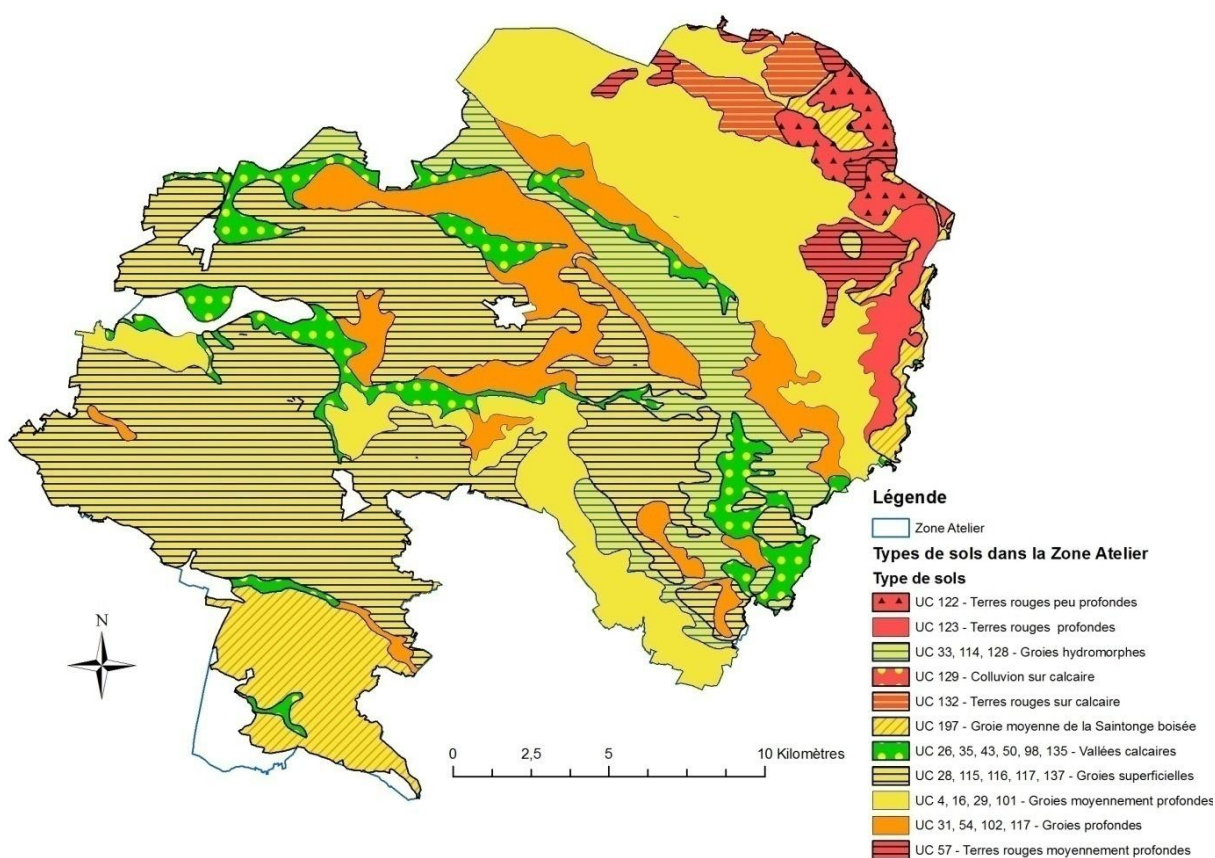


Figure 2. 3 : Localisation des différents types de sols dans la plaine de Niort (Source des données : IGCS, 2004)

D'autre part, la plaine de Niort présente un **climat océanique** avec des températures douces (12°C en moyenne annuelle) et des précipitations importantes (800 à 900 mm /an), mais inégalement réparties au cours de l'année (Bernard, 2010). Les **déficits hydriques sont ainsi très fréquents en saison estivale**, de juin à septembre (Figure 2. 4), ce qui rend d'autant plus contraignant le caractère séchant des sols de groies. Nous considérons que ce climat est homogène pour toutes les EA de la plaine de Niort.

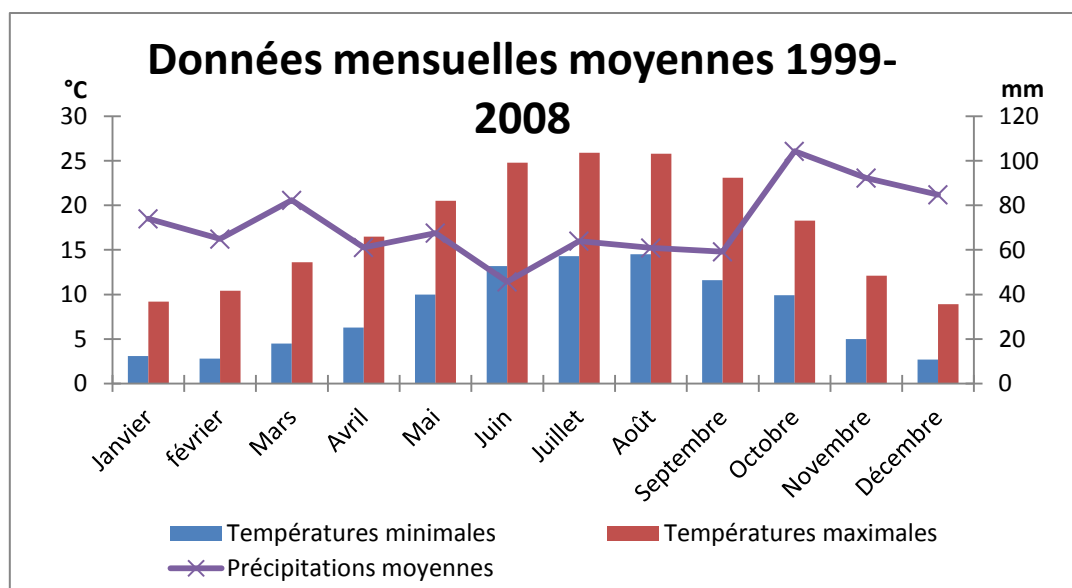


Figure 2. 4 : Données climatiques moyennes mensuelles de la plaine de Niort (1999-2008). Source : Bernard (2010) à partir de données météorologiques de la chambre d'agriculture des Deux-Sèvres

Face à cette contrainte forte sur la ressource en eau, **l'irrigation s'est développée dans la zone** depuis la fin des années 1970 (Agenis-Nevers and Galdi, 2006), essentiellement pour la culture du maïs, mais aussi pour d'autres céréales (blé dur), le tournesol, et les fourrages (luzerne) (Albouy et al., 2009). Toutefois, des **restrictions d'irrigation croissantes** ont été mises en place en réaction aux sécheresses estivales de plus en plus fréquentes. D'une part, les autorités locales limitent les volumes annuels autorisés pour les agriculteurs dans le cadre de la Police de l'Eau et du Milieu Aquatique (PEMA). Cela s'est traduit par une diminution de 16% des volumes annuels de référence en 2008 (Albouy et al., 2009). D'autre part, un arrêté-cadre annuel établit à chaque printemps les règles à appliquer pour la période estivale dans le cadre de la Police des Périodes et Zones d'Alerte (PPZA) (Albouy et al., 2009). Cela se traduit pour les agriculteurs par un risque de restrictions en cours de campagne si le niveau des nappes passe en dessous des seuils d'alerte.

Plusieurs travaux réalisés dans le cadre des programmes de recherche ANR « Praiterre » et « BioDivAgriM » (Havet et al., 2007; Havet et al., 2010; Martin et al., 2009b; Schaller et al., 2010) ont montré que, **en réaction aux sécheresses et aux contraintes croissantes sur l'eau**, les agriculteurs ont mis en place une **diversité d'adaptations de leurs pratiques et de leurs assolements, en fonction des conditions technico-économiques** de leurs EA¹ (combinaison des productions, accès aux sols de vallée, accès à l'irrigation, etc.). Ces travaux vont donc dans le sens de l'hypothèse selon laquelle la combinaison des productions et les conditions du milieu (sol et irrigation) influent sur les décisions d'assolement des agriculteurs.

¹ A l'échelle du territoire, les adaptations des agriculteurs se sont globalement traduites par une baisse des surfaces en maïs et tournesol depuis le début des années 2000, au profit du blé et du colza, et par une légère augmentation des surfaces en herbe ces dernières années (Bernard, 2010).

2.1.2.3) Une diversité de structures de parcellaires des exploitations

D'après les données RPG 2008, les 475 EA qui ont au moins un îlot PAC dans la plaine de Niort ont une surface agricole utile (SAU) moyenne de 114 ha. Cette **SAU est très variable d'une EA à l'autre**, de quelques ha à plusieurs centaines d'ha (638 ha), mais la SAU est globalement à la hausse depuis quelques dizaines d'années¹, de même que la taille moyenne des parcelles agricoles, notamment en raison des opérations de remembrements (Blazy and Hornsperger, 2009).

D'après les données RPG 2008, la **surface moyenne des îlots PAC par exploitation** est en moyenne de 4,25 ha, ce qui est légèrement plus faible que la moyenne départementale (5,25 ha). Ceci confirme que les **parcellaires des EA de la plaine de Niort sont relativement morcelés** (Agenis-Nevers and Galdi, 2006). La surface moyenne des îlots PAC par EA varie de quelques ares à plus de 20 ha, ce qui montre que le **morcellement des parcellaires est très variable d'une EA à l'autre**. Ainsi, il existe une importante diversité de structures parcellaires dans notre zone d'étude, tant en termes de SAU que de morcellement. En ce qui concerne les décisions d'assolement des agriculteurs, nous supposons que cette diversité influe sur les règles de localisation des cultures à l'échelle de l'EA.

2.1.2.4) Une diversité d'acteurs économiques (filières) dans le territoire

Les choix d'assolement sont liés aux possibilités de mise en marché et de valorisation des produits agricoles (Aubry et al., 1998b). Par exemple, les entreprises de collecte et de stockage influencent fortement les choix des agriculteurs, non seulement en raison du conseil technique qu'elles peuvent fournir, mais aussi et surtout en raison des débouchés qu'elles offrent ou non aux exploitants : un agriculteur pourra en effet difficilement vendre des cultures que son entreprise de collecte ne met pas en marché (Hannachi, 2011).

Dans la plaine de Niort, on trouve **divers acteurs économiques**. Au niveau des productions végétales, plusieurs coopératives (COREA Poitou-Charentes, CEA Loulay...) et négociants privés achètent et s'occupent de la commercialisation de la majorité des récoltes. Une coopérative de production de semences (CADS) est également implantée à Niort. Au niveau des productions animales, plusieurs coopératives assurent la collecte du lait (bovin ou caprin) : le GLAC de Surgères, la laiterie d'Echiré et la coopérative de Sèvre et Belle (Agenis-Nevers and Galdi, 2006). Cette coopérative a mis en place une charte qualité qui donne droit à une prime au litre de lait, en échange du respect des bonnes pratiques d'élevage définies au niveau national, et d'engagements concernant l'alimentation : obligation de produire l'alimentation des animaux au sein du terroir (80% pour les bovins ; 50% pour les caprins) et interdiction d'utiliser des aliments contenant des OGM (Agenis-Nevers and Galdi, 2006). Nous supposons que cette charte peut impacter les choix d'assolement de certaines EA d'élevage (en ménageant par exemple une place importante aux productions fourragères dans leur EA, et/ou en pratiquant des arrangements avec leurs voisins).

¹ Notons toutefois que les possibilités d'agrandissement des EA sont aujourd'hui limitées. Agenis-Nevers M., Galdi B. (2006) Diagnostic territorial de la plaine de Niort., Mémoire de projet d'ingénieur INA P-G. pp. 31..

2.1.3) Un territoire où la mosaïque des cultures impacte des enjeux environnementaux localement importants

Le principal enjeu environnemental de la plaine de Niort est lié à la biodiversité patrimoniale locale : ce territoire fait partie du réseau Natura 2000 au titre des directives européennes « oiseaux »¹ et fait l'objet d'une zone de protection spéciale (ZPS) pour certaines espèces d'oiseaux patrimoniaux telles que l'Outarde canepetière (*Tetrax tetrax*) (Figure 2. 5). La ZPS s'étend sur 207 km² et est incluse dans la zone atelier. Elle accueille 17 espèces d'intérêt communautaire dont trois de priorité principale pour les actions de gestion à mener : l'Œdicnème criard, le Busard cendré et l'Outarde canepetière.

Les autres enjeux environnementaux de la plaine de Niort concernent l'eau :

- d'une part **la quantité d'eau** : il s'agit de gérer une ressource en eau pour l'irrigation de plus en plus limitante dans la région ;
- d'autre part **la qualité de l'eau** : il s'agit de reconquérir et préserver la qualité de l'eau destinée à l'alimentation en eau potable au niveau de 15 sites de bassin d'alimentation de captage².

Les pratiques agricoles impactent fortement ces enjeux environnementaux locaux. La réduction des milieux semi-pérennes ou pérennes (ex : surfaces en herbe telles que luzerne ou autres prairies, friches, etc.) dans un paysage dominé par les grandes cultures (céréales, oléo-protéagineux) dégrade les sites de nidification et d'alimentation des Outardes (Bretagnolle, 2004)³. De plus, la diminution de la diversité des cultures et l'augmentation de la taille des parcelles dégradent globalement la qualité d'habitat des oiseaux (Benton et al., 2003; Bretagnolle, 2004). C'est pourquoi, **la mosaïque des cultures et globalement l'organisation spatiale du paysage** (comprenant des éléments pérennes ou semi-pérennes) **apparaissent comme des leviers d'action privilégiés pour gérer ces questions environnementales locales**⁴ (à côté d'autres leviers à l'échelle des parcelles ou des EA tels que la réduction de l'utilisation des intrants, etc.) (Berthet, 2010).

Ainsi se sont développés des CAD (Contrats d'Agriculture Durable) puis des MAEt (Mesures Agri-Environnementales territorialisées) depuis 2007, qui sont des mesures déconcentrées et zonées spatialement (Louis and Rousset, 2010). Ce sont des contrats d'une durée de cinq

¹ <http://www.zaplainevaldesevre.fr/> et <http://www.natura2000.fr/>

² <http://www.zaplainevaldesevre.fr/> et <http://www.eau-poitou-charentes.org/IMG/pdf/ReSources5.pdf>

³ Il est intéressant de noter que dans les paysages dominés par les surfaces en herbe, c'est inversement la réduction des surfaces en grandes cultures qui dégrade l'habitat des oiseaux des milieux ouverts. Robinson R.A., Wilson J.D., Crick H.Q.P. (2001) The importance of arable habitat for farmland birds in grassland landscapes. *Journal of Applied Ecology* 38:1059-1069.

⁴ Il est à noter que les populations d'Outardes augmentent sensiblement dans les friches de vignobles du Sud-Est, ce qui montre que les Outardes peuvent toutefois s'adapter à une diversité de paysages ! Cf. <http://www.agrienvironnement.org/ae/fiches/01.htm>

ans, passés entre l'Etat et le propriétaire d'une parcelle située dans une zone éligible, et qui donnent droit à une rémunération compensatoire en contrepartie de modes de gestion particuliers, limitant les impacts environnementaux négatifs. Dans la plaine de Niort, il y a ainsi un zonage pour l'enjeu eau et un zonage pour l'enjeu biodiversité (Figure 2. 5). Depuis 2004, c'est le CNRS de Chizé qui est devenu l'opérateur technique et l'animateur pour la mise en place des mesures agri-environnementales dans la plaine de Niort, en collaboration avec le Syndicat des Eaux du Vivier et le SMEPDEP (Syndicat Mixte d'Etude, de Production et de Distribution d'Eau Potable) de la Vallée de la Courance (Berthet, 2010). Par le biais des MAEt, ces acteurs tentent de promouvoir des pratiques culturales favorables, et de **maintenir ou restaurer une mosaïque de cultures et une organisation spatiale du paysage favorables, en particulier à la biodiversité patrimoniale**. Pour cela, les agriculteurs qui contractualisent les MAEt doivent le plus souvent adapter leurs choix d'assolement et de successions de cultures (et éventuellement les itinéraires techniques associés), si bien que les animateurs de la mise en place des MAEt ont besoin d'avoir des informations sur ces décisions et sur la façon dont elles sont prises à l'échelle de l'EA.

Remarque : des économistes, en partenariat avec les écologues du CNRS de Chizé, ont récemment développé l'outil informatique OUTOPIE (OUTil pour l'Optimisation des Prairies dans l'Espace) (Bamière et al., 2011; Havlík et al., 2008). Cet outil permet de rechercher les configurations spatiales des contractualisations MAEt (liées aux surfaces en herbe) les plus favorables à la préservation de l'Outarde canepetière dans le territoire de la plaine de Niort, et inversement, les incitations économiques les moins coûteuses à mettre en place pour atteindre une mosaïque de cultures favorable à l'Outarde canepetière.

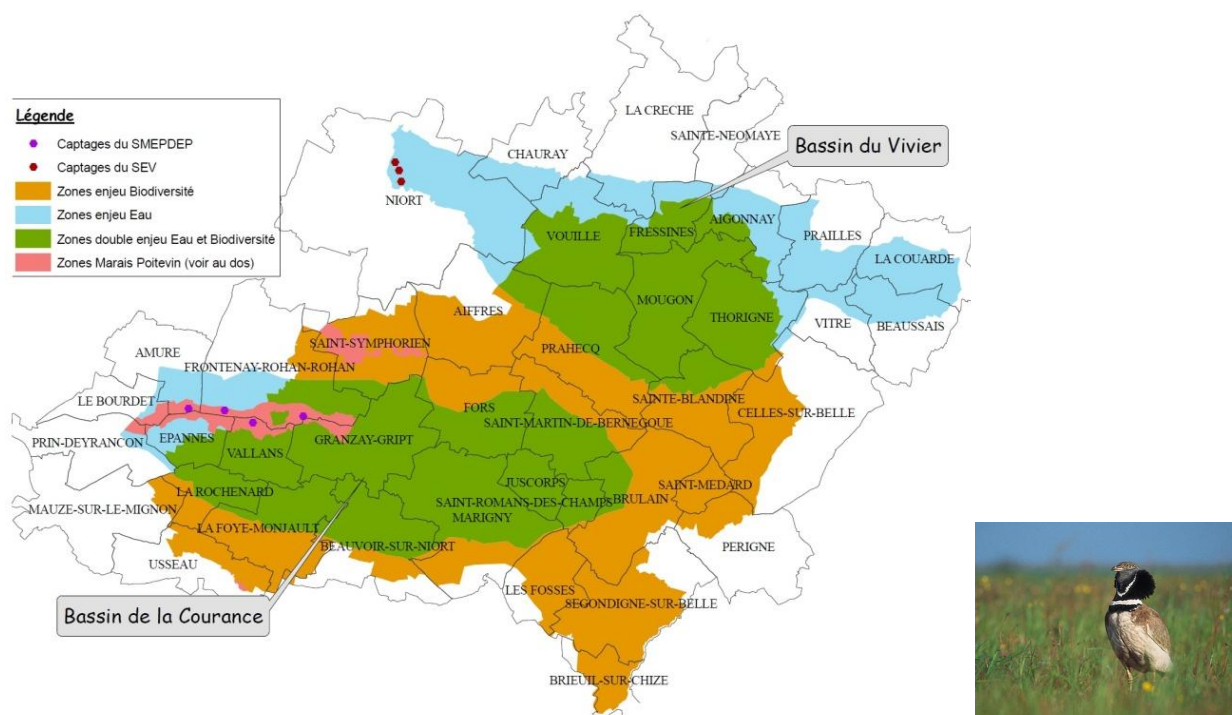


Figure 2. 5 : Zonage des enjeux environnementaux donnant lieu à des MAEt dans le territoire de la plaine de Niort (source : <http://www.zaplainevaldesevre.fr/tel/plaquetteMAET2009.pdf>) ; photographie d'Outarde canepetière

Notons que ces **enjeux environnementaux locaux peuvent en retour influencer sur les décisions d'assolement des agriculteurs** : soit car ces derniers peuvent saisir l'opportunité de contractualiser une MAEt (et ainsi modifier éventuellement leurs choix d'assolement), soit car la réglementation environnementale locale leur impose certaines contraintes (ex : bandes enherbées obligatoires de 10 m le long de la rivière Courance, etc.).

En définitive, le territoire de la Plaine de Niort (i) présente des données disponibles, (ii) fait l'objet d'une potentielle diversité de décisions d'assolement et (iii) et semble pertinent à étudier pour ses enjeux environnementaux locaux. Pour toutes ces raisons, nous avons choisi ce territoire comme zone d'étude. Nous présentons maintenant le dispositif de recherche que nous y avons développé pour traiter notre problématique.

2.2) Dispositif de recherche

2.2.1) Démarche générale

La problématique de la thèse est la suivante : **en quoi la modélisation des décisions d'assolement dans leurs dimensions spatiale et temporelle au niveau de l'exploitation agricole permet-elle de rendre compte (i) de l'organisation spatiale des cultures au niveau du paysage agricole, et (ii) de la temporalité des décisions conduisant à cette organisation spatiale ?** Nous avons décliné cette problématique en trois sous-questions, dont l'articulation est schématisée à la Figure 2. 6.

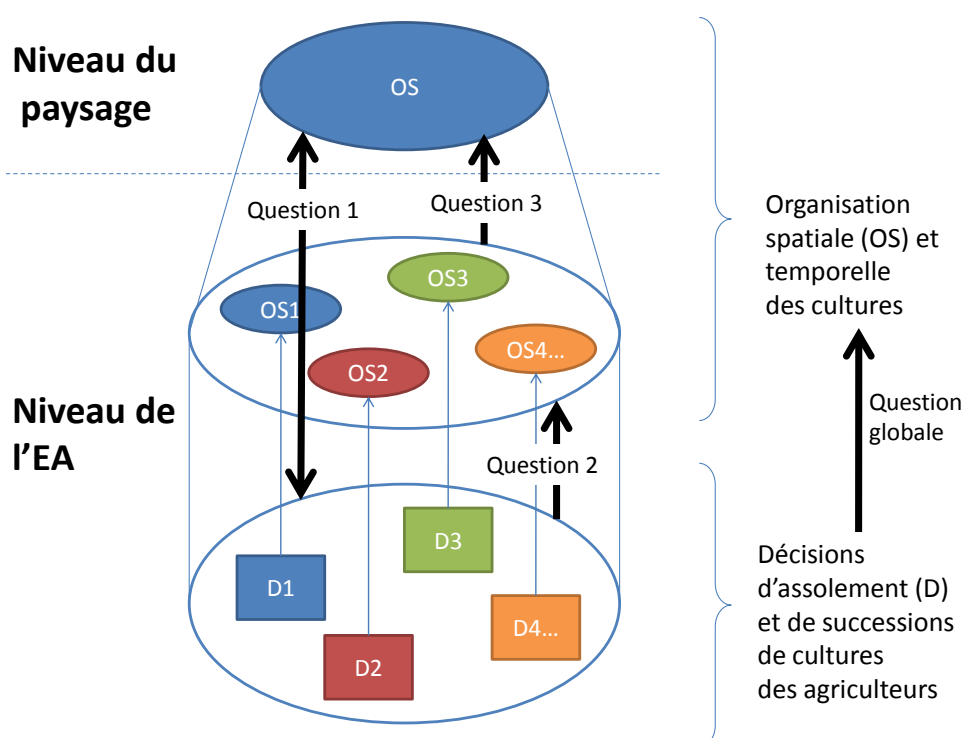


Figure 2. 6 : Articulation des trois sous-questions de la thèse

- **Question 1 : En quoi les régularités d'organisation spatiale et temporelle des cultures identifiées au niveau du paysage relèvent-elles de décisions d'agriculteurs prises au niveau de l'exploitation agricole ; et inversement, les décisions des agriculteurs sont-elles à l'origine de régularités d'organisation au niveau du paysage ?**

Il s'agit ici de faire une exploration préliminaire des liens entre organisation spatiale et temporelle des cultures au niveau paysage, et décisions d'assolement au niveau EA, justifiant d'approfondir ensuite les logiques des agriculteurs au niveau EA. Nous souhaitons confirmer la pertinence de la problématique en évaluant la cohérence entre (i) l'identification au niveau du paysage de régularités d'organisation des cultures et (ii) l'identification au niveau des EA de règles de décisions d'agriculteurs.

Pour identifier des régularités d'organisation spatiale et temporelle des cultures, nous avons mis en œuvre des méthodes de fouille de données et de modélisation stochastique à partir des données historiques et spatialisées de la plaine de Niort. En parallèle, pour identifier des règles de décisions d'agriculteurs, nous avons mobilisé plusieurs séries d'enquêtes en EA portant sur leurs choix d'assolement et de successions de cultures. Nous avons ensuite comparé les résultats obtenus à ces deux niveaux d'organisation (paysage et EA). La méthode utilisée pour cette première question est exposée à la section 2.2.2.

- **Question 2 : La modélisation des décisions d'assolement dans leurs dimensions spatiale et temporelle au niveau de l'exploitation permet-elle de rendre compte de l'organisation spatiale des cultures à l'échelle de l'exploitation agricole, et de la temporalité des décisions conduisant à cette organisation spatiale ?**

Suite aux conclusions obtenues pour la question 1, nous analysons plus en détail les dimensions spatiale et temporelle des décisions d'assolement au niveau de l'EA pour pouvoir expliquer l'organisation spatiale des cultures et décrire la temporalité des décisions d'assolement. L'objectif ici est donc de modéliser les processus de décisions d'assolement des agriculteurs, et de simuler l'organisation spatiale des cultures qui en résulte à l'échelle de l'EA.

Pour cela, nous avons construit un modèle conceptuel à partir d'enquêtes approfondies en EA. Puis, nous avons évalué d'une part la qualité prédictive du modèle, et d'autre part la qualité des concepts introduits dans le modèle concernant les découpages de parcelles. La méthode utilisée pour cette deuxième question est exposée à la section 2.2.3.

- **Question 3 : Peut-on utiliser ce modèle de décisions d'assolement à l'échelle de l'exploitation pour rendre compte de l'organisation spatiale des cultures à l'échelle d'un paysage composé d'exploitations ?**

Il s'agit enfin de tester l'utilisation du modèle précédemment établi, à l'échelle d'un paysage composé d'EA : nous souhaitons simuler les décisions d'assolement des agriculteurs, et l'organisation spatiale des cultures qui en résulte, à l'échelle d'un paysage composé d'EA.

Ceci doit nous permettre d'évaluer si le modèle permet de simuler correctement et d'expliquer l'organisation spatiale des cultures dans un paysage composé d'EA.

A cette échelle, une difficulté apparaît concernant la définition des données d'entrée : il s'agit d'utiliser le modèle sans avoir besoin de recourir à des enquêtes individuelles en EA. Nous avons donc élaboré des données d'entrée génériques à partir de différentes sources d'informations. Puis nous avons comparé :

- l'organisation spatiale des cultures réelle observée, avec l'organisation spatiale des cultures simulée par notre modèle (i) utilisé avec des données génériques, (ii) utilisé avec des données individuelles d'enquêtes. Cette comparaison a pour but d'évaluer la perte de qualité prédictive (supposée) du modèle due à la perte de finesse des données d'entrée à l'échelle d'un paysage.
- les simulations obtenues par notre modèle (utilisé avec des données génériques) avec celles obtenues par un modèle aléatoire. Cette comparaison a pour but d'évaluer la pertinence de modéliser les décisions d'assolement des agriculteurs (même en utilisant des données génériques) pour simuler l'organisation spatiale des cultures, par rapport à une modélisation aléatoire de l'organisation des cultures.

La méthode utilisée pour cette question est exposée à la section 2.2.4.

Pour toutes ces questions, nous avons formalisé les décisions des agriculteurs en utilisant un **même cadre conceptuel**. Ce cadre, inspiré du modèle d'action de l'agriculteur (Duru et al., 1988; Sebillotte and Soler, 1990), est composé des trois éléments suivants :

- Des **variables de décisions**, qui permettent de décrire ce sur quoi porte la décision, et en quoi elle consiste. Nous avons ici mobilisé les variables de décisions liées aux choix d'assolement et définies par (Aubry et al., 1998b; Maxime et al., 1995) : par exemple, la variable « zone cultivable » d'une culture est l'ensemble des parcelles où l'agriculteur juge que cette culture est souhaitable ou tolérable.
- Des **déterminants**, qui sont des éléments internes ou externes aux EA, qualitatifs ou quantitatifs, et qui influent sur les variables de décisions : par exemple, le type de sol, l'accès à l'irrigation, le prix de vente des cultures, etc.
- Des **règles de décisions**, qui sont les règles que chaque agriculteur se donne pour décider de la valeur que doit prendre chaque variable de décision, en fonction des déterminants. De telles règles de décisions ont été définies et utilisées dans le modèle d'action et les travaux qui en ont découlé (Aubry et al., 1998a; Duru et al., 1988; Mérot et al., 2008; Sebillotte and Soler, 1990).

Ce cadre conceptuel se veut générique et applicable à tout type de décision. Pour la question 1, il nous a permis d'analyser des données d'enquêtes préalables et d'identifier des règles de décisions simples, concernant la localisation des cultures, et partagées entre agriculteurs. Pour la question 2, ce cadre conceptuel nous a permis d'approfondir la collecte d'informations par enquêtes en EA, d'identifier de nouvelles variables de décisions, déterminants et règles concernant les choix d'assolement, et de les combiner logiquement dans un modèle de simulation de ces décisions.

2.2.2) Méthode pour la question 1. Evaluation de la cohérence entre décisions d'agriculteurs et régularités d'organisation spatiale et temporelle des cultures

Nous avons ici articulé l'échelle de l'EA et celle du paysage de la Plaine de Niort. Nous avons comparé et évalué la cohérence entre (i) des régularités stochastiques concernant le voisinage des cultures et l'évolution de ces voisinages au cours du temps, identifiées au niveau du paysage, et (ii) des règles de décisions génériques entre agriculteurs concernant la localisation des cultures, le voisinage entre cultures et l'évolution de ces voisinages au cours du temps, identifiées au niveau des EA.

(i) Les régularités stochastiques d'organisation spatiale et temporelle des cultures au niveau du paysage ont été identifiées et modélisées par des chercheurs de l'INRA de Mirecourt (UR SAD ASTER) et du LORIA de Nancy (UMR CNRS INRIA-Grand-Est), en particulier dans le cadre de la thèse d'El Ghali Lazrak et du projet « BioDivAgriM ». La fouille de données a été réalisée à partir de la base de données établie par le CNRS de Chizé, et en utilisant le logiciel ARPENTAGE¹ (Analyse de Régularités dans les Paysages: ENvironnement, Territoires, AGronomiE).

(ii) Les décisions des agriculteurs ont été identifiées à partir de quatre séries d'enquêtes : deux séries ont été réalisées dans le cadre du programme « Praiterre » avant la thèse (2006-2007) et deux séries ont été réalisées pendant la thèse (2009-2010). Ces enquêtes répondaient chacune à un objectif propre, mais avaient comme point commun d'aborder les décisions de localisation des cultures. Nous avons donc identifié spécifiquement ces règles de décisions et cherché si ces règles étaient communes entre EA.

Nous sommes donc partis de règles de décisions communes entre EA, concernant la localisation des cultures, le voisinage entre différentes occupations du sol, et l'évolution de ces règles au cours du temps. Nous avons cherché des régularités spatiales correspondantes (régularités de voisinages d'occupations du sol) et des évolutions temporelles de ces régularités spatiales (évolution temporelle des voisinages d'occupations du sol).

Inversement, nous sommes partis de régularités fortes concernant l'évolution des voisinages d'occupations du sol, et nous avons cherché si des règles de décisions pouvaient correspondre à ces régularités. Nous avons ainsi pu estimer la cohérence entre les deux types de méthodes et voir si les résultats de l'un pouvaient corroborer ou non les résultats de l'autre.

Les résultats et détails méthodologiques de cette partie sont présentés dans le chapitre 3. Ils nous ont permis de confirmer l'hypothèse selon laquelle certaines régularités d'organisation spatiale et temporelle des cultures au niveau du paysage pouvaient relever de décisions d'agriculteurs. Ils ont également montré la nécessité de simuler l'organisation spatiale et temporelle des cultures à partir de la modélisation des décisions d'assolement des

¹ <http://www.loria.fr/~jfmari/App/>

agriculteurs pour effectivement démontrer le rôle de ces décisions dans l'organisation spatiale des cultures au niveau du paysage, ce qui nous a amenés aux sous-questions 2 et 3.

2.2.3) Méthode pour la question 2. Construction d'un modèle de décisions d'assolement à l'échelle de l'exploitation et évaluation de ce modèle

Nous avons ici construit un modèle de décisions d'assolement permettant de rendre compte de leurs dimensions spatiale et temporelle et de simuler l'organisation spatiale des cultures d'une année à l'autre à l'échelle de l'EA. Pour cela, nous nous sommes appuyés sur la **méthode de l'étude de cas** (Eisenhardt, 1989; Hlady-Rispal, 2000). Cette méthode permet de générer de nouvelles théories à partir de données de terrain et est particulièrement appropriée pour des domaines de recherche déjà abordés dans le passé mais dont « les théories sont incomplètes ou ne parviennent à expliquer qu'une partie du phénomène étudié » (Hlady-Rispal, 2000). C'est le cas des modèles existants de constitution des assolements, qui ne permettent qu'en partie de rendre compte de l'organisation spatiale et temporelle des cultures (Dury et al., 2011), en particulier dans les territoires de polyculture-élevage (cf. Chapitre 1).

Ce processus de construction d'une nouvelle théorie (i.e. un nouveau modèle conceptuel) à partir de la méthode de l'étude de cas se compose de plusieurs étapes, exposées au Tableau 2. 1 (Eisenhardt, 1989).

Tableau 2. 1 : Etapes mobilisées lors de la méthode de l'étude de cas pour construire un modèle de décisions d'assolement. Adapté de (Eisenhardt, 1989)

Etape	Activité	Raison
Sélection des cas	- Echantillonnage des exploitations à enquêter - Formulation des critères d'échantillonnage	- Sélectionner des cas pertinents par rapport à la question de recherche
Collecte des données	- Réalisation d'enquêtes successives dans les mêmes exploitations - Méthodes de collecte de données flexibles et évolutives	- Imbrication des étapes de collecte de données et des premières interprétations des données - Ajustements de la collecte de données aux thèmes émergents
Analyse des données de chaque cas	- Transcription des données collectées	- Familiarisation avec les données et génération de concepts préliminaires
Recherche de logique entre les cas	- Comparaison et confrontation des données de chaque cas - Identification de variables génériques	- Recherche de généricité entre les cas
Formulation d'hypothèses	- Construction itérative de liens entre les variables - Confrontation de ces hypothèses pour différents cas	- Renforcement de la validité des hypothèses

2.2.3.1) Sélection des cas

Nous avons considéré qu'**un cas était une exploitation agricole**, dans laquelle nous avons étudié les décisions d'assolement de l'agriculteur et l'organisation spatiale des cultures qui en résulte. Nous avons donc analysé des logiques individuelles à l'échelle de l'EA et adopté une vision "individu-centrée". Nous avons considéré que les acteurs pouvant influencer les agriculteurs (autres agriculteurs, opérateurs économiques, etc.) étaient des déterminants des décisions, mais sans étudier spécifiquement les interactions entre ces acteurs.

Nous avons choisi les EA dans le territoire de polyculture-élevage qu'est la plaine de Niort. Puisque nous souhaitons investiguer la temporalité du processus de décision d'assolement au cours d'une campagne agricole, nous avons choisi de réaliser plusieurs passages par EA, afin de suivre au cours du temps la planification et les ajustements éventuels des décisions. Ces passages répétés demandent un important temps de préparation et de traitement des données, si bien que nous avons **fixé le nombre d'EA enquêtées à 12**¹.

Nous avons réalisé un **échantillonnage sur critères**, dans le but de couvrir une diversité d'EA, et non d'être représentatif de l'ensemble des EA de la zone d'étude. A la différence d'un échantillonnage aléatoire, cette technique nous a permis de focaliser sur les cas d'EA potentiellement les plus utiles pour construire notre modèle (Eisenhardt, 1989).

Nous avons utilisé **trois critères**, dont la littérature montre qu'ils influencent les choix d'allocation de cultures des agriculteurs (Sorel et al., 2010) :

- La **combinaison des productions** dans l'EA (Maxime et al., 1995 ; Aubry et al., 1998b pour les EA de grandes cultures ; Josien et al., 1994) pour les EA d'élevage). Ce facteur détermine le choix des cultures, leurs usages dans l'EA et leurs proportions ;
- La **structure du parcellaire**, en termes de SAU et de morcellement (Brunschwig et al., 2006; Marie et al., 2009; Morlon and Trouche, 2005a; Morlon and Trouche, 2005b). Ce facteur conditionne pour partie la localisation des cultures dans le parcellaire d'EA ;
- Le **milieu physique**, en termes de types de sol et d'accès ou non à l'irrigation (Benoît et al., 1997; Havet et al., 2010). Ce facteur influe sur le choix des cultures possibles dans l'EA, leur localisation dans le parcellaire et leurs proportions, en lien avec la proportion de surface des types de sol et des parcelles irrigables.

¹ "In practice, theoretical saturation often combines with pragmatic considerations such as time and money to dictate when case collection ends. In fact, it is not uncommon for researchers to plan the number of cases in advance." Eisenhardt K.M. (1989) Building theories from case study research. Academy of Management Review 14:532-550.

La diversité des combinaisons de productions a été explorée à l'échelle de la plaine de Niort *via* les enquêtes communales. La diversité de structure du parcellaire a été explorée grâce aux données RPG, en termes de SAU et de surface moyenne des îlots PAC par EA. La diversité des milieux physiques a été caractérisée en termes d'accès ou non à l'irrigation (caractère irrigué ou non des îlots PAC, renseigné par les données RPG), et en termes de types de sol.

Les EA choisies sont localisées sur la Figure 2. 7 et leurs caractéristiques vis-à-vis des critères d'échantillonnage sont données au Tableau 2. 2. Nous avons ainsi enquêté 5 EA de grandes cultures et 7 EA de polyculture-élevage. 5 EA sur 12 avaient accès à l'irrigation.

Comparons brièvement la diversité de notre échantillon à celle de la plaine de Niort : notre échantillon couvre la diversité de combinaison des productions en ce qui concerne les productions dominantes, mais pas les productions minoritaires (volailles, porcs, ovins ; en orange sur la Figure 2. 2). Il couvre une large gamme de SAU (de 60 à 200 ha environ) mais pas les très petites SAU, souvent exploitées par des agriculteurs en retraite, ni les très grandes SAU, dont les sièges d'EA se situent le plus souvent hors de notre zone d'étude. Il couvre une diversité de morcellement du parcellaire, mais pas les EA extrêmement morcelées (nombre d'îlots PAC / SAU > 0,5), qui correspondent aux EA à très petites SAU. Enfin, même si les 12 EA de l'échantillon ont majoritairement des sols de groies, les grands types de sol (groies, sols de vallées et terres rouges) sont présents dans notre échantillon.

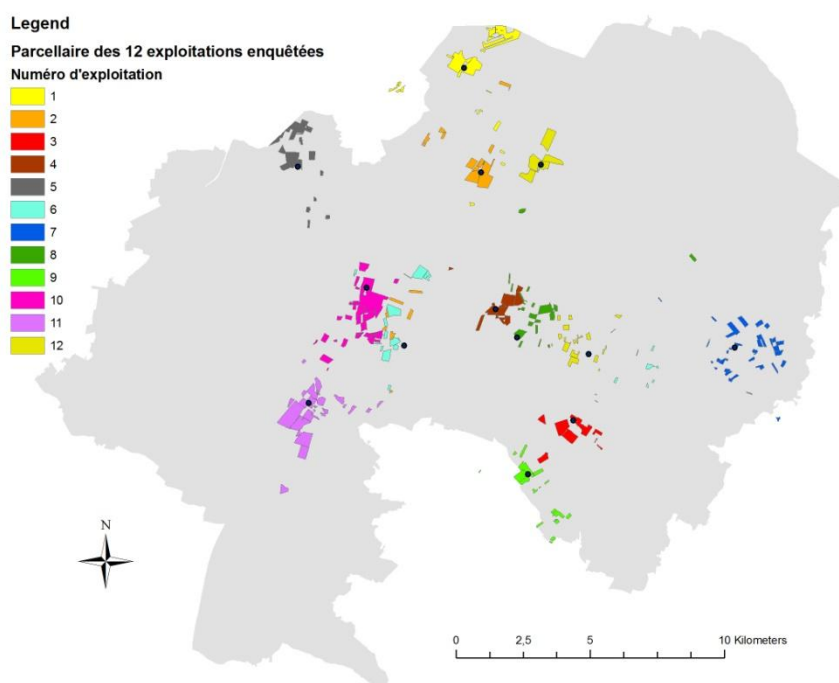


Figure 2. 7 : Localisation des 12 exploitations enquêtées dans la plaine de Niort en 2009-2010

Tableau 2. 2 : Principales caractéristiques des 12 exploitations enquêtées dans la plaine de Niort (GC = grandes cultures, BL = bovin lait, BV = bovin viande, CL = caprin lait ; Gr = groies, V = sols de vallée, TR = terres rouges)

Numéro d'EA	Combinaison des productions	SAU (ha) en 2009	Nombre d'îlots PAC	Indicateur de morcellement (nombre d'îlots / SAU)	Accès à l'irrigation	Types de sol de l'EA
1	GC BL	133,79	19	0,142	Oui	Gr V
2	GC BL (bio)	109,03	18	0,165	Oui	Gr V
3	GC	78,78	9	0,114	Non	Gr
4	GC	77,22	13	0,168	Non	Gr
5	GC BV	95,62	27	0,282	Non	Gr V
6	GC	79,48	20	0,252	Non	Gr V
7	GC BV	84,68	30	0,354	Non	Gr V TR
8	GC CL	62,15	21	0,338	Oui	Gr V
9	GC	58,97	19	0,322	Non	Gr
10	GC BL	185,36	29	0,156	Oui	Gr V
11	GC	197,39	25	0,127	Oui	Gr
12	GC CL	124,36	29	0,233	Non	Gr V
Moyenne de l'échantillon		107,24	21,58	0,221		

2.2.3.2) Collecte des données et analyse de chaque cas

Nous avons choisi de faire trois enquêtes par EA visant des objectifs complémentaires (cf. ci-dessous) : une au printemps 2009, i.e. à la fin de la mise en place de l'assolement 2009 et au démarrage de la planification pour 2010 ; une à l'automne 2009, i.e. après la mise en place des cultures d'hiver ; et une au printemps 2010 après la mise en place des cultures de printemps et la finalisation de l'assolement pour 2010.

Pour la **session du printemps 2009**, nous avons préparé un **guide d'entretien unique pour toutes les EA enquêtées** (au nombre de 11). Les enquêtes portaient sur l'historique de l'EA, la combinaison actuelle des productions (assolement et système d'élevage), les caractéristiques du parcellaire, les règles de successions de cultures et de découpages de parcelles, et sur la planification d'assolement pour 2010 (cf. Annexe 4). Il s'agissait d'entretiens semi-directifs, d'une durée approximative de 2h, au cours desquels l'exploitant était tantôt invité à répondre à des questions fermées (ex : sur les productions actuelles de son EA), tantôt à expliquer plus librement ses pratiques. Nous avons utilisé des supports graphiques (carte du parcellaire d'EA) pour localiser les cultures dans le parcellaire et faciliter la visualisation des aspects spatiaux des décisions des agriculteurs.

Au cours de cette première session d'enquêtes, les questions posées étaient surtout des questions d'investigation, visant à collecter des informations factuelles, et dans une moindre mesure des questions de compréhension visant à expliciter les raisonnements à l'origine des décisions des agriculteurs.

Chaque enquête faisait l'objet d'un compte-rendu récapitulant toutes les réponses de l'agriculteur, et comprenant aussi une première analyse des données : synthèse des successions de cultures et de leur localisation (« zonage du parcellaire »), identification de règles de découpages de parcelles, transcription de différentes étapes de planification du choix de l'assolement au cours de l'année, etc.

Cette première étape a permis de préparer les guides d'entretien de la **deuxième session d'enquêtes (automne 2009)**. Celles-ci suivaient une **trame commune mais le guide d'entretien était particularisé aux données de chaque EA** : nous avons donc construit 12 guides d'entretien différents (cf. exemple donné en Annexe 4). En effet, ce second passage dans les EA (environ 2 à 3h) visait à valider et approfondir les règles de décisions individuelles que nous avons commencé à identifier, et à combler les informations individuelles manquantes. Les thèmes abordés étaient les suivants : comparaison entre l'assolement prévu en mai 2009 pour 2010, et les cultures d'hiver effectivement mises en place pour 2010 ; planification de la fin de la mise en place de l'assolement 2010 et du futur assolement 2011 ; fonctions remplies par chaque culture ; approfondissement et validation des règles de décisions liées au choix des cultures, aux découpages de parcelles, aux successions de cultures et à leur localisation dans le parcellaire ; validation des étapes identifiées pour la planification de l'assolement au cours du temps.

Les questions posées à ce stade étaient donc majoritairement des questions de compréhension, permettant d'affiner notre perception des raisonnements des agriculteurs. Nous faisons également de nombreuses relances au cours de l'entretien, en particulier pour clarifier au fur et à mesure les écarts entre ce qui avait été planifié (à la première enquête) et ce qui était planifié ou avait été réalisé différemment au moment de la deuxième enquête. Ces relances pendant les enquêtes mêmes permettaient aussi de clarifier les raisons d'éventuelles incohérences entre différentes réponses de l'agriculteur, et d'affiner encore notre analyse.

De même que pour la première session, chaque enquête donnait lieu à un compte-rendu. Il comprenait, en plus des réponses de l'agriculteur, des schémas de synthèse récapitulant (i) le fonctionnement global de l'EA et les choix stratégiques de l'agriculteur (ex : choix des cultures), (ii) les successions de cultures et l'organisation spatiale de ces successions dans le parcellaire, avec éventuellement des découpages ou des regroupements de parcelles, (iii) un « calendrier » des décisions d'assolement, associées aux déterminants de ces décisions au cours du temps.

La **troisième session d'enquêtes (printemps 2010)** était construite sur le même principe que la précédente : il s'agissait à nouveau, *via* des **guides d'entretiens individualisés**, de combler certaines données manquantes et de valider et approfondir les conclusions précédemment établies (dans 10 EA ; cf. exemple en annexe 4). L'enquête (environ 2h) portait sur la fin de la mise en place de l'assolement 2010 et la planification de l'assolement 2011 (à comparer avec les précédentes planifications), et la validation des schémas de synthèse précédemment établis. Je formulais alors des hypothèses sur le raisonnement de l'agriculteur et lui demandais de les confirmer (ou de les infirmer, et le cas échéant,

d'expliquer pourquoi). Nous avons en particulier focalisé sur les règles de découpages des parcelles, et tenté de comprendre la façon dont les agriculteurs reconfiguraient leurs parcelles au cours du temps (à l'intérieur des îlots PAC), même lorsque les limites externes du parcellaire de l'EA restaient inchangées (sans agrandissement de l'EA par exemple).

La collecte et l'analyse des données ont donc été **imbriquées** : le contenu des guides d'entretiens était initialement cadré par les variables de décisions connues du modèle de (Aubry et al., 1998b; Maxime et al., 1995), mais il a été déterminé d'une session à l'autre (et parfois un peu au cours d'une même session) par les conclusions émergeant à chaque analyse de cas. Notre **démarche** peut donc être qualifiée d'**abductive** (Dubois and Gadde, 2002)¹. Cette évolutivité de la collecte de données a permis de tester les conclusions d'une session d'enquêtes à la session suivante.

2.2.3.3) Recherche de logique entre les cas

Grâce aux enquêtes, nous avons identifié pour chaque EA, des ébauches de variables de décisions, et de déterminants et règles de décisions associées à ces variables (cf. cadre conceptuel présenté précédemment). Contrairement à la question 1, les règles de décisions identifiées ici ne concernaient pas uniquement le voisinage des cultures mais l'ensemble des composantes du choix de l'assolement (choix des cultures, de leurs proportions, et de leur localisation dans les parcelles, qui peuvent être reconfigurées d'une année à l'autre) et des successions de cultures.

Nous avons comparé les EA entre elles pour estimer la genericité de ces variables, déterminants et règles de décisions. Pour cela, nous avons effectué plusieurs allers-retours entre les données d'enquêtes et la formalisation des concepts (Dubois and Gadde, 2002). Nous sommes d'abord partis des variables de décisions connues dans la littérature (cf. Chapitre 1), et avons repéré leurs déterminants et règles associés. Puis, en confrontant entre elles les données collectées dans chaque cas, nous avons vu émerger de nouveaux concepts (de nouvelles variables), auxquels nous avons ensuite associé des déterminants et règles de décisions : soit en questionnant autour des nouvelles variables au cours d'enquêtes ultérieures, soit en regardant d'un œil neuf les données déjà collectées (*via* les comptes-rendus ou les enregistrements audio de ces enquêtes).

Ce **processus itératif et abductif de confrontation entre données d'enquêtes et construction de variables de décisions** nous a permis de dresser l'inventaire des variables génériques à combiner dans le modèle de simulation des décisions d'assolement, ainsi que des déterminants et règles de décisions associés à ces variables.

¹ "The evolving framework directs the search for empirical data." Dubois A., Gadde L.E. (2002) Systematic combining: an abductive approach to case research. Journal of business research 55:553-560.

2.2.3.4) Formulation d'hypothèses et construction itérative du modèle

A partir de cet inventaire, nous avons réalisé des **hypothèses sur les liens existant entre les variables**, et entre les variables et leurs déterminants et règles associés. Les variables de décisions étaient les mêmes dans toutes les EA (un aperçu est donné à la Figure 2. 8 et elles seront explicitées au chapitre 4). Les règles de décisions et déterminants pouvaient quant à eux varier d'une EA à l'autre. De plus, il arrivait que certaines règles de décisions ne puissent pas être formulées par certains agriculteurs, car ils ne les avaient pas nécessairement stabilisées lorsqu'ils se trouvaient dans un contexte de changement radical dans leur EA.

Nous avons alors construit une **première version de modèle** de simulation des décisions d'assolement, en combinant les variables, déterminants et règles de décisions dont les liens nous semblaient les plus génériques (Figure 2. 8).

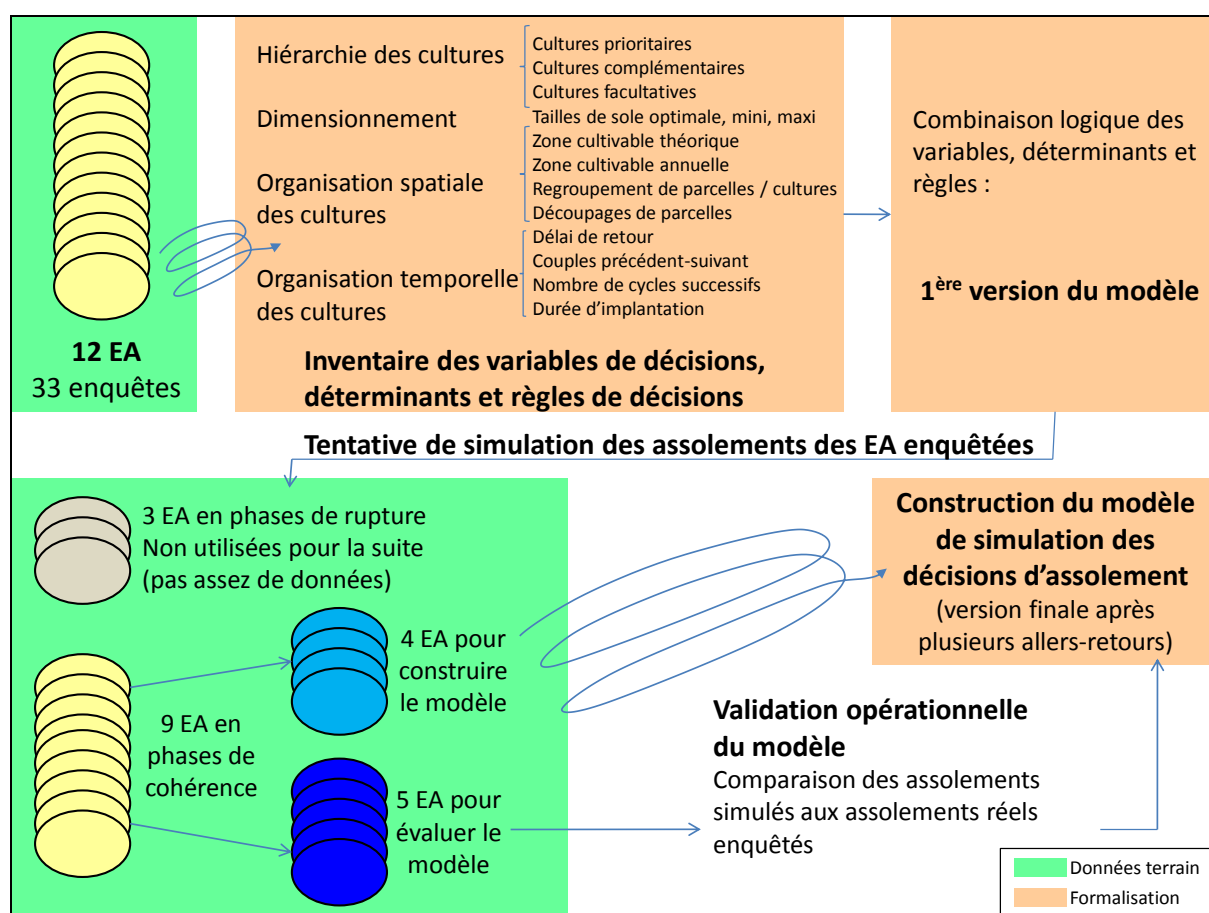


Figure 2. 8 : Schématisation des étapes de construction du modèle de simulation des décisions d'assolement

Ensuite, nous avons appliqué cette première version du modèle aux EA enquêtées, i.e. simulé leurs assolements. A ce stade, nous avons constaté que dans trois EA, les règles liées aux cultures et successions de cultures n'étaient pas formulables par les agriculteurs car ces règles étaient en train de changer ou en train d'être élaborées.

Les EA, au cours de leur cycle de vie, connaissent en effet de multiples changements et différentes étapes d'évolution (technique, économique, ex : changement de production, changement de main d'œuvre, diversification ou spécialisation, agrandissement, etc.). La notion de « trajectoire d'évolution de l'exploitation » (Capillon, 1993) permet de retracer ces étapes d'évolution et de distinguer des processus de changements exceptionnels, ou continus (Madelrieux et al., 2002).

- Les **changements exceptionnels** (ou transformations) sont des changements majeurs dans le fonctionnement de l'EA, qui remettent en cause les objectifs stratégiques de l'exploitant et nécessitent de modifier ses règles de décisions (Madelrieux et al., 2002; Moulin et al., 2008).
- Les **changements continus** (ou modifications progressives) sont des ajustements mineurs qui ne remettent pas en cause la cohérence de l'organisation et de la conduite des activités (Madelrieux et al., 2002; Moulin et al., 2008). Ces changements continus **s'inscrivent dans les marges de manœuvre des agriculteurs**, définies par (Martin, 2009b) comme des modifications de pratiques qui « respectent les règles des agriculteurs », dans un « contexte considéré comme relativement stable, sans menace forte pour la survie de l'exploitation ».

Une **phase de cohérence** est ainsi définie comme une phase de l'EA au cours de laquelle les changements sont continus ; elles sont séparées entre elles par des changements exceptionnels qui définissent des **phases de rupture** (Madelrieux et al., 2002)¹.

Une **phase de cohérence agronomique** est plus précisément définie comme « **une phase de la vie de l'EA durant laquelle les pratiques agronomiques et règles de décisions de déclenchement de ces pratiques sont stabilisées** » (Chantre et al., 2010a; Chantre et al., 2010b).

Les trois EA dans lesquelles les règles de décisions liées aux cultures et successions de cultures n'étaient pas formulables se situaient dans des phases de rupture. C'est la raison pour laquelle **nous avons exclu ces trois exploitations en phase de rupture** des étapes suivantes de construction du modèle (EA numéro 2, 9, 10). L'EA 2 était en train de passer en agriculture biologique et de bouleverser le choix des cultures et successions (choix en cours de construction au moment des enquêtes) ; les agriculteurs de l'EA 9 avaient arrêté l'élevage en 2008 et portaient en retraite en 2010, si bien que l'EA se trouvait dans une année de transition au cours de laquelle il était difficile de formuler des règles de décisions valables pour d'autres années ; l'EA 10 s'est engagée en 2009 dans une MAEt « limitation de

¹ Par exemple, un changement continu pourrait être la volonté de l'agriculteur de diminuer les charges opérationnelles liées au désherbage d'une culture et la réduction progressive du nombre de passages d'herbicides, mais sans remettre en cause les successions de cultures. Un changement exceptionnel pourrait être par exemple la contractualisation à une mesure agroenvironnementale territorialisée visant à réduire très fortement les intrants, et induisant une modification brutale des surfaces et des successions de cultures.

la fertilisation azotée et réduction progressive des traitements herbicides¹» sur 60% de la SAU, ce qui a conduit l'exploitant à modifier la liste des cultures possibles ainsi que les règles de successions de ces cultures (choix en cours de construction au moment des enquêtes).

Après avoir exclu ces trois EA, il en restait neuf pour la construction/calibration et l'évaluation du modèle. Comme le montre la Figure 2. 8, nous avons choisi de **séparer ces neuf exploitations en deux lots, suivant une procédure appelée « data-splitting procedure »** (Power, 1993 cité par Rykiel, 1996).

Nous avons donc choisi **quatre EA contrastées pour construire/calibrer le modèle, et les cinq EA restantes pour évaluer la qualité des sorties du modèle.**

Les quatre EA servant à la construction/calibration ont été choisies de façon à **maximiser la diversité de l'ensemble des critères d'échantillonnage** (combinaison des productions, structure du parcellaire et milieu physique), et à améliorer la généricité du modèle (Eisenhardt, 1989). Nous avons ainsi choisi les EA qui avaient le critère de morcellement parcellaire (=nombre d'îlots PAC / SAU) minimum et maximum (les EA 3 et 7). Puis nous avons choisi les EA 11 et 12 pour leurs combinaisons de production et milieux physiques complémentaires (Tableau 2. 2). Bien qu'elles soient toutes deux des EA d'élevage caprin, nous avons choisi l'EA 12 plutôt que l'EA 8, en raison de la structure particulière du parcellaire de l'EA 12 (en deux blocs distants de 10 km, l'un groupé, l'autre morcelé) et qui permettait d'accroître la diversité des structures parcellaires.

Pour arriver à la version définitive du modèle, nous avons simulé les assolements des quatre EA, et modifié plusieurs fois le contenu du modèle jusqu'à réussir à simuler un assolement à partir de données d'entrée et obtenir des sorties satisfaisantes pour les quatre EA (Figure 2. 8). Ces allers-retours avaient pour but d'ajuster le modèle aux données et d'accroître sa validité interne (Eisenhardt, 1989). Le modèle définitif est présenté en détail dans le chapitre 4.

2.2.3.5) Evaluation du modèle

L'évaluation des modèles est un exercice controversé qui peut être réalisé suivant de multiples procédures et à différents stades du processus de modélisation (Rykiel, 1996), l'importance de l'évaluation du modèle dépendant essentiellement de l'utilisation souhaitée du modèle (Andrieu, 2004).

Parmi les différentes modalités d'évaluation² d'un modèle décrites par Rykiel (1996), nous avons **focalisé sur l'étape de validation du modèle**, dans le contexte du territoire de la plaine de Niort (cf. Chapitre 5).

¹ Voir <http://www.zaplainevaldesevre.fr/tel/plaquetteMAET2009.pdf> (MAEt possibles de la plaine de Niort)

² **Vérification** = démonstration que le code informatique du modèle est fidèle au formalisme du modèle conceptuel
Coquillard P., Hill D.R.C. (1997) Vérification et validation des modèles de simulation, in: Masson (Ed.), Modélisation et simulation d'écosystèmes. Des modèles déterministes aux simulations à événements discrets, Paris. pp. 183-200, Rykiel E.J. (1996) Testing ecological models: the meaning of validation. Ecological

Rykiel (1996) a défini trois volets de validation. La **validation opérationnelle** consiste à démontrer que les sorties du modèle reproduisent correctement le système modélisé (compte tenu de l'objectif du modèle), sans toutefois vérifier la logique du modèle ou si les mécanismes, concepts et structure internes au modèle sont corrects. La **validation conceptuelle**, à l'inverse, vise à vérifier que les théories, simplifications et concepts sous-jacents au modèle sont corrects ou justifiables, de même que la structure et les relations entre composantes du système (compte tenu de l'objectif du modèle). Cette validation ne garantit toutefois pas que le modèle ait une grande qualité prédictive. Enfin, la **validation des données** vise à garantir la qualité et la bonne interprétation des données utilisées pour construire et utiliser le modèle.

- Validation des données

Nous avons considéré que les données utilisées pour construire le modèle (données d'enquêtes) sont suffisamment fiables pour pouvoir utiliser le modèle, et ne nécessitaient pas d'être validées ou confrontées à d'autres sources de données. Même si tout mode de recueil de données peut être associé à un biais ou des erreurs, nous avons supposé que les agriculteurs interrogés nous ont répondu honnêtement et n'ont pas cherché à falsifier leurs réponses. Les données recueillies n'étaient pas particulièrement sensibles et nous faisons l'hypothèse que le biais de désirabilité sociale (Edwards, 1957) était réduit. Cela n'aurait pas nécessairement été le cas sur des sujets plus polémiques dans le contexte actuel (utilisation de produits phytosanitaires, adoption ou non de cultures OGM, etc.). Si nous voulions trianguler les données¹ et vérifier la concordance des informations, nous pourrions toutefois confronter les dires des agriculteurs à d'autres sources d'informations telles que la base de données spatiales du CNRS ou les déclarations PAC du RPG².

- Validation opérationnelle

Nous avons cherché à vérifier si le modèle simulait correctement les décisions d'assolement des agriculteurs, sans évaluer si la structure interne du modèle était identique à celle de la

Modelling 90:229-244. ; **calibration** = étape où l'on estime et ajuste les paramètres du modèle afin d'obtenir des sorties les plus proches possibles des données disponibles *ibid.* ; **validation** = démonstration du bon fonctionnement du modèle dans un cadre donné, c'est-à-dire que le modèle est acceptable car il remplit les exigences de performances spécifiques à son utilisation *ibid.* ; **crédibilité** = degré de confiance suffisant dans la validité du modèle pour justifier son utilisation pour la recherche et l'aide à la décision *ibid.* ; **qualification** = définition du domaine dans lequel un modèle préalablement validé peut correctement être utilisé *ibid.*

¹ « La triangulation est une méthode qui permet d'accroître la validité des données et de contrôler les biais inhérents à chaque mode de recueil des données. Il s'agit ainsi de valider par concordance des informations, par corroboration des résultats en ayant recours à plusieurs sources de données. » Hannachi M. (2011) La coopération au service du bien commun. Les stratégies des entreprises de collecte et de stockage de céréales face aux OGM, Sciences de gestion, recherche en management, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines. pp. 302.

² Même si une différence peut aussi être due à une erreur dans les bases de données.

réalité. Pour cela nous avons utilisé une procédure de répétitivité¹ : nous avons appliqué le modèle à **cinq EA** (numéros 1 ; 4 ; 5 ; 6 ; 8) et **comparé l'assolement simulé par le modèle, avec l'assolement réel de l'agriculteur**, identifié par enquête (Figure 2. 8). Pour cela, nous avons utilisé les informations tirées des enquêtes pour renseigner les données d'entrée relatives à chaque EA, puis simulé l'assolement en utilisant les règles génériques internes au modèle, identiques pour toutes les EA.

- Validation conceptuelle

Nous avons ici cherché à **tester la pertinence des concepts liés aux découpages de parcelles, introduits dans le modèle** (i.e. concepts décrivant les limites de parcelles à l'intérieur des îlots PAC). Pour cela nous avons mené une **expérimentation virtuelle avec un outil informatique**, APILandSFACTS. Cet outil est issu du couplage entre le logiciel LandSFACTS (Castellazzi et al., 2007a; Castellazzi et al., 2010b), et l'application APILand (Boussard, 2008; Boussard et al., 2010; Joannon et al., 2009).

2.2.4) Méthode pour la question 3. Utilisation de ce modèle à l'échelle d'un paysage composé d'exploitations, sans enquêtes individuelles

Après avoir construit et évalué le modèle de décisions d'assolement à l'échelle de l'EA, nous avons cherché à évaluer sa capacité à rendre compte de l'organisation spatiale des cultures à l'échelle d'un paysage composé d'EA. Nous souhaitons en effet évaluer si une compréhension générique des décisions d'assolement à l'échelle de l'EA permet de mieux simuler (et expliquer) l'organisation spatiale des cultures dans un paysage.

Pour cela, nous avons testé **l'utilisation du modèle sans recourir à des enquêtes individuelles** en EA (nécessaires pour renseigner les données d'entrée). Nous avons tout d'abord **élaboré des données d'entrée génériques** en ayant recours d'une part aux données d'enquêtes récoltées précédemment, et d'autre part à d'autres sources d'informations (essentiellement les bases de données spatialisées du RPG et du CNRS).

Puis, nous avons **comparé l'organisation spatiale des cultures réelle observée avec celle simulée (i) par notre modèle utilisé avec des données génériques, et (ii) par notre modèle utilisé avec des données tirées d'enquêtes individuelles**. Cette comparaison nous a permis d'évaluer la perte de qualité prédictive du modèle due à la perte de finesse des données d'entrée.

¹ Cette procédure vise à comparer le modèle avec d'autres modèles ou la réalité. Il s'agit de la procédure la plus communément utilisée lorsque le modèle vise à prédire le comportement d'un système. Coquillard P., Hill D.R.C. (1997) Vérification et validation des modèles de simulation, in: Masson (Ed.), Modélisation et simulation d'écosystèmes. Des modèles déterministes aux simulations à événements discrets, Paris. pp. 183-200.

Cette comparaison a été réalisée pour une autre série d'EA que celles utilisées pour construire et évaluer le modèle à l'échelle de l'EA. Ces EA ont été enquêtées dans le cadre d'un stage (Bernard, 2010). Nous avons sélectionné le territoire de deux communes voisines ayant un nombre restreint d'agriculteurs¹ : Juscorps et Saint-Romans-des-Champs² (Figure 2. 9). Dans ces communes, nous avons identifié 22 EA. Trois d'entre elles avaient déjà été enquêtées dans la première série d'enquêtes (numéros 4 ; 8 ; 12) ; deux agriculteurs n'ont pas pu être identifiés et contactés ; trois agriculteurs ont refusé l'enquête (par manque de temps au printemps ou par manque d'intérêt), si bien que nous avons finalement **enquêté 14 nouvelles EA** (Bernard, 2010). Ces EA sont localisées sur la Figure 2. 9 (1 563 ha en tout) et leurs principales caractéristiques sont données au Tableau 2. 3.

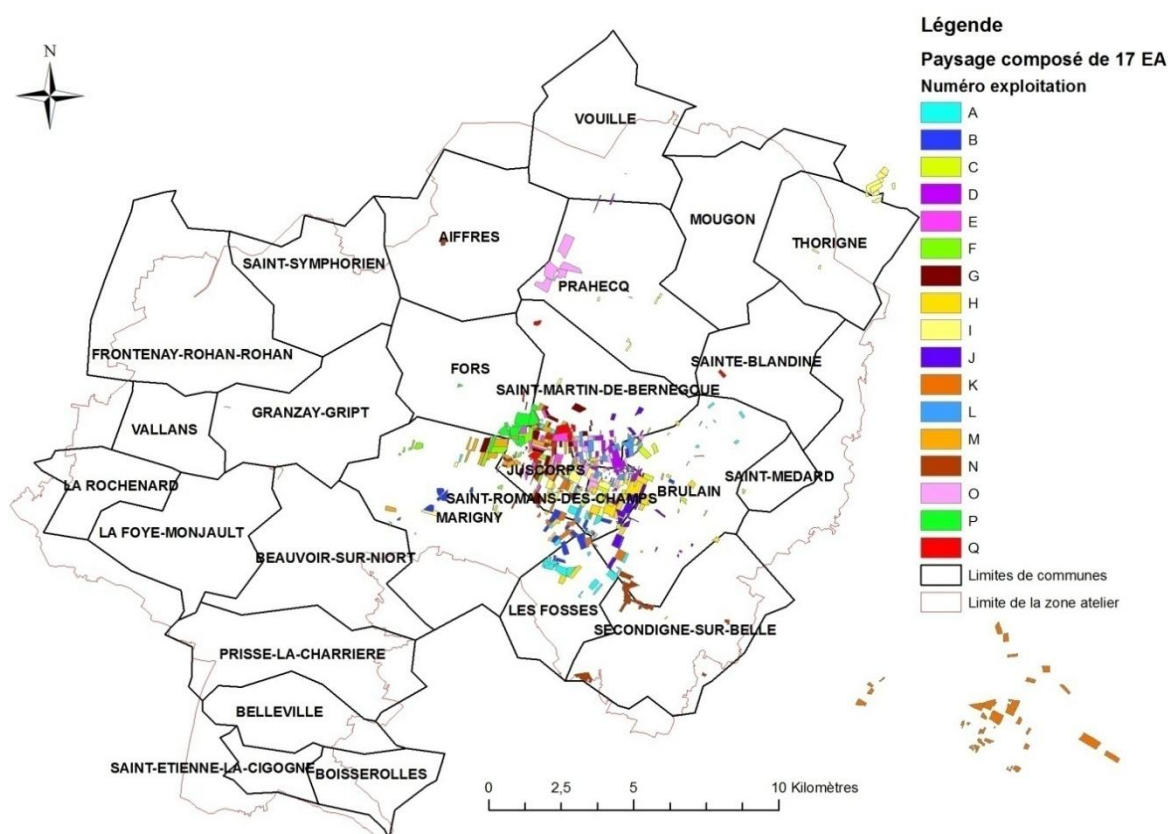


Figure 2. 9 : Localisation de la deuxième série d'exploitations enquêtées dans les communes de Juscorps et Saint-Romans-des-Champs). Adapté de Bernard (2010)

¹ Un des objectifs du stage était d'explorer la dimension territoriale des décisions d'assolement des agriculteurs, i.e. les éventuelles interactions entre agriculteurs d'un même territoire influant sur ces décisions.

² Les enquêtes communales de 2009 avaient d'ailleurs montré que ces deux communes étaient plutôt « conquérantes », dans la mesure où les agriculteurs de ces communes exploitent des terres des communes voisines mais peu d'agriculteurs des communes extérieures exploitent les terres de ces deux communes.

Tableau 2. 3 : Principales caractéristiques de la série d’exploitations enquêtées dans les communes de Juscorps et Saint-Romans-des-Champs (GC = grandes cultures, BL = bovin lait, BV = bovin viande). Adapté de Bernard (2010)

EA enquêtées	Combinaison des productions	SAU (ha) en 2010	Nombre d’îlots	Indicateur de morcellement (nombre d’îlots / SAU)
A	GC BL BV	87,49	33	0,377
B	GC BV	80,77	24	0,297
C	GC	66,94	29	0,433
D	GC BV	80,33	40	0,498
E	GC	50,73	16	0,315
F	GC	56,57	21	0,371
G	GC	77,29	30	0,388
H	GC BL	126,6	37	0,292
I	GC	135,85	45	0,331
J	GC BL BV	86,49	31	0,358
K	GC BL	195,4	57	0,292
L	GC BL	73,1	39	0,534
M	GC	92,94	32	0,344
N	GC BV	88,01	29	0,33
O (12)	GC CL	124,36	29	0,233
P (4)	GC	77,22	13	0,168
Q (8)	GC CL	62,15	21	0,338

Pour finir, nous avons **comparé les simulations obtenues par notre modèle (utilisé avec des données d’entrée génériques) avec celles obtenues par un modèle aléatoire**. Cette comparaison nous a permis d’évaluer la pertinence de modéliser les décisions d’assolement (même à partir de données génériques), pour simuler l’organisation spatiale des cultures, par rapport à une modélisation aléatoire de l’allocation des cultures aux parcelles. Les détails méthodologiques et les résultats de cette partie sont présentés dans le chapitre 6.

Conclusion du chapitre 2

Nous avons choisi comme zone d'étude le territoire de la plaine de Niort, car il présente des données disponibles, une diversité de facteurs influant sur les décisions d'assolement, et des enjeux environnementaux locaux impactés par l'organisation de la mosaïque de cultures.

Dans le territoire de la plaine de Niort, nous avons développé une méthode qui permet de :

- d'abord explorer de façon préliminaire les liens entre décisions d'assolement à l'échelle de l'EA et régularités d'organisation des cultures à l'échelle du paysage (chapitre 3) ;
- puis approfondir les dimensions spatiale et temporelle des décisions d'assolement grâce à des enquêtes successives en EA. En utilisant la méthode de l'étude de cas, nous avons construit un modèle de simulation de ces décisions, afin de simuler l'organisation spatiale des cultures à l'échelle de l'EA (chapitre 4). Nous avons ensuite évalué ce modèle *via* une validation opérationnelle et une validation conceptuelle basée sur une expérimentation virtuelle (chapitre 5) ;
- pour finir, produire des données d'entrée génériques pour ce modèle (à partir de diverses sources d'informations, essentiellement des bases de données spatialisées), afin de tester la pertinence du modèle pour simuler l'organisation spatiale des cultures à l'échelle d'un paysage composé d'EA, sans avoir besoin de recourir à des enquêtes individuelles en EA dans le territoire (chapitre 6).

Evaluation de la cohérence entre décisions d'agriculteurs au niveau exploitation agricole, et régularités d'organisation spatiale et temporelle des cultures au niveau paysage



Dans ce chapitre, nous exposons les résultats obtenus concernant la question initiale des liens entre décisions d'assolement au niveau exploitation agricole (EA) et organisation spatiale et temporelle des cultures au niveau paysage. Notre questionnement était le suivant : **en quoi les régularités d'organisation spatiale et temporelle des cultures identifiées au niveau du paysage relèvent-elles de décisions d'agriculteurs prises au niveau de l'exploitation agricole ; et inversement, les décisions des agriculteurs sont-elles à l'origine de régularités d'organisation au niveau du paysage?**

Dans la plaine de Niort, nous avons identifié d'une part des régularités stochastiques à partir de fouilles de données au niveau paysage, et d'autre part des règles de décisions d'agriculteurs à partir d'enquêtes en EA. Nous avons exploré si les régularités constatées étaient liées au hasard ou bien pouvaient relever de décisions d'agriculteurs, et inversement, si les décisions captées au niveau EA étaient anecdotiques ou bien pouvaient impacter le niveau paysage. Nous avons ainsi évalué la cohérence des résultats obtenus à ces deux niveaux d'organisation, en particulier concernant le voisinage des cultures et l'évolution de ces voisinages au cours du temps.

Nous positionnons tout d'abord notre démarche par rapport aux courants de recherche actuels sur la modélisation des dynamiques d'occupation du sol (section 3.1). Puis nous présentons la méthode et les résultats sous forme d'un article scientifique (section 3.2), avant de conclure sur les implications de nos résultats pour la suite de la thèse (section 3.3).

3.1) Cadrage théorique : complémentarité des approches pour la modélisation des dynamiques d'occupation du sol

L'évolution de l'occupation du sol et de l'organisation spatiale de l'occupation du sol est largement étudiée compte-tenu des forts enjeux qui leur sont associés (biodiversité, sécurité alimentaire, etc.) (Verburg et al., 2006b). Nous pouvons distinguer deux grands courants de modélisation de l'occupation du sol, décrits par exemple par (Castella and Verburg, 2007; Overmars et al., 2007a; Overmars et al., 2007b; Verburg and Veldkamp, 2001). Ces deux courants visent à identifier les facteurs explicatifs de l'organisation et des changements de l'occupation du sol (*land use* en anglais). La Table 3. 1 synthétise leurs principales caractéristiques.

Table 3. 1 : Synthèse des caractéristiques des deux grands courants de modélisation de l'occupation des sols décrits par (Overmars et al., 2007a; Overmars et al., 2007b)

Orientations du modèle	<i>From pattern to process</i>	<i>From process to pattern</i>
Type de raisonnement	Inductif	Déductif
Type d'approche	Descendante, dite <i>top-down</i>	Ascendante, dite <i>bottom-up</i>
Type de modèle	Empirique	Théorique

Le premier courant ***from pattern to process***, part des connaissances sur l'organisation passée et actuelle de l'occupation du sol (les *patterns*) et de potentielles variables

explicatives, et il vise à identifier des corrélations statistiques entre les deux (Overmars et al., 2007a; Overmars et al., 2007b). Les connaissances sur l'organisation de l'occupation du sol sont tirées de données spatialisées (données satellites le plus souvent), et les variables explicatives peuvent être des variables démographiques, socioéconomiques, climatiques, relatives aux sols, ou au paysage, etc. (voir (Verburg and Veldkamp, 2001) pour un exemple). Ce courant permet ainsi de déterminer les probabilités de trouver tel ou tel type d'occupation du sol en chaque lieu, en fonction de ses caractéristiques (démographiques, biophysiques, etc.), et de repérer les zones où ont eu lieu des changements notables d'occupation du sol. Le plus souvent, ces travaux se limitent à de grandes classes d'occupation du sol (cultures, prairies, forêt, bâti, etc.), sans prendre en compte la diversité des cultures et des successions de cultures, qui peuvent pourtant jouer un rôle important sur les processus écologiques (Martin, 2009b).

Ce premier courant s'appuie sur une **approche top-down** facilement reproductible, applicable rapidement à condition que des données d'occupation du sol soient disponibles (Overmars et al., 2007a). Il ne permet toutefois pas d'identifier des liens de cause à effet entre les variables explicatives et les *patterns* identifiés, mais seulement des corrélations : les *patterns* observés sont supposés refléter le processus qui les a générés, mais cette démarche ne permet pas de comprendre et de caractériser ce processus. Ce processus est par ailleurs supposé stable dans le temps (Veldkamp and Lambin, 2001), si bien que ce courant ne permet pas de prédire des changements d'occupation du sol liés à un changement de ce processus.

Le second **courant from process to pattern**, part à l'inverse de la compréhension du processus à l'origine de l'organisation de l'occupation du sol, afin de prédire cette dernière. Le processus est ici vu comme reposant sur les décisions des acteurs gérant l'occupation du sol. On peut donc considérer soit l'ensemble des acteurs qui prennent des décisions relatives à l'occupation du sol, et construire des modèles multi-agents (e.g. (Valbuena et al., 2010)), soit considérer qu'un acteur est majoritaire pour la gestion de l'occupation du sol (e.g. (Overmars et al., 2007a)), et construire un modèle de décisions de cet acteur. Dans les paysages agricoles, on peut par exemple considérer que l'agriculteur est cet acteur majoritaire (Bacic et al., 2006).

Ce second courant permet donc de construire un modèle théorique de décisions des gestionnaires de l'occupation du sol et de simuler l'impact de ces décisions sur l'occupation du sol. Ce courant s'appuie sur une **approche bottom-up** nécessitant un important travail de terrain pour recueillir des données et décrire en détail les processus de décisions des acteurs considérés (Overmars et al., 2007a). Cette approche est donc moins facilement reproductible et seulement à des échelles proches de celles des unités de décisions des acteurs, mais elle permet d'identifier des relations de cause à effet entre les décisions des acteurs et l'organisation de l'occupation du sol. Ces deux courants sont donc tout à fait complémentaires (Castella and Verburg, 2007).

Dans l'article qui va suivre, nous avons combiné deux approches pouvant s'apparenter à ces deux courants de recherche.

- La fouille de données historiques et spatialisées visant à identifier des régularités d'organisation au niveau du paysage fait partie d'une approche *top-down* et peut être assimilée à la recherche de *patterns*. La différence avec le courant *from pattern to process* réside dans le fait que nous n'avons pas cherché de corrélations avec une série de variables explicatives de ces *patterns*. Nous n'avons pas établi de relations statistiques entre les *patterns* identifiés, et des variables biophysiques, socioéconomiques, etc.
- Les enquêtes en EA visant à identifier des règles de décisions d'agriculteurs peuvent être assimilées à la recherche d'un processus décisionnel sous-jacent aux *patterns* observés. La différence avec le courant *from process to pattern* réside dans le fait que nous n'avons pas été à cette étape jusqu'à construire un modèle décisionnel permettant de simuler l'organisation de l'occupation du sol.

Ainsi, l'article suivant combine deux approches qui peuvent pour partie s'apparenter aux courants de recherche existant, et il vise à évaluer leur complémentarité concernant la compréhension des liens entre régularités d'organisation au niveau paysage et décisions d'agriculteurs au niveau EA.

3.2) Article accepté dans Landscape Ecology : “Combining farmers’ decision rules and landscape stochastic regularities for landscape modelling”

Noémie Schaller, El Ghali Lazrak, Philippe Martin, Jean-François Mari, Christine Aubry, Marc Benoît

N. Schaller (corresponding author); P. Martin; C. Aubry
AgroParisTech INRA, UMR 1048 SAD-APT, Bâtiment EGER, BP 01, F-78850 Thiverval-Grignon, France
email: noemie.schaller@agroparistech.fr
phone: +33 (0)1 30 81 55 95; fax: +33 (0)1 30 81 59 39

E.G. Lazrak; M. Benoît
INRA, UR 055 SAD ASTER, F-88500 Mirecourt, France

J.F. Mari
LORIA, UMR CNRS 7503 INRIA-Grand-Est, B.P. 239, F-54506 Vandœuvre-lès-Nancy, France

DOI : 10.1007/s10980-011-9691-2

Abstract

Landscape spatial organization (LSO) strongly impacts many environmental issues. Modelling agricultural landscapes and describing meaningful landscape patterns are thus regarded as key-issues for designing sustainable landscapes. Agricultural landscapes are mostly designed by farmers. Their decisions dealing with crop choices and crop allocation to land can be generic and result in landscape regularities, which determine LSO. This paper comes within the emerging discipline called “landscape agronomy”, aiming at studying the organization of farming practices at the landscape scale. We here aim at articulating the farm and the landscape scales for landscape modelling. To do so, we develop an original approach consisting in the combination of two methods used separately so far: the identification of explicit farmer decision rules through on-farm surveys methods and the identification of landscape stochastic regularities through data-mining. We applied this approach to the Niort plain landscape in France. Results show that generic farmer decision rules dealing with sunflower or maize area and location within landscapes are consistent with spatiotemporal regularities identified at the landscape scale. It results in a segmentation of the landscape, based on both its spatial and temporal organization and partly explained by generic farmer decision rules. This consistency between results points out that the two modelling methods aid one another for land-use modelling at landscape scale and for understanding the driving forces of its spatial organization. Despite some remaining challenges, our study in landscape agronomy accounts for both spatial and temporal dimensions of crop allocation: it allows the drawing of new spatial patterns coherent with land-use dynamics at the landscape scale, which improves the links to the scale of ecological processes and therefore contributes to landscape ecology.

Key words

Land-use dynamic, on-farm survey, conceptual model, data mining, crop succession, crop allocation, spatiotemporal analysis, landscape agronomy, landscape patterns

3.2.1) Introduction

Agriculture is the most important land use across Europe (Rounsevell et al 2003) and its impacts on the environment are no longer to be demonstrated (Donald et al 2001; Stoate et al 2001). Depending on market conditions, access to technology and public policies, subsequent intensification or abandonment can have contrasting effects from one region to another and even within regions (Stoate et al 2009). Considering the landscape scale of agroecosystems is thus necessary to address many ecological processes.

Landscape spatial organization (LSO) strongly impacts many environmental issues. Agricultural landscapes in Europe are composed of a crop mosaic and of semi-natural areas (Burel and Baudry 2010). We focus here on the crop mosaic, directly influenced by agricultural practices and we define the LSO as the spatial structure and arrangement of the agricultural plots within the landscape. Several studies have shown that modifying the LSO can orientate environmental processes like biodiversity preservation (Benton et al 2003; Joannon et al 2008), soil erosion by water and tillage (van Oost et al 2000), erosive runoff (Joannon et al 2006), water pollution (Benoît et al 1997; Beaujouan et al 2001) and gene fluxes (Le Bail et al 2010).

In order to understand the interactions between LSO and ecological processes, it is necessary to identify and describe meaningful landscape patterns (Turner 1990), both for scientists and planners. The identification and description of such landscape patterns could improve the understanding of environmental processes in relation with agricultural dynamics, which may facilitate the exploration of the future and political decision making (Lazrak et al 2010a). Modelling agricultural landscapes is thus a key-step in exploring land-use dynamics and helping design sustainable and environmentally-friendly landscapes (Veldkamp and Lambin, 2001; Gaucherel and Houet, 2009).

Agricultural landscapes are primarily designed by farmer practices (Benoît, 1990; Le Ber et Benoît 1998; Thenail et al, 2009). Farmer decisions dealing with crop choices and crop allocation to land at farm scale impact LSO (Thenail and Baudry, 2004). As a consequence, there is a spatial mismatch between the landscape scale, where environmental processes occur and should be managed, and the farm scale, where landscape units are managed through farmer practices (Rindfuss et al 2004; Cumming et al 2006; Pelosi et al 2010). This mismatch calls for a better articulation between the farm and the landscape scales.

As agronomists, we usually focus on farmer practices and soil-crops-climate interactions at the farm scale. Our research here focuses on the role of farmers in the landscape design process and is thus part of an emerging branch of agronomy called “landscape agronomy”

(Benoît et al 2007). This discipline focuses on the landscape scale and aims at studying the organization of farming practices on a small geographical scale (Mignolet et al., 2007). The scale generally ranges from 100 km² to a few thousand km² and is thus intermediate between the farm scale (0.1 to 10 km²) and coarser scales (>100 000 km²). Landscape agronomy has recently developed due to the increased attention given to localised environmental problems resulting from farming activity (Benoît et al 2007). It combines concepts and methods from geographers and agronomists: multi-scale modelling approaches for land-use changes (Veldkamp and Fresco 1996; De Koning et al 1999; Lambin et al 2003) and analytical methods to describe the underlying reasoning of regional agricultural systems organization. It relies mostly on the spatialization of farming system classifications (Landaïs 1998; Leisz et al 2005; Mignolet et al 2007).

Farmer decisions dealing with crop choices, crop successions and crop allocation to land have already been modelled at farm scale (Maxime et al 1995; Aubry et al, 1998a ; Navarrete and Le Bail, 2007; Mawois et al, 2011). Besides, some authors have shown that farmers organize their crops in the farming territory according to spatial constraints (Morlon and Benoît 1990; Morlon and Trouche 2005), especially on mixed crop-livestock farms (Brunschwig et al 2006; Marie et al 2009). It is now accepted that the way a farmer organizes his farming territory is related to his cropping plan and is both a time and a spatial process (Dury et al 2011).

Even if taken at the individual level, some decisions can be generic (i.e. shared by a set of farmers) and may result in landscape spatiotemporal regularities. Such regularities have already been stochastically modelled at the landscape scale (Lazrak et al 2010a). These authors consider that land-uses are heterogeneously distributed among different polygons (agricultural plots) across landscapes and these land-uses display dynamic patterns as a result of crop successions and other driving forces of land-use changes. These patterns can be modelled both in their spatial and temporal dimensions using a Markovian framework (Le Ber et al 2006; Mignolet et al 2007; Castellazzi et al 2008; Lazrak et al 2010a) or stochastic decision trees (Sorel et al 2010).

In short, there are methods for identifying (i) farmer decisions at farm scale and (ii) regularities in spatial and temporal patterns at landscape scale, but very few studies aim at articulating the farm and the landscape scales by linking the two methods (Pocewicz et al 2008). Agent-based models have been widely used to simulate land-use changes as a result of human decisions, but these approaches do not focus on farmers as the main stakeholders in agricultural landscapes. Agent-based models hardly account for farmer technical management: they rather focus on the impact of economic factors (e.g. agricultural and development policies, land ownership) on farm structure or land cover changes (Freeman et al 2009; Happe et al 2009; Robinson and Brown 2009). Upscaling to the regional scale is even possible thanks to probabilistic approaches (Valbuena et al 2010), but disregarding the diversity of farmer practices (e.g. crop successions). Following these authors, we now hypothesize that farmers play the most crucial role in designing agricultural landscapes

(Bacic et al 2006) and that combining methods for identifying farmer decisions and landscape regularities could bridge the gap between crop patterns generated by farmers and agricultural landscape modelling.

The aim of the paper is thus to model farmer decisions and landscape regularities, as well as the links between them, in order to improve the articulation of the farm and the landscape scales for regional land use modelling. To do so, we used a French case study, where researchers more widely aim at understanding (i) how farmers make their crop allocation choices at farm scale and the associated determinants (ii) what landscape regularities can be identified at landscape scale in relation to farmer decisions, and (iii) how the landscape is finally designed and spatially organized over time. Once we have presented each of the two modelling methods, we will show how they mutually benefit one another before discussing advances, future challenges and perspectives for landscape modelling and research.

3.2.2) Methods

3.2.2.1) Study area

We applied our approach to the case of the Niort plain landscape in France. This area is located in the South of Deux-Sèvres in the Poitou-Charentes region (46.2°N, 0.4°W). Its extent is about 350 km² (Lazrak et al 2010a), the average plot area being about 4-5 ha¹. This agricultural landscape comprises woods and villages (4% of the total area) and is mainly composed of cereals, maize, sunflower, rapeseed and of a minority of grasslands (15%). The number of mixed crop-livestock farms (cattle and goats) has indeed been reduced in favour of arable farms. The Niort plain is a European Natura 2000 area where LSO particularly matters for biodiversity preservation and both water quality and quantity issues.

3.2.2.2) Methods at farm scale

- On-farm surveys and farmer decision rules

Farmer decisions are qualitative data: we modelled farmer decisions through a generic conceptual framework describing such decisions as (i) decisional variables (ii) determinants and (iii) decision rules. A decision rule refers to a decisional variable and is influenced by one or several determinants:

(i) Decisional variables (Aubry et al. 1998a and 2006; Navarrete and Le Bail 2007) describe the content of the decision and give an answer to the question: "what is the decision about?" For allocating crops to land at farm scale, decisional variables have been identified as: suitable cultivation area for each crop (all suitable plots for the considered species), crop area (total area of a considered crop on the farming territory), crop return time (acceptable

¹ <http://www.zaplainedesevre.fr/index.php>

time to replant the same crop on the same plot) and preceding-following crop pairs (acceptable temporal crop sequences) (Maxime et al 1995; Aubry et al 1998a; Navarrete and Le Bail 2007).

(ii) Determinants are all elements influencing the decisional variables and the decision rules: they can be of different natures (quantitative or qualitative) and internal (e.g. farm resources) or external to the farm (e.g. market conditions, climate). For example, on-farm labour force and market prices can determine the crop areas.

(iii) Decision rules (Sebillotte and Soler 1990; Aubry et al. 1998b; Merot et al. 2008) are the rules each farmer defines and follows, depending on the determinants, to make his choice for each decisional variable. For example, concerning the decisional variable “crop area”, a rule could be “if the price of this crop is lower than [a threshold], then I will decrease this crop area”. These rules may be qualitative but their content can be compared between farmers for a given decisional variable and reveal that some farmers share the same rules. Such generic rules will be described in the results section.

In this study, we applied this general rule-based model to specifically analyse decisions dealing with crop choices and crop allocation to land. The necessary data for such a model requires specific on-farm surveys (Merot et al 2008). Between 2006 and 2010, we carried out 67 surveys in the Niort plain landscape. We sampled 67 farms out of the 185 farms having the whole farming territory inside the study area. The sample was built in order to account for the diversity in farming systems and not to be representative of all farms. All on-farm surveys aimed at understanding the global functioning of the farm. In addition, we distinguished four specific goals, which were achieved through four successive sessions of on-farm surveys: 22 surveys in 2006 and 19 surveys in 2007 focused respectively on mixed crop-livestock and arable farmer strategies to cope with summer droughts and irrigation bans (Martin et al 2009; Havet et al 2010); 12 surveys in 2009 focused on farmer decisions dealing with crop spatial allocation and plot splitting (Schaller et al 2010); 14 surveys in 2010 focused on the evolution over time of farmers' annual cropping plans. The 67 on-farm surveys were semi-structured to encourage farmers to specify the reasons for their choices and how these choices could evolve over time, especially regarding the way they allocated crops to land.

The on-farm understanding of such rotational principles and land allocation are now considered as the driving factors of landscape patterns (Thenail et al 2009). Such patterns can be detectable by statistical methods (Castellazzi et al 2007) and data mining methods (Mignolet et al 2007; Lazrak et al 2010a).

3.2.2.3) Methods at landscape scale

- The land-use data-base

To identify landscape stochastic regularities, we used a data-base providing information about the land-use in the Niort plain. This data-base was built by the Chizé Centre for Biological Studies, based on biannual land-use surveys covering an extent of 350 km² and going back to 1996 (Lazrak et al 2010a). The two surveys in April and June made it possible to account for both early-harvested and late-planted crops. Each year, surveyors distinguished 47 land-uses (42 agricultural, 3 urban and 2 forest land-uses) and updated the plot limits when necessary (Lazrak et al 2010a). The land-use surveys resulted in a GIS geodatabase in vector format.

- Theoretical background for modelling landscape regularities

In order to model temporal and spatial landscape regularities, we used a stochastic data-mining approach based on a Markovian framework. Stochastic modelling for data mining is a convenient way of building statistical and probabilistic models for capturing the spatiotemporal data variability that is not yet fully understood. This Markovian framework is based on two assumptions in spatial and temporal domains respectively: (i) the *Markov random field (MRF) assumption* assumes that the land-use of a given field depends only on the land-use of the neighbouring fields; (ii) the *Markov chain assumption* assumes that the land-use of a given field in a year depends only on the land-use of the recent previous years in the same field. We used second order Hidden Markov Models (HMM2) to approximate the Markov assumptions, assuming that the distribution observations (land-uses) in an area at time t – the cropping plan – depend on the cropping plan observed at time $t-1$ or $t-2$. Hidden Markov Models (HMM) generalize Markov chains (Castellazzi et al 2008) through the presence of a supplementary hidden layer of states that models data structure and captures the variability of the observations. HMMs have been successfully used in speech recognition (Jelinek 1976), image processing (Benmiloud and Pieczynski 1995), ecology (Le Ber et al 2006) and landscape agronomy (Lazrak et al 2010a).

An HMM2 is defined by 3 elements:

- (i) A set $S = s_1, s_2, \dots, s_N$ of N states. The states are the outcomes of the variables X_t , where $t = 1, \dots, T$.
- (ii) A transition matrix $A = (a_{ijk})$ over S^3 , where a_{ijk} is the *a priori* transition probability $P(X_t = s_k / X_{t-2} = s_i, X_{t-1} = s_j)$ for the hidden Markov chain to be in state s_k at index t assuming it was in state s_j at index $t-1$ and s_i at index $t-2$. The Markov assumptions state that these *a priori* transition probabilities are constant.
- (iii) A set of N distributions over a set of observations: $b_i(.)$ is the distribution of the observations associated with state s_i . The observations may be of different types: single land-use of a plot, several land-uses – called *n-uplet* – corresponding to the plot occupations during n successive years, or corresponding to the occupations of the n neighbouring plots. These distributions may be parametric: for example implemented in specific tables that

store the observation probabilities, or represented by other HMMs that analyze an observation sequence at a whole and compute its probability. In this case, the HMM is called a hierarchical HMM. In our landscape clustering study based on land-use successions, we used a master HMM₂ having 6 states, each of them being a 12 state HMM₂. This latter analyzes the 12 year land-uses of a plot and computes the time-sequence probability. The master HMM has an ergodic topology: all the states are interconnected. The states describe the homogeneous areas (called patches) in the landscape. The transition probabilities account for the neighbourhood relations between patches. The master HMM models the spatial structure whereas the state HMM models the temporal structure. Such a model is capable of clustering a landscape into 6 patches whose evolution in terms of land-use successions is represented by a 12 state HMM. A more extended presentation of HMM₂s, together with their performances in several data mining studies in agronomy and ecology can be found in Le Ber et al (2006), Lazrak et al (2010a).

Two separate and complementary data-mining analyses were conducted. In the first one, the observations are the land-uses of a plot. The regularities are revealed by a hierarchical HMM₂ through the segmentation of the landscape into homogeneous patches, each of them having its land-use evolution described by a temporal state HMM₂. In the second one, the observations are *n-uplets* elaborated from the land-uses of the neighbourhood plots. The regularities are revealed through the evolution of land-use neighbourhoods over time represented by a simple linear 6 state HMM₂ that processes the *n-uplets*.

- Data-mining software for identifying landscape regularities

ARPENTAGE¹ (Analyse de Régularités dans les Paysages: Environnement, Territoires, Agronomie = Landscape Regularities Analysis: Environment, Territories and Agronomy) is a software based on HMM₂ for analyzing spatiotemporal data-bases (Lazrak et al 2010a). ARPENTAGE takes as input an array of discrete data in which the columns contain the annual land-uses and the rows are regularly spaced locations of the studied landscape. The data-mining process starts with the data preparation, which consists of three stages: (i) defining land-use categories to reduce the great number of land-use modalities, (ii) defining the elementary observation (single category vs. *n-uplet* made of several land-use categories) and (iii) choosing the spatial resolution to sample the studied landscape (Lazrak et al 2010a) because ARPENTAGE runs on raster data.

We simplified the 47 initial land-uses into 10 land-use categories as described by Lazrak et al (2010a), with the slight difference that winter barley has been assigned to the "Wheat" category and the "Grassland and Alfalfa" category has been divided into two categories: "Grasslands" and "Alfalfa" (Table 3. 2).

¹ <http://www.loria.fr/~jfmari/App/>

We sampled the landscape with regular spaced grids ranging from 10m x 10m up to 640m x 640m. Using each grid, we computed a feature: the number of different 12-year land-use successions. With a coarse resolution, small fields are omitted so that their land-use successions are lost. On the other hand, with a fine resolution, the huge matrix of sampled points does not allow tractable computations. We chose the method described in Lazrak et al (2010a) to determine the grid resolution. A study of the variation of this feature as a function of the resolution showed that a 80m grid resolution was a satisfying trade-off to avoid both long calculation times and the omission of small plot characteristics: only 6% of the 12-year land-use successions were lost.

Table 3. 2 : Land-use categories used for data-mining analysis (time period: 1996-2007)

LAND-USE CATEGORY	LAND-USE	FREQUENCY	CUMUL. FREQUENCY
Wheat (W)	wheat, bearded wheat, winter barley, cereal ^(*)	0.372	0.372
Sunflower (S)	sunflower, ryegrass followed by sunflower	0.139	0.511
Rapeseed (R)	rapeseed	0.124	0.635
Urban (U)	built area, peri-village, road	0.095	0.730
Maize (M)	maize, rye grass followed by maize	0.076	0.806
Grasslands (G)	permanent grassland, grassland first year, temporary grassland (2-3 years), grassland of unknown age	0.055	0.861
Forest and wasteland (F)	forest or hedge, wasteland (uncultivated)	0.035	0.896
Alfalfa (A)	alfalfa 1 st year, alfalfa 2 nd year, alfalfa 3 rd year, alfalfa more than 3 years	0.026	0.922
Ryegrass (Y)	ryegrass, ryegrass followed by ryegrass	0.024	0.946
Pea (P)	pea	0.022	0.968
Others (O)	spring barley, grape vine, spontaneous fallow in June, foxtail millet, flax, oat, clover, field bean, rye grass followed by tillage, rye grass followed by unknown, spontaneous fallow followed by tillage, rye, cereal-legume mixture, spring crop, mustard, garden/market gardening, sorghum/millet, sorghum, millet, tillage, tobacco, other crop	0.032	1.000

^(*) cereal is used when the species cannot be identified by surveyors (it can be wheat, barley, ryegrass or other)

- Land-use evolution data mining: clustering the Niort plain landscape into homogeneous patches

To perform the first data-mining analysis, we modelled the time-spatial structure of the landscape by a 6 state hierarchical HMM2 whose master HMM2 models the spatial structure, whereas the land-use evolution is modelled by the 12 state linear HMM2s (Figure 3. 1). The purpose of a linear HMM2 is to segment the study period in as many temporal segments as states (Mari and Le Ber 2006). In our case, each state was associated with one year. We located the land-use evolution by partitioning the study area into 6 homogeneous classes of patches in terms of land-use evolution. This value was obtained from previous studies on the same data (Lazrak et al 2010a) and appeared to be a trade-off between heavy computations and useful clustering.

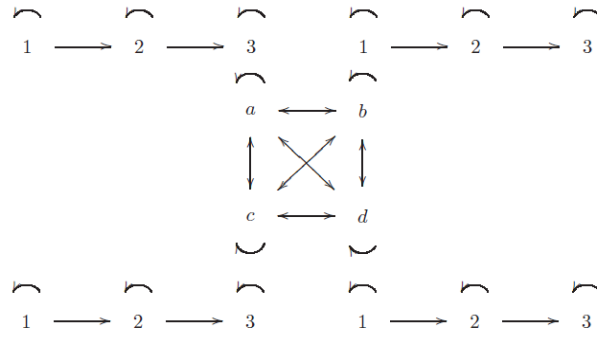


Figure 3. 1 : Example of hierarchical HMM2. Each spatial state a, b, c, d of the master HMM2 (ergodic model) is a temporal HMM2 (linear model) the states of which are 1, 2, 3. In our study, the ergodic model has 6 states, each of them being associated to a spatial area (patch), whereas the linear HMM2 have 12 states, each of them being associated to one year

- Land-use neighbourhood data mining: analyzing the time evolution of neighbourhoods

In this second data-mining analysis, we aimed at representing more precisely the evolution of sunflower and maize neighbourhoods over time, since these crops are in jeopardy in the region due to their sensitivity to summer droughts. To do so, we explicitly considered their neighbourhood relationships in the studied landscape.

The elementary observation was a *5-uplet* of land-uses, also called quintuplet. A 80m resolution gave too many neighbourhoods (approximately 40 000 different land-use quintuplets, more than the computer can process). We reduced this number by replacing land-use quintuplets by land-use cliques. A clique is a *2-uplet* made of the land-uses of 2 neighbouring plots, regardless to their directions (Lazrak et al 2010b). This replacement requires prior verification of the hypothesis that the land-use mosaic is isotropic (i.e. the direction does not hold any information). We studied the distribution of the *5-uplets* occurring in the 12-year study period and calculated the marginal joint probability $P(S, N)$ in each direction (North, South, East, West), where S and N are random variables of land-use categories respectively in a site and in its neighbour site. For the studied landscape, we found that $P(S, N)$ were equal whatever the direction of neighbourhoods, which confirms that land-use mosaic is isotropic and allows us to use the land-use cliques as elementary observations.

In order to assess the co-location of two land-use categories (x and y), we used Pointwise Mutual Information (PMI). PMI is usually used in text-mining (Novovičová et al 2004) to find pairs of co-located words. It is defined as follows:

$$PMI(x, y) = \log(P(N = x, S = y) / P(N = x) * P(S = y))$$

PMI compares the probability of observing x and y : together (joint probability) and independently (chance). If there is an attraction between x and y , the joint probability $P(x,y)$ is larger than $P(x)*P(y)$ and then $PMI > 0$ (Church and Hanks 1989). Inversely, if there is a repulsion between x and y , $P(x,y)$ is lower than $P(x)*P(y)$ and then $PMI < 0$. A zero value means that allocation to land of x is independent of the allocation of y since $P(x,y) = P(x)*P(y)$. PMI thus reveals attraction or repulsion regularities between land-use categories. Through on-farm surveys, agronomists may seek the decision rules explaining such attraction or repulsion regularities.

We here calculated the PMI on the basis of the cliques, regardless of their orientation. We then analysed the evolution of the neighbouring relationships of sunflower and maize by clustering the study period with a linear HMM2 of 6 states. This linear HMM2 defines six disjoint periods. In order to draw a global overview on neighbouring land-use evolution, we chose the periods 1998-2000 and 2004-2006 corresponding to states 2 and 5 of the 6-state linear HMM2.

By confronting the results of on-farm surveys about farmer decisions and the results of data-mining about landscape stochastic regularities, we now assess the coherence of the two approaches and how they can aid one another for landscape modelling.

3.2.3) Results

3.2.3.1) Farmer decision rules can be assessed at the landscape scale thanks to landscape stochastic regularities: example of sunflower

Through on-farm surveys from 2006 to 2010, we identified common farmer decision rules (between farmers) regarding sunflower. These rules referred to two decisional variables: (1) crop area and (2) suitable crop area. (1) After 2005, farmers generally chose to decrease the total area dedicated to sunflower on their farming territory (39 out of 67; Table 3. 3). This decision was explained by two factors. The first one was the frequent summer droughts occurring in the region and particularly affecting sunflower yields, since this crop is planted in spring and needs water during summer. Farmers tended to replace sunflower by a less risky crop like rapeseed. The second factor was the European Common Agricultural Policy (CAP) reform of 2003 applied since 2006 in France. This factor specifically concerned mixed crop-livestock farms. Before the CAP reform, farmers got compensatory payments on the basis of the amount produced (product based subsidies): they had a specific amount of money for each cash crop, but no subsidy for grasslands. After the reform and the decoupling, they got single payments only depending on the eligible farm area (land based subsidies) and regardless of their cropping plans and production (Bougherara and Latruffe 2010). As a consequence, before the reform, most mixed crop-livestock farmers tended to grow rye-grass until May to cut it once for hay, but they planted sunflower just thereafter in order to get the annual subsidy. On the contrary, they now more frequently keep the

planted rye-grass until fall to cut it several times in the year and get the subsidy even without sunflower.

Table 3. 3 : Farmer decision rules regarding sunflower and maize allocation to land (identified through on-farm surveys)

Decisional variable	Determinants	Decision rule	Number of farmers applying the rule				
			2006	2007	2009	2010	Total
Crop area for sunflower	Climatic risk affecting yields; CAP reform and decoupling	Reduce the sunflower area	12 (/22)	9 (/19)	7 (/12)	11 (/14)	39 (/67)
Suitable cultivation area for sunflower	Forests in the neighbourhood and associated crop damage	Plots close to forests (<500m) not suitable for sunflower	-	-	3 (/12)	6 (/14)	9 (/26)
Suitable cultivation area for maize without irrigation	Type of soil (depth and humidity of soil)	Only plots with deep and humid soils suitable for maize without irrigation	9 (/22)	10 (/19)	9 (/12)	12 (/14)	40 (/67)
Crop area for maize on arable farms	Climatic risk affecting yield; only cash crop function (sold)	Reduce the maize area on arable farms	5 (/5)	8 (/10)	3 (/5)	3 (/6)	19 (/26)
Crop area for maize on mixed crop livestock farms	Maize is used to feed herds	Maintain maize production on mixed crop livestock farms	16 (/17)	8 (/9)	5 (/7)	6 (/8)	35 (/41)
Crop area for grasslands on mixed crop livestock farms	Climatic risk affecting maize yields: need to secure fodder production	Increase the grasslands area on mixed crop livestock farms	16 (/17)	9 (/9)	5 (/7)	5 (/8)	35 (/41)

(2) The decision of decreasing the sunflower area implied another common decision rule at farm scale (concerning the decisional variable "suitable crop area"): some farmers reduced the suitable crop area of sunflower on their farming territories and they concentrated it on the best places for sunflower. They stopped growing it close to the forests due to frequent damage of rabbits and crows in the vicinity of forests. In Table 3. 3, we give the number of farmers having explicitly enunciated this rule (9 out of 26 asked farmers). One should however note that, unlike the 9 farmers having enunciated the rule, 10 farmers out of 26 did not have several patches of forests within a 500m-distance of the plots or did not grow sunflower on their farms, and were thus not concerned by this rule.

We sought landscape stochastic regularities involving sunflower in order to see if the farmer decision rules identified at farm scale were consistent with observed landscape dynamics. First, the sunflower frequency substantially fell in the late 2000's at the landscape scale: the frequency was approximately divided by a factor of 2 between 1996 and 2007 (Figure 3. 2).



Figure 3. 2 : Frequency evolution of sunflower at the landscape scale over the study period

Furthermore, Figure 3. 3(a) shows the evolution of the PMI between sunflower and other land-uses over the period and at landscape scale. It suggests that sunflower was in a relation of spatial repulsion with forests and grasslands over the whole period, while it was in a relation of spatial attraction with rapeseed and wheat. Besides, sunflower became less frequently close to forests and maize over the studied period. This landscape spatiotemporal regularity is thus consistent with individual farmer decision rules identified by on-farm surveys, which could explain the regularity at the landscape scale.

3.2.3.2) Farmer decision rules contribute to explaining landscape stochastic regularities: example of maize

In parallel with the first example, Figure 3. 3(b) shows the evolution between the beginning (1998-2000) and the end (2004-2006) of the period of the PMI between maize and other land-uses at landscape scale. It clearly suggests that maize was more frequently close to grasslands (stronger attraction) and less frequently close to wheat (weaker attraction). It also shows that maize and respectively forests, sunflower and especially rapeseed were increasingly repulsed over the period.

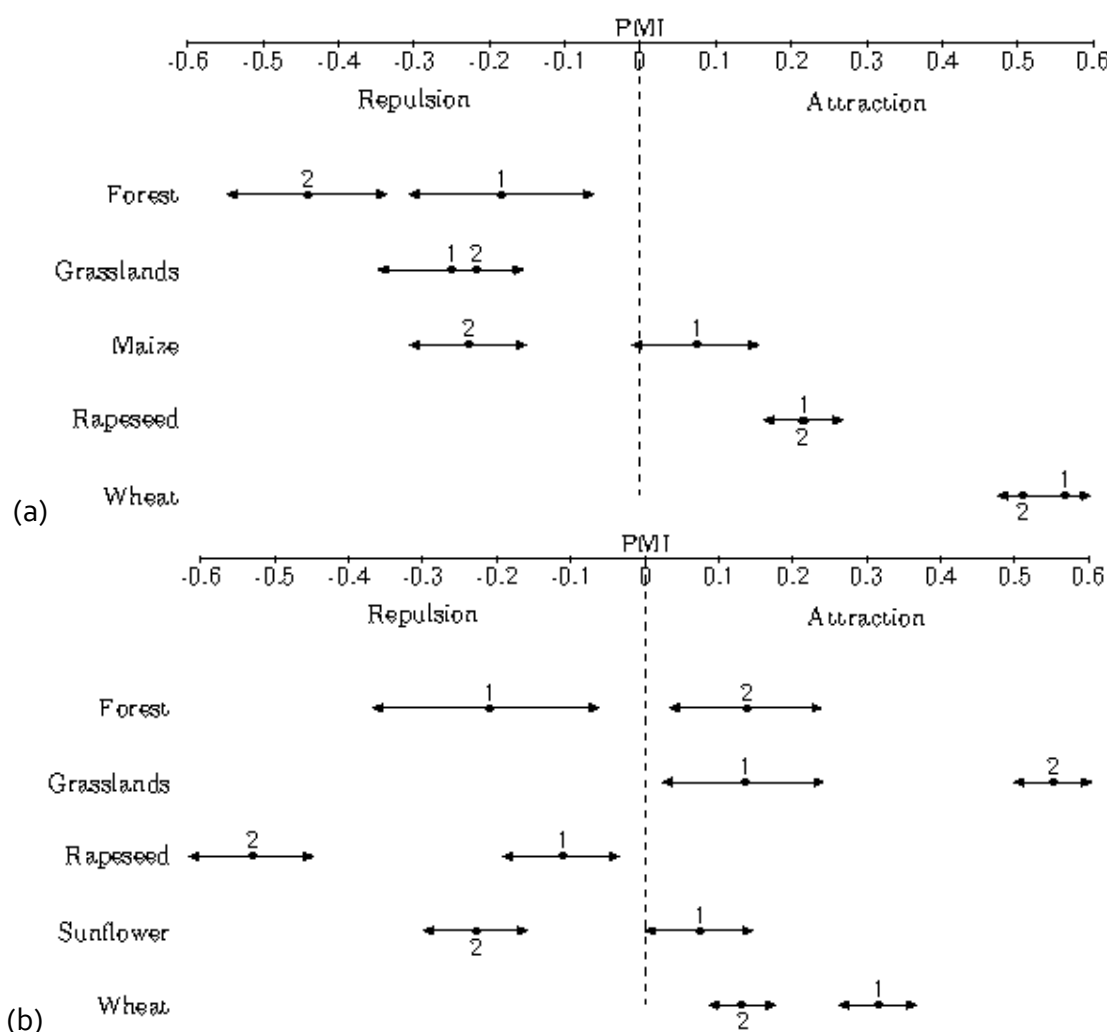


Figure 3.3 : PMI between sunflower and other land-uses (a) and between maize and other land-uses (b). For each land-use, two confidence intervals show the evolution of the neighbourhood starting in 1998-2000 (1) and ending in 2004-2005 (2). When the confidence intervals overlap themselves, only their union is shown. The interval shift shows the spatial attraction or repulsion process. The confidence intervals are computed using a 40m resolution and a 5% risk. See Table 3.2 for land-use category details

We sought to identify generic farmer decision rules that would give explanatory elements to this time evolution of the neighbourhoods. Through on-farm surveys, we found that the maize area tended to decrease (decisional variable "crop area") and to be mostly maintained in the vicinity of grasslands (decisional variable "suitable crop area") for several reasons. In fact, farmers had to adapt to a context of frequent summer droughts in the Niort plain landscape, leading to temporary irrigation bans (Martin et al 2009). Maize (grain or silage) is only grown in deep humid soils, which are rather scarce in the Niort plain landscape (17% of arable soils) and/or in irrigated plots. Consequently, the adaptation strategies to water shortage mainly depend on the access to deep soils and the farming system. A common decision rule regarding the suitable cultivation area is that farmers only grow maize in deep and humid soils when they have no access to irrigation (40 out of 67; Table 3.3). They grow maize as a monoculture in the vicinity of grasslands traditionally well adapted to be located in deep and humid soils. 16 out of the 67 surveyed farmers were not concerned by the rule though, since they only grow corn in irrigated plots. Then, the crop

allocation choices also depend on the farming system and the irrigation capacity, modulated by a risk of restriction. On arable farms, grain maize is not a priority crop and too risky due to irrigation bans, so that arable farmers decide to decrease the maize area (Table 3. 3). On mixed crop-livestock farms, maize is a priority crop for feeding herds. Maize is thus mainly maintained as silage when they have access to irrigation. At the same time, maize production becomes increasingly risky due to climate variability and irrigation restrictions, so that mixed crop-livestock farmers tend to expand grasslands area to complement and secure fodder production (Table 3. 3). This approach results in maize being mainly maintained on mixed crop-livestock farms with significant grasslands area on farms. Finally, all these decision rules appear to be generic and consistent with the fact that maize became more frequently close to grasslands over the period at landscape scale.

3.2.3.3) Links between time evolution of land-use neighbourhoods and clustering of the Niort plain landscape

After having commented the results concerning the analysis of the time evolution of land-use neighbourhoods, we now present the map resulting from the segmentation of the landscape using a Markovian framework (Figure 3. 4) and the possible consistency with previous results. This map consists of patches characterized by homogeneous evolution of land-use areas summarized in small associated graphs. The map thus gives the possibility to locate, inside the landscape, the places where a certain land-use area decreased or increased and to compare the patches regarding their land-use area evolutions over time. The map unit (a) refers to patches where maize is the most frequent land-use. In these patches, grasslands seem to have increased since 2004 simultaneously to maize decrease. As a consequence, these patches may represent mixed crop-livestock farmer practices, as described above. The map units (b) and (c) represent crop areas where maize has been partially replaced by grasslands. The map unit (d) refers to patches where grasslands are the most frequent land-use, which may correspond to areas with deep and humid soils. Despite a global decreasing trend, maize appears to be more frequent in this grassland patch than in crop areas, which is consistent with the rule consisting in growing maize only in deep and humid soils. Map unit (e) represents patches where forests are the most important land-use and where sunflower is very scarce and decreasing over the period.

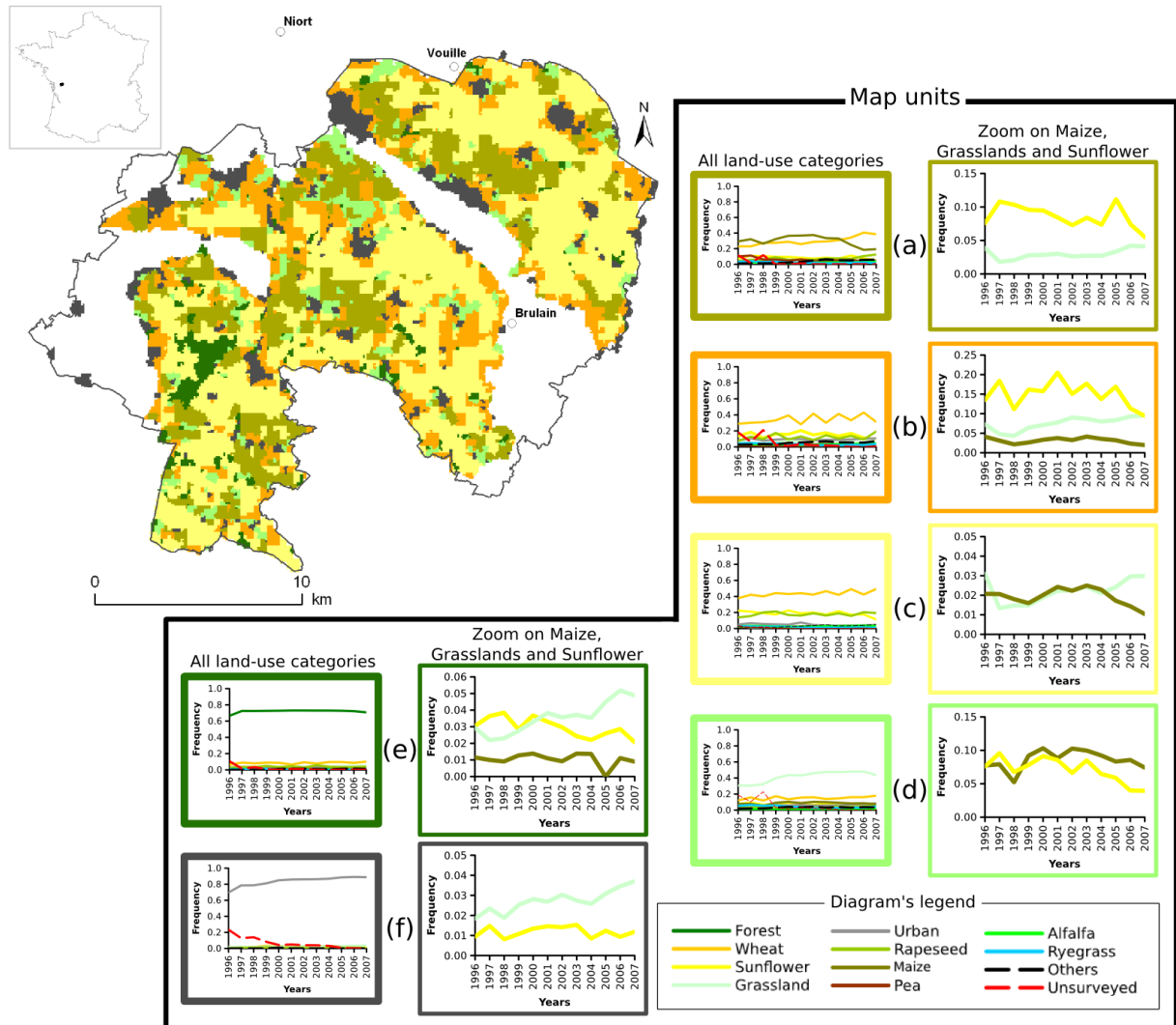


Figure 3. 4 : Segmentation of the Niort Plain landscape in patches characterized by homogeneous evolution of land-use areas over the studied period. White areas are unclassified because there was insufficiently surveyed land-use over the 1996-2007 period. The location of the Niort Plain in France is depicted in the upper left-hand box. The map legend (evolution of land-use areas in each patch) is illustrated in small graphs in the frame. There are 6 map units: (a) to (f). Each map unit is described by 2 diagrams: (i) a left-hand diagram showing the evolution of all land-use categories in patches belonging to the considered map unit and (ii) a right-hand diagram showing a zoom on interesting land-use categories. The map unit (a) refers to patches where maize is the most frequent land-use. The map units (b) and (c) represent crop areas where maize has been partially replaced by grasslands. The map unit (d) refers to patches where grasslands are the most frequent land-use. Map unit (e) represents patches where forests are the most important land-use. Map unit (f) represents urban areas

3.2.4) Discussion

3.2.4.1) A new framework for landscape modelling

We have here pointed out that the two modelling methods (farmer decision rules analysis and landscape stochastic regularities computation) aid one another for land-use modelling at the landscape scale and understanding the driving forces of its spatial organization. In line with Thenail et al. (2009) and Sorel et al. (2010), we argue that spatiotemporal crop

allocation to field patterns is designed at the farm scale and that mainly farmers design agricultural landscapes, which makes the analysis of their decisions more crucial compared to other stakeholders.

We managed to create a map of spatiotemporal regularities, partly explained by generic farmer decision rules, mostly referring to the decisional variables “crop area” and “suitable crop area” (Figure 3. 4). The combination of an ergodic HMM and a Markov chain made it possible to account for both spatial and temporal changes, despite the difficulties of handling both these dimensions (Verburg 2006). Following the work of Lazrak et al. (2010a), this map constitutes a partitioning of the landscape, based on both its spatial and temporal organization and maximizing the probability that the model fits the data. This drawing of new spatial patterns coherent with land-use dynamics at the landscape scale may improve the links to the scale of ecological processes (Pelosi et al 2010). We could in addition account for possible changes in crop proportions whereas simple transition matrices in Markov chains (Castellazzi et al 2008) induce stationary crop proportions when used to simulate crop successions.

Moreover, in contrast to a time-invariance of the socioeconomic context and of the driving factors of landscape changes (Sorel et al 2010), an originality of our approach relies on accounting for a changing context. The modification of socioeconomic and climatic driving factors induced in our case changes in crop proportions over the studied period. In the Niort plain region, the EU Common Agricultural Policy reform contributed to decreasing the total sunflower area, while the frequent drought risk contributed to reducing the maize area. These crop proportion changes resulted in changes in the landscape patterns, which can in turn impact environmental issues. Hence, our approach seems to be useful for landscape modelling and thus for a better knowledge of the interactions between ecological processes and landscape dynamics.

3.2.4.2) Remaining challenges

One limit of our approach is that not all farmer decisions are generic enough to be assessed at landscape scale. For example, through on-farm surveys, we identified two different management strategies for alfalfa. On arable farms, a common rule was to implant alfalfa all at the same time in order to simplify the cropping system and only in marginal areas. It was also a mean for farmers to get specific subsidies within the framework of the CAP Territorial Agroenvironmental Measures implemented in France. On the contrary, on mixed crop-livestock farms, a common rule was to grow alfalfa of different ages (1 to 5 years). The gradual implantation aims at securing the fodder production considering that alfalfa yields depend on the age of the implanted alfalfa. And yet, it was not possible to identify a spatiotemporal regularity about alfalfa. The fact that alfalfa concerns a marginal area (<4%) compared to commercial crops can explain the difficulty in identifying landscape regularity and assessing the associated rule at landscape scale. Sorel et al (2010) also noted that marginal crops (the ones with small proportions of the landscape area) were the least well

predicted concerning crop spatiotemporal allocation compared to major crops. This observation confirms that stochastic modelling, either Markov models or stochastic decision trees, is difficult to carry out for marginal areas. Nevertheless, even if not all generic, we think that it is still important to identify these decisions because they give the possibility of identifying innovative and potential future farmer adaptations to a changing context.

Moreover, as mentioned by Thenail and Baudry (2004), many decisions for spatiotemporal crop allocation to landscape patterns are specific to certain farm types (e.g. arable vs. mixed crop-livestock farms). Given that the different farm types can be spread over discontinuous landscape units within the landscape, it is difficult to assess specific rules at the landscape scale. This is again consistent with the results of Sorel et al (2010): they appear to get less success in predicting spatiotemporal crop allocation when using generic Markov models than when using farm type specific ones. In our approach, we did not identify stochastic regularities at the level of a discontinuous landscape composed by only a certain farm type: our interest was to link the farm and the landscape scales when farmer rules are generic enough to impact landscape patterns. One must however notice that the choice of considering continuous or discontinuous landscapes is of variable interest depending on the ecological process studied and the objective to be achieved (Pelosi et al 2010).

A second limit of our approach is due to the difficulty in determining the part of each rule explaining a regularity when several farmer decision rules are possible. For example, we identified a strong regularity of neighbourhood between grasslands and built-up areas (not shown). Two possible farmer rules could explain this regularity. The first one is that most farmers allocate permanent grass or set-asides instead of commercial crops next to houses in order to avoid agrochemical spraying in small plots close to citizens' houses. The second rule is that most dairy breeders put grasslands just next to the milking room so that dairy cows can graze in the vicinity of the dairy barn, which is in accordance with several authors (Benoît 1990; Marie et al 2009). Our difficulty is to determine the part of each rule in explaining the regularity of the neighbourhood between grasslands and built-up areas, which is also related to the scarcity of available data: there is indeed no data-base about buildings in rural landscapes with a distinction between urban and agricultural buildings (and among them, with the specific use of each building). To overcome the difficulty of determining the explaining part of different rules, one interesting perspective of our work could be the complementary use of landscape simulation software. We could generate landscape patterns according to different farmer rules and compare them to random landscapes vs. real landscapes.

3.2.4.3) Conclusion: contribution of landscape agronomy to landscape ecology

As a conclusion, the two modelling methods of farmer decisions and landscape regularities have been respectively used for a long time now. Our paper suggests that a new approach consisting in a combination of the two methods helps in articulating the farm and the

landscape scales for land-use modelling and improving our understanding of land-use processes. The originalities rely on (i) the combination of two methods used separately so far and (ii) the accounting for both the spatial and the temporal dimensions of crop allocation to landscape patterns in a changing context. Thanks to more on-farm surveys and to remote sensing improvements and developing spatial land-use data-bases (e.g. CAP declarations in Europe) for data-mining, such an approach could be applied in the future in other landscapes for upscaling.

As landscape agronomists, we consider that the crop mosaic inside agricultural landscapes is organized by farmers. On the other hand, landscape ecologists view the landscape as a random-like phenomenon influenced by natural factors (Burel and Baudry 2010). Our study therefore seeks to contribute to landscape ecology through a deeper insight into the relationships between landscape spatial organization, its driving forces and its impacts on ecological processes.

Acknowledgements

We thank the CEBC for the land-use data-base. We are also very grateful to Benoît Lelaure, Gaëdig Méola and Camille Bernard, who carried out the farmer surveys in 2006, 2007 and 2010. The PhD of N. Schaller was funded by the Ile-de-France region through the DIM ASTREA and the PhD of E.G. Lazrak was funded by the Lorraine Region and the ANR BioDivAgriM project. We would like to sincerely thank Donald White for improving the English, Aude Barbottin and the three anonymous reviewers for their fruitful comments.

References

- Aubry C, Biarnes A, Maxime F, Papy F (1998a) Modélisation de l'organisation technique de la production dans l'exploitation agricole : la constitution de système de culture. *Etud Rech Syst Agraires Dév* 31: 25-43
- Aubry C, Papy F, Capillon A (1998b) Modelling decision-making processes for annual crop management. *Agric Syst* 56(1): 45-65
- Aubry C, Paillat J-M, Guerrin F (2006) A conceptual model of animal wastes management in the Reunion Island. *Agric Syst* 88: 294-315
- Baker WL (1989) A review of models in landscape change. *Landscape Ecology* 2(2): 111-133.
- Beaujouan V, Durand P, Ruiz L (2001) Modelling the effect of the spatial distribution of agricultural practices on nitrogen fluxes in rural catchments. *Ecol Model* 137: 93-105
- Benmiloud B, Pieczynski W (1995) Estimation des paramètres dans les chaînes de Markov cachés et segmentation d'images. *Traitement du signal*, 12(5):433 - 454.
- Benoît M (1990) La gestion territoriale de l'activité agricole dans un village lorrain. *Mappemonde* 4: 15-17
- Benoît M, Deffontaines JP, Gras F, Bienaimé E, Riela-Cosserat R (1997) Agriculture et qualité de l'eau. Une approche interdisciplinaire de la pollution par les nitrates d'un bassin d'alimentation. *Cah Agri* 6: 97-105
- Benoît M, Mignolet C, Hermann S, Rizzo D, Moonen C, Barberi P, Galli M, Bonari E, Silvestri N, Thenail C, Lardon S, Rapey H, Marraccini E, Le Ber F, Meynard JM (2007) Landscape as designed by farming systems: a challenge for landscape agronomists

- in Europe. In: Farming Systems design 2007, methodologies for integrated analysis of farm production systems, Catania: 137-138
- Benton TG, Vickery JA, Wilson JD (2003) Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? *TRENDS Ecol and Evol* 18(4): 182-188
- Bougherara D, Latruffe L (2010) Potential impact of the EU 2003 CAP reform on land idling decisions of French landowners: results from a survey of intentions. *Land Use Pol* 27(4): 1153-1159
- Burel F, Baudry J (2010). Landscape and resilience. In: Proceedings of 'Agro2010 the XIth ESA Congress', Montpellier, France: 143-144
- Brunschwig G, Josien E, Bernhard C (2006) Contraintes géographiques et modes d'utilisation des parcelles en élevage bovin laitier et allaitant. *Fourrages* 185: 83-95
- Castellazzi MS, Perry JN, Colbach N, Monod H, Adamczyk K, Viaud V, Conrad KF (2007) New measures and tests of temporal and spatial pattern of crops in agricultural landscapes. *Agric Ecosyst Environ* 118(1-4): 339-349
- Castellazzi MS, Wood GA, Burgess PJ, Morris J, Conrad KF, Perry JN (2008) A systematic representation of crop rotations. *Agric Syst* 97(1-2): 26-33
- Church KW, Hanks, P (1990) Word association norms, mutual information, and lexicography. *Computational linguistics* 16(1): 22-29
- Cumming G, Cumming DHM, Redman CL (2006) Scale mismatches in social-ecological systems: causes, consequences, and solutions. *Ecology and Society* 11(1): 14
- de Koning GHJ., Verburg PH, Veldkamp A, Fresco LO (1999) Multi-scale modelling of land use change dynamics in Ecuador. *Agric Syst* 61: 77-93
- Donald P, Green RE, Heath MF (2001) Agricultural intensification and the collapse of Europe's farmland bird populations. *Proc Roy Soc London* 268: 25-29
- Dury J, Schaller N, Garcia F, Reynaud A, Bergez JE (2011) Models to support cropping plan and crop rotation decisions. A review. *Agron Sust Dev*: Online First
- Freeman T, Nolan J, Schoney R (2009) An agent-based simulation model of structural change in Canadian Prairie agriculture, 1960-2000. *Can J of Agric Econ* 57: 537-554
- Gaucherel C, Houet T (2009) Preface to the selected papers on spatially explicit landscape modelling: current practices and challenges. *Ecol Model* 220: 3477-3480
- Happe K, Schnicke H, Sahrbacher C, Kellermann K (2009) Will they stay or will they go? Simulating the dynamics of single-holder farms in a dualistic farm structure in Slovakia. *Can J of Agric Econ* 57: 497-511
- Havet A, Martin P, Laurent M, Lelaure B (2010) Adaptation des exploitations laitières aux incertitudes climatiques et aux nouvelles réglementations. Le cas des productions bovines et caprines en Plaine de Niort. *Fourrages* 202: 145-151
- Jelinek F (1976) Continuous Speech Recognition by Statistical Methods. *Proc. IEEE*, 64: 532-556
- Joannon A, Bro E, Thenail C, Baudry J (2008) Crop patterns and habitat preferences of the grey partridge farmland bird. *Agron Sustain Dev* 28: 379-387
- Joannon A, Souchère V, Martin P, Papy F (2006) Reducing runoff by managing crop location at the catchment level, considering agronomic constraints at farm level. *Land Deg Develop* 17(5): 467-478
- Lambin EF, Geist HJ, Lepers E (2003) Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annu Rev Environ Resour* 28: 205-241
- Landais E (1998) Modelling farm diversity. New approaches to typology building in France. *Agric Syst* 58(4): 505-527

- Lazrak EG, Mari JF, Benoît M (2010a) Landscape regularity modelling for environmental challenges in agriculture. *Landscape Ecol* 25: 169-183
- Lazrak EG, Benoît M, Mari JF (2010b) Time-Space Dependencies in land-use successions at the scale of an agricultural landscape. In: International Conference on Integrative Landscape Modelling - LandMod 2010, 8p. Available on Sympscience.
- Le Bail M, Lecroart B, Gauffreteau A, Angevin F, Messean A (2010) Effect of the structural variables of landscapes on the risks of spatial dissemination between GM and non-GM maize. *Eur J of Agr* 33: 12-23
- Le Ber F, Benoît M (1998). Modelling the spatial organization of land use in a farming territory. Example of a village in the Plateau Lorrain. *Agronomie* 18(2): 103-115
- Le Ber F, Benoît M, Schott C, Mari JF, Mignolet C (2006) Studying crop sequences with CarrotAge, a HMM-based data mining software. *Ecol Model* 191(1): 170-185
- Leisz SJ, Thu Ha NT, Bich Yen NT, Thanh Lam N, Duc Vien T (2005) Developing a methodology for identifying, mapping and potentially monitoring the distribution of general farming system types in Vietnam's northern mountain region. *Agric Syst* 85: 340-363
- Mari J-F, Le Ber F (2006) Temporal and spatial data mining with second-order hidden markov models. *Soft Comput* 10: 406-414
- Marie M, Bensaid A, Delahaye D (2009) Le rôle de la distance dans l'organisation des pratiques et des paysages agricoles : l'exemple du fonctionnement des exploitations laitières dans l'arc atlantique. *Cybergeog: Eur J of Geography. Cartographie, Imagerie, SIG*, article 460. URL : <http://cybergeog.revues.org/index22366.html>
- Martin P, Schaller N, Havet A (2009) Diversity of farmers' adaptations to a new context of irrigation restrictions: consequences on grassland area development. In: *Proceedings of the symposium Farming System Design, Monterey, CA*: 249-250
- Maxime F, Mollet JM, Papy F (1995) Aide au raisonnement de l'assolement en grande culture. *Cah Agri* 4: 351-362
- Mawois M, Aubry A, Le Bail M (2011) Can farmers extend their cultivation areas in urban agriculture? A contribution from agronomic analysis of market gardening systems around Mahajanga (Madagascar). *Land Use Pol* 28(2): 434-445
- Merot A, Bergez JE, Capillon A, Wery J (2008) Analysing farming practices to develop a numerical, operational model of farmers' decision-making processes: An irrigated hay cropping system in France. *Agric Syst* 98(2): 108-118
- Mignolet C, Schott C, Benoît M (2007) Spatial dynamics of farming practices in the Seine basin: Methods for agronomic approaches on a regional scale. *Sci Total Environ* 375: 13-32
- Morlon P, Benoît M (1990) Étude méthodologique d'un parcellaire d'exploitation agricole en tant que système. *Agronomie* 6: 499-508
- Morlon P, Trouche G (2005) Nouveaux enjeux de la logistique dans les exploitations de grande culture. *L'organisation spatiale des assolements : exemple et questions. Cah Agri* 14(3): 305-311
- Navarrete M, Le Bail M (2007) SALADPLAN: a model of the decision-making process in lettuce and endive cropping. *Agron Sust Dev* 27(3): 209-221
- Novovičová J, Malik A, Pudil P (2004). Feature selection using improved mutual information for text classification. In Fred A, Caelli T, Duin RPW, Campilho A, Ridder D (Eds.), *Structural, Syntactic, and Statistical Pattern Recognition, Volume 3138 of Lecture Notes in Computer Science*, 1010-1017. Springer Berlin, Heidelberg.

- Pelosi C, Goulard M, Balent G (2010) The spatial scale mismatch between ecological processes and agricultural management: do difficulties come from underlying theoretical frameworks? *Agric Ecosyst Environ* 139: 455-462
- Pocewicz A, Nielsen-Pincus M, Goldberg CS, Johnson MH, Morgan P, Force JE, Waits LP, Vierling L (2008) Predicting land use change: comparison of models based on landowner surveys and historical land cover trends. *Landscape Ecol* 23: 195-210
- Rindfuss RR, Walsch SJ, Turner II BL, Fox J., Mishra V (2004) Developing a science of land change: challenges and methodological issues. *PNAS* 101(39): 13976-13981
- Robinson DT, Brown DG (2009) Evaluating the effects of land-use development policies on ex-urban forest cover: an integrated agent-based GIS approach. *Int J of Geog Inform Sci* 23(9): 1211-1232
- Rounsevell MDA, Annetts JE, Audsley E, Mayr T, Reginster I (2003) Modelling the spatial distribution of agricultural land use at the regional scale. *Agric Ecosyst Environ* 95(2-3): 465-479
- Schaller N, Aubry C, Martin P (2010) Modelling farmers' decisions of splitting agricultural plots at different time scales: a contribution for modelling landscape spatial configuration. In: *Proceedings of 'Agro2010 the XIth ESA Congress'*, Montpellier, France: 879-880
- Sebillotte M, Soler LG (1990) Les processus de décision des agriculteurs : acquis et questions vives. *Modélisation systémique et systèmes agraires*. J Brossier, Vissac B, Lemoigne JL, INRA Paris: 93-102
- Sorel L, Viaud V, Durand P, Walter C (2010) Modeling spatio-temporal crop allocation patterns by a stochastic decision tree method, considering agronomic driving factors. *Agric Syst* 103: 647-655
- Stoate C, Baldi A, Beja P, Boatman ND, Herzon I, van Doorn A, de Snoo GR, Rakosy L, Ramwell C (2009) Ecological impacts of early 21st century agricultural change in Europe - a review. *J Environ Manag* 91: 22-46
- Stoate C, Boatman ND, Borralho RJ, Rio Carvalho C, de Snoo GR, Eden P (2001) Ecological impacts of arable intensification in Europe. *J Environ Manag* 63(4): 337-365
- Thenail C, Baudry J (2004) Variation of farm spatial land use pattern according to the structure of hedgerow network (bocage) landscape: a case study in Northern Brittany. *Agric Ecosyst Environ* 101: 53-72
- Thenail C, Joannon A, Capitaine M, Souchère V, Mignolet C, Schermann N, Di Pietro F, Pons Y, Gaucherel C, Viaud V, Baudry J (2009) The contribution of crop-rotation organization in farms to crop-mosaic patterning at local landscape scales. *Agric Ecosyst Environ* 131: 207-219
- Turner M (1990) Spatial and temporal analysis of landscape pattern. *Landscape Ecol* 4: 21-30
- Valbuena D, Verburg PH, Bregt AK, Ligtenberg A (2010) An agent-based approach to model land-use change at a regional scale. *Landscape Ecol* 25: 185-199
- van Oost K, Govers G, Desmet P (2000) Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. *Landscape Ecol* 15: 577-589
- Veldkamp A, Fresco LO (1996) CLUE-CR: an integrated multi-scale model to simulate land use change scenarios in Costa Rica. *Ecol Model* 91: 231-248
- Veldkamp A, Lambin EG (2001) Predicting land-use change: editorial. *Agric Ecosyst Environ* 85: 1-6
- Verburg PH (2006) Simulating feedbacks in land use and land cover change models. *Landscape Ecol* 21: 1171-1183

3.3) Conclusion et implications pour la suite de la thèse

Les résultats de l'article suggèrent que les régularités d'organisation spatiale et temporelle des cultures peuvent relever de décisions d'agriculteurs, et qu'inversement, les décisions d'assolement des agriculteurs prises au niveau des EA peuvent structurer cette organisation, ce qui montre la complémentarité des deux approches pour caractériser les dynamiques d'organisation spatiale des cultures au niveau paysage.

S'il a été possible d'identifier une certaine cohérence dans les résultats des deux approches, il n'a pour autant pas été possible à ce stade de démontrer une causalité entre décisions d'assolement et organisation spatiale et temporelle des cultures au niveau du paysage. Nous n'avons pas explicitement démontré que les décisions d'assolement des agriculteurs constituaient la principale variable explicative de l'organisation spatiale et temporelle des cultures au niveau paysage.

Or, nous faisons l'hypothèse que l'organisation spatiale et temporelle des cultures dans un paysage agricole résulte principalement des décisions d'assolement des agriculteurs. Pour aller vers cette démonstration, nous avons **choisi pour la suite de la thèse d'adopter exclusivement une démarche *bottom-up***. Nous souhaitons modéliser de façon générique le processus de décision d'assolement des agriculteurs (le *process* décrit à la section 3.1), afin de pouvoir simuler l'organisation spatiale et temporelle des cultures qui en résulte (les *patterns* décrits à la section 3.1). Cette approche nous permettra de mieux comprendre les mécanismes décisionnels sous-jacents à l'organisation des cultures au niveau paysage.

Dans les chapitres suivants, nous allons approfondir nos connaissances des décisions d'assolement des agriculteurs (dans leurs dimensions spatiale et temporelle) pour construire un modèle de simulation de ces décisions à l'échelle de l'EA (chapitre 4), puis, une fois validé (chapitre 5), utiliser ce modèle pour simuler l'organisation spatiale des cultures à l'échelle d'un paysage composé d'EA (chapitre 6).

Conclusion du chapitre 3

Nous avons utilisé des méthodes de fouille de données pour identifier des régularités stochastiques d'organisation spatiale et temporelle des cultures au niveau du paysage. En parallèle, nous avons réalisé des enquêtes en EA pour identifier des règles de décisions d'agriculteurs concernant en particulier la localisation des cultures.

La combinaison de ces deux approches et la cohérence des résultats obtenus ont permis de confirmer l'hypothèse selon laquelle certaines régularités d'organisation des cultures dans le paysage pouvaient effectivement relever de décisions génériques d'agriculteurs.

Pour montrer que les décisions d'assolement des agriculteurs expliquent l'organisation des cultures au niveau paysage, il s'avère nécessaire de simuler l'organisation spatiale des cultures à partir de la modélisation des décisions d'assolement des agriculteurs, et de la comparer à l'organisation spatiale observée des cultures au niveau du paysage. Nous commençons par construire un modèle de décisions d'assolement à l'échelle de l'EA.

Modélisation conceptuelle des décisions d'assolement à l'échelle de l'exploitation agricole



Dans ce chapitre et dans le chapitre suivant, nous exposons les résultats relatifs à la deuxième question de la thèse : **la modélisation des décisions d'assolement dans leurs dimensions spatiale et temporelle au niveau de l'exploitation permet-elle de rendre compte de l'organisation spatiale des cultures à l'échelle de l'exploitation agricole (EA), et de la temporalité des décisions conduisant à cette organisation spatiale ?**

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats des enquêtes en EA réalisées dans la plaine de Niort en 2009-2010. Nous avons traité ces données en nous appuyant sur la méthode de l'étude de cas et sur le cadre conceptuel décrit au chapitre 2 (comprenant variables de décisions, déterminants et règles). Nous avons en particulier approfondi les dimensions spatiale et temporelle des décisions d'assolement :

- En ce qui concerne la **dimension temporelle** des décisions d'assolement, nous nous sommes appuyés sur le modèle d'action (Duru et al., 1988; Sebillotte and Soler, 1990) et avons considéré que le choix d'un assolement pour l'année $n+1$ (à partir de l'assolement n connu) était composé d'un ensemble de décisions successives : d'abord des **décisions de planification**, répondant à des objectifs généraux de production (objectifs stratégiques), puis des **décisions d'ajustements infra-annuels** éventuels (pilotage au cours de l'année).

Les décisions de planification sont à la fois des **décisions de planification stratégique**, valables pour toute une phase de cohérence¹, et des **décisions de planification annuelle**, spécifiques de l'année $n+1$ considérée, et conditionnées par l'année n ². Les enquêtes ont révélé une certaine généricité des décisions de planification entre EA. Les décisions d'ajustements infra-annuels étaient plus diverses d'une EA à l'autre.

- En ce qui concerne la **dimension spatiale** des décisions d'assolement, nous avons cherché à décrire les découpages de parcelles que les agriculteurs réalisent dans leur parcellaire d'exploitation³, et les entités de gestion qu'ils utilisent pour choisir un assolement. Les données d'enquêtes nous ont en particulier permis de **qualifier les**

¹ Une phase de cohérence agronomique est définie comme « une phase de la vie de l'EA durant laquelle les pratiques agronomiques et les règles de décision de déclenchement de ces pratiques sont stabilisées » Chantre E. (2011) Apprentissages des agriculteurs vers la réduction d'intrants en grandes cultures : cas de la Champagne Berrichonne de l'Indre dans les années 1985-2010, Thèse de doctorat de l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech). Spécialité Agronomie. pp. 397.

² Nous savons que les années antérieures à l'année n ($n-1$, $n-2$, etc.) peuvent aussi avoir une influence sur le choix de l'assolement $n+1$, notamment *via* les délais de retour des cultures, mais en première approximation, nous considérons ici uniquement l'année n .

³ Rappelons que les parcellaires des EA européennes sont définies sur la base des **îlots PAC**, définis comme une portion de terrain d'un seul tenant, d'une seule et même EA, ne pouvant pas se chevaucher, stable dans le temps et limitée par des éléments facilement repérables et permanents (chemin, route, cours d'eau...) et/ou par les limites départementales. Il est constitué d'une ou plusieurs parcelles contiguës, cultivées ou non. Adapté de la définition de <http://www.projetgiea.fr/> C'est la façon de découper ces îlots PAC en plusieurs parcelles que nous avons cherché à analyser grâce aux enquêtes en EA.

parcelles existantes, en fonction de leurs limites. Par « limites de parcelle », nous entendons les limites externes de la parcelle, ou autrement dit, les bordures de la parcelle. Nous nous sommes intéressés aux **déterminants de limites de parcelles** (i.e. pourquoi l'agriculteur a-t-il décidé de délimiter plusieurs parcelles, et pourquoi à cet endroit ?) et à la **temporalité des limites de parcelles** (i.e. la limite de la parcelle est-elle temporaire ou permanente ?).

Ainsi, nous avons construit un **modèle conceptuel de décisions d'assolement à l'échelle de l'EA : DYSPALLOC (conceptual model of decisions for DYnamic and SPatially explicit ALLOcation of Crops to land)**.

Ce modèle, dans sa version actuelle, permet de **qualifier les limites de parcelles à l'échelle de l'EA et de simuler les décisions de planification d'allocation des cultures à ces parcelles (planifications stratégique et annuelle)**. Nous n'avons pas été ici jusqu'à intégrer les décisions d'ajustements infra-annuels dans le modèle DYSPALLOC et à les simuler, même si nous avons collecté des informations sur ces ajustements au cours des enquêtes.

A ce stade, DYSPALLOC est un modèle conceptuel, dans la mesure où il n'est pas informatisé. Nous avons toutefois cherché à le formaliser le plus possible, de façon à pouvoir simuler pas à pas les différentes étapes (« à la main »). De plus, nous avons formalisé le modèle sous forme de diagrammes UML (Unified Modelling Language) (Debrauwer and van der Heyde, 2005), de façon à le rendre potentiellement informatisable.

Dans ce chapitre, nous donnons d'abord une présentation générale du modèle DYSPALLOC (section 4.1), puis nous détaillons le contenu de chaque étape du modèle, dans sa version actuelle, i.e. qui simule les décisions de planification stratégique et annuelle, mais pas les décisions d'ajustements infra-annuels (section 4.2.)¹. Enfin, nous présentons les résultats des enquêtes concernant les décisions d'ajustements infra-annuels de la planification des assolements, et les pistes possibles pour intégrer ces décisions infra-annuelles au modèle DYSPALLOC (section 4.3). Les décisions d'ajustements permettent en effet d'expliquer les écarts entre l'assolement planifié par l'agriculteur et l'assolement effectivement réalisé en année $n+1$. Dans le chapitre 5, nous évaluerons le modèle DYSPALLOC à l'échelle de l'EA pour conclure sur sa capacité à rendre compte de l'organisation spatiale des cultures à l'échelle de l'EA.

Remarque : DYSPALLOC a été construit à partir de l'étude de cas menée sur le territoire de la plaine de Niort. Nous avons tenté de faire ressortir les éléments pouvant être génériques dans le contexte de l'agriculture européenne, mais certains éléments du modèle restent toutefois très liés au contexte local (ils seront rédigés *en italique*).

¹ Ce mode de présentation est inspiré du protocole de description d'un modèle appelé ODD « Overview, Design concepts, Details » Grimm V., Berger U., Bastiansen F., Eliassen S., Ginot V., Giske J., Goss-Custard J., Grand T., Heinz S.K., Huse G. (2006) A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. *Ecological Modelling* 198:115-126. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2006.04.023.

4.1) Présentation générale et choix de conception du modèle DYSPALLOC

4.1.1) Objectif général du modèle DYSPALLOC

Le modèle DYSPALLOC a pour but général de **simuler l'organisation spatiale des cultures d'une année à l'autre à l'échelle de l'EA, en représentant le processus de décision d'assolement de l'agriculteur dans ses dimensions spatiale et temporelle.**

Il permet de :

- (i) rendre compte des éléments de décision que mobilise un agriculteur pour choisir un assolement une année donnée, i.e. expliciter les variables de décisions et entités de gestion mobilisées à l'échelle de l'EA ;
- (ii) qualifier les parcelles de l'EA, en fonction des déterminants et de la temporalité de leurs limites ;
- (iii) simuler la planification d'un assolement $n+1$ à l'échelle de l'EA (i.e. choix prévisionnel d'allocation d'une ou plusieurs culture(s) aux parcelles de l'EA), à partir de l'assolement connu en année n .

Les **sorties du modèle** sont donc les suivantes :

- **une qualification des parcelles de l'EA**, en fonction des déterminants et de la temporalité de leurs limites ;
- **une planification (unique) d'assolement pour une année $n+1$ à l'échelle de l'EA.** DYSPALLOC alloue une culture ou un groupe de cultures dans chaque parcelle, sachant que plusieurs cultures ou plusieurs groupes de cultures sont parfois possibles dans chaque parcelle¹. Lorsqu'il alloue un groupe de cultures à une parcelle, DYSPALLOC ne précise pas quelle culture est réellement choisie parmi les cultures du groupe (cette décision fait partie des ajustements non simulés par le modèle).

4.1.2) Dimensions spatiale et temporelle du modèle

4.1.2.1) Dimension spatiale du modèle

Le modèle fonctionne **à l'échelle d'une exploitation agricole**². Nous considérons que le parcellaire est défini au moyen des îlots PAC, et que ces **îlots PAC sont éventuellement découpés en plusieurs parcelles**. Les limites des parcelles à l'intérieur des îlots PAC sont connues du modèle pour l'année n , *via* les données d'entrée. A partir de ces informations, **DYSPALLOC qualifie successivement la « nature » de ces limites et définit trois types de**

¹ Les groupes de cultures seront définis dans l'étape 1 du modèle (Section 4.2.2.1) : ils correspondent à des ensembles de cultures qui remplissent une même fonction dans l'exploitation. Schématiquement, quand DYSPALLOC définit qu'il y a plusieurs cultures possibles dans une parcelle, il en choisit une, et quand il détermine qu'il y a plusieurs groupes de cultures possibles, il en choisit un.

² Si l'on veut utiliser le modèle pour plusieurs EA, alors à ce stade DYSPALLOC fonctionne indépendamment pour chaque EA et ne tient pas compte d'éventuelles interactions entre EA (cf. Chapitre 6).

parcelles en fonction (i) de la temporalité et (ii) des déterminants de leurs limites. Les détails de chaque étape de définition de ces parcelles seront donnés à la section 4.2.

- 1) Les **îlots élémentaires** sont définis à l'intérieur des îlots PAC. Ils correspondent à des parcelles dont les limites sont (i) permanentes et (ii) déterminées par certaines caractéristiques individuelles des îlots PAC. Ces caractéristiques peuvent être des différences de types de sol ou d'accès à l'irrigation au sein d'un îlot PAC, ou encore la forme de l'îlot PAC. La délimitation des îlots élémentaires ne dépend pas du choix des cultures, des proportions de cultures ou des règles de successions de cultures.
- 2) Les **parcelles fixes** sont définies à l'intérieur des îlots élémentaires. Elles correspondent à des parcelles dont les limites sont (i) permanentes et (ii) déterminées par la structure globale du parcellaire de l'EA et les proportions de cultures visées. Nous faisons en effet l'hypothèse qu'il existe une surface d'îlot élémentaire maximale au-delà de laquelle il est indispensable de délimiter des parcelles fixes, pour pouvoir équilibrer les proportions de cultures d'une année à l'autre. Nous supposons que cette surface maximale dépend du nombre et de la surface des autres îlots élémentaires de l'EA¹. La délimitation des parcelles fixes, contrairement aux îlots élémentaires, dépend donc du choix des cultures, des proportions de cultures et des successions de cultures.
- 3) Les **parcelles temporaires** sont définies à l'intérieur des parcelles fixes ou des îlots élémentaires (si ces derniers n'ont pas été découpés en parcelles fixes). Elles correspondent à des parcelles dont les limites sont (i) temporaires et (ii) déterminées par des ajustements ponctuellement nécessaires une année donnée (pour ajuster des proportions de cultures le plus souvent). Ces limites étant temporaires, **DYSPALLOCC visera à « faire disparaître » ces limites de parcelles temporaires de l'année n et à les réunir en année n+1.**

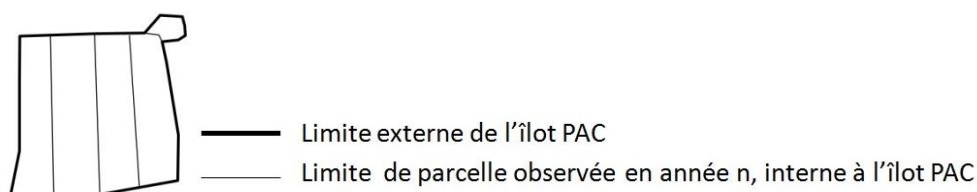
L'encadré 1 explique la façon dont procède DYSPALLOCC pour définir successivement les trois types de parcelles. On prend l'exemple d'un îlot PAC dans lequel il y a 4 limites de parcelles connues en année n (données en entrée), soit 5 parcelles. DYSPALLOCC identifie, parmi ces 4 limites, 2 limites qualifiées de limites d'îlots élémentaires. **Toute parcelle qui est délimitée par des limites d'îlot PAC et une ou plusieurs limites d'îlot élémentaire, et pas par des limites de parcelle fixe et/ou temporaire, est un îlot élémentaire** (d'où 3 îlots élémentaires dans notre exemple). Au sein d'un des îlots élémentaires, DYSPALLOCC identifie une limite qualifiée de limite de parcelle fixe. **Toute parcelle qui est délimitée par des limites d'îlot PAC, d'îlot élémentaire, et de parcelle fixe, et pas par des limites de parcelle temporaire, est une parcelle fixe** (d'où 2 parcelles fixes dans notre exemple). Et au

¹ Par exemple : si un parcellaire d'EA est composé de 4 îlots élémentaires de 10 ha, 10 ha, 10 ha et 40 ha respectivement, et que ces îlots élémentaires ne sont pas découpés en parcelles fixes, alors il n'est pas possible de faire « tourner » 3 cultures sur l'EA sans avoir de grandes variations interannuelles des proportions de chaque culture.

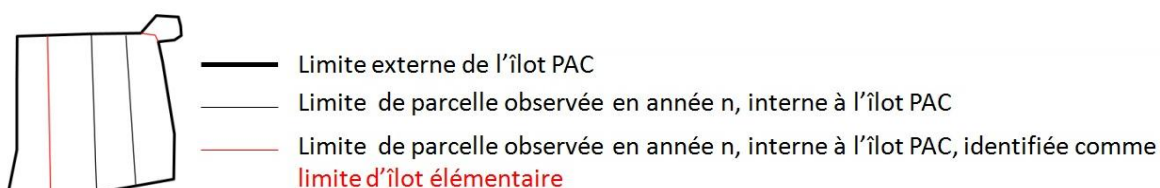
sein d'une des parcelles fixes, DYSPALLOCC identifie une limite qualifiée de limite de parcelle temporaire, ce qui permet de délimiter 2 parcelles temporaires. **Toute parcelle qui a une limite de parcelle temporaire est une parcelle temporaire.** Les trois types de parcelles sont inclus les uns dans les autres, tous étant inclus dans les îlots PAC de départ.

Encadré 1 : Schématisation de la qualification successive des limites de parcelles au sein des îlots PAC dans DYSPALLOCC (limites d'îlot élémentaire, parcelle fixe, et parcelle temporaire)

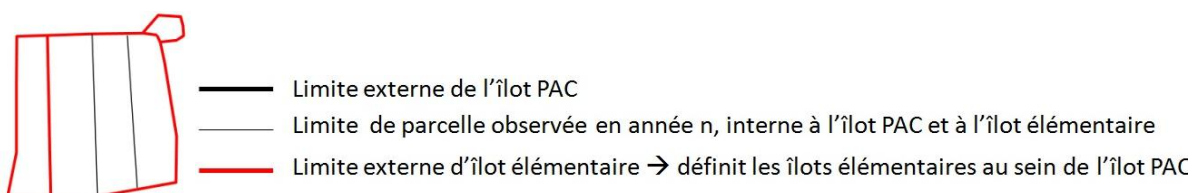
1) On part des îlots PAC et des limites des parcelles de l'année n (données en entrée), ici 4 limites. Dans cet exemple on a donc 5 parcelles que DYSPALLOCC cherche à qualifier.



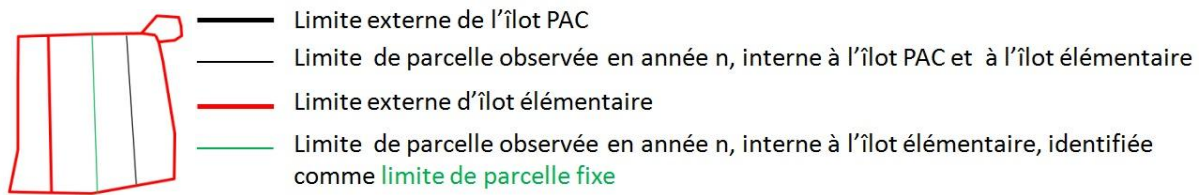
2) Dans l'étape 2 du modèle, DYSPALLOCC identifie, parmi les limites de parcelles connues de l'année n, une ou plusieurs limites qui sont des limites d'îlot élémentaire. S'il n'y a pas de limite de parcelle dans l'îlot PAC, alors l'îlot PAC équivaut à un îlot élémentaire et ne sera pas redécoupé.



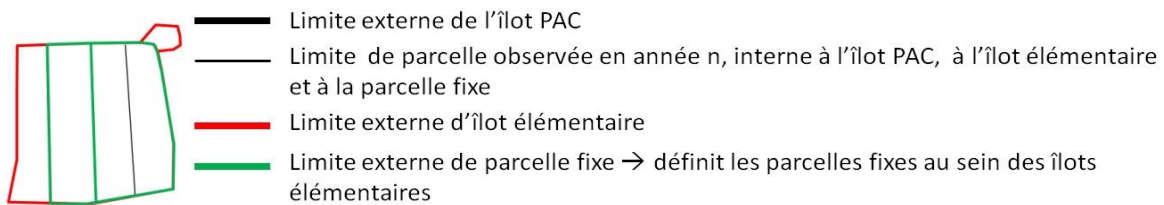
3) Les îlots élémentaires sont définis *via* les limites d'îlots élémentaires et les limites externes de l'îlot PAC. On travaille ensuite à l'intérieur des îlots élémentaires, qui servent dans le modèle à définir la zone cultivable des cultures. Dans cet exemple, on a 3 îlots élémentaires.



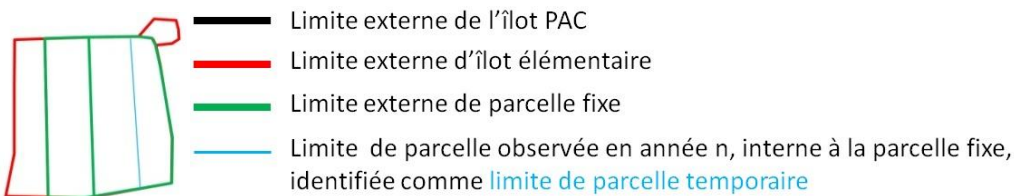
4) Dans l'étape 5 du modèle, DYSPALLOCC identifie à l'intérieur des îlots élémentaires une ou plusieurs limites qui sont des limites de parcelles fixes. Il se peut qu'il y ait une limite de parcelle dans l'îlot élémentaire, mais que celle-ci ne soit pas une limite de parcelle fixe. S'il n'y a pas de limite de parcelle dans l'îlot élémentaire, alors il n'est pas redécoupé. Dans cet exemple, il y a une limite de parcelle fixe dans un des îlots élémentaires.



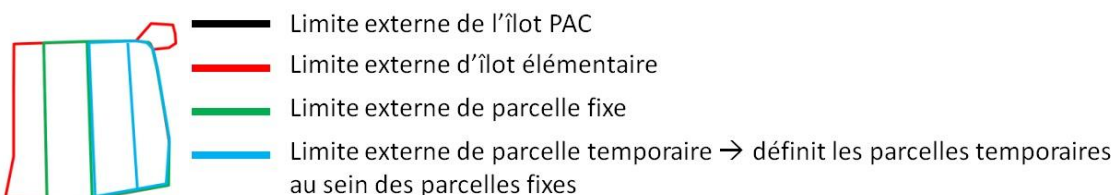
5) Les parcelles fixes sont définies au sein des îlots élémentaires. On travaille ensuite à l'intérieur des îlots élémentaires et des parcelles fixes. Dans cet exemple, on a à ce stade 2 îlots élémentaires et 2 parcelles fixes.



6) Dans l'étape 6 du modèle, DYSPALLOC identifie toutes les limites de parcelles de l'année n qui n'ont pas encore été identifiées, comme des limites de parcelles temporaires. S'il n'y en a pas, alors on reste avec les îlots élémentaires et les parcelles fixes identifiées précédemment. La distinction parcelle fixe / parcelle temporaire dans le modèle sert à définir quelles parcelles pourront ou non être réunies en année n+1.



7) Les parcelles temporaires sont définies au sein des parcelles fixes (ou des îlots élémentaires s'ils n'ont pas été découpés en parcelles fixes). Dans cet exemple, on a ainsi 2 îlots élémentaires, 1 parcelle fixe et 2 parcelles temporaires.



Remarque : à l'échelle d'un paysage composé de plusieurs EA, on pourrait définir un autre type de limite de parcelle, correspondant aux limites externes des îlots PAC des EA. Cette limite correspondrait alors à des limites inter-EA, alors que nous avons ici uniquement considéré des limites de parcelles intra-EA (et même intra-îlot PAC).

4.1.2.2) Dimension temporelle du modèle

En ce qui concerne la dimension temporelle du modèle, nous nous plaçons dans la **situation où l'EA est dans une phase de cohérence** (définie au chapitre 2). Le modèle DYSPALLOCC fonctionne au cours de ces phases de cohérence, **lorsque les règles stratégiques de décisions liées à l'assolement et aux successions de cultures peuvent être explicitées et sont stabilisées** (cf. blocs jaunes sur la Figure 4. 1). Cela signifie que DYSPALLOCC peut être utilisé lorsque, **au cours de l'année de simulation**, il n'y a pas de modification majeure des limites externes du parcellaire (agrandissement, etc.), et lorsque les grandes règles concernant les cultures possibles, les successions de cultures, et les gammes de tailles de sole restent stables.

Le modèle pourrait toutefois être utilisé pour plusieurs phases de cohérence successives, à condition de modifier les données d'entrée correspondant aux changements de règles de décisions réalisés.

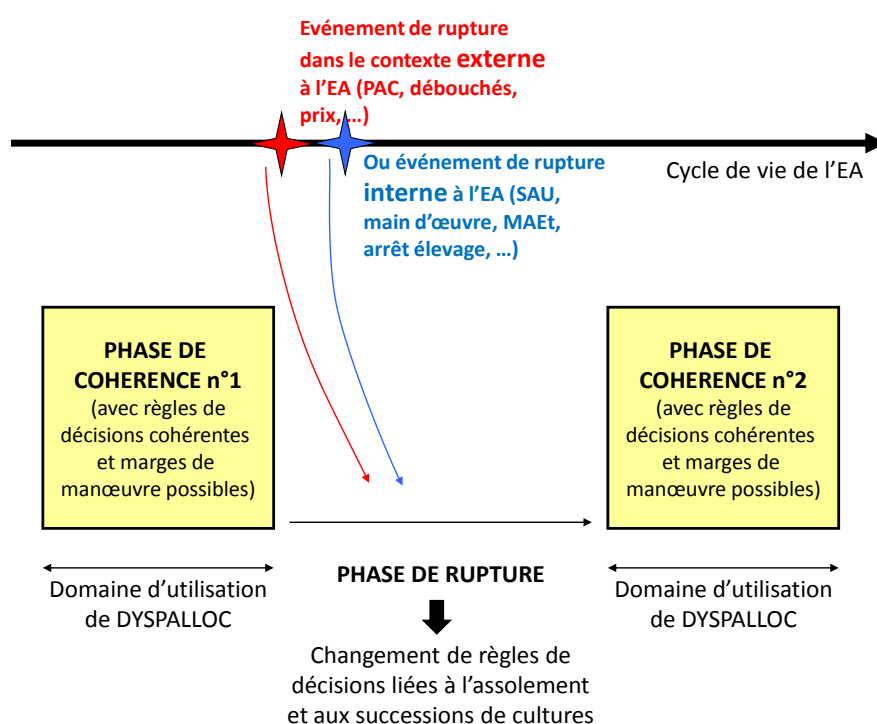


Figure 4. 1 : Phases de cohérence et de rupture pour une exploitation. Adapté de Moulin et al. (2008)

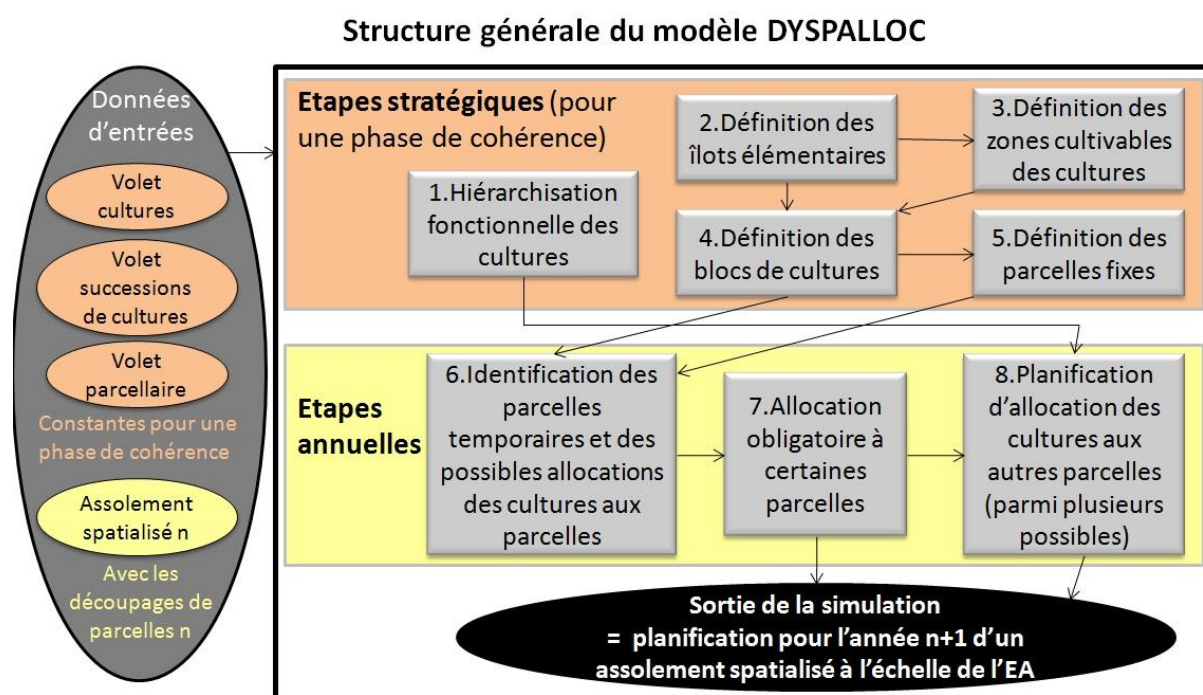
DYSPALLOCC simule les décisions de planification d'assolement¹ avec un pas de temps annuel : il simule un assolement planifié par an. Dans le modèle, les décisions de planification sont de deux types : (i) des décisions de **planification stratégique, valables**

¹ Nos enquêtes en EA nous ont permis d'identifier des décisions d'ajustement de la planification d'assolement. En comparant les EA les unes aux autres, nous avons certes pu identifier certaines règles de décisions d'ajustement communes entre EA. Nous n'avons toutefois pas été jusqu'à simuler ces décisions d'ajustements infra-annuels dans DYSPALLOCC, car les seuils utilisés par les agriculteurs dans ces décisions étaient très variables d'une EA à l'autre (cf. Annexe 5), et difficiles à modéliser.

pour toute une phase de cohérence, et (ii) des décisions de **planification annuelle**. Suite aux enquêtes en EA, nous avons constaté que la planification d'un assolement pour une année $n+1$ (i.e. cultures récoltées en année $n+1$) avait lieu en mai de l'année n^1 ; les cultures $n+1$ étant mises en place à l'automne n et au printemps $n+1$. Ainsi, dans DYSPALLOCC, la planification d'assolement de l'année $n+1$ a lieu en mai de l'année n .

4.1.3) Présentation globale des processus et choix de conception

La structure du modèle DYSPALLOCC est présentée à la Figure 4. 2. Nous décrivons ici brièvement les données d'entrée et les **huit étapes** de simulation du modèle (les détails étant donnés étape par étape à la section 4.2). Les étapes de simulation de la planification sont regroupées en deux temps : d'abord les décisions de planification stratégique (étapes 1 à 5), puis les décisions de planification annuelle (étapes 6 à 8). Les décisions d'ajustements infra-annuels ne sont pas représentées sur la Figure 4. 2.



Les décisions de planification, simulées par le modèle, sont dans l'encadré noir. Les décisions de planification stratégique sont figurées dans le cadre orange (étapes 1 à 5), et les décisions de planification annuelle sont figurées dans le cadre jaune (étapes 6 à 8). Les données d'entrée nécessaires à la simulation de la planification d'assolement sont figurées dans les bulles sur la gauche. Les flèches représentent les flux d'informations entre les étapes du modèle. Notons qu'une autre sortie du modèle est la qualification des limites de parcelles.

Figure 4. 2 : Structure générale du modèle DYSPALLOCC

Les **données d'entrée** concernent (i) les cultures possibles sur l'EA et les fonctions qu'elles remplissent dans l'EA, (ii) des règles agronomiques de successions de cultures, (iii) les plus

¹ Une majorité d'agriculteurs ont déclaré commencer à réfléchir à l'assolement $n+1$ après avoir terminé la déclaration PAC au mois de mai de l'année n , car cela « leur libérait l'esprit » pour l'année $n+1$.

grandes entités spatiales composant le parcellaire (i.e. les îlots PAC) et leurs caractéristiques, et (iv) l'assolement de l'année n , i.e. les limites des parcelles et la culture allouée dans chaque parcelle. Les données d'entrée concernant (i) les cultures, (ii) les successions de cultures et (iii) le parcellaire (en orange sur la Figure 4. 2) sont constantes pour toute une phase de cohérence, contrairement aux données annuelles sur l'assolement précédent (iv).

Les cinq premières étapes correspondent aux décisions de planification stratégique. Les données d'entrée sur les cultures (et les fonctions qu'elles remplissent dans l'EA) servent à définir la **hiérarchisation fonctionnelle des cultures** (étape 1) : les cultures sont classées en trois catégories (prioritaires, complémentaires et facultatives, d'après les fonctions qu'elles remplissent sur l'EA). Ces catégories déterminent l'ordre dans lequel elles seront ensuite allouées aux parcelles. Le modèle allouera à chaque parcelle : une culture unique si la culture prioritaire, ou un groupe de cultures pour les cultures complémentaires et facultatives. Les données d'entrée sur le parcellaire et sur l'assolement n servent à définir les **îlots élémentaires** au sein des îlots PAC (étape 2). Les îlots élémentaires et les données d'entrée sur le parcellaire (ex : type de sol, etc.) servent ensuite à définir la **zone cultivable de chaque culture** (étape 3), qui est la zone dans laquelle chaque culture peut potentiellement être cultivée au cours d'une phase de cohérence. Chaque îlot élémentaire est donc associé à une liste de cultures possibles pour une phase de cohérence. Les îlots élémentaires sont alors regroupés par liste identique de cultures possibles, pour former des **blocs de cultures**¹ (étape 4). Ensuite, pour chaque bloc de culture, et grâce aux données d'entrée sur le parcellaire et sur l'assolement n , le modèle définit des **parcelles fixes** (étape 5) au sein des îlots élémentaires.

Le modèle simule ensuite les décisions de planification annuelle. Grâce aux données d'entrée sur l'assolement n , DYSPALLOCC identifie des **parcelles temporaires** (étape 6). Pour chaque parcelle temporaire, le modèle établit ensuite la liste des cultures qui sont effectivement possibles pour l'année $n+1$, compte tenu de l'assolement n et des règles de successions de cultures données en entrée. Chaque parcelle temporaire comporte donc une ou plusieurs cultures possibles pour l'année $n+1$, ou encore un ou plusieurs groupes de cultures possibles. Lorsqu'il y a **une seule culture possible pour une parcelle temporaire**, elle y est **obligatoirement allouée** (étape 7). Lorsqu'il y a **plusieurs cultures possibles** pour l'année $n+1$ pour une parcelle temporaire ou bien plusieurs groupes de cultures possibles, le modèle simule une **planification d'allocation des cultures parmi ces possibles** (étape 8). Le modèle alloue aux parcelles : d'abord les cultures prioritaires, une par une, puis les groupes de cultures complémentaires, un par un, et enfin le groupe des cultures facultatives. Lorsqu'il existe plusieurs solutions de planification d'assolement respectant les règles de décisions de l'agriculteur (données en entrée), le modèle utilise des **critères de préférence**, afin de choisir une solution de planification parmi plusieurs possibles.

¹ La définition que nous faisons des blocs de cultures est donc différente de celle faite dans le modèle initial de constitution des assolements de Maxime et al. (1995), qui les définit comme « ensemble de parcelles culturales sur lesquelles est pratiqué un système de culture donné ».

Lorsqu'une culture (ou un groupe de cultures) est allouée à chaque parcelle, le processus de planification est terminé, et DYSPALLOC donne en sortie la planification effectuée pour l'année $n+1$ à l'échelle de l'EA. **La sortie du modèle est donc un assolement planifié en mai n pour l'année $n+1$, avec la qualification des limites des parcelles agricoles et l'allocation des cultures ou groupes de cultures à ces parcelles.** Lorsqu'un groupe de cultures est alloué à une parcelle, DYSPALLOC ne précise pas quelle culture sera effectivement choisie par l'agriculteur pour $n+1$ (nous considérons que le choix est effectué au cours des ajustements infra-annuels, non simulés par le modèle actuellement). Les sorties intermédiaires supplémentaires sont : la hiérarchisation fonctionnelle des cultures, les zones cultivables des cultures, et les blocs de cultures avec leurs cultures associées.

Remarque : DYSPALLOC repose sur l'hypothèse que l'assolement doit répondre aux objectifs stratégiques de l'agriculteur. Pour notre zone d'étude, l'objectif principal des agriculteurs est la sécurisation des revenus, ce qui est probablement un objectif généralisable à d'autres territoires. *La sécurisation des revenus passe le plus souvent à Niort par l'implantation d'une culture dont les rendements et le prix de vente moyens garantissent un revenu de sécurité, par l'implantation d'un nombre minimum de cultures permettant de « ne pas mettre tous ses œufs dans le même panier », et par une relative stabilité des surfaces des cultures d'une année sur l'autre. Chez les éleveurs, le revenu de sécurité passe le plus souvent par un affouragement de sécurité via la stabilité des quantités et qualités de fourrages produits.*

Cet objectif stratégique est traduit dans les données d'entrée *via* les cultures choisies et les fonctions qu'elles remplissent dans l'EA, et *via* les règles de successions de cultures. De la même façon, l'influence que peut avoir l'environnement extérieur à l'EA (PAC, prix de vente, débouchés, climat, volume d'irrigation autorisé, etc.) sur les décisions d'assolement, est implicitement traduite *via* les données d'entrée concernant les cultures et les successions de cultures.

4.2) Détails du contenu du modèle DYSPALLOCC

4.2.1) Données d'entrée du modèle

Nous présentons ici toutes les **données d'entrée nécessaires pour simuler la planification de l'assolement n+1 d'une EA**. Ces données seront présentées entre crochets. Il s'agit d'une part de données constantes pour toute une phase de cohérence (volets cultures, parcellaire et successions de cultures ; cf. Figure 4. 2) et d'autre part de données annuelles (assolement de l'année n)¹.

4.2.1.1) Données d'entrée pour le volet cultures

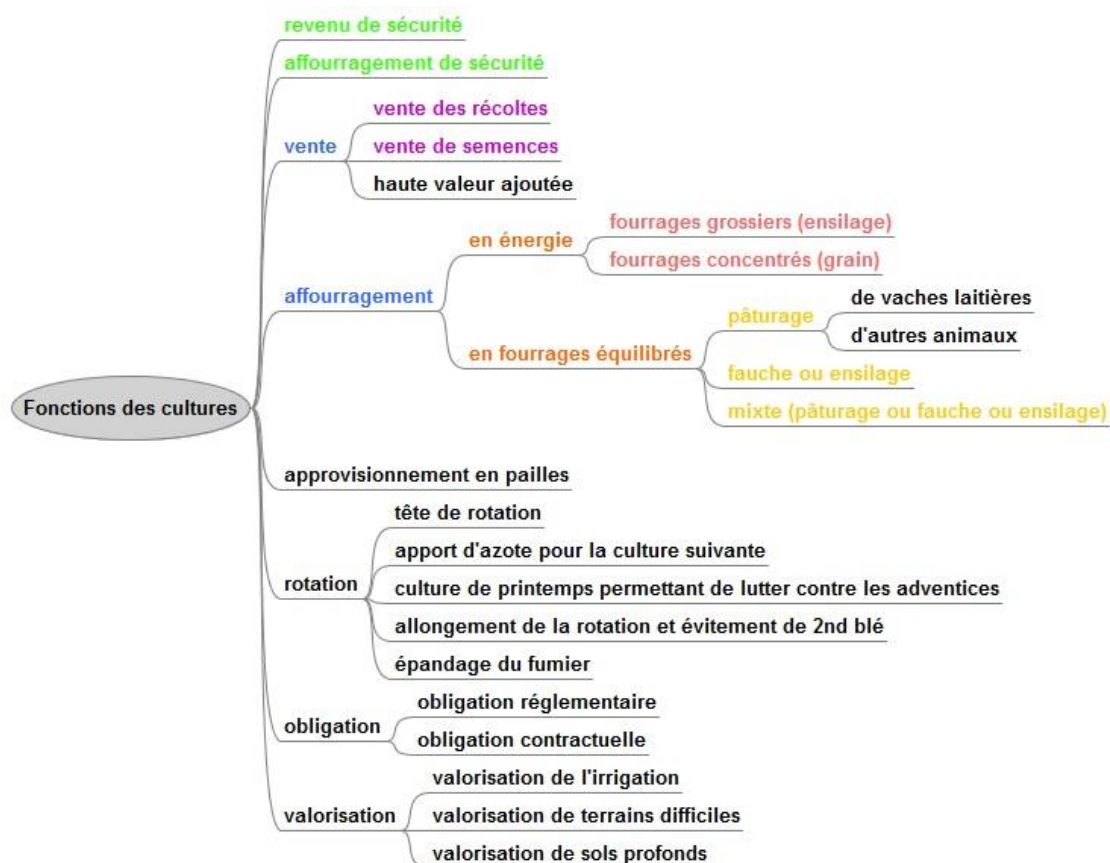
- Un ensemble de fonctions [FUNCTION] qui doivent être globalement remplies sur l'EA (par l'assolement), à choisir parmi une liste de fonctions par défaut (Figure 4. 3).
- A chaque fonction doit ensuite être attribuée une ou plusieurs cultures possibles sur l'EA [CROP], et remplissant cette fonction (cf. Encadré 2 pour la définition de « culture »). Ces cultures sont également choisies parmi une liste par défaut. **Une culture peut remplir une ou plusieurs fonctions.**

Nous avons considéré que : (i) **une fonction peut être remplie par une seule culture ou bien par plusieurs cultures qui jouent un même rôle** (et sont donc interchangeables pour cette fonction) ; (ii) **une fonction est soit indispensable chaque année**, i.e. elle doit être remplie obligatoirement chaque année au cours d'une phase de cohérence, **soit parfois nécessaire au cours de la phase de cohérence**, i.e. elle peut ne pas être remplie certaines années.

- Lorsqu'une culture remplit une fonction qui n'est pas obligatoire chaque année, l'utilisateur lui attribue un rôle d'ajustement [ADJUST]. Cela signifie que la culture n'est pas obligatoirement cultivée chaque année au cours d'une phase de cohérence, et qu'elle peut jouer un rôle de « bouche-trou ».

La liste des fonctions possibles des cultures pour la zone de Niort est donnée à la Figure 4. 3. L'utilisateur choisit soit une fonction très générale (premier niveau de l'arbre hiérarchique, ex : vente, affouragement, etc.), soit une fonction plus précise (niveaux suivants de l'arbre hiérarchique, ex : vente de semences, fourrages grossiers, etc.). Notons que plus la fonction choisie est précise, plus le nombre de cultures remplissant la même fonction risque d'être petit (vraisemblablement une seule culture). A l'inverse, si la fonction choisie est très générale, il est probable que beaucoup de cultures remplissent cette fonction.

¹ Si l'on souhaitait simuler plusieurs assolements de suite, les données d'entrée des volets cultures, parcellaire et successions de cultures seraient réutilisées telles quelles. L'assolement planifié pour n+1 serait utilisé comme donnée d'entrée pour simuler la planification de n+2. Ceci poserait toutefois une difficulté puisque DYSPALLOCC n'alloue pas seulement une culture par parcelle, mais parfois aussi des groupes de cultures, sans préciser laquelle sera finalement choisie par l'agriculteur.



Les fonctions écrites de la même couleur (hors texte noir) ne peuvent pas se cumuler pour une même surface de culture. « Affouragement » et « approvisionnement en pailles » concernent plutôt les EA d'élevage.

Figure 4. 3 : Liste des fonctions possibles des cultures pour la zone de Niort

Chacune des deux fonctions « revenu de sécurité » et « affouragement de sécurité » ne peut être remplie que par une seule culture pour l'EA (bien que cela soit rarement le cas, ces fonctions ne doivent pas obligatoirement être remplies sur l'EA). Ce choix de modélisation permet de traduire le fait que ces fonctions sont prioritaires, en tout cas pour la zone de Niort.

Les différentes fonctions « affouragement » reprennent les catégories de fourrages décrites par (Bernard, 2010) et Havet (UMR SAD-APT, comm. pers.) : fourrages grossiers riches en énergie (ensilage de maïs le plus souvent, ensilage de blé...) ; fourrages grossiers équilibrés, riches en azote et en énergie (pâturage, ensilage d'herbe, foin... de ray-grass, de luzerne ou autre) ; fourrages concentrés riches en énergie (blé, orge, maïs..., sous forme de grain ou de farine), souvent produits sur l'EA ; fourrages concentrés riches en azote (tourteaux...) achetés à l'extérieur.

Même si une culture peut généralement cumuler plusieurs fonctions, notons que **certaines fonctions ne peuvent pas être cumulées une même année par une même surface de culture** (cf. définition de culture dans l'encadré 2). Ces **fonctions mutuellement exclusives**¹

¹ Les fonctions mutuellement exclusives sont : revenu de sécurité et affouragement de sécurité ; vente et affouragement ; vente des récoltes et vente de semences ; affouragement en énergie et affouragement en

sont écrites en couleur sur la Figure 4. 3, les autres étant écrites en noir. Il s'agit des fonctions qui sont incompatibles pour une même surface cultivée, comme par exemple vente et affouragement (en effet, une même surface de culture ne peut pas être à la fois vendue et autoconsommée sur l'EA) ; vente des récoltes et vente de semences (une même surface de culture ne peut pas être vendue, et pour la récolte standard, et pour ses semences), etc. Dans ce cas, **la même surface cultivée peut potentiellement remplir plusieurs fonctions, mais une seule sera finalement choisie par l'agriculteur.**

C'est pourquoi, l'utilisateur peut choisir de définir une **fonction indéterminée entre plusieurs fonctions possibles mais mutuellement exclusives** pour une même culture (ex : fonction indéterminée entre vente et affouragement associée au blé tendre). Le choix de quelle fonction sera finalement associée à la culture ne sera pas fait au cours de la planification, mais au cours des ajustements (voire après la mise en place de l'assolement).

Le fait de pouvoir allouer une fonction indéterminée à une culture représente le fait que les agriculteurs ne décident pas nécessairement en avance quelle fonction sera assignée à chaque culture (lorsque les cultures peuvent en remplir plusieurs), de façon à accroître la flexibilité de la gestion de production. Cette fonction « indéterminée » est particulièrement pertinente pour les EA d'élevage. Elle peut être assimilée à la fonction « tampon » décrite par (Coléno, 1999) et à la flexibilité organisationnelle des éleveurs, qui peuvent jouer sur une gamme de types d'utilisation des parcelles en herbe pour mieux gérer la production fourragère (Martin et al., 2009a).

Encadré 2 : Définition de « culture » pour le modèle (crop ≠ cover)

On considère ici par « culture », une **espèce végétale caractérisée par une combinaison unique de valeurs pour les différentes variables de décision** du modèle (variables d'entrée concernant les successions de cultures, et zone cultivable de la culture simulée par le modèle). Nous considérons que ce n'est pas nécessairement la même chose qu'une « espèce cultivée », puisqu'une même espèce peut avoir plusieurs conduites techniques différentes ou plusieurs fonctions mutuellement exclusives, ce qui conduit l'agriculteur à définir différentes valeurs de variables de décision pour cette même espèce (exemple : la zone cultivable et la taille de sole du maïs ensilage peuvent être différente de celle du maïs grain ; idem pour une prairie fauchée et une prairie pâturée, etc.).

Pour certaines espèces cultivées, le choix de « culture » (i.e. de la conduite ou de l'usage de la culture) n'est pas toujours connu ou effectué dès le semis (exemple : un agriculteur peut décider bien après le semis si le blé semé sera du blé ensilé à destination du troupeau ou bien du blé grain à destination de la vente ; idem pour le maïs). Dans ce cas, le choix effectué est celui de l'espèce cultivée, associée à une fonction indéterminée entre plusieurs fonctions possibles mais mutuellement exclusives.

fourrages équilibrés ; fourrages grossiers et fourrages concentrés (au sein de la fonction affouragement en énergie) ; pâturage, fauche, mixte (au sein de la fonction affouragement en fourrages équilibrés).

Pour tenir compte du fait qu'il peut y avoir des fonctions mutuellement exclusives pour une même culture, nous avons défini les cultures possibles [CROP] pour la zone de Niort à partir de l'espèce cultivée, et en donnant aussi la fonction à laquelle elle est potentiellement associée (cf. définition de l'encadré 2).

La liste des cultures possibles pour la zone de Niort est : blé tendre / blé tendre grain / blé tendre ensilage / blé tendre semence / blé tendre vendu / blé tendre autoconsommé / blé dur / orge d'hiver / orge de printemps / colza / tournesol / lin / pois / maïs¹ ensilage irrigué / maïs grain irrigué / maïs irrigué / maïs ensilage en sec / maïs grain en sec / maïs en sec / luzerne MAEt / luzerne / ray-grass / prairie temporaire / prairie temporaire pour pâturage des vaches laitières / prairie temporaire pour pâturage des autres animaux / prairie temporaire pour la fauche / prairie temporaire mixte / prairie permanente / prairie permanente pour pâturage des vaches laitières / prairie permanente pour pâturage des autres animaux / prairie permanente pour la fauche / prairie permanente mixte / jachère.

Cette liste n'est sûrement pas totalement exhaustive pour la zone de Niort. A ce stade, cette liste a été construite de manière à pouvoir représenter les cultures les plus souvent rencontrées dans les EA enquêtées. Pour d'autres contextes, il faudrait donner la possibilité à l'utilisateur de créer des cultures.

Les autres données d'entrée pour le volet « cultures » sont :

- Pour chaque culture, la distance maximum au siège d'exploitation à laquelle la culture peut être cultivée [MAX DISTANCE BETWEEN CROP AND FARMSTEAD] ; et la distance minimum à un bosquet à laquelle la culture peut être cultivée [MIN DISTANCE BETWEEN CROP AND FOREST].
- L'exigence irrigation de la culture [IRRIGATION REQUIREMENT] (trois modalités possibles : obligatoire / possible / sans irrigation). L'utilisateur ne peut définir une culture comme obligatoirement ou possiblement irriguée que s'il y a des îlots PAC irrigables dans le parcellaire (cf. volet parcellaire). Notons, même si c'est trivial, que le maïs irrigué doit être défini comme obligatoirement irrigué et le maïs en sec comme sans irrigation.

4.2.1.2) Données d'entrée pour le volet parcellaire

Les données d'entrée pour le volet « parcellaire » sont les suivantes :

- Le parcellaire de l'EA ainsi que le(s) siège(s) de l'exploitation [FARMSTEAD]. Nous souhaitons ici connaître les plus grandes entités spatiales d'un seul tenant, qui pourront ensuite être découpées en parcelles plus petites. En Europe, nous pouvons utiliser la définition que donne la PAC des entités spatiales d'un seul tenant : nous utilisons donc comme données d'entrée les îlots PAC [CAP ISLETS].

¹ Nous avons ici distingué les cultures de maïs « irrigué » et « en sec » car nous avons besoin d'y associer des règles de décisions différentes pour la zone cultivable des cultures (affectation à des types de sols différents).

- Du parcellaire, nous tirons les informations suivantes : la SAU de l'exploitation [TOTAL FARM AREA], le nombre d'îlots PAC de l'exploitation [NUMBER OF CAP ISLET], la surface de chaque îlot PAC [CAP ISLET AREA], la distance entre chaque îlot PAC et le siège d'exploitation le plus proche [DISTANCE BETWEEN CAP ISLET AND FARMSTEAD] ainsi que les distances entre îlots PAC [DISTANCE BETWEEN CAP ISLETS]. Nous considérons ici une distance en km *via* les chemins d'accès, mais dans certains cas, il serait plus précis de considérer des temps d'accès ou des niveaux de difficultés d'accès (ex : route nationale à franchir, etc., presque indépendamment de la distance). Nous avons intégré ces données de distance car nous avons constaté en enquêtes que les distances au sein du parcellaire d'EA contribuaient à déterminer les zones cultivables des cultures, comme cela a déjà été montré par ailleurs (Marie et al., 2009; Morlon and Benoît, 1990; Morlon and Trouche, 2005a).
- La distance entre chaque îlot PAC et le bosquet le plus proche [DISTANCE BETWEEN CAP ISLET AND FOREST]. Ici nous considérons une distance à vol d'oiseau (en km) car cette distance est mobilisée non pas par l'agriculteur mais par les ravageurs des cultures (corbeaux, lapins, etc. ; cf. Chapitre 3).
- Le ou les type(s) de sol présent(s) dans l'îlot PAC [SOIL TYPE] et leur localisation dans l'îlot, à choisir parmi une liste (*pour la zone de Niort, les types de sols sont résumés en trois modalités : inondable / profond / groies*). De cette donnée, on déduit l'homogénéité des types de sols au sein de l'îlot PAC [SOIL TYPE HOMOGENEITY] (oui / non). L'utilisateur ne doit faire des distinctions entre types de sol que lorsqu'elles concernent une surface suffisante à l'intérieur de l'îlot PAC, et qu'elles sont significatives (i.e. lorsque les différents types de sol donnent lieu à une gestion différenciée des cultures de la part de l'agriculteur au sein de l'îlot PAC).
- Le caractère irrigable de l'îlot PAC [CAP ISLET IRRIGATION ACCESS] (oui totalement / non totalement / mixte) et la localisation des surfaces irrigables dans l'îlot PAC.
- La présence d'une pointe dans l'îlot PAC [POINTED CAP ISLET] (oui / non) et sa localisation. La définition de cette notion de pointe est donnée à dire d'agriculteur et est donc très relative. Mais, même si elle peut varier d'un agriculteur à l'autre, elle correspond toujours à une portion d'îlot PAC qui peut difficilement être cultivée en raison de sa forme et/ou de sa surface, et laissée le plus souvent en jachère ou en prairie permanente.
- La présence de plusieurs pointes dans l'îlot PAC [MULTIPLE POINTED CAP ISLET] (oui/non), qui implique que l'îlot PAC entier est laissé en jachère ou en prairie permanente. Cette notion de « plusieurs pointes » est également relative et peut varier d'un agriculteur à l'autre.

- La présence d'une limite physique au sein de l'îlot PAC [PHYSICAL LIMIT] (oui / non) et sa localisation. Ces limites sont du type : fossé, haie, clôture, etc. Elles ne donnent pas lieu à des îlots PAC distincts dans les déclarations PAC, mais peuvent générer des unités de gestion distinctes pour les agriculteurs.

Remarque : Les variables [SOIL TYPE], [CAP ISLET IRRIGATION ACCESS], [POINTED CAP ISLET] et [PHYSICAL LIMIT] peuvent être renseignées, au cours des enquêtes en EA, en dessinant avec l'agriculteur la localisation des différents éléments sur des cartes « papier ». Sans enquêtes en EA, il serait nécessaire de disposer d'autres sources d'informations géographiques (ex : *shapefile* tiré de bases de données, photos aériennes, etc. voir le chapitre 6).

- L'existence de groupes d'îlots PAC (cf. Encadré 3) gérés comme un seul îlot PAC par l'agriculteur [GROUP OF CAP ISLETS] (oui / non). Si l'îlot PAC fait partie d'un groupe d'îlots PAC, l'utilisateur doit préciser avec lesquels. Deux îlots PAC ne peuvent faire partie d'un groupe d'îlots PAC que s'ils ont les mêmes caractéristiques (type de sol, accès à l'irrigation, etc.).

Encadré 3 : Définition des regroupements d'îlots PAC (grouping of CAP islets)

Regroupement d'îlots PAC = volonté de l'agriculteur de gérer certains îlots PAC ensemble, c'est-à-dire de les considérer comme s'ils ne formaient qu'un seul îlot PAC. Cette décision est durable dans le temps (pas une seule année, mais toute la phase de cohérence). Dans ce cas, les îlots regroupés portent toujours la même culture une année donnée, et ils subissent le plus souvent les mêmes opérations culturales au même moment : ils sont gérés ensemble pour le choix des cultures et successions culturales ainsi que pour le choix de l'itinéraire technique. Ce regroupement d'îlots PAC a souvent lieu lorsque l'agriculteur a des îlots PAC de même type de sol et accès à l'irrigation (et donc cultivables avec les mêmes cultures), de petite surface individuelle (< 5 ha), très proches les uns des autres (< 500 m), et parfois éloignés du siège d'exploitation. Ce regroupement d'îlots PAC peut aboutir à une organisation par « secteurs », qui correspondent à des unités de travail pour l'agriculteur. Par exemple, un agriculteur peut regrouper deux îlots PAC qui ont au total une surface de x ha car la capacité de traitement de son pulvérisateur (nombre de litres) correspond à cette surface de x ha.

4.2.1.3) Données d'entrée pour le volet successions de cultures

Les variables d'entrée relatives aux successions de cultures s'appuient sur des notions agronomiques explicitées dans l'Encadré 4 ci-dessous.

Encadré 4. Définitions des variables délai de retour minimum, couples précédent-suivant, durée de culture et nombre de cycles successifs

Délai de retour minimum d'une culture DR (minimum crop return time)

= Délai minimum que se fixe l'agriculteur avant de cultiver une culture à nouveau sur la même parcelle. Ce délai est « lié aux risques phytosanitaires engendrés par la répétition d'une même espèce sur la même parcelle » (Aubry et al., 1998b). Il peut aussi éventuellement être fonction de contractualisations ou cahiers des charges externes à l'exploitation (Wünsch, 2004).

Certaines cultures peuvent ne se retrouver que très rarement dans la succession de cultures, bien que le délai de retour minimum soit court (délai de retour effectif > délai de retour minimum), en raison d'une taille de sole restreinte et/ou en raison de la priorité des cultures. Par exemple, un agriculteur peut décider que le DR de l'orge d'hiver est de 2 ans minimum, mais ne le cultiver effectivement que tous les 5 ans (s'il a une succession du type Tournesol – Blé – Colza – Blé – Orge d'hiver).

Couples de cultures précédent / suivant CPS (preceding/following crop pairs)

= Couples de cultures dont la succession temporelle est favorisée ou au contraire limitée (voire interdite) par l'agriculteur, en fonction des effets précédent et suivant¹ qu'il choisit de favoriser ou limiter. On peut distinguer :

-les couples à suivant systématique : la culture d'une année n ne peut être suivie que par une et une seule culture en année n+1 (ex : colza systématiquement suivi de blé tendre, pour valoriser l'effet précédent favorable du colza pour le blé qui suit) ;

-les couples à précédent systématique : la culture d'une année n+1 ne peut être précédée que par une et une seule culture en année n (ex : orge d'hiver systématiquement précédée de blé tendre). Ces couples restreignent la zone cultivable de la culture pour l'année à venir ;

-les couples possibles, préférentiels et à éviter : la culture d'une année n peut être suivie par plusieurs cultures en année n+1, mais l'une d'entre elles peut être choisie préférentiellement par l'agriculteur (ex : tournesol suivi de blé tendre ou de blé dur, mais préférentiellement blé dur, pour valoriser le reliquat d'azote provenant de l'apport de fumier avant tournesol), ou au contraire évitée (ex : maïs suivi de pois ou blé tendre, mais éviter blé tendre, car le blé serait plus sujet aux maladies après maïs que les autres cultures) ;

-les couples interdits : la culture d'une année n ne peut pas être suivie de certaines cultures en année n+1, soit pour des raisons évidentes de date de récolte du précédent postérieure à la date de semis du suivant, soit pour des raisons propres à l'agriculteur (ex : blé tendre jamais suivi de blé dur pour certains agriculteurs, qui redoutent les maladies du blé dur derrière blé tendre).

¹ Les effets « précédent » et « suivant » ont été définis dans le chapitre 1.

Durée d'une culture, pour les cultures pluriannuelles (crop implantation length)

= Durée durant laquelle une culture reste en place dans la parcelle où elle est cultivée (du semis à la suppression de cette culture avant semis d'une autre culture) (Aubry et al., 2006). Cette durée peut se décliner en durées minimale et maximale fixées par l'agriculteur, la durée effective de la culture pouvant être ajustée en fonction d'indicateurs sur l'état de la culture (salissement, rendement...).

Cette variable est inspirée de la variable « durée du cycle » qui avait été définie pour les cultures infra-annuelles dans le cadre du maraîchage (Navarrete and Le Bail, 2007).

Nombre de cycles successifs NCS (number of successive cycles)

= Nombre de fois où une culture « se succède à elle-même », i.e. est successivement semée, récoltée, supprimée puis ressemée sur la même parcelle. Cette variable a aussi été identifiée pour des cultures infra-annuelles dans le cadre de travaux sur le maraîchage (N'Dienor, 2006; Navarrete and Le Bail, 2007), mais nous l'appliquons ici aux cultures annuelles voire pluriannuelles.

Pour les grandes cultures (cultures annuelles), cette variable intervient par exemple lorsque l'agriculteur accepte de faire successivement deux blés sur la même parcelle, mais pas trois : $NCS = 2$; ou par exemple lorsque l'agriculteur décide de cultiver du maïs en monoculture, mais pas plus de 5 ans de suite : $NCS = 5$.

Pour les cultures pluriannuelles, le NCS correspond à la même chose mais le cycle ne dure pas un an (il équivaut à la durée de la culture). Ainsi, si l'agriculteur décide de cultiver deux cycles au maximum de prairie temporaire qui a une durée de culture de 5 ans, alors $NCS = 2$ mais la parcelle sera occupée par la même culture pendant 10 ans.

Les données d'entrée pour le volet « successions de cultures » sont donc les suivantes :

- Pour chaque culture : le délai de retour minimum [MINIMUM CROP RETURN TIME].
- Une matrice de transition entre cultures [CROP TRANSITION MATRIX] (à partir des cultures sélectionnées comme possibles sur l'EA), donnant des possibilités de passage d'une culture à l'autre d'une année n à une année $n+1$. Nous distinguons quatre classes dans ces matrices, de façon à représenter les couples précédent / suivant caractérisés par enquêtes. Ces quatre classes sont : **transition obligatoire** (pour un couple à suivant systématique), **transition interdite** (pour un couple interdit), **transition à éviter** (pour un couple possible mais à éviter) et **transition possible** (pour un couple possible ou préférentiel).
- Pour les cultures pluriannuelles : la durée de culture minimum et maximum [MINI and MAXI CROP IMPLANTATION LENGTH]. Pour les cultures annuelles, cette durée minimum et maximum est égale à 1.

- Pour chaque culture, si le délai de retour est égal à 1 : le nombre de cycle successif maximum [MAXI SUCCESSIVE CYCLE NUMBER] (sinon le nombre de cycle successif maximum est automatiquement de 1).

Remarque : DYSPALLOC demande également des **données d'entrée concernant les tailles de sole des cultures**, mais elles nécessitent auparavant le déroulement de l'étape 1 « hiérarchisation fonctionnelle des cultures ». Pour faciliter la compréhension, ces données seront présentées après l'étape 1.

4.2.1.4) Données d'entrée annuelles : assolement n

- L'assolement de l'année n [PREVIOUS CROPPING PLAN], c'est-à-dire l'allocation passée cultures-parcelles spatialisées. Cette information inclut les limites éventuelles de parcelles à l'intérieur des îlots PAC et donc la surface de chaque parcelle cultivée en année n.

L'ensemble des données d'entrée est récapitulé au Tableau 4. 1.

Tableau 4. 1 : Récapitulatif des données d'entrée de DYSPALLOC

Volet des données d'entrée	Identifiant de la variable d'entrée	Descriptif de la variable d'entrée	Unité ou commentaire
Volet cultures	CROP	Cultures possibles sur l'exploitation	A choisir parmi une liste par défaut (spécifique à la zone d'étude)... ou éventuellement à créer
	FUNCTION	Fonction(s) associée(s) à une culture	A choisir parmi une liste de fonctions possibles (spécifique à la zone d'étude)
	ADJUST	Rôle d'ajustement de la culture	Booléen : oui / non
	MAX DISTANCE BETWEEN CROP AND FARMSTEAD	Distance maximum à laquelle une culture peut être cultivée du siège d'EA	km (via les chemins d'accès)
	MIN DISTANCE BETWEEN CROP AND FOREST	Distance minimum d'un bosquet à laquelle une culture peut être cultivée	Km (à vol d'oiseau)
	IRRIGATION REQUIREMENT	Exigence irrigation de la culture	A choisir parmi trois modalités : obligatoire / possible / sans irrigation
Volet parcellaire	CAP ISLET	Ilôt PAC	Polygone spatialisé
	FARMSTEAD	Siège d'exploitation	Point spatialisé
	TOTAL FARM AREA	SAU de l'exploitation	ha
	NUMBER OF CAP ISLET	Nombre d'îlots PAC de l'exploitation	Entier
	CAP ISLET AREA	Surface de l'îlot PAC	ha
	DISTANCE BETWEEN CAP ISLET AND FARMSTEAD	Distance entre l'îlot PAC et le siège d'exploitation le plus proche	km
	DISTANCE BETWEEN CAP ISLETS	Distance entre îlots PAC	km
	DISTANCE BETWEEN CAP ISLET AND FOREST	Distance entre l'îlot PAC et la forêt ou le bosquet le plus proche	km
	SOIL TYPE	Type(s) de sol présent(s) dans l'îlot PAC et localisation	A choisir parmi trois modalités : inondable / groie / profond
	SOIL TYPE HOMOGENEITY	Homogénéité de type de sol dans tout l'îlot PAC	Booléen : oui / non
	CAP ISLET IRRIGATION ACCESS	Accès à l'irrigation dans l'îlot PAC et localisation	A choisir parmi trois modalités : oui / non / mixte
	POINTED CAP ISLET	Présence d'une pointe dans l'îlot PAC et localisation (à dire d'agriculteur)	Booléen : oui / non

	MULTIPLE POINTED CAP ISLET	Présence de multiples pointes dans l'îlot PAC (à dire d'agriculteur)	Booléen : oui / non
	PHYSICAL LIMIT	Présence d'une limite physique dans l'îlot PAC et localisation	Booléen : oui / non
	GROUP OF CAP ISLETS	Appartenance de l'îlot PAC à un groupe d'îlots PAC	Booléen : oui / non Si oui, préciser avec quel(s) îlot(s) PAC
Volet successions de cultures	MINIMUM CROP RETURN TIME	Délai de retour minimum de la culture	Années
	CROP TRANSITION MATRIX	Matrice de transition entre cultures	Quatre modalités : possible, obligatoire, interdite, à éviter
	OPTIMAL CROP AREA FOR PRIORITY CROPS	Taille de sole optimale pour les cultures prioritaires	ha
	MINI and MAXI CROP AREA FOR COMPLEMENTARY CROP GROUPS	Taille de sole minimum et maximum pour les groupes de cultures complémentaires	ha
	MAXI CROP AREA FOR COMPLEMENTARY CROPS	Taille de sole maximum pour les cultures complémentaires	ha
	MAXI CROP AREA FOR ALL FACULTATIVE CROPS	Taille de sole maximum pour l'ensemble des cultures facultatives	ha
	MINI and MAXI CROP IMPLANTATION LENGTH	Durée de culture minimum et maximum	Années
	MAXI SUCCESSIVE CYCLE NUMBER	Nombre de cycles successifs maximum	Années
Assolement n	PREVIOUS CROPPING PLAN	Assolement spatialisé de l'année n	Inclut les limites de parcelles et les cultures allouées à chaque parcelle

4.2.2) Détails de fonctionnement du modèle

Nous allons présenter chaque étape du modèle de la façon suivante : si l'étape repose sur un concept ou une notion agronomique devant être explicité, nous commençons par un encadré décrivant le concept. Nous présentons ensuite un diagramme d'activité UML représentant la dynamique et l'articulation des règles de décisions de l'étape considérée, avant de décrire l'étape en détail dans le texte.

Nous considérons que le modèle fonctionne de la même manière quel que soit le type d'EA (grandes cultures ou polyculture-élevage). Il repose donc sur l'hypothèse qu'il existe une

façon générique de représenter le processus de planification des décisions d'assolement, malgré une diversité¹ d'EA, et donc de règles de décisions et de déterminants.

4.2.2.1) Simulation des décisions de planification stratégique

Rappelons que toutes les décisions de planification stratégique sont considérées comme stables pour une phase de cohérence de l'exploitation.

- Etape 1 : Hiérarchisation fonctionnelle des cultures

Cette première étape du modèle s'appuie sur des concepts que nous avons élaborés grâce aux données d'enquêtes, et que nous détaillons dans l'Encadré 5 ci-dessous.

Encadré 5. Définition de la hiérarchisation fonctionnelle des cultures (crop functional hierarchy)

Cette variable de décision s'appuie sur la notion de hiérarchie des cultures, initialement définie par Maxime et al. (1995) comme une « liste hiérarchisée des cultures envisageables à considérer comme un champ des possibles que l'agriculteur peut déplacer, ouvrir ou fermer plus ou moins selon les évolutions qu'il connaît ou qu'il anticipe en fonction d'informations externes ou internes à son exploitation ». Ces auteurs considéraient que la hiérarchie dépendait de « critères de rentabilité, de sécurité et d'adaptation au fonctionnement de son exploitation ». Cette notion de hiérarchie a ensuite été intégrée au modèle de constitution des assolements par Aubry et al. (1998b) comme une contrainte endogène à l'EA, impactant la détermination des quatre variables de décision (DR, TS, CPS, ZC) au même titre que d'autres informations d'amont telles que la SAU, les terrains et le parcellaire. Ici, nous considérons de même que la liste des cultures possibles sur l'EA est une donnée d'entrée de DYSPALLOCC, mais que la hiérarchisation des cultures est une étape à part entière du processus de décision, et déterminant les étapes ultérieures.

La hiérarchisation fonctionnelle consiste en une **catégorisation des cultures**, réalisée par l'agriculteur, **qui dépend de la fonction jouée par chaque culture dans le fonctionnement global de l'EA**. L'importance des fonctions peut varier fortement d'une EA à l'autre car elle dépend des objectifs de production de l'agriculteur, des ressources productives, des besoins fourragers, des débouchés commerciaux et de son aversion au risque.

Les cultures sont ainsi catégorisées en trois types exclusifs :

- **cultures prioritaires** : elles sont toutes systématiquement présentes dans l'assolement de chaque année (taille de sole jamais nulle) et sont prioritaires pour l'allocation des ressources

¹ Si l'on veut rendre compte de la diversité des décisions d'assolement qui existe au sein d'une diversité d'EA, on peut le faire en utilisant différents jeux de données d'entrée représentant les règles de décisions concernant les successions de cultures (un jeu par EA, ou par type d'EA).

productives (ici en terre). Les cultures prioritaires remplissent une fonction indispensable au bon fonctionnement de l'EA et ne peuvent pas être remplacées par une autre culture (cette fonction n'est remplie que par une culture). Le plus souvent ce sont les cultures qui assurent un revenu minimum garanti à l'agriculteur (soit directement par la vente, soit indirectement par la sécurité d'alimentation d'un troupeau productif) et/ou pour lesquelles il a souscrit des engagements contractuels pluriannuels ou assurant certains débouchés rémunérateurs.

- **cultures complémentaires** : ces cultures remplissent aussi une fonction indispensable au bon fonctionnement de l'EA, mais plusieurs cultures peuvent remplir cette fonction. On définit un **groupe de cultures complémentaires (pour une fonction)** comme un ensemble de cultures qui remplissent la même fonction. Dans un groupe de cultures complémentaires, les cultures sont interchangeable entre elles. Au moins une des cultures associées à chaque fonction (une des cultures du groupe de cultures complémentaires) est donc présente dans l'assolement car elles ne peuvent pas toutes être supprimées sans mettre en danger le bon fonctionnement de l'EA (ou en tout cas sans remettre en cause l'utilité de la fonction, ce qui n'a normalement pas lieu au cours d'une phase de cohérence). La taille de sole du groupe de cultures complémentaires sera donc toujours strictement supérieure à zéro, même si la taille de sole individuelle des cultures de ce groupe peut éventuellement être nulle une année donnée.

- **cultures facultatives** (« bouche trou ») : elles ne sont pas présentes chaque année dans l'assolement (taille de sole de la culture supérieure ou égale à zéro chaque année) car elles remplissent des fonctions qui ne sont pas indispensables chaque année au bon fonctionnement de l'EA. Elles viennent simplement boucher les trous certaines années car elles peuvent remplir une fonction intéressante ponctuellement (ex : fonction d'allongement de la rotation par de l'orge d'hiver).

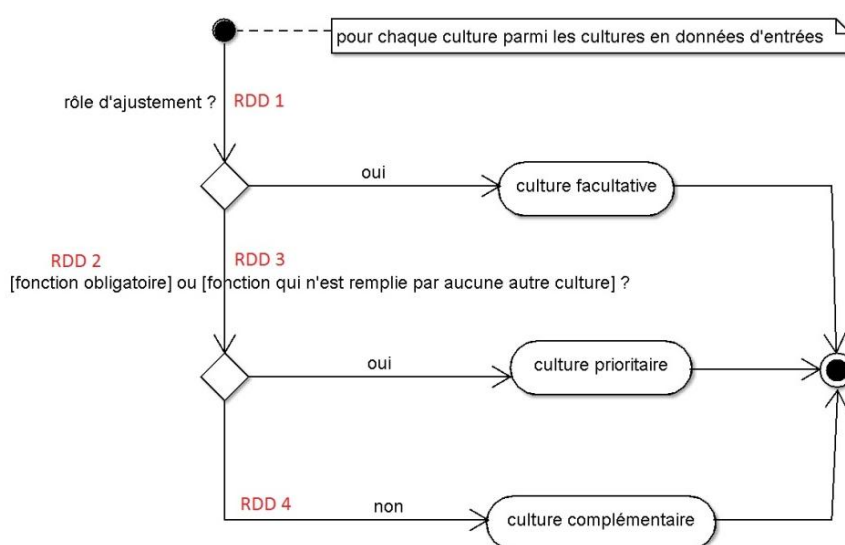


Figure 4. 4 : Diagramme d'activité de l'étape 1 du modèle DYSPALLOC – hiérarchisation fonctionnelle des cultures

Cette étape du modèle consiste à situer chaque culture dans la hiérarchie fonctionnelle des cultures [CROP FUNCTIONAL HIERARCHY], c'est-à-dire à affecter une et une seule modalité à chaque culture (prioritaire, complémentaire ou facultative), en fonction de règles de décisions (RDD) que nous considérons comme génériques entre agriculteurs (Figure 4.4).

RDD 1 : Quelle que soit la fonction de la culture et quel que soit le nombre de cultures qui peuvent jouer cette fonction, si la culture a un rôle d'ajustement [ADJUST], alors la culture est considérée comme **facultative** [FACULTATIVE CROP] car elle ne remplit pas une fonction indispensable.

RDD 2 : Parmi les cultures restantes, si la fonction d'une culture est « obligation », « obligation contractuelle » ou « obligation réglementaire », alors la culture est considérée comme **prioritaire** [PRIORITY CROP].

RDD 3 : Parmi les cultures restantes, si une des fonctions que remplit une culture donnée ne peut être remplie par aucune autre culture possible sur l'exploitation (parmi les cultures non facultatives), alors la culture donnée est considérée comme **prioritaire**.

Puisque les fonctions « revenu de sécurité » et « affouragement de sécurité » ne peuvent être remplies que par une seule culture (par choix du modélisateur), elles seront toujours considérées comme prioritaires dans ce modèle. Cette *règle concernant « revenu de sécurité » ou « affouragement de sécurité » est valable dans la zone de Niort car l'objectif global le plus souvent rencontré chez ces agriculteurs était la sécurisation du revenu dans un contexte de risque de sécheresse : soit en maintenant un revenu minimum de sécurité via la vente d'une culture non risquée (chez tous), soit en assurant l'autonomie fourragère du troupeau productif (chez les éleveurs).*

RDD 4 : Parmi les cultures restantes, si la fonction que remplit une culture donnée peut être remplie par plusieurs cultures différentes, alors la culture donnée est une culture **complémentaire pour cette fonction** [COMPLEMENTARY CROP].

Les cultures remplissant la même fonction sont regroupées par le modèle en un **groupe de cultures complémentaires pour cette fonction** [COMPLEMENTARY CROP GROUPS]. Le modèle regroupe les cultures complémentaires par nombre croissant de cultures remplissant une fonction (ex : d'abord un groupe où 2 cultures sont complémentaires, puis un groupe où 3 cultures sont complémentaires, etc.). Quand toutes les cultures sont classées (facultative, prioritaire, ou complémentaire dans au moins un groupe de cultures complémentaires), on arrête de créer des groupes de cultures complémentaires.

Remarques : (1) dans un groupe de cultures complémentaires, toutes les cultures ne sont pas nécessairement complémentaires : certaines peuvent aussi être prioritaires ou facultatives ; (2) une culture complémentaire peut faire partie de plusieurs groupes de cultures complémentaires (pour des fonctions différentes).

A ce stade, le modèle demande le reste des données d'entrée du volet successions de cultures concernant les tailles de sole (cf. Encadré 6). **Les tailles de sole correspondent aux surfaces qui doivent être associées aux fonctions devant être remplies sur l'EA.**

Encadré 6. Définition de la taille de sole TS d'une culture (crop area)

« La sole d'une culture est l'ensemble des parcelles qui lui sont consacrées dans l'exploitation » une année donnée (Aubry et al., 1998b). « La taille maximale de la sole d'une culture correspond au rapport de la surface de sa zone cultivable par son délai de retour minimum. La variable TS peut donc être contrainte par les deux variables précédentes. [...] L'agriculteur cherche souvent à maximiser la taille de la sole des cultures les plus rentables, prioritaires pour l'affectation de la ressource en terre » (Aubry et al., 1998b). Ainsi, la variable taille de sole peut apparaître comme une résultante des autres variables de décision.

On distingue :

- **des tailles de sole optimale, minimale et maximale, fixées par l'agriculteur** (qu'il vise, ou en dessous et au-dessus desquelles il ne veut pas passer en raison de la hiérarchisation des cultures, de ses ressources productives, de son aversion au risque et de ses objectifs) ;
- **une taille de sole cultivée une année donnée** (comprise entre les tailles de sole minimale et maximale ou proche de la taille de sole optimale), qui résulte en grande partie du processus d'allocation spatiale des cultures aux parcelles et donc de la surface des parcelles (processus pouvant inclure un redécoupage des parcelles).

La **taille de sole maximale théorique** est donnée par le rapport entre zone cultivable de la culture et délai de retour minimum de la culture (Aubry and Michel-Dounias, 2006). La taille de sole maximale que se fixe l'agriculteur peut être inférieure ou égale à cette valeur théorique. Le rapport entre taille de sole cultivée et zone cultivable de la culture tend vers le délai de retour effectif maximal de la culture. Par exemple, si un agriculteur cultive 20 ha d'une culture sur une zone cultivable de 60 ha, le délai de retour sera au maximum de 3. Le rapport entre taille de sole maximale de l'agriculteur et taille de sole maximale théorique est un indicateur de priorité de la culture : plus il est proche de 1, plus la culture doit être prioritaire sur l'EA. Sinon, c'est que des contraintes externes interviennent (contrats...).

Les données d'entrée demandées concernant les tailles de sole sont les suivantes :

- La taille de sole optimale pour chaque culture prioritaire [OPTIMAL CROP AREA FOR PRIORITY CROPS] : elle correspond à la surface visée par l'agriculteur pour que la fonction associée à la culture prioritaire (indispensable) soit remplie sur l'EA. On **considère que, pour les cultures prioritaires, l'agriculteur cherche à se rapprocher le plus possible d'une taille de sole optimale**, et qu'il ne raisonne pas en termes de tailles de sole minimum ou maximum. Pour les cultures prioritaires à fonction affouragement, l'agriculteur intègre implicitement dans la taille de sole optimale

une marge de sécurité vis-à-vis de la variabilité interannuelle des rendements (elle-même en partie due à la variabilité interannuelle de la disponibilité en eau).

- Les tailles de sole minimum et maximum de chaque groupe de cultures complémentaires, i.e. la surface totale minimum et maximum de toutes les cultures appartenant à un même groupe [MINI and MAXI CROP AREA FOR COMPLEMENTARY CROP GROUPS]. Ces tailles de sole correspondent aux surfaces minimum et maximum visées par l'agriculteur pour que la fonction associée au groupe de cultures complémentaires puisse être remplie sur l'EA. **On considère que c'est sur les cultures complémentaires que l'agriculteur se donne la plus grande marge de manœuvre pour le choix des tailles de sole.**
 - La taille de sole maximum pour chaque culture complémentaire [MAXI CROP AREA FOR COMPLEMENTARY CROPS] et pour le groupe des cultures facultatives [MAXI CROP AREA FOR ALL FACULTATIVE CROPS]¹. Vue la définition des cultures complémentaires et facultatives (cf. Encadré 5), on ne demande pas la taille de sole minimum car elle est de zéro par définition.
- Etape 2 : Définition des îlots élémentaires

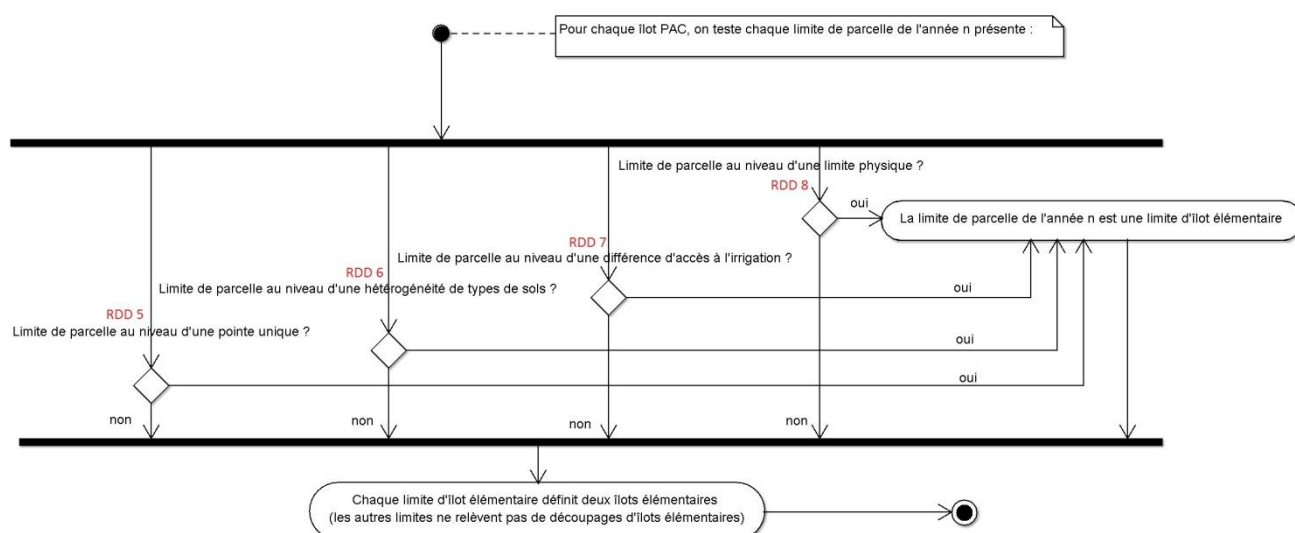


Figure 4. 5 : Diagramme d'activité de l'étape 2 du modèle DYSPALLOCC – définition des îlots élémentaires

Nous définissons un **îlot élémentaire** [ELEMENTARY ISLET] comme une portion de terrain d'un seul tenant, interne à un îlot PAC, ayant un type de sol homogène, étant irrigable ou non irrigable en totalité, ne comportant pas de pointe unique et pas de limite physique, et pouvant être cultivé en une seule ou plusieurs parcelles agricoles. Un îlot PAC donné en

¹ Le plus souvent, il n'y a qu'une seule culture facultative par EA. S'il y en a toutefois plusieurs, on considère alors toutes les cultures facultatives ensemble : il s'agit du groupe des cultures facultatives (un seul groupe avec toutes les cultures facultatives).

entrée peut être lui-même un îlot élémentaire, ou bien comporter plusieurs îlots élémentaires.

Cette étape vise à identifier des limites d'îlots élémentaires au sein des îlots PAC, à partir de règles de décisions considérées comme génériques. **Le modèle ne génère pas de limite *ex nihilo* mais il « reconnaît », parmi les limites de parcelles de l'année n (données en entrée), les limites d'îlots élémentaires. Les parcelles de l'année n délimitées par une limite d'îlot élémentaire sont alors qualifiées d'îlots élémentaires** à ce stade (cf. Encadré 1, section 4.1.2.1). Cette étape permet de rendre compte des découpages permanents que réalisent les agriculteurs, liés au milieu physique et aux caractéristiques individuelles des îlots PAC.

Pour chaque îlot PAC, le modèle vérifie en parallèle que : l'îlot PAC ne comporte pas de pointe unique, qu'il est homogène au niveau des types de sol, qu'il n'a pas un caractère irrigable mixte, et qu'il ne comporte pas de limite physique (toutes ces informations sont données en entrée). DYSPALLOC procède suivant les règles de décisions suivantes :

RDD 5 : Si l'îlot PAC comporte une pointe unique et qu'il y a une limite de parcelle au niveau de la pointe dans cet îlot PAC en année n, alors cette limite de parcelle est une limite d'îlot élémentaire. L'îlot PAC est donc découpé en deux « sous-îlots » de façon à isoler la pointe du reste de l'îlot PAC¹.

RDD 6 : Si l'îlot PAC comporte plusieurs types de sol et qu'il y a une limite de parcelle au niveau de l'hétérogénéité de sol dans cet îlot PAC en année n, alors cette limite de parcelle est une limite d'îlot élémentaire. L'îlot PAC est donc découpé en « sous-îlots » homogènes pour les types de sol.

RDD 7 : Si l'îlot PAC est mixte au niveau du caractère irrigable et qu'il y a une limite de parcelle au niveau de la différence d'accès à l'irrigation, alors cette limite de parcelle est une limite d'îlot élémentaire. L'îlot PAC est donc découpé en « sous-îlots » homogènes (tout irrigable ou tout non irrigable).

RDD 8 : Si l'îlot PAC comporte une limite physique et qu'il y a une limite de parcelle au niveau de cette limite physique en année n, alors cette limite de parcelle est une limite d'îlot élémentaire. L'îlot PAC est donc découpé en « sous-îlots » le long de la limite physique.

Lorsque tous les sous-îlots obtenus sont sans limite physique, sans pointe unique, avec un type de sol unique et avec un caractère irrigable unique (oui ou non mais pas mixte), nous obtenons les îlots élémentaires (Figure 4. 5). On obtient aussi la surface de ces îlots élémentaires [ELEMENTARY ISLET AREA].

¹ La pointe sera souvent de très petite surface si bien qu'elle sera souvent uniquement cultivable en jachère ou prairie permanente (lors de l'étape 3 définition des zones cultivables des cultures).

- Etape 3 : Définition des zones cultivables des cultures

Cette étape repose sur la notion agronomique de zone cultivable, exposée à l'Encadré 7.

Encadré 7. Définition de zone cultivable ZC d'une culture (« suitable crop area » ou « cultivation area » dans (Mawois et al., 2011))

La zone cultivable ZC d'une culture est la zone du parcellaire (composée d'îlot(s) PAC ou de partie(s) d'îlot(s) PAC étant les îlots élémentaires) que l'agriculteur juge favorable ou tolérable pour une culture donnée, et dans laquelle il pourrait cultiver cette culture compte tenu des diverses contraintes qui s'appliquent à son système de production (dans une partie ou dans la totalité de la zone cultivable).

La culture peut être absente de l'assolement, et donc de sa zone cultivable, si d'autres cultures sont plus importantes dans la hiérarchie des cultures. Si la culture considérée fait effectivement partie de l'assolement de l'EA une année donnée, alors par définition une partie au moins de la ZC est forcément occupée.

« L'agriculteur détermine cette zone (i) grâce à sa connaissance des caractéristiques de ses terrains (type de sol, pente, pierrosité, accès à l'eau etc.) et de son parcellaire (taille et forme de la parcelle, distance, accessibilité, etc.), (ii) à partir des besoins de la culture tels qu'il les connaît ou les estime, compte tenu de ses objectifs de production. La zone cultivable d'une culture peut être aussi imposée ou limitée par des contraintes exogènes » (Aubry et al., 1998b).

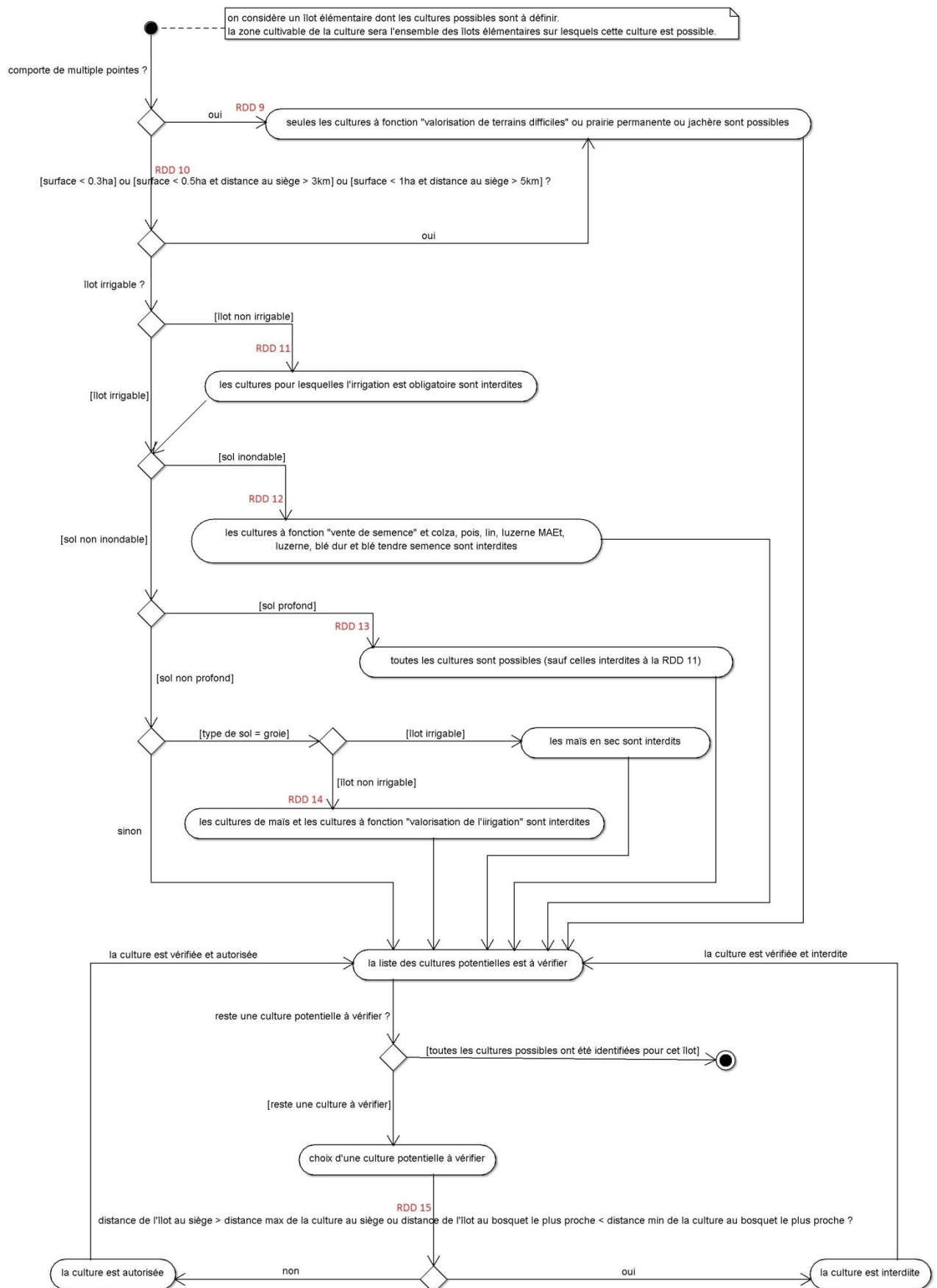


Figure 4. 6 : Diagramme d'activité de l'étape 3 du modèle DYSPALLOc – définition des zones cultivables des cultures pour toute la phase de cohérence

Dans cette étape, le modèle définit les zones cultivables des cultures [STRATEGIC SUITABLE CROP AREA] (Figure 4. 6), qui sont l'ensemble des îlots élémentaires dans lesquels la culture peut théoriquement être allouée. Cette variable est définie au niveau stratégique et **cette zone cultivable reste donc identique pour toute la phase de cohérence**. La définition des zones cultivables se fait à partir de règles de décisions dont certaines sont ici *spécifiques de la zone de Niort*. Les règles sont déterminées par la forme en pointe d'un îlot, le type de sol, la surface de l'îlot élémentaire, la distance de l'îlot élémentaire au siège d'exploitation ou à un bosquet, le caractère irrigable de l'îlot élémentaire, etc.

Pour chaque îlot élémentaire, les règles définissant la zone cultivable sont les suivantes :

RDD 9 : Si l'îlot élémentaire comporte de multiples pointes¹, alors seules les cultures à fonction « valorisation de terrains difficiles » ou prairie permanente ou jachère y sont cultivables.

RDD 10 : Si la surface de l'îlot élémentaire est inférieure à 0,3 ha, ou si la surface de l'îlot élémentaire est inférieure à 0,5 ha et à une distance de plus de 3 km du siège d'exploitation, ou si la surface de l'îlot élémentaire est inférieure à 1 ha et à distance de plus de 5 km du siège d'exploitation, alors seules les cultures à fonction « valorisation de terrains difficiles » ou prairie permanente ou jachère sont autorisées.

Cette règle est spécifique du territoire de Niort et dépend des structures de parcellaires d'exploitation que l'on rencontre dans la zone. Dans d'autres régions, il est possible que ces seuils de distance et de surface soient différents si les parcellaires sont en moyenne beaucoup plus morcelés (ex : paysages de bocage) ou en moyenne beaucoup plus groupés (ex : paysages d'openfield), ou encore si la surface moyenne des exploitations est très différente.

RDD 11 : Si l'îlot élémentaire n'est pas irrigable, alors toutes les cultures pour lesquelles l'irrigation est obligatoire (donnée en entrée) sont interdites (en particulier le maïs irrigué). Cette règle évidente est généralisable à d'autres territoires que celui de Niort.

RDD 12 : Si le type de sol de l'îlot élémentaire est « inondable », alors les cultures à fonction « vente de semence », ainsi que colza, pois, lin, luzerne MAEt, luzerne, blé dur, et blé tendre semence sont interdites.

RDD 13 : Si le type de sol de l'îlot élémentaire est « profond », alors toutes les cultures y sont cultivables (y compris le maïs irrigué).

¹ Nous rappelons que nous avons demandé, dans les données d'entrées, de renseigner à la fois les pointes uniques et les pointes multiples des îlots PAC (voir un exemple à la figure 6.2 dans le chapitre 6). D'après nos enquêtes, les pointes uniques sont le plus souvent « découpées » et laissées en jachère (ou prairie permanente), tandis que de multiples pointes entraînent souvent la mise en jachère (ou prairie permanente) de l'ensemble de l'îlot, pour faciliter le travail de l'agriculteur.

RDD 14 : Si le type de sol de l'îlot élémentaire est « groie », et si l'îlot élémentaire est irrigable, alors toutes les cultures y sont cultivables, sauf les maïs en sec ; sinon (si l'îlot élémentaire est « groie » et non irrigable), toutes les cultures de maïs et les cultures à fonction « valorisation de l'irrigation » sont interdites.

Les règles de décisions 12, 13 et 14 sont spécifiques du territoire de Niort car elles concernent les types de sol de ce territoire en particulier.

RDD 15 : Si l'îlot élémentaire est à une distance du siège d'exploitation (respectivement d'un bosquet) supérieure à la distance maximum du siège d'exploitation (respectivement inférieure à la distance minimum d'un bosquet) à laquelle doit être la culture x (donnée en entrée), alors la culture x n'est pas cultivable dans l'îlot élémentaire considéré. Cette règle est générique en ce qui concerne la distance au siège d'exploitation (Marie et al., 2009), *mais est plutôt spécifique de Niort en ce qui concerne la distance à un bosquet (même si des dégâts similaires peuvent avoir lieu dans d'autres régions avec d'autres espèces d'animaux).*

Ainsi, le modèle affecte, à chaque îlot élémentaire, une liste de cultures possibles pour la phase de cohérence [STRATEGIC POSSIBLE CROPS]. Il en déduit la zone cultivable de chaque culture pour toute la phase de cohérence, qui est l'ensemble des îlots élémentaires sur lequel la culture est possible.

- Etape 4 : Définition des blocs de cultures

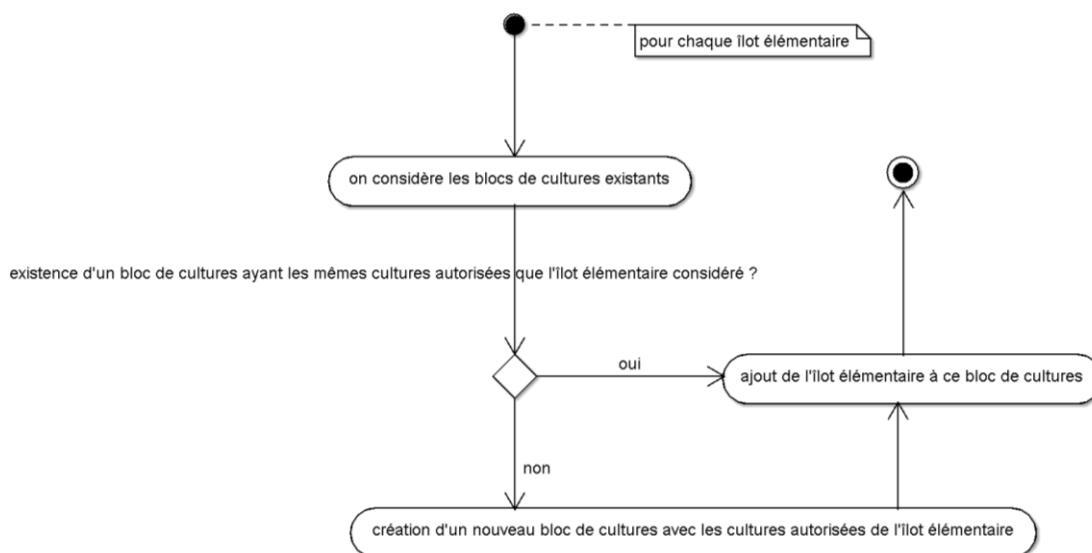


Figure 4. 7 : Diagramme d'activité de l'étape 4 du modèle DYSPALLOCC – définition des blocs de cultures

A partir de la définition des îlots élémentaires et de la zone cultivable de chaque culture, le modèle regroupe les îlots élémentaires qui peuvent être cultivés avec les mêmes cultures ([STRATEGIC POSSIBLE CROPS] identiques). DYSPALLOCC définit ainsi un ou plusieurs **blocs de cultures** [CROP BLOCKS], que nous définissons comme des ensembles d'îlots

élémentaires associés à un ensemble unique de cultures possibles sur ces îlots élémentaires (Figure 4. 7).

La notion de bloc de culture avait déjà été développée par Maxime et al. (1995) et Aubry et al. (1998b), qui la définissaient respectivement comme « un ensemble de parcelles culturales sur lesquelles est pratiqué un système de culture donné » ou « un ensemble de parcelles culturales sur lesquelles est pratiquée une rotation-cadre, c'est-à-dire un ensemble de successions de cultures construites autour des mêmes cultures-pivots ». Dans le cadre de DYSPALLOC, la notion de système de culture ou de succession de cultures n'est pas directement introduite dans les blocs de cultures. Il s'agit simplement d'**entités spatiales** (ici les îlots élémentaires) **associées à une liste identique de cultures possibles, une culture pouvant être autorisée et cultivée dans plusieurs blocs.**

Pour chaque bloc de culture, le modèle calcule également :

- La surface totale du bloc [CROP BLOCK AREA] ;
 - La moyenne de la surface des îlots élémentaires du bloc [AVERAGE CROP BLOCK AREA] ;
 - L'écart-type de la surface des îlots élémentaires du bloc [STANDARD DEVIATION OF CROP BLOCK AREA].
-
- Etape 5 : Vérification des surfaces des îlots élémentaires et définition des parcelles fixes (par blocs de cultures)

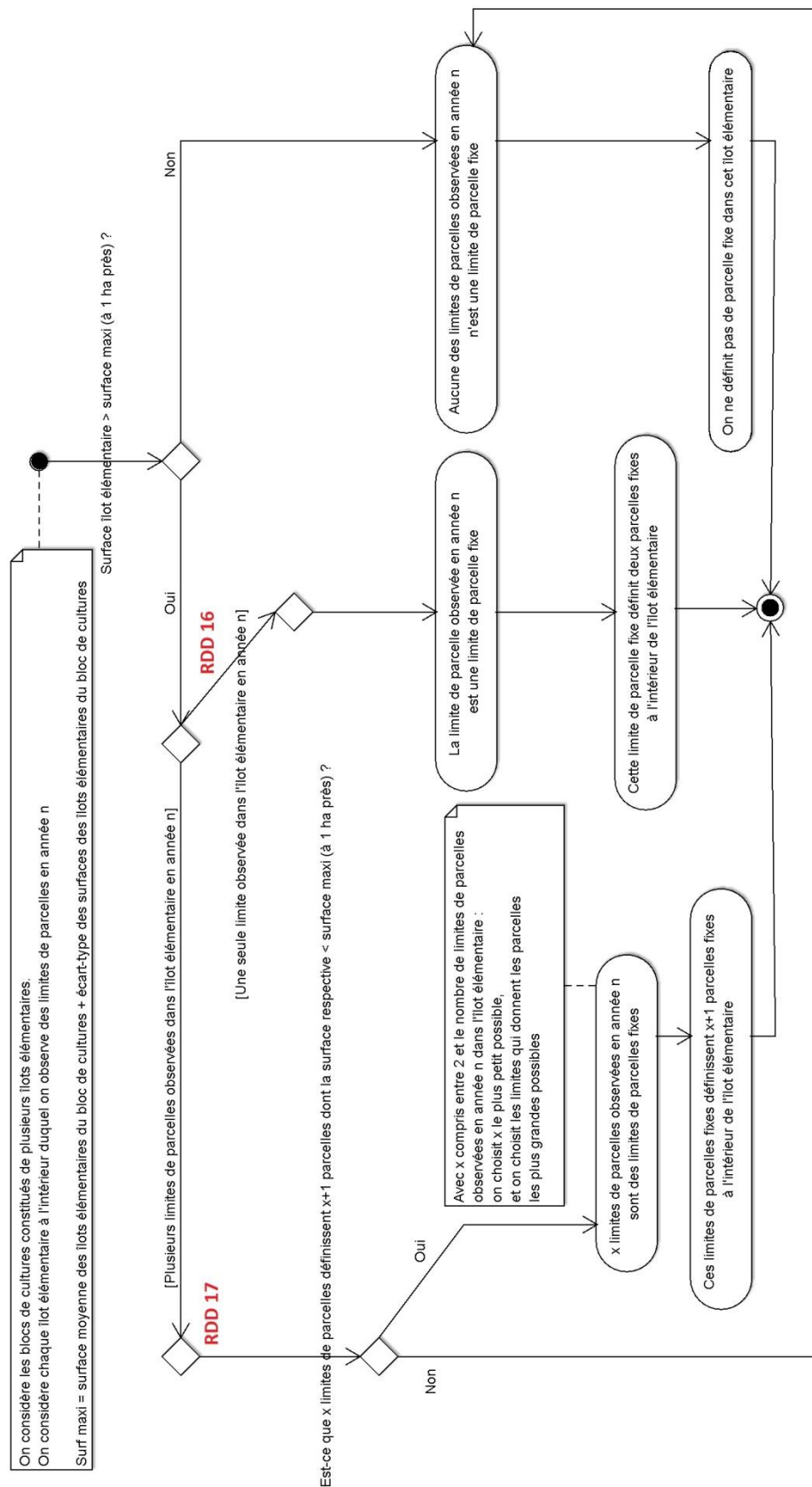


Figure 4. 8 : Diagramme d'activité de l'étape 5 du modèle DYPALOC – définition des parcelles fixes

Cette étape vise à identifier, pour chaque bloc de culture pouvant être cultivé par plusieurs cultures, des **limites de parcelles fixes** à l'intérieur des îlots élémentaires. Nous définissons une limite de parcelle fixe comme **une limite permanente (au cours d'une phase de cohérence) entre deux parcelles, et indispensable au respect des contraintes de tailles de sole à l'échelle de l'EA.**

Le modèle « reconnaît », parmi les limites de parcelles de l'année n observées à l'intérieur de chaque îlot élémentaire, des limites de parcelles fixes, permettant de définir les parcelles fixes [PERMANENT PLOT] (cf. Encadré 1 et Figure 4. 8). Ces dernières correspondent à des **parcelles dont la surface n'est pas trop grande par rapport à celle des autres îlots élémentaires du bloc, et qui permet d'équilibrer les tailles de sole des cultures d'une année à l'autre.** Un îlot élémentaire peut ainsi : soit ne comporter aucune parcelle fixe (si sa surface n'est pas trop grande par rapport aux autres îlots élémentaires), soit être découpé en plusieurs parcelles fixes (si sa surface est trop grande). *Cette étape correspond à l'objectif identifié chez une majorité d'agriculteurs de la plaine de Niort, consistant à équilibrer les surfaces des cultures d'une année à l'autre, dans une optique de sécurisation globale du revenu sur plusieurs années.* Cette étape permet donc de rendre compte d'un deuxième type de découpages permanents que réalisent les agriculteurs¹, et qui sont liés cette fois à la structure du parcellaire et aux règles de tailles de sole et successions de cultures.

Au sein des blocs de cultures où peuvent être implantées plusieurs cultures (i.e. pas si le bloc ne comporte qu'une seule culture possible), le modèle vérifie la surface de chaque îlot élémentaire dans lequel il y a une ou plusieurs limites de parcelles en année n. DYSPALLOCC vérifie que la surface de ces îlots élémentaires n'est pas trop grande par rapport aux autres îlots élémentaires du bloc. Pour cela, il compare la surface de chaque îlot élémentaire à une surface définie comme **[la surface moyenne des îlots élémentaires du bloc de culture + l'écart-type des surfaces des îlots élémentaires du bloc de culture]**. Notons cette surface [MAXI PLOT AREA]. Le modèle réalise cette comparaison dans les îlots élémentaires dans lesquels il y a (i) une seule limite de parcelle observée en année n (RDD 16) et (ii) plusieurs limites de parcelles observées en année n (RDD 17).

RDD 16 : Dans un îlot élémentaire où il y a une seule limite de parcelle en année n, si la surface de l'îlot élémentaire est supérieure (à 1 ha près) à [MAXI PLOT AREA], alors la limite de parcelle observée en année n est qualifiée de limite de parcelle fixe. Cette limite de parcelle fixe définit donc deux parcelles fixes à l'intérieur de l'îlot élémentaire. Sinon, il n'y a pas de limite de parcelle fixe et l'îlot élémentaire n'est pas découpé en parcelles fixes.

¹ Rappelons que le premier type de découpage permanent est le découpage d'îlots élémentaires, qui sont liés aux caractéristiques individuelles des îlots PAC (types de sol, accès à l'irrigation, etc.).

RDD 17 : Dans un îlot élémentaire où il y a plusieurs limites de parcelles en année n, si la surface de l'îlot élémentaire est supérieure (à 1 ha près) à [MAXI PLOT AREA], alors au moins une des limites de parcelles observées en année n sera qualifiée de limite de parcelle fixe (sinon aucune des limites de parcelles n'est qualifiée de limite de parcelle fixe).

Pour déterminer quelle(s) limite(s) sera (ou seront) qualifiée(s) de limite de parcelle fixe, DYSPALLOC teste d'abord une limite seule, puis deux limites, etc. : il choisit d'abord la limite de parcelle qui définit les deux parcelles de plus grande surface à l'intérieur de l'îlot élémentaire. Si la surface respective de ces deux parcelles est inférieure (à 1 ha près) à [MAXI PLOT AREA], alors cette limite de parcelle est qualifiée de limite de parcelle fixe.

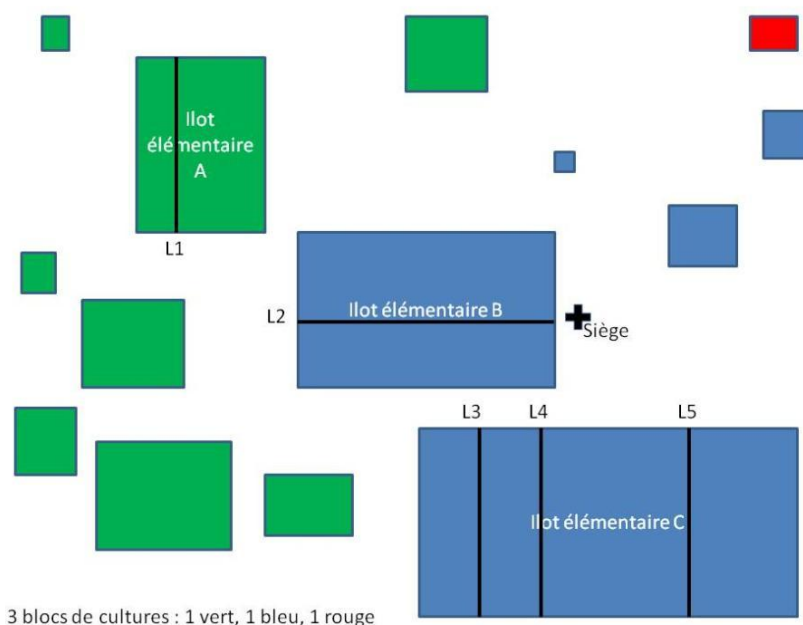
Sinon, il choisit deux limites de parcelles qui définissent les trois parcelles de plus grande surface à l'intérieur de l'îlot élémentaire. Si la surface respective de ces trois parcelles est inférieure (à 1 ha près) à [MAXI PLOT AREA], alors ces deux limites de parcelles sont qualifiées de limites de parcelles fixes.

Sinon, on fait de même jusqu'à avoir testé simultanément toutes les limites de parcelles observées en année n dans l'îlot élémentaire. Si la surface respective de chaque parcelle est inférieure (à 1 ha près) à [MAXI PLOT AREA], alors toutes les limites de parcelles observées en année n sont qualifiées de limites de parcelles fixes. Sinon, aucune limite de parcelle n'est qualifiée de parcelle fixe.

Remarque : les enquêtes en EA nous ont permis de constater que les limites de parcelles fixes étaient plutôt choisies dans le sens de la longueur pour maximiser la longueur de bords parallèles et faciliter les opérations culturales (éviter de faire beaucoup de demi-tours). La largeur des parcelles était souvent liée à la largeur du matériel des agriculteurs (ex : la largeur de la parcelle est un multiple de la largeur du pulvérisateur).

L'encadré 8 ci-dessous donne un exemple visuel d'application des RDD 16 et 17.

Encadré 8. Exemple d'application des RDD 16 et 17 sur un parcellaire d'EA fictif



Soit un parcellaire d'exploitation constitué de 3 blocs de cultures : un vert, un bleu, un rouge. Les rectangles sur la figure ci-dessus représentent des îlots élémentaires dont certains comportent des limites de parcelles en année n (limite L1 dans l'îlot élémentaire A ; limite L2 dans l'îlot élémentaire B ; et limites L3, L4, L5 dans l'îlot élémentaire C).

- Le bloc de culture « rouge » n'est constitué que d'un seul îlot élémentaire, donc il n'est pas concerné par l'étape de définition des parcelles fixes.

- Le bloc de culture « vert », l'îlot élémentaire (A) avec une seule limite de parcelle observée en année n (L1). On applique RDD 16. DYSPALLOCC vérifie si la surface de l'îlot élémentaire A est trop grande ou pas, par rapport à la surface des autres îlots élémentaires du bloc vert : il compare la surface de l'îlot élémentaire A à [MAXI PLOT AREA] du bloc vert. Dans cet exemple, la surface de l'îlot élémentaire A ne serait pas supérieure à [MAXI PLOT AREA], et L1 ne serait donc pas qualifiée de limite de parcelle fixe (RDD 16).

- Dans le bloc de culture « bleu », l'îlot élémentaire B comporte également une seule limite de parcelle (L2). On applique de même la RDD 16. Dans cet exemple, la surface de l'îlot élémentaire B serait supérieure à [MAXI PLOT AREA], si bien que L2 serait qualifiée de limite de parcelle fixe, et les deux parcelles définies par L2 à l'intérieur de l'îlot élémentaire B seraient des parcelles fixes.

- Dans le bloc de culture « bleu », l'îlot élémentaire C comporte trois limites de parcelles observées en année n (L3, L4, L5). On applique RDD 17. DYSPALLOCC vérifie d'abord que la surface de l'îlot élémentaire C est supérieure à [MAXI PLOT AREA] (dans cet exemple c'est le cas), puis il cherche quelle(s) limite(s) est (ou sont) une limite de parcelle fixe parmi L3, L4 et L5. DYSPALLOCC teste d'abord la limite L4, qui définit les deux parcelles de plus grande surface dans l'îlot élémentaire C : dans cet exemple, ces parcelles ont une surface supérieure à [MAXI PLOT AREA]. DYSPALLOCC teste ensuite deux limites : L4 et L5, qui définissent les trois parcelles de plus grande surface dans cet îlot élémentaire. Dans cet exemple, ces trois parcelles ont des surfaces inférieures à [MAXI PLOT AREA], si bien que L4 et L5 sont qualifiées de limites de parcelles fixes. L3 n'est pas qualifiée à ce stade.

Dans cette étape 5, nous avons défini les parcelles fixes de chaque bloc de culture, valables pour toute la phase de cohérence. **A ce stade, DYSPALLOC est en mesure de donner, pour chaque parcelle fixe, l'ensemble des cultures théoriquement possibles pour l'ensemble de la phase de cohérence** (et de façon complémentaire, l'ensemble des cultures interdites, pour chaque parcelle fixe, au cours de la phase de cohérence). Dans les étapes suivantes qui simulent les décisions de planification annuelle, DYSPALLOC va spécifier cet ensemble théorique de possibles à l'année $n+1$, à partir des informations sur l'année n .

Remarque : à partir de l'ensemble des cultures théoriquement possibles au cours de la phase de cohérence (parcelle fixe par parcelle fixe), on pourrait essayer de trouver l'ensemble des assolements possibles qui respectent les contraintes de successions de cultures et de tailles de sole données en entrée. Cette recherche de combinaisons d'allocations de cultures aux parcelles fixes demanderait toutefois de gérer une combinatoire considérable, qui nécessite de recourir à des outils informatiques. Deux outils peuvent être *a priori* utilisés : LandSFACTS (cité dans le chapitre 1 et présenté dans le chapitre 5) qui explore des allocations possibles de cultures aux parcelles respectant un certain nombre de contraintes spatiales et temporelles ; et CRASH (Crop Rotation and Allocation Simulator using Heuristics) développé dans le cadre de la thèse de Jérôme Dury et qui optimise l'allocation des cultures aux parcelles du point de vue de la ressource en eau, en respectant des contraintes spatiales et temporelles. Au contraire, DYSPALLOC ne vise ni à explorer l'ensemble des assolements possibles, ni à rechercher un assolement optimal du point de vue de la ressource en eau, mais à rendre compte des décisions que prendrait un agriculteur une année donnée pour planifier son assolement.

4.2.2.2) Simulation des décisions de planification annuelle

Dans cette partie, DYSPALLOC simule les décisions de planification annuelle d'assolement de l'agriculteur en mai n pour l'assolement $n+1$ (l'assolement étant terminé de mettre en place en mai $n+1$, i.e. l'ensemble des cultures étant implanté en mai $n+1$).

- Etape 6 : Identification des parcelles temporaires et des possibles planifications d'allocation des cultures aux parcelles

Dans cette étape, le modèle identifie les limites de parcelles temporaires et la zone cultivable annuelle des cultures. Ces deux notions sont définies dans l'Encadré 9.

Encadré 9. Définitions des parcelles temporaires (temporary plots) et de la zone cultivable annuelle d'une culture (annual suitable crop area)

Une **parcelle temporaire** est une parcelle dont au moins une des limites externes est une limite de parcelle temporaire. Une **limite de parcelle temporaire** est elle-même définie à l'intérieur d'une parcelle fixe (ou à l'intérieur d'un îlot élémentaire) comme une limite **pouvant varier (i.e. être présente ou absente) au cours d'une même phase de cohérence** de l'EA. L'agriculteur fait le plus souvent varier la présence/absence des limites de parcelles temporaires, **mais pas leur localisation à l'intérieur des parcelles fixes (ou des îlots élémentaires)**. La grande majorité des agriculteurs enquêtés ont en effet déclaré qu'ils modifieraient le moins possible la localisation des limites de parcelles au sein de leurs îlots PAC, car ils craignaient de faire des erreurs de géo-référencement lors des déclarations PAC, et d'être ensuite contrôlés. D'après les enquêtes, nous avons constaté que les limites de parcelles temporaires étaient préférentiellement présentes dans les parcelles les plus grandes, et qu'elles étaient positionnées dans le sens de la longueur si la parcelle est rectangulaire, ou sinon de façon à maximiser la longueur de bords parallèles. Comme précédemment, la largeur des parcelles temporaires était le plus souvent liée à la largeur du matériel des agriculteurs.

Les parcelles dont les limites sont temporaires correspondent à la volonté de l'agriculteur de délimiter certaines parcelles différemment d'une année sur l'autre. Cette volonté est le plus souvent une résultante des autres variables : pour pouvoir respecter les règles que se fixe l'agriculteur en termes de tailles de sole, couples précédent-suivant, délais de retour, etc., il peut être obligé de redécouper ponctuellement une parcelle pour adapter les surfaces et localisations de chaque culture une année donnée. La durée de ces découpages temporaires (ou encore appelés redécoupages) est égale à la durée de la culture allouée dans les parcelles (annuelle ou pluriannuelle). **Les découpages temporaires donnent le plus souvent lieu à une réunification des parcelles au cours de l' (des) année(s) suivante(s).**

La **zone cultivable annuelle d'une culture** est la zone, **à l'intérieur de la zone cultivable** de la culture, **dans laquelle la culture est effectivement cultivable une année donnée compte tenu des assolements précédents**, du délai de retour et de la durée de la culture, ainsi que du nombre maximal de cycles successifs de la culture. C'est la zone cultivable que l'agriculteur considère effectivement pour le choix de son assolement une année donnée. Cette zone peut varier d'une année à l'autre, contrairement à la zone cultivable définie au niveau stratégique pour toute la phase de cohérence.

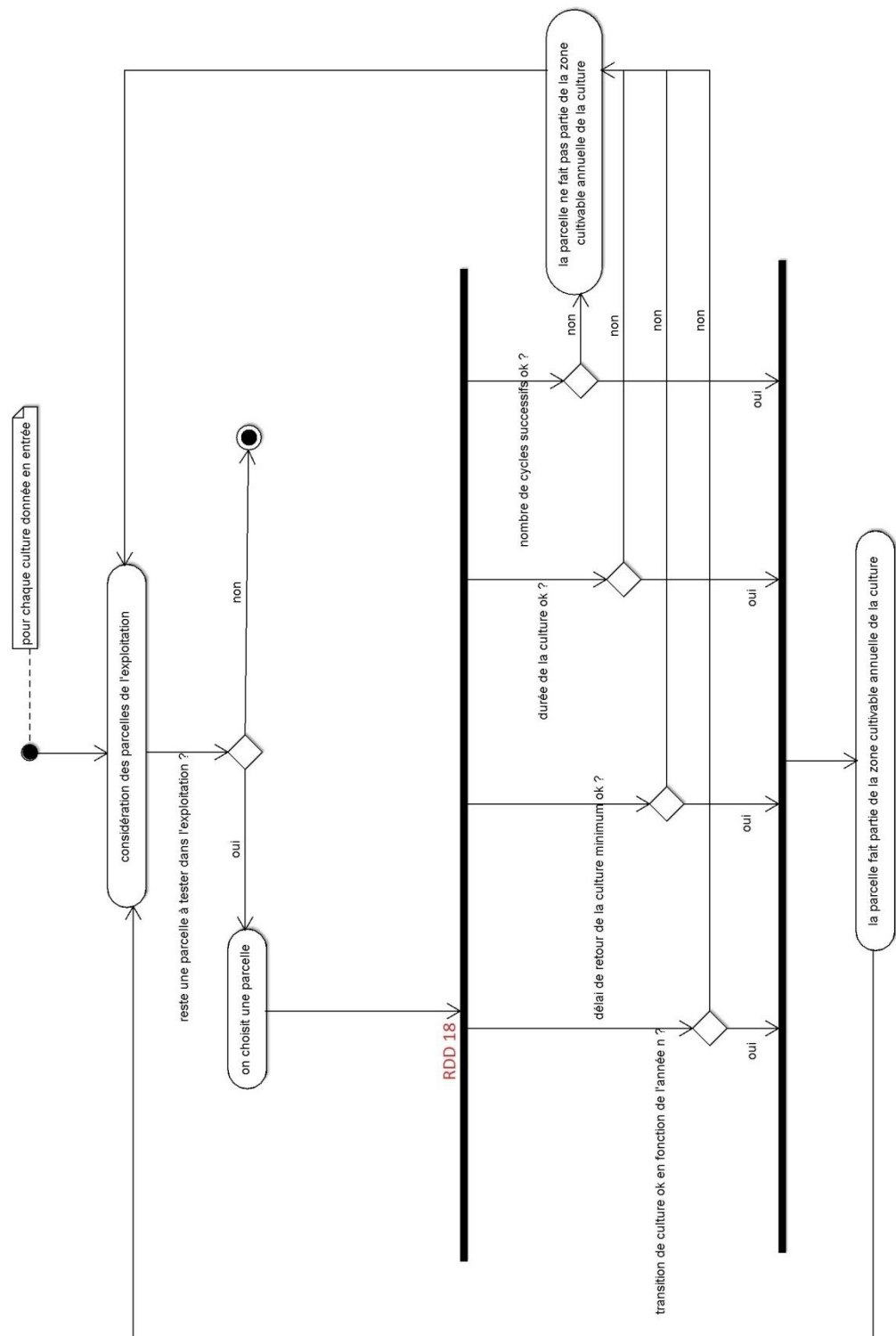


Figure 4. 9 : Diagramme d'activité de l'étape 6 du modèle DYSPALLOC – identification des cultures effectivement possibles pour l'année n+1 dans chaque parcelle (définition de la zone cultivable annuelle des cultures)

Dans cette étape, **le modèle identifie d'abord les parcelles temporaires** : nous considérons que toutes les limites de parcelles observées en année n qui n'ont pas été qualifiées de limite d'îlot élémentaire ou de limite de parcelle fixe, sont des limites de parcelles temporaires. Elles définissent les parcelles temporaires [TEMPORARY PLOTS]. Ceci permet de rendre compte de l'évolution des découpages de parcelles effectués au cours d'une phase de

cohérence. S'il n'y a pas de limite de parcelles observées en année n qui n'ait déjà été qualifiée de limite d'îlot élémentaire ou de limite de parcelle fixe, alors il n'y a pas de parcelle temporaire.

Dans toute la suite, le modèle considère les entités spatiales les plus petites, qu'elles soient des îlots élémentaires, des parcelles fixes ou des parcelles temporaires, que nous nommerons à présent « parcelles » de façon unique. C'est dans ces parcelles que DYSPALLOCC va réaliser l'allocation des cultures pour l'année $n+1$. Lorsque des parcelles sont contigües, DYSPALLOCC ne simulera des réunions de parcelles que pour les parcelles temporaires (les limites de parcelles fixes et d'îlots élémentaires ne peuvent pas disparaître au cours d'une phase de cohérence).

Au sein de chaque parcelle, le modèle fait l'inventaire des cultures possibles pour l'année $n+1$ compte tenu des informations sur l'assolement n (données en entrée) : il restreint donc la liste des cultures possibles définie précédemment pour toute la phase de cohérence. **Cette liste des cultures effectivement possibles pour l'année $n+1$ permet de définir la zone cultivable annuelle des cultures pour l'année $n+1$ [ANNUAL SUITABLE CROP AREA]** ainsi que la surface de cette zone [AREA OF ANNUAL SUITABLE CROP AREA].

La définition de la zone cultivable annuelle des cultures dans les parcelles est effectuée suivant la règle de décision générique suivante (Figure 4. 9) :

RDD 18 : Pour chaque parcelle observée en année n ,

- si la transition entre la culture observée dans la parcelle en année n et la culture A n'est pas interdite (i.e. si le couple de cultures n'est pas interdit),
- et si la culture A n'a pas été cultivée dans la parcelle pendant un nombre d'années supérieur ou égal à son délai de retour minimum,
- et si la durée de culture de la culture A en année $n+1$ n'est pas supérieure à sa durée de culture maximum,
- et si le nombre de cycles successifs en année $n+1$ n'est pas supérieur à son NCS maximum,

Alors la culture A est effectivement cultivable dans la parcelle en année $n+1$. Le modèle fait cette vérification pour toutes les cultures possibles de l'EA (variable [CROP] donnée en entrée).

Remarque : dans DYSPALLOCC, la zone cultivable annuelle de l'année $n+1$ peut être surestimée par rapport à la zone cultivable annuelle réelle que considérerait l'agriculteur. En effet, le modèle ne dispose « que » des données d'assolement de l'année n , et pas des données antérieures. Ainsi, lorsque le modèle vérifie qu'une culture n'a pas été cultivée dans une parcelle dans les x dernières années (x étant le délai de retour de la culture), il ne vérifie en fait que l'année précédente et pas les x années précédentes. Il peut donc classer cette parcelle dans la zone cultivable annuelle de la culture alors que l'agriculteur ne l'aurait pas nécessairement fait en réalité, ce qui génère plus de possibles que dans la réalité.

Le modèle déduit, de cette zone cultivable annuelle, la zone cultivable annuelle de chaque groupe de cultures complémentaires (en combinant la zone cultivable annuelle respective des cultures du groupe) [ANNUAL SUITABLE AREA OF COMPLEMENTARY CROP GROUPS], ainsi que la surface de cette zone [AREA OF SUITABLE AREA OF COMPLEMENTARY CROP GROUPS]. Il déduit de la même manière la zone cultivable annuelle du groupe de cultures facultatives [ANNUAL SUITABLE AREA OF FACULTATIVE CROP GROUP].

- Etape 7 : Planification d'allocation des cultures aux parcelles dans les cas où un seul choix est possible

Dans certaines parcelles, il n'existe qu'un seul choix possible de culture à allouer à la parcelle en année $n+1$. Nous qualifions ces parcelles de parcelles « à choix unique ». Autrement dit, ces parcelles ne font partie de la zone cultivable annuelle que d'une seule culture. Dans ce cas, la culture considérée est obligatoirement allouée à ces parcelles « à choix unique ».

C'est notamment le cas¹ lorsque :

- Dans une parcelle, il y a en année n une culture A pour laquelle, dans la matrice de transition entre cultures, la transition de cette culture A à une autre culture B est obligatoire. La parcelle sera alors cultivée en culture B pour l'assolement $n+1$.
 - Prairie permanente ou jachère sont les seules cultures possibles sur certaines parcelles : quelle que soit la culture précédente, le modèle alloue alors « prairie permanente » si l'EA est de polyculture-élevage (ici si l'EA a au moins une culture à fonction affouragement) et « jachère » si l'EA est de grandes cultures (pas de culture à fonction affouragement²).
- Etape 8 : Planification d'allocation des cultures aux parcelles dans les cas où plusieurs choix sont possibles

Après avoir alloué les cultures dans les parcelles où une seule culture est possible en année $n+1$ (étape 7), il reste à planifier l'allocation des cultures dans toutes les autres parcelles, i.e. celles où plusieurs cultures sont possibles pour l'année $n+1$. Nous qualifions ces parcelles de parcelles « à choix multiples ». Cette étape est décrite à la Figure 4. 10 et à la Figure 4. 11.

¹ Si nous avons, en données d'entrées, les informations sur plusieurs assolements précédents (n , $n-1$, etc.), nous pourrions ajouter ce cas : si dans une parcelle, il y a en année n une culture qui, en année $n+1$ aura duré moins de temps que la durée de culture minimum imposée, alors cette culture reste en place pour l'assolement $n+1$.

² Cette approximation est valable dans le territoire de la plaine de Niort pour les EA qui ne sont pas en hors-sol (très rare dans la zone).

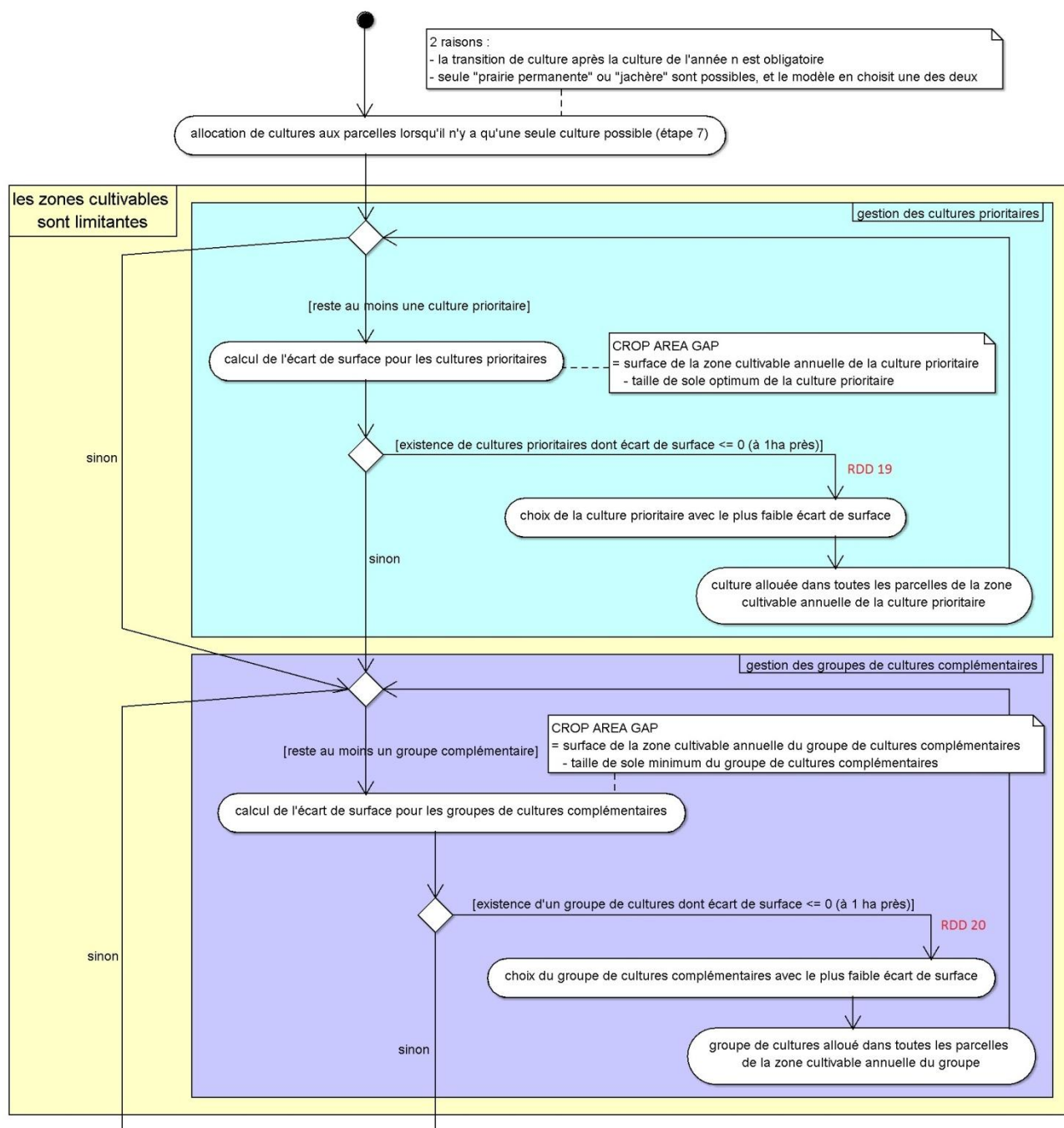


Figure 4. 10 : Diagramme d'activité des étapes 7 et 8 du modèle DYSPALLOC (partie 1) – planification d'allocation des cultures aux parcelles pour l'année n+1

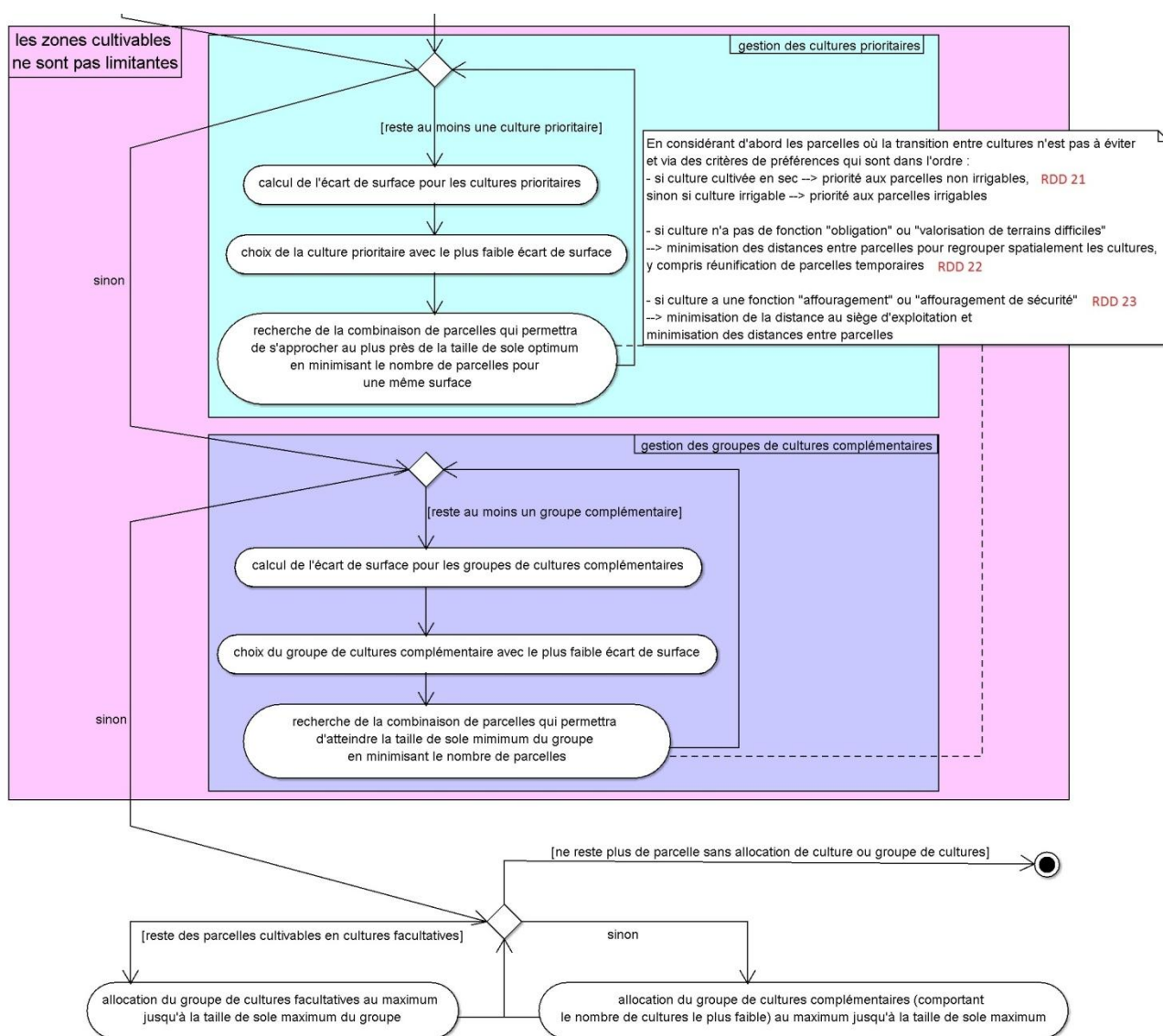


Figure 4. 11 : Diagramme d'activité des étapes 7 et 8 du modèle DYSPALLOC (partie 2) – planification d'allocation des cultures aux parcelles pour l'année n+1

Le fait que plusieurs cultures soient effectivement possibles dans une même parcelle pour l'année n+1 met en évidence des **marges de manœuvres possibles** pour les agriculteurs : même pour des règles de décisions fixées concernant les successions de cultures (données d'entrée), ils ont souvent plusieurs solutions possibles d'assolement n+1. On considère ici que les agriculteurs mettent alors en œuvre des **règles de préférence** pour planifier un assolement n+1 qui leur semble le plus favorable, en tout cas compte tenu des informations dont ils disposent au mois de mai de l'année n.

Pour représenter le choix de planification d'assolement parmi plusieurs possibles, DYSPALLOC procède ainsi : il **alloue d'abord les cultures prioritaires, puis les groupes de cultures complémentaires et enfin éventuellement le groupe des cultures facultatives** (Figure 4. 10 et Figure 4. 11). Toutes ces étapes reposent sur des règles de décisions et des critères de préférence qui sont décrits ci-dessous.

Pour les cultures prioritaires et les groupes de cultures complémentaires, le modèle calcule **l'écart de surface** [CROP AREA GAP] entre :

- La surface de la zone cultivable annuelle ($n+1$) de chaque culture (ou de chaque groupe de cultures complémentaires)
- La taille de sole optimum de la culture prioritaire (ou la taille de sole minimum du groupe de cultures complémentaires) (donnée en entrée).

Nous considérons que cet écart est un **indicateur de la marge de manœuvre** qu'a l'agriculteur dans le choix de son assolement : **plus cet écart est petit, plus la marge de manœuvre est restreinte**, car l'agriculteur dispose de peu de surface en plus par rapport à ses besoins. A l'extrême, si l'écart est négatif, cela signifie que l'agriculteur n'a pas suffisamment de surface disponible pour allouer autant de surface qu'il aurait souhaité de la culture ou du groupe de cultures en année $n+1$. L'écart de surface est recalculé après l'allocation de chaque culture ou groupe de cultures.

DYSPALLOCC procède ainsi :

1) Si la zone cultivable d'une culture ou d'un groupe de culture est limitante (Figure 4. 10), i.e. si l'écart de surface [CROP AREA GAP] est négatif, alors le modèle alloue la culture (ou groupe de cultures) à toutes les parcelles disponibles, en commençant par les cultures prioritaires, puis les groupes de cultures complémentaires, et en priorisant la culture (ou groupe de cultures) pour laquelle l'écart de surface est le plus petit.

RDD 19 : Si la surface de la zone cultivable annuelle d'une culture prioritaire est inférieure ou égale (à 1 ha près) à la taille de sole optimum de cette culture, alors cette culture est allouée pour $n+1$ dans toutes les parcelles de sa zone cultivable de l'année $n+1$.

RDD 20 : Si la surface de la zone cultivable annuelle d'un groupe de cultures complémentaires est inférieure ou égale (à 1 ha près) à la taille de sole minimum de ce groupe de cultures, alors ce groupe de cultures est alloué pour $n+1$ dans toutes les parcelles de sa zone cultivable de l'année $n+1$. **La décision de quelle culture sera finalement allouée parmi les cultures du groupe fait partie des décisions d'ajustements et n'est actuellement pas simulée par DYSPALLOCC.**

2) Si la zone cultivable d'une culture ou groupe de cultures n'est pas limitante (Figure 4. 11), i.e. si l'écart de surface [CROP AREA GAP] est positif, on considère que l'agriculteur alloue d'abord les cultures pour lesquelles il a le moins de marge de manœuvre (écart le plus petit), pour être sûr d'atteindre les tailles de sole souhaitées. Ainsi, **le modèle alloue d'abord les cultures prioritaires, par ordre croissant d'écart de surface**. Pour toutes les cultures prioritaires, le modèle recherche la **combinaison de parcelles** (parmi la zone cultivable annuelle $n+1$ de la culture) qui permet de **s'approcher au plus près de la taille de sole optimum en minimisant le nombre de parcelles**, et alloue la culture prioritaire pour $n+1$ à cet ensemble de parcelles. Ce choix de minimisation du nombre de parcelles pour une

même surface (pour les cultures prioritaires) est justifié par le fait que nous avons fréquemment observé en enquêtes que les agriculteurs préféraient regrouper spatialement dans un petit nombre de parcelles les cultures jugées les plus importantes (plutôt que de les disperser dans le parcellaire, ce qui rend plus délicat le déroulement des opérations culturales et la surveillance des cultures). Les cultures jugées moins importantes (complémentaires et facultatives) faisaient en général l'objet de davantage de flexibilité dans leur allocation car, soit elles étaient interchangeable avec d'autres cultures (complémentaires), soit elles venaient « boucher les trous » une fois que les autres cultures étaient allouées (cultures facultatives).

Notons que, parmi toutes les parcelles de la zone cultivable d'une culture X pour l'année $n+1$, DYSPALLOCC considère d'abord les parcelles pour lesquelles la transition de la culture Y en n à la culture X en $n+1$ est possible. **S'il ne trouve pas de solution, alors il considère en plus les parcelles pour lesquelles cette transition est possible mais à éviter.**

Si plusieurs solutions sont possibles (i.e. si plusieurs combinaisons de parcelles permettent d'atteindre la taille de sole optimum de la culture prioritaire avec le même nombre de parcelles), alors le modèle choisit une allocation en particulier, en fonction de **règles de préférence**. Les règles de préférence sont les suivantes, et elles sont mobilisées dans cet ordre :

RDD 21 : Si la culture est cultivée en sec (sans irrigation), alors le critère de préférence est : priorité aux parcelles non irrigables par rapport aux parcelles irrigables. Sinon, si la culture est irrigable (mais pas obligatoirement), alors le critère de préférence est : priorité aux parcelles irrigables par rapport aux parcelles non irrigables. Cette règle n'est sans doute pas spécifique au territoire de Niort, mais généralisable aux territoires agricoles avec irrigation.

RDD 22 : Si la culture n'a pas une fonction « obligation » ou « valorisation de terrains difficiles » (ce qui contraint fortement sa localisation), alors le critère de préférence est : **minimisation des distances entre parcelles pour regrouper spatialement les cultures**. Les parcelles temporaires contigües sont concernées en particulier : **le modèle alloue préférentiellement la même culture à deux parcelles temporaires contigües, ce qui permet alors de réunir ces deux parcelles (la limite de parcelle temporaire disparaît)**. Ce choix de critère représente implicitement le fait que les agriculteurs évitent de fractionner leur parcellaire d'exploitation et choisissent préférentiellement de délimiter des parcelles de grande taille à l'intérieur de leurs îlots PAC, pour faciliter les opérations culturales.

RDD 23 : Si la culture a une fonction « affouragement » ou « affouragement de sécurité », alors les critères de préférence sont à la fois : minimisation de la distance au siège d'exploitation et minimisation des distances entre parcelles.

Ces deux dernières règles semblent également génériques, en tout cas dans les territoires où les parcellaires d'exploitation sont relativement morcelés.

Ces critères de préférence correspondent aux stratégies identifiées par enquêtes chez les agriculteurs : quand plusieurs choix sont possibles, ces stratégies consistent globalement à **favoriser la zone cultivable préférentielle de la culture et à favoriser le regroupement des cultures dans l'espace** (cf. Encadré 10).

Encadré 10. Définition de zone cultivable préférentielle et de regroupement de cultures

La **zone cultivable préférentielle d'une culture (preferential suitable crop area)** est la zone interne à la zone cultivable de la culture, que l'agriculteur juge la plus favorable pour la culture, et qu'il va préférentiellement choisir pour allouer la culture, surtout si cette dernière est prioritaire (ex : une culture peut être cultivable dans tout le parcellaire, mais préférentiellement dans les parcelles à moins de 1 km du siège d'exploitation pour faciliter les opérations de récolte).

Le **regroupement spatial de cultures (spatial grouping of crops)** correspond à la volonté de l'agriculteur de regrouper dans l'espace certaines soles ou certaines parties de soles de cultures. C'est souvent le cas lorsque la culture a une taille de sole restreinte (< 10 ha) et/ou qu'elle est fortement contraignante pour les opérations culturales (ex : colza) ou de récolte (ex : maïs ensilage nécessitant beaucoup de remorques et de main d'œuvre, ou encore luzerne à faucher de nuit, trois fois par an).

L'agriculteur souhaite alors regrouper dans l'espace la sole de cette culture (à l'intérieur de sa zone cultivable), de façon à minimiser chaque année les déplacements entre parcelles de cette sole (Bernard, 2010), quelles que soient les parcelles où est allouée chaque année la culture. Les parcelles ainsi regroupées (lorsqu'elles portent la même culture une année donnée) sont alors souvent gérées ensemble pour le choix de l'itinéraire technique.

Le modèle **alloue ensuite les groupes de cultures complémentaires aux parcelles, également par ordre croissant d'écart de surface** : le modèle recherche une combinaison de parcelles (parmi la zone cultivable annuelle) permettant d'atteindre la taille de sole minimum du groupe de cultures complémentaires, avec un nombre minimal de parcelles. Il le fait suivant les mêmes règles de préférence que précédemment (RDD 21 à RDD 23). La décision de quelle culture sera finalement allouée parmi les cultures du groupe fait partie des décisions d'ajustements, actuellement non simulées par DYSPALLOC.

S'il reste à ce stade des parcelles sans allocation de culture, mais cultivables en cultures facultatives, alors le modèle alloue le groupe des cultures facultatives à ces parcelles, sans dépasser la taille de sole maximale de l'ensemble des cultures facultatives. S'il reste encore des parcelles sans allocation de culture, alors le modèle alloue un groupe de cultures complémentaires, jusqu'à ce que toutes les parcelles soient occupées (mais sans dépasser la taille de sole maximum du groupe de cultures complémentaires). Le modèle sélectionne les groupes de cultures complémentaires par nombre croissant de cultures dans le groupe, car nous considérons que plus un groupe de cultures complémentaires a un nombre réduit de cultures, plus la marge de manœuvre associée à ce groupe de cultures est réduite.

Remarque : au cours de toute l'étape 8, si le modèle n'arrive pas à trouver une solution de planification d'assolement satisfaisante avec les limites de parcelles de l'année n (en termes de tailles de sole notamment), il faudrait pouvoir **envisager la possibilité de réaliser des découpages de parcelles temporaires basés sur les limites de parcelles des années antérieures (n-1, n-2...)** afin d'ajuster les tailles de soles de l'année n+1 aux exigences données en entrée (cf. Encadré 9).

En conclusion, DYSPALLOCC donne alors en sortie une planification d'assolement, avec une culture (ou un groupe de cultures) allouée par parcelle, ainsi que la qualification des limites entre parcelles d'un même îlot PAC : limite d'îlot élémentaire, de parcelle fixe ou de parcelle temporaire.

Un exemple d'application du modèle DYSPALLOCC sera donné dans le chapitre 5.

Le Tableau 4. 2 récapitule les variables intermédiaires mobilisées dans le modèle au cours des étapes 1 à 8 ; la Figure 4. 12, diagramme de classes, synthétise les objets manipulés par le modèle, et les relations entre ces objets.

Tableau 4. 2 : Récapitulatif des variables intermédiaires utilisées par DYSPALLOCC au cours des étapes 1 à 8

Etape du modèle	Identifiant de la variable intermédiaire	Descriptif de la variable intermédiaire	Unité ou commentaire
1. Hiérarchie fonctionnelle des cultures	CROP FUNCTIONAL HIERARCHY	Hiérarchie fonctionnelle des cultures	Trois modalités : prioritaire, complémentaire, facultative
	FACULTATIVE CROP	Culture facultative	Spécification de culture
	COMPLEMENTARY CROP	Culture complémentaire	Spécification de culture
	PRIORITY CROP	Culture prioritaire	Spécification de culture
	COMPLEMENTARY CROP GROUPS	Groupe de cultures complémentaires	Ensemble de cultures
2. Îlots élémentaires	ELEMENTARY ISLET	Îlot élémentaire	Polygone spatialisé, inclus dans un îlot PAC
	ELEMENTARY ISLET AREA	Surface de l'îlot élémentaire	ha
3. Zones cultivables	STRATEGIC SUITABLE CROP AREA	Zone cultivable d'une culture	Ensemble d'îlots élémentaires
	STRATEGIC POSSIBLE CROPS	Cultures possibles en théorie sur l'îlot élémentaire	Liste de cultures possibles au niveau stratégique
4. Blocs de cultures	CROP BLOCKS	Bloc de culture	Ensemble d'îlots élémentaires
	CROP BLOCK AREA	Surface du bloc de culture	Ha

	AVERAGE / STANDARD DEVIATION OF CROP BLOCK AREA	Surface moyenne / écart-type des îlots élémentaires du bloc de culture	Ha
5. Parcelles fixes	PERMANENT PLOT	Parcelle fixe	Polygone spatialisé, inclus dans un îlot élémentaire
	MAXI PLOT AREA	Surface moyenne des îlots élémentaires du bloc + écart-type des surfaces des îlots élémentaires du bloc	Ha
6. Allocations possibles	ANNUAL SUITABLE CROP AREA / AREA OF COMPLEMENTARY CROP GROUP / AREA OF FACULTATIVE CROP GROUP	Zone cultivable annuelle d'une culture / d'un groupe de cultures complémentaires / du groupe de cultures facultatives	Ensemble de parcelles temporaires (inclus dans la zone cultivable stratégique)
	TEMPORARY PLOT	Parcelle temporaire	Polygone spatialisé inclus dans une parcelle fixe
	AREA OF ANNUAL SUITABLE CROP AREA	Surface de la zone cultivable annuelle d'une culture	Ha
	AREA OF ANNUAL SUITABLE AREA OF COMPLEMENTARY CROP GROUP	Surface de la zone cultivable annuelle d'un groupe de cultures complémentaires	Ha
8. Planification parmi plusieurs possibles	CROP AREA GAP	Ecart de surface entre la zone cultivable annuelle d'une culture (ou groupe de cultures) et la taille de sole optimum ou minimum	Ha

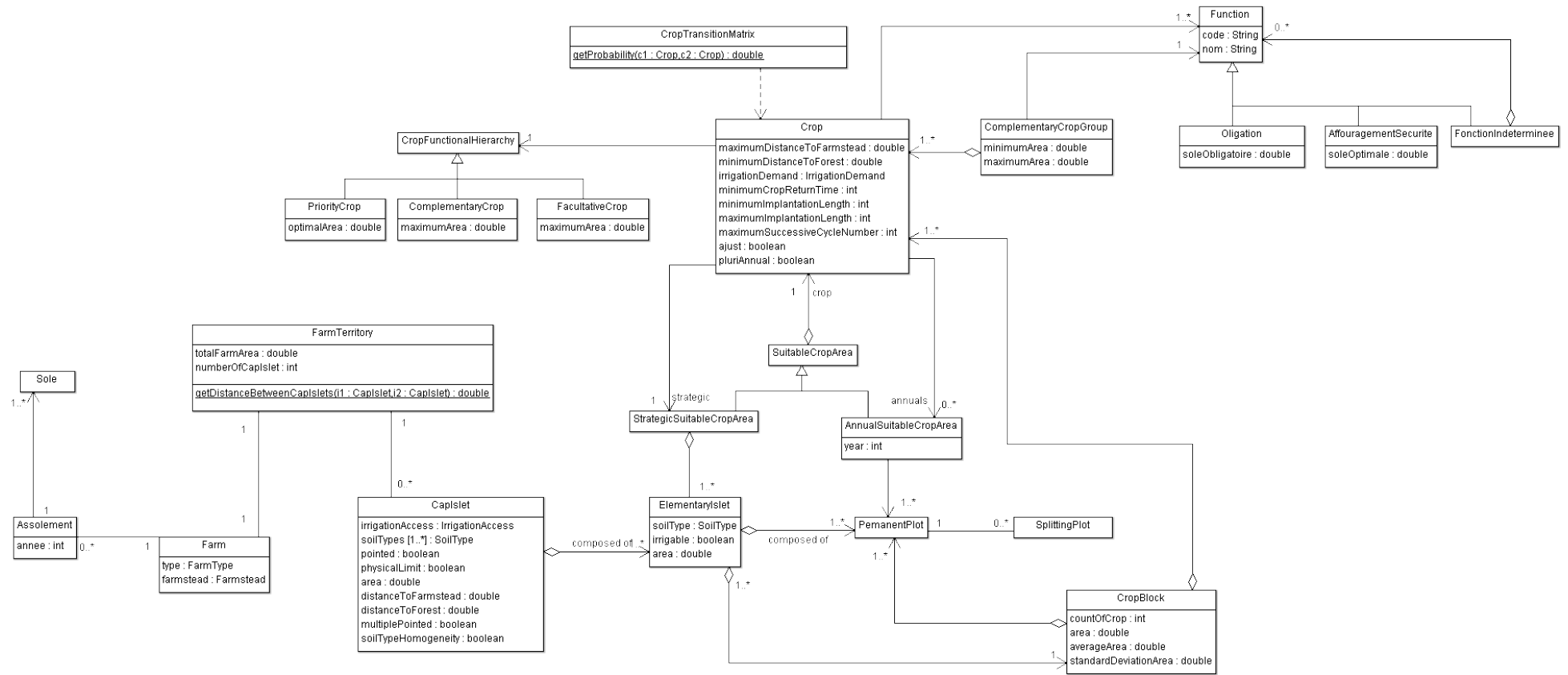


Figure 4. 12 : Diagramme de classes du modèle DYSPALLOC

4.3) Discussion sur les décisions d'ajustements infra-annuels de la planification d'assolement, identifiées par enquêtes

Les décisions d'ajustements infra-annuels de la planification d'assolement ne sont actuellement pas simulées par DYSPALLOCC. Les enquêtes en EA réalisées en 2009-2010 nous ont toutefois permis d'observer de nombreuses décisions d'ajustements prises par les agriculteurs : **31 décisions d'ajustements** ont été identifiées dans les neuf EA qui se trouvaient dans une phase de cohérence.

Pour une parcelle donnée, nous considérons comme un ajustement de la planification d'assolement antérieure :

- Un changement de limites de parcelles (réunion ou redécoupage de parcelles temporaires) ;
- Un changement de culture prévue (ex : l'agriculteur prévoyait de cultiver du colza, mais il a finalement implanté du tournesol) ;
- Une précision de la planification réalisée en mai (ex : l'agriculteur hésitait entre colza et tournesol en mai n, et il a finalement implanté du tournesol¹) ;
- Un changement et des limites externes de la parcelle, et de la culture prévue (ex : l'agriculteur prévoyait du colza dans toute la parcelle, et il a finalement coupé la parcelle en deux pour faire un morceau en colza et un morceau en tournesol).

Nous avons constaté : (i) qu'il existe des « **moments fixes** » dans l'année pour décider de **certaines ajustements**, (ii) qu'il existe entre EA des **déterminants communs aux décisions d'ajustements**, et (iii) que les **déterminants des décisions d'ajustements peuvent varier au cours de l'année**.

Malgré ces éléments de généralité (moments et déterminants des ajustements communs entre EA), nous avons observé **une grande diversité de règles de décisions d'ajustements, et surtout de seuils utilisés par les agriculteurs pour déclencher ces règles**. C'est la raison pour laquelle nous n'avons pas réussi à aller jusqu'à simuler ces ajustements dans le modèle DYSPALLOCC.

Dans cette section, nous allons donner des pistes possibles pour intégrer ultérieurement les décisions d'ajustements infra-annuels dans le modèle DYSPALLOCC : nous décrivons tout d'abord la façon dont nous avons formalisé les décisions d'ajustements (section 4.3.1). Puis nous présentons les « moments fixes » des ajustements (section 4.3.2), et les déterminants des ajustements (section 4.3.3). Nous revenons enfin sur la diversité des décisions d'ajustements observée et sur les difficultés que nous voyons à leur intégration dans le modèle DYSPALLOCC (section 4.3.4).

¹ Dans la réalité, il pouvait arriver que l'agriculteur hésite entre deux cultures en mai n, même si ces deux cultures n'appartenaient pas à un même groupe de cultures complémentaires défini dans DYSPALLOCC.

4.3.1) Formalisation des décisions d'ajustements

Nous formalisons les décisions d'ajustements comme indiqué à la Figure 4. 13.

Formalisation d'une décision d'ajustement de planification d'assolement

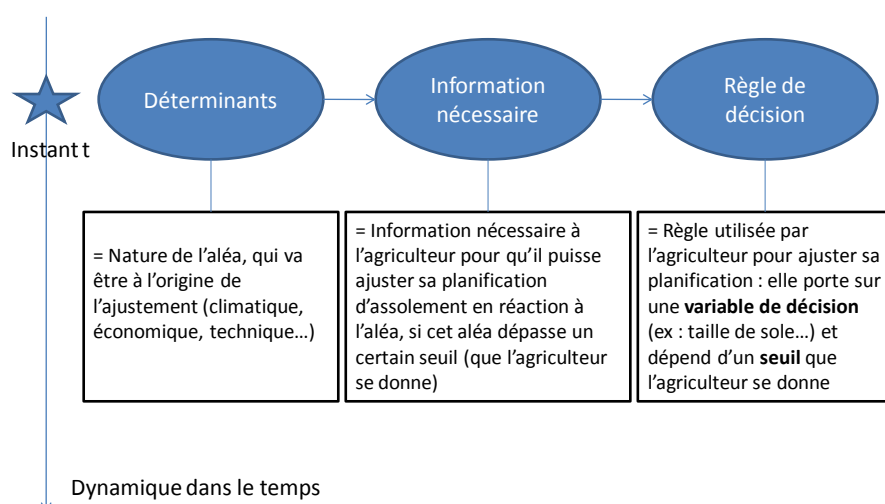


Figure 4. 13 : Cadre conceptuel pour la formalisation d'une décision d'ajustement

Nous considérons qu'à un instant t de l'année, un aléa peut survenir. La nature de cet aléa peut être variée (climatique, économique, technique, organisationnel, etc.) et liée au fonctionnement interne ou au contexte externe de l'EA. Cet aléa peut être assimilé au **déterminant** de la décision d'ajustement. Pour « mesurer » cet aléa et ensuite s'y adapter, l'agriculteur a besoin d'une **information, ou indicateur**, qui lui permet d'estimer si cet aléa nécessite ou non un ajustement de sa planification. Enfin, l'agriculteur utilise une **règle de décision** qui lui permet d'ajuster sa planification (c'est-à-dire de modifier la valeur d'une ou plusieurs variables de décision), si le **seuil** qu'il se donne concernant l'indicateur est atteint ou dépassé.

L'annexe 5 donne une liste quasi exhaustive des règles de décisions d'ajustements citées par les agriculteurs lors des enquêtes (qu'ils aient mis en œuvre ces règles en 2009-2010 ou non), en lien avec les informations nécessaires et les aléas (=déterminants) auxquels l'agriculteur est soumis. Ces règles de décisions correspondent à des ajustements qui sont prévus à l'avance par l'agriculteur (= **ajustements planifiés**). Nous considérons que les agriculteurs ont pu établir de telles règles de décisions *via* des processus de routine et/ou d'apprentissage au cours du cycle de vie de leur EA. Ces décisions d'ajustements planifiés correspondent aux solutions de rechange définies dans le modèle d'action (Duru et al., 1988; Sebillotte and Soler, 1990). Nous avons constaté que ces règles de décisions sont le plus souvent partagées entre agriculteurs, mais que le seuil que se donne l'agriculteur pour déclencher la règle de décision n'est pas nécessairement partagé !

A côté de ces ajustements planifiés, l'agriculteur doit parfois faire face à des événements non prévus, et modifier sa planification d'assolement en conséquence. Dans ces situations, nous supposons, en accord avec le modèle d'action, que la planification d'assolement est alors modifiée en respectant les grandes orientations stratégiques représentées dans DYSPALLOCC (sécurisation du revenu *via* l'optimisation de surface des cultures prioritaires, équilibre des tailles de soles d'une année à l'autre et respect des règles de successions de cultures). Nous pensons que ces ajustements non planifiés à l'avance seraient très difficiles à simuler à ce stade dans le modèle DYSPALLOCC. En revanche, les ajustements planifiés pourraient éventuellement être intégrés, à condition d'identifier les moments des ajustements, et pour chaque moment, les déterminants, ainsi que les règles de décisions associées (et, plus difficile, les seuils de déclenchement des règles).

4.3.2) Temporalité des ajustements : des « moments fixes » au cours de l'année

Nos enquêtes en EA nous ont permis d'observer qu'il existait des « **moments fixes** » dans l'année pour choisir de réaliser des ajustements (même si tous les agriculteurs n'ajustent pas tous leurs choix à tous ces moments). Pour le choix d'un assolement $n+1$ (dont la planification a lieu en mai n), ces moments d'ajustements coïncidaient avec : les **récoltes** (juillet n), les **commandes d'intrants pour les cultures d'automne** (septembre n), les **semis des cultures d'automne** (novembre n), les **commandes d'intrants pour les cultures de printemps** (janvier $n+1$), l'annonce des **autorisations de volume d'eau pour l'irrigation** (mars $n+1$) et les **semis des cultures de printemps** (mai $n+1$) ; soit des moments d'ajustements environ tous les deux mois. Pendant ces périodes, des informations supplémentaires spécifiques deviennent disponibles pour l'agriculteur, et peuvent éventuellement modifier sa planification antérieure. **Ainsi, nous pourrions choisir un pas de temps de deux mois pour le modèle DYSPALLOCC**, et tenter de simuler des décisions d'ajustements tous les deux mois entre la planification pour $n+1$ en mai n , et la fin de la mise en place de l'assolement en mai $n+1$.

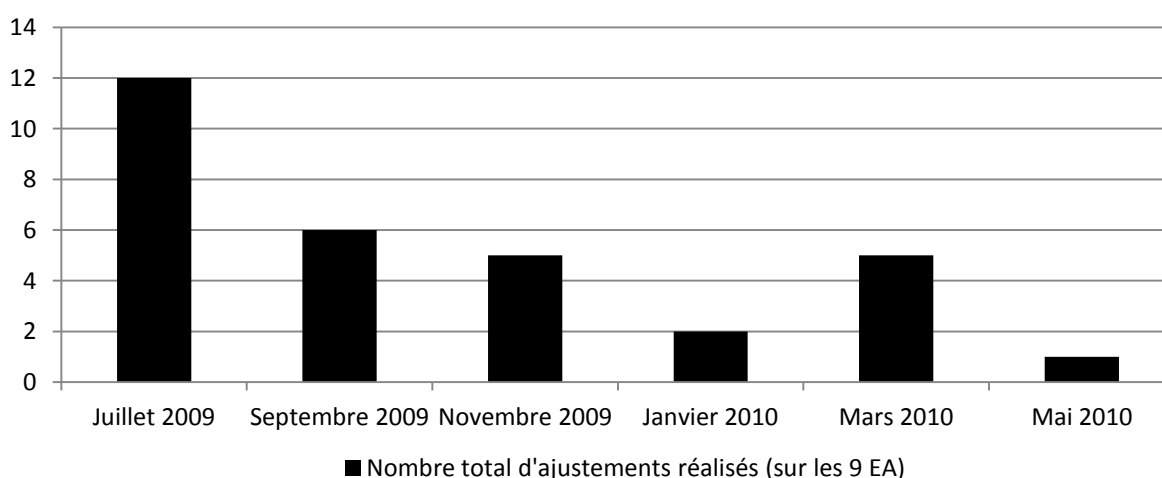


Figure 4. 14 : Distribution temporelle des décisions d'ajustements infra-annuels observées au cours de la campagne agricole 2009-2010 (pour neuf exploitations enquêtées dans la plaine de Niort)

La Figure 4. 14 représente la distribution des ajustements réalisés dans les neuf EA au cours des « moments fixes » de la campagne agricole 2009-2010. Le **mois de juillet, moment des récoltes, apparaît clairement comme celui où ont lieu le plus d'ajustements**. Le mois de septembre, moment de préparation et des commandes d'intrants pour les cultures d'automne, a fait l'objet de moitié moins d'ajustements. Les mois de novembre, moment des semis de cultures d'hiver, et de mars, moment de préparation des cultures de printemps, arrivent ensuite, avant les mois de janvier et mai qui font l'objet du moins d'ajustements. Cette distribution temporelle des ajustements est peut-être conditionnée par le contexte spécifique de la campagne 2009-2010 (ex : annonce de la prime aux protéagineux pour 2010, très fortes gelées hivernales) et pourrait toutefois être différente pour d'autres années.

4.3.3) Déterminants des décisions d'ajustements infra-annuels

Nous listons ci-dessous les déterminants des décisions d'ajustements que nous avons identifiés, pour chaque « moment fixe » d'ajustement d'une campagne agricole.

Juillet n

Prix de vente de la culture à la moisson n : trop faible, normal ou attractif
 Date des récoltes : normale ou tardive
 Quantité et qualité des récoltes des cultures n : normale ou mauvaise
 Etat des cultures n encore sur pied : normal ou problématique
 Conditions de récolte n : favorables ou défavorables
 Organisation du travail : favorable ou défavorable
 Pluviométrie après la récolte : suffisante ou insuffisante

Septembre n

Rendements fourragers des prairies en année n (après toutes les coupes de l'année n) : suffisants ou insuffisants
Surface autorisée en blé tendre semence par la coopérative de semences partenaire de l'exploitation (spécifique de la zone étudiée ; d'autres terrains pourraient révéler d'autres contraintes concernant les débouchés ou les cahiers des charges des coopératives)
 Obligations réglementaires pour n+1 et opportunités de primes pour n+1
 Prix de vente des cultures en septembre n et tendance d'évolution du prix de vente depuis juillet n : trop faible, normal ou attractif ; en hausse, stable, ou en baisse
 Conditions de semis du colza : favorables ou défavorables

Novembre n

Obligations réglementaires pour n+1 et opportunités de primes pour n+1
 Conditions de semis des cultures d'hiver : favorables ou défavorables
 Organisation du travail : favorable ou défavorable

Janvier n+1

Prix de vente des cultures en janvier n+1 et tendance d'évolution du prix de vente depuis juillet n : trop faible, normal ou attractif ; en hausse, stable, ou en baisse

Gel ou dégâts des cultures d'hiver : négligeable ou important

Obligations réglementaires pour n+1 et opportunités de primes pour n+1

Mars n+1

Gel ou dégâts des cultures d'hiver : négligeable ou important

Salissement des prairies (en particulier des luzernes) : négligeable ou important

Conditions de semis des cultures de printemps : favorables ou défavorables

Autorisation du volume d'eau d'irrigation pour la campagne n+1 (spécifique de la zone étudiée et de son mode de gestion de l'irrigation)

Mai n+1

Salissement des prairies : négligeable ou important

Rendements fourragers à la 1^{ère} coupe de la campagne n+1 : suffisants ou insuffisants

Conditions de semis des cultures de printemps : favorables ou défavorables

Organisation du travail : favorable ou défavorable

La Figure 4. 15 explicite les **déterminants des décisions d'ajustements qui ont joué au cours de la campagne 2009-2010** pour les neuf EA enquêtées. Notons que le nombre et les déterminants des décisions d'ajustements pourraient différer pour une autre année, en raison de la variabilité climatique et de la fluctuation des prix de vente d'une année à l'autre.

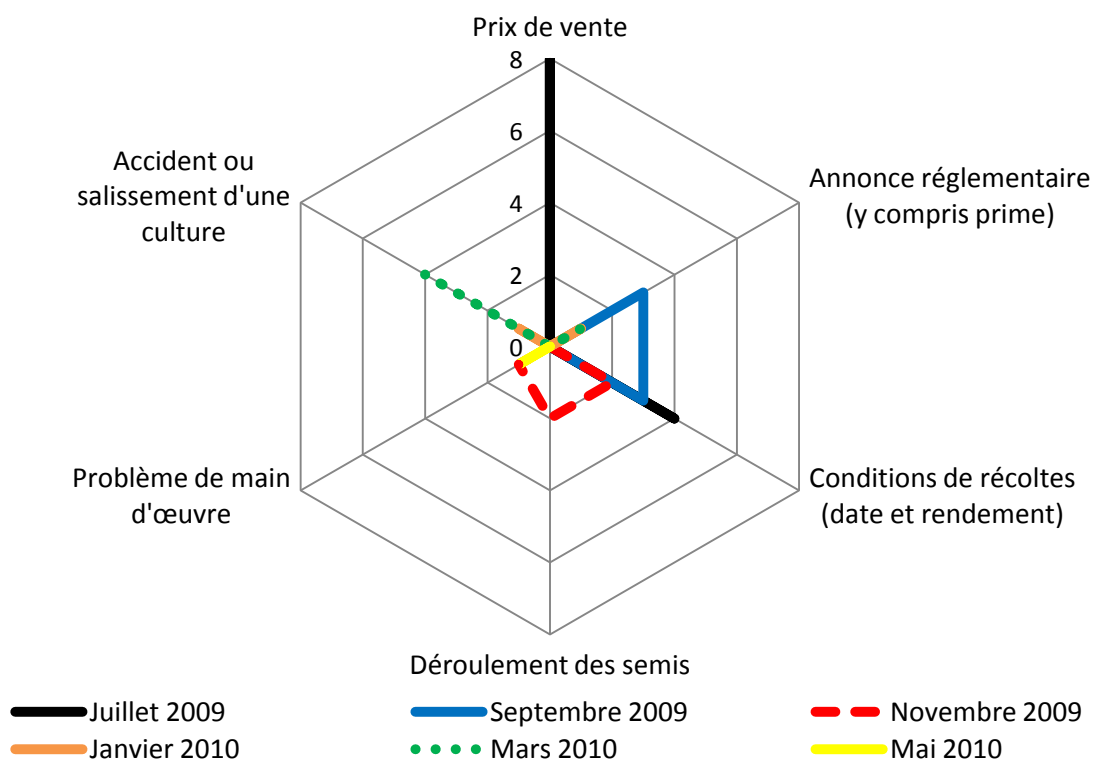


Figure 4. 15 : Déterminants des décisions d'ajustements infra-annuels au cours de la campagne 2009-2010 pour neuf exploitations enquêtées dans la plaine de Niort. Inspiré de (Dury et al., 2010)

- Les ajustements du mois de juillet 2009 ont tous été liés aux moissons : soit via le prix de vente des cultures au moment des moissons, soit via le déroulement même des récoltes (date, rendement). Ces résultats concordent avec d'autres enquêtes réalisées en France en 2009, et qui ont montré que les déterminants des ajustements pendant l'été étaient surtout des déterminants économiques (Dury et al., 2010).
- Les ajustements de septembre 2009 ont été déterminés de façon équivalente par une annonce de prime pour les protéagineux pour 2010 (déterminant spécifique à cette année, qui a incité les agriculteurs à introduire ou augmenter une sole de pois) et par les conditions de récolte (ici essentiellement les récoltes de fourrages de fin d'été). Septembre correspond à la période où les agriculteurs achètent généralement les semences et les intrants pour les cultures d'hiver. Pour estimer leurs besoins en semences et intrants, les agriculteurs ont besoin de connaître les tailles de sole des cultures et leur allocation aux parcelles. La planification d'allocation des cultures d'hiver ne fait donc plus beaucoup l'objet d'ajustements après septembre.
- Les ajustements de novembre 2009 ont surtout été liés à des facteurs techniques (récoltes de fourrages insuffisantes, déroulement des semis des cultures d'hiver), ainsi qu'à un facteur organisationnel (problème de main d'œuvre au moment des semis). Ces résultats concordent également ceux de (Dury et al., 2010), qui indiquaient que les facteurs techniques intervenaient surtout à l'automne.
- Les rares ajustements de janvier 2010 ont été dus à l'annonce de l'autorisation de labour des prairies de moins de 5 ans en 2010, et à un accident de gel sur une culture (colza). Le mois de janvier correspond à la période où les agriculteurs achètent généralement les semences et les intrants pour les cultures de printemps, ce qui nécessite de connaître les tailles de sole des cultures et leur allocation aux parcelles. La planification d'allocation des cultures de printemps ne fait donc plus beaucoup l'objet d'ajustements après janvier (sauf réactions à des imprévus).
- Les ajustements de mars 2010 ont surtout été dus à des accidents de gel très marqués en 2010, et à l'annonce de l'obligation de couverts végétaux hivernaux pour 2010 qui a incité les agriculteurs à implanter des couverts de production de semences de CIPAN (Culture Intermédiaire Piège A Nitrates) pour leur propre utilisation. Les enquêtes de (Dury et al., 2010) avaient montré pour d'autres régions (Beauce, Sud-Ouest) que les contrats avec les opérateurs économiques jouaient aussi un rôle prépondérant dans les ajustements d'assolement au printemps.
- Enfin, un ajustement en mai 2010 a concerné une seule exploitation ayant eu un problème de main d'œuvre au moment des semis des cultures de printemps.

Nous pourrions identifier les déterminants des décisions d'ajustements infra-annuels pour d'autres années et vérifier si la distribution temporelle des ajustements et de leurs déterminants associés est semblable à 2009-2010. **Les déterminants d'ajustements identifiés comme génériques d'une EA à l'autre et d'une année à l'autre pourraient alors être demandés en entrée du modèle DYSPALLOC.** Ceux-ci pourraient ensuite être intégrés dans des règles de décisions (qui restent toutefois à identifier) servant à simuler les décisions d'ajustements infra-annuels.

4.3.4) Une grande variabilité de décisions d'ajustements entre exploitations

Comparons enfin les décisions d'ajustements entre EA. **En moyenne, sur la campagne 2009-2010, chaque agriculteur a réalisé des ajustements qui ont concerné 17% (+/- 10%) des parcelles, ce qui correspondait à 20% (+/- 16%) de la surface de l'exploitation.** Ces ajustements concernaient peu les limites des parcelles : quatre ajustements seulement ont donné lieu à des redécoupages de parcelles parmi les 31 ajustements identifiés sur les neuf EA. La plupart des limites de parcelles temporaires avait en effet été planifiée dès le mois de mai 2009. La plupart des ajustements concernaient le choix des cultures complémentaires au sein d'un groupe de cultures complémentaires : environ la **moitié de la surface ajustée totale (9% sur 20%) correspondait à des précisions ou modifications de cultures complémentaires au sein d'un groupe** de cultures complémentaires. Enfin, en 2009-2010, 3% (+/- 5 %) de la surface a été ajustée en raison d'un accident sur les cultures (gel, salissement), c'est-à-dire que l'agriculteur a, en cours de campagne, remplacé une culture qui était déjà en place, par une autre. Ce type d'ajustement diffère des précédents ajustements évoqués qui ne se traduisaient pas par un acte technique dans la parcelle (l'ajustement se passait uniquement « dans la tête de l'agriculteur »).

Ces résultats suggèrent que la planification d'assolement réalisée en mai n pour l'année $n+1$ peut être modifiée dans environ un cinquième de l'exploitation. La planification d'assolement simulée par DYSPALLOC pourrait donc différer, pour environ un cinquième de l'exploitation, de l'assolement réalisé et observable en année $n+1$.

La Figure 4. 16 présente, EA par EA, le pourcentage de parcelles et de surface de l'EA ayant fait l'objet d'ajustements en 2009-2010. Le pourcentage de parcelles ajustées varie entre 4 et 32%, tandis que la surface ajustée varie entre 1 et 44%, ce qui montre que **le nombre d'ajustements réalisés au cours d'une année varie considérablement d'une EA à l'autre.**

Il apparaît toutefois difficile de relier ces ajustements à l'orientation de production des EA, car les céréaliers (EA 3, 4, 6, 11) comme les éleveurs (EA 1, 5, 7, 8, 12) montrent une grande variabilité du nombre d'ajustements réalisés. De même, il ne semble pas se dégager de lien entre la SAU de l'EA et la tendance de l'agriculteur à ajuster ses décisions d'assolement (EA de plus de 90 ha : 1, 5, 11, 12). On ne peut pas non plus associer une tendance plus forte à ajuster la planification des assolements aux EA qui irriguent, car les décisions d'ajustements de la campagne 2009-2010 n'ont pas été déterminées par le facteur disponibilité en eau (alors que ce dernier est cité par les agriculteurs irrigants, cf. Annexe 5).

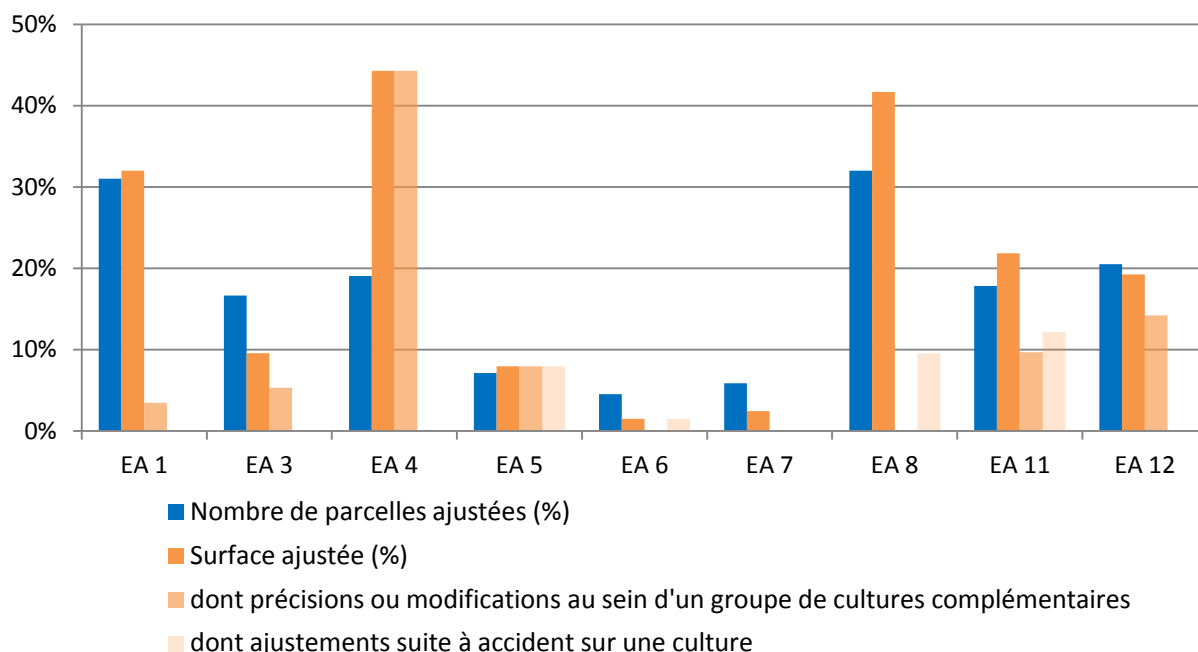


Figure 4. 16 : Pourcentage de parcelles et de surface affectées par des décisions d'ajustements infra-annuels, pour chacune des neuf exploitations enquêtées dans la plaine de Niort (2009-2010)

A ce stade, il est difficile de savoir dans quelle mesure la variabilité du nombre d'ajustements entre EA est due à une variabilité des règles de décisions et des seuils utilisés pour déclencher ces règles, et dans quelle mesure elle est due à une variabilité des contextes internes aux EA (aléas internes aux EA). En outre, **en ce qui concerne les seuils de déclenchement des règles d'ajustements, il est apparu extrêmement délicat :**

- **De faire expliciter la valeur de ces seuils aux agriculteurs.** Ces derniers parvenaient à parler des seuils *a posteriori* (par exemple « le prix était trop bas, donc finalement j'ai réduit la surface de telle culture »), mais il était difficile pour eux de les exprimer *a priori*. Certains agriculteurs, à force de questions, sont parvenus à donner des fourchettes et à exprimer des seuils sous forme de logique floue. Par exemple, « en-dessous de 120 €/t, je n'augmenterai pas la sole de blé dur ; au-dessus de 180 €/t, j'augmenterai la sole de blé dur ; entre les deux, il faudra voir ». Dans de nombreux cas toutefois, les seuils n'ont pas pu être exprimés *a priori*.
- **Et surtout de comprendre de quoi dépend la valeur de ces seuils.**

C'est ce qui a constitué l'obstacle majeur à la modélisation et la simulation des décisions d'ajustements infra-annuels dans DYSPALLOCC.

Ainsi, nous n'avons actuellement pas intégré les décisions d'ajustements à DYSPALLOCC. Il serait toutefois envisageable de simuler *a minima* le choix d'une culture parmi les cultures des groupes de cultures complémentaires, en fonction de déterminants économiques (prix de vente des cultures aux moissons de l'année *n* par exemple). Ceci permettrait d'avoir en sortie de DYSPALLOCC un assolement planifié avec une seule culture allouée par parcelle.

Conclusion du chapitre 4

A partir d'enquêtes en EA dans la plaine de Niort et de la méthode de l'étude de cas, nous avons construit le modèle DYSPALLOC (conceptual model of decisions for DYnamic and SPatially explicit ALLOcation of Crops to land). Il a pour but de simuler l'organisation spatiale des cultures d'une année à l'autre à l'échelle de l'EA, *via* la représentation des décisions de planification d'assolement de l'agriculteur, dans ses dimensions spatiale et temporelle. DYSPALLOC fonctionne dans des phases de vie de l'EA au cours desquelles les décisions stratégiques de l'agriculteur sont stabilisées (limites externes du parcellaire, choix des cultures possibles, grandes règles de successions de cultures, etc.). Ces phases sont appelées phases de cohérence.

DYSPALLOC simule tout d'abord des décisions de planification stratégique (hiérarchisation fonctionnelle des cultures, définition des îlots élémentaires, zones cultivables, blocs de cultures et parcelles fixes), puis des décisions de planification annuelle (identification des parcelles temporaires et des zones cultivables annuelles des cultures, allocation obligatoire de cultures à certaines parcelles, et planification d'allocation des cultures ou groupes de cultures aux autres parcelles).

DYSPALLOC permet de (i) rendre compte des variables de décision et entités de gestion que mobilise un agriculteur pour planifier un assolement $n+1$ en mai n , (ii) simuler la planification d'allocation spatiale des cultures aux parcelles, et (iii) qualifier les limites de parcelles au sein des îlots PAC en fonction de leurs déterminants et de leur temporalité (limites d'îlots élémentaires, de parcelles fixes, et de parcelles temporaires).

Les décisions d'ajustements infra-annuels identifiées par enquêtes permettent d'expliquer les écarts entre assolement planifié en mai n par l'agriculteur et assolement finalement réalisé en mai $n+1$. Ces décisions d'ajustements ont lieu à des moments relativement fixes dans l'année. Les déterminants de ces ajustements, qui sont pour partie communs entre EA, varient au cours de l'année. Les règles de décisions et les seuils utilisés pour déclencher ces règles varient toutefois énormément entre EA et sont difficiles à prévoir, si bien qu'il n'a à ce stade pas été possible d'intégrer les décisions d'ajustements infra-annuels dans le modèle DYSPALLOC.

Evaluation du modèle DYSPALLOC à l'échelle de l'exploitation agricole



Dans ce chapitre, nous présentons l'évaluation du modèle DYSPALLOC à l'échelle de l'exploitation agricole (EA), puis discutons de ses apports et de ses limites. Rappelons que le modèle DYSPALLOC donne deux types de sorties : d'une part une planification d'assolement à l'échelle de l'EA, et d'autre part une qualification des parcelles de l'EA en fonction de la temporalité et des déterminants de leurs limites (concepts d'îlots élémentaires, parcelles fixes, et parcelles temporaires, décrits au chapitre précédent).

Nous avons choisi d'évaluer DYSPALLOC en deux étapes :

- d'abord *via* une **validation opérationnelle** (Rykiel, 1996). Celle-ci vise à valider le fonctionnement global du modèle, en démontrant que les sorties du modèle reproduisent correctement le système modélisé (sans toutefois vérifier si la structure et les concepts internes au modèle sont corrects). Pour DYSPALLOC, la validation opérationnelle aura pour but **d'évaluer la qualité des planifications d'assolement simulées, par rapport aux planifications réelles observées.**
- puis *via* une **validation conceptuelle** (Rykiel, 1996). Celle-ci vise à vérifier que les théories et concepts sous-jacents au modèle sont corrects (sans toutefois garantir que le modèle ait une grande qualité prédictive). Pour DYSPALLOC, la validation conceptuelle aura pour but **d'évaluer la pertinence des concepts de parcelles fixes et parcelles temporaires introduits dans le modèle.** Nous chercherons à évaluer les hypothèses de construction de ces concepts, en menant une expérimentation virtuelle avec un outil de simulation informatique.

Nous présentons d'abord la validation opérationnelle du modèle (section 5.1), puis la validation conceptuelle (section 5.2), avant de discuter brièvement des apports et limites du modèle (section 5.3).

5.1) Validation opérationnelle du modèle DYSPALLOC

5.1.1) Rappel de la démarche et des données utilisées pour la validation opérationnelle

Nous souhaitons ici **comparer les assolements planifiés simulés par DYSPALLOC aux assolements planifiés réels identifiés par enquêtes** auprès des agriculteurs. Nous avons réalisé cette comparaison pour cinq exploitations enquêtées en 2009-2010 dans la plaine de Niort¹ (EA numéro 1, 4, 5, 6, 8 ; cf. Chapitre 2). Nous avons simulé avec DYSPALLOC l'assolement planifié en mai 2009 pour l'année 2010, et comparé le résultat du modèle avec l'assolement planifié réel de l'agriculteur (en mai 2009 pour 2010), identifié par enquête. Avant de présenter les résultats de cette comparaison pour les 5 EA, nous expliquons dans l'Encadré 1 comment nous avons concrètement appliqué le modèle DYSPALLOC à ces EA.

¹ Nous rappelons que, parmi les 12 EA enquêtées en 2009-2010 dans la plaine de Niort : 4 EA ont été utilisées pour construire/calibrer le modèle DYSPALLOC ; et 3 EA ont été « écartées » de la construction et de la validation du modèle car elles se situaient dans des phases de rupture au moment des enquêtes, alors que DYSPALLOC est utilisé pour des EA dans des phases de cohérence.

Encadré 1. Exemple d'application du modèle DYSPALLOCC sur l'exploitation numéro 8

Nous commençons par rechercher, dans les comptes-rendus des enquêtes, les informations nécessaires pour renseigner les données d'entrée : cultures possibles sur l'EA, fonctions devant être remplies sur l'EA, données sur le parcellaire, règles de successions de cultures (délai de retour, etc.), tailles de soles, et assolement 2009. L'assolement 2009 avait été relevé sur des cartes « papier » lors des enquêtes, et les limites des parcelles de l'année 2009 avaient été dessinées à l'intérieur des îlots PAC (exemple à la Figure 5. 1). Pour l'EA 8, il y avait trois limites de parcelles à l'intérieur des îlots PAC en 2009.

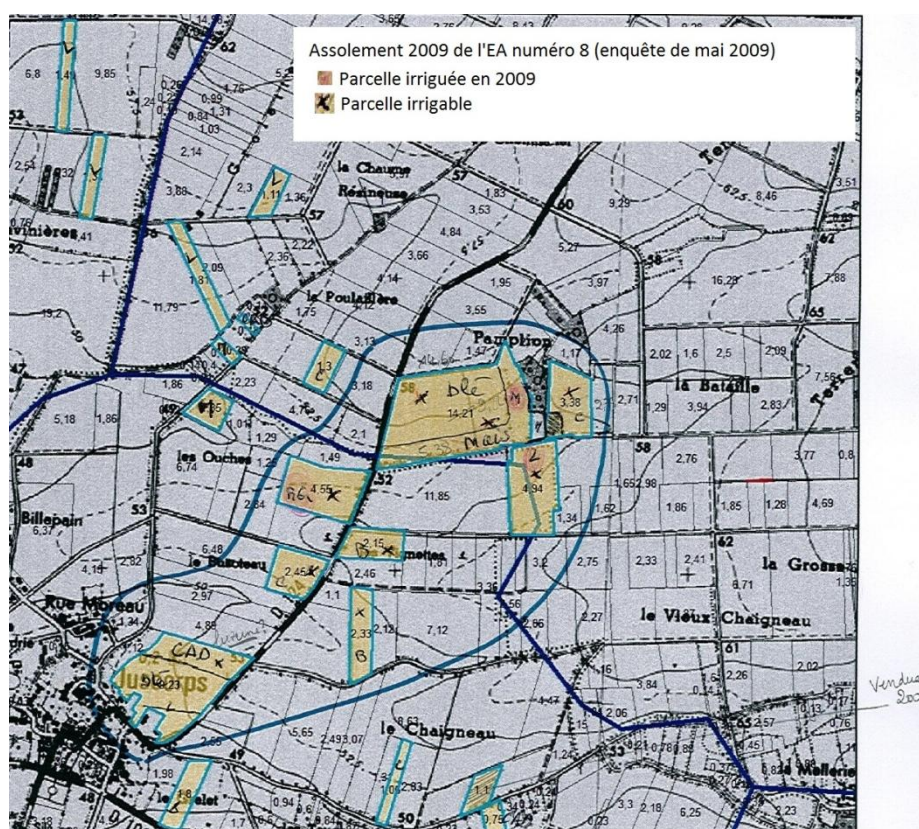


Figure 5. 1 : Exemple d'assolement 2009 relevé par enquête en mai 2009 (exploitation numéro 8)

Ensuite, nous procédons « à la main » aux huit étapes de DYSPALLOCC. Les résultats sont synthétisés dans un tableau de la même forme pour toutes les EA (cf. Tableau 5. 1).

Pour l'EA 8, nous avons 8 cultures possibles et 10 fonctions à assurer sur l'EA¹. Les règles de décisions (RDD) 1 à 4 de l'étape 1 « hiérarchisation fonctionnelle des cultures » conduisent à identifier cinq cultures prioritaires (blé tendre, maïs grain en sec, ray-grass, luzerne et jachère, car ces cultures remplissent des fonctions remplies par aucune autre culture), une culture facultative (moha), deux cultures complémentaires (colza et tournesol), d'où un groupe de cultures complémentaires (colza et tournesol, fonctions vente et rotation).

¹ Revenu de sécurité (blé tendre), vente (colza, tournesol), affouragement de sécurité (luzerne), affouragement en énergie fourrages grossiers (ray-grass), affouragement en énergie fourrages concentrés (maïs), affouragement équilibré fauche (moha), approvisionnement en pailles (blé tendre), tête de rotation (colza, tournesol), obligation réglementaire (jachère), valorisation de terrains difficiles (jachère).

L'EA 8 a 21 îlots PAC¹ (SAU de 62,15 ha). Les données d'entrée sur les caractéristiques individuelles des îlots PAC et les RDD 5 à 8 de l'étape 2 « définition des îlots élémentaires » conduisent à qualifier une limite de parcelle (de 2009) de limite d'îlot élémentaire (dans l'îlot PAC de 14,6 ha, en raison d'une hétérogénéité de types de sol). Les îlots élémentaires définis par cette limite (5,38 et 9,22 ha) figurent en vert foncé dans le Tableau 5. 1.

Les RDD 9 à 15 de l'étape 3 « définition des zones cultivables » permettent ensuite d'établir la liste des cultures potentiellement cultivables dans chaque îlot élémentaire pour toute la phase de cohérence (en fonction des types de sols, de la surface des îlots, etc.). Les îlots élémentaires sont alors regroupés par blocs de cultures (étape 4). Pour l'EA 8, nous avons trois blocs : un bloc avec seulement la culture jachère (petits îlots) ; un bloc avec toutes les cultures (sur sols profonds et/ou irrigables) ; et un bloc avec toutes les cultures sauf le maïs (sur sols de groies en sec). Ensuite, les RDD 16 et 17 de l'étape 5 « définition des parcelles fixes » permettent de qualifier, pour l'EA 8, une limite de parcelle (de 2009) comme étant une limite de parcelle fixe : ceci conduit à définir deux parcelles fixes (2,55 et 6,68 ha) dans l'îlot élémentaire de 9,23 ha. Ces parcelles fixes apparaissent en vert dans le Tableau 5. 1.

Puis, les autres limites de parcelles sont qualifiées de limites de parcelles temporaires au cours de l'étape 6 « identification des parcelles temporaires et des allocations possibles de cultures aux parcelles ». Pour l'EA 8, il reste une limite (dans la parcelle fixe de 6,68 ha) : cette dernière permet de définir 2 parcelles temporaires (4,8 et 1,88 ha), qui apparaissent en vert clair dans le Tableau 5. 1. La RDD 18 de l'étape 6 conduit ensuite à identifier les cultures effectivement possibles² dans chaque parcelle pour 2010 (7^{ème} colonne du Tableau 5. 1). Lorsqu'une seule culture est possible dans une parcelle, la parcelle est appelée « parcelle à choix unique » et la case est affichée en jaune. Le modèle alloue alors obligatoirement cette culture à la parcelle pour l'année 2010 (étape 7). C'était le cas des parcelles en jachère et en luzerne en 2009 et qui devaient rester en jachère et en luzerne en 2010 (Tableau 5. 1).

Dans les autres parcelles, où plusieurs cultures sont possibles, les RDD 19 à 23 de l'étape 8 permettent d'allouer une culture ou un groupe de cultures dans chaque parcelle de l'année 2009. On calcule l'écart de surface entre la zone cultivable annuelle et la taille de sole de chaque culture (ou groupe de cultures) (variable [CROP AREA GAP]), puis on alloue les cultures prioritaires par écart de surface croissant, et enfin les groupes de cultures complémentaires (un seul groupe pour l'EA 8). Il ne restait plus de surface pour allouer des cultures facultatives (ici le moha). Le détail du processus d'allocation des cultures au cours de l'étape 8 est donné au Tableau 5. 2.

¹ Les **groupes d'îlots PAC sont en italique** dans le Tableau 5. 1. Dans l'EA 8, les îlots de 1,11, 1,31, 1,49 et 1,81ha formaient un groupe d'îlots PAC, et devaient être cultivés avec la même culture une année donnée.

² Rappelons que les transitions entre cultures d'une année à l'autre peuvent être : obligatoire, interdite, possible, ou à éviter. **Lorsqu'une culture est possible dans une parcelle mais à éviter, elle est inscrite entre parenthèses.** Par exemple, dans l'EA 8, après une luzerne qui a duré 5 ans, un blé ou un tournesol sont possibles, mais le tournesol est à éviter (cas des parcelles numéros 16 et 22). Les luzernes qui n'avaient pas encore duré 5 ans devaient quant à elles rester en place (parcelles numéros 5, 7, 9, 11, 15 et 19) (Tableau 5. 1).

Tableau 5. 1 : Données utilisées pour la validation opérationnelle de DYSPALLOC. Exemple de l'exploitation numéro 8

Identifiant	Ilots PAC (ha)	Ilots élémentaires (ha)	Parcelles fixes (ha)	Parcelles temporaires (ha)	Culture 2009	Culture(s) possible(s) pour 2010	Allocation planifiée simulée	Allocation planifiée réelle	Allocation finale réelle
1	0,18	0,18	0,18	0,18	J	J	J	J	J
2	0,39	0,39	0,39	0,39	M	(BT T Moha) M	M	M	M
3	0,75	0,75	0,75	0,75	J	J	J	J	J
4	1,06	1,06	1,06	1,06	C	BT (Moha)	BT	BT	BT
5	1,11	1,11	1,11	1,11	LUZ	LUZ	LUZ	LUZ	LUZ
6	1,3	1,3	1,3	1,3	C	BT (Moha)	BT	BT	BT
7	1,31	1,31	1,31	1,31	LUZ	LUZ	LUZ	LUZ	LUZ
8	1,35	1,35	1,35	1,35	M	(BT T Moha) M	M	M	M
9	1,49	1,49	1,49	1,49	LUZ	LUZ	LUZ	LUZ	LUZ
10	1,8	1,8	1,8	1,8	BT	BT C T RG LUZ (Moha)	Groupe C T	C	BT
11	1,81	1,81	1,81	1,81	LUZ	LUZ	LUZ	LUZ	LUZ
12	2,15	2,15	2,15	2,15	BT	BT C T RG LUZ (Moha)	LUZ	C	C
13	2,33	2,33	2,33	2,33	BT	BT C T RG LUZ (Moha)	LUZ	C	C
14	2,45	2,45	2,45	2,45	C	BT (Moha)	BT	BT	BT
15	3,23	3,23	3,23	3,23	LUZ	LUZ	LUZ	LUZ	LUZ
16	3,37	3,37	3,37	3,37	LUZ	BT (T)	BT	BT	T
17	2,75	2,75	2,75	2,75	C	BT (Moha)	BT	BT ou RG	BT
18	4,55	4,55	4,55	4,55	RG	BT C T (Moha)	Groupe C T	BT	C
19	4,94	4,94	4,94	4,94	LUZ	LUZ	LUZ	LUZ	LUZ
20	9,23	9,23	2,55	2,55	LUZ	LUZ BT (T)	LUZ	LUZ	T
21			6,68	4,8	BT	BT C T RG (Moha)	RG	RG	BT
22				1,88	LUZ	BT (T)	BT	RG	
23	14,6	5,38	5,38	5,38	M	(BT T Moha) M	M	M	M
24		9,22	9,22	9,22	BT	BT C T RG LUZ (Moha)	BT	BT : 2 ha	LUZ mélange : 4,22 ha
25								LUZ : 7,22 ha	LUZ : 5 ha

J=jachère ; BT=blé tendre ; C=colza ; T=tournesol ; LUZ=luzerne ; RG=ray grass ; M=maïs

Tableau 5. 2 : Détails des étapes d'allocation des cultures et groupes de cultures aux parcelles pour l'EA 8 (étape 8 du modèle DYSPALLOC)

	Zone cultivable annuelle 2010 (ha)	Taille de sole optimale donnée en entrée (ha)	Ecart de surface [CROP AREA GAP] (ha)
Blé tendre	47,33	20	27,33
Maïs grain en sec	7,12	7	0,12
Ray-grass	20,3	4	16,3
Luzerne	31,94	21	10,94
➔ On alloue d'abord le maïs dans toute sa zone cultivable annuelle : Parcelles numéros 2, 8, 23 : $0,39+1,35+5,38 = 7,12$ ha			
On recalcule les zones cultivables et l'écart de surface :			
Blé tendre	40,21	20	20,21
Ray-grass	20,3	4	16,3
Luzerne	31,94	21	10,94
➔ On alloue ensuite la luzerne en préférant les parcelles irrigables et proches du siège : Parcelles numéros 12, 13, 20 : $2,15+2,33+2,55 = 7,03$ ha soit 20,92 ha en tout			
On recalcule les zones cultivables et l'écart de surface :			
Blé tendre	33,18	20	13,18
Ray-grass	15,82	4	11,82
➔ On alloue ensuite le ray-grass à la parcelle 21 : 4,8 ha (minimisation du nombre de parcelles)			
On recalcule les zones cultivables et l'écart de surface :			
BT grain	28,38	20	8,38
➔ On alloue enfin le blé tendre en priorisant les parcelles où les autres cultures sont à éviter : Parcelles numéros 4, 6, 14, 16, 17, 22, 24, 25 : $1,06+1,3+2,45+3,37+2,75+1,88+9,22 = 22,03$ ha			
➔ On alloue pour terminer le groupe de cultures complémentaires « colza tournesol » (taille de sole minimum du groupe = 5 ha) aux parcelles numéros 10 et 18 : $1,8+4,55 = 6,35$ ha			

Après avoir appliqué DYSPALLOC sur chacune des cinq EA, nous obtenons un assolement planifié simulé pour 2010 (8^{ème} colonne du Tableau 5. 1). C'est cet assolement que nous comparons à l'assolement planifié réel pour 2010, identifié auprès de l'agriculteur (9^{ème} colonne du Tableau 5. 1).

Pour cela, **nous considérons les cultures allouées dans les parcelles formées par les plus petits découpages de DYSPALLOC et de l'agriculteur**. Par exemple, on considère deux parcelles si DYSPALLOC a distingué deux parcelles temporaires (alors que l'agriculteur a réuni ces deux parcelles) et on considère également deux parcelles si l'agriculteur a distingué deux parcelles temporaires alors que DYSPALLOC n'en a considéré qu'une seule (cas de la parcelle de 9,22 ha dans l'EA 8, découpée par l'agriculteur mais pas par DYSPALLOC, cf. Tableau 5. 1).

Pour chaque EA, nous comparons donc, parcelle par parcelle (au sens de plus petit découpage), les cultures planifiées par le modèle et planifiées par l'agriculteur.

- Si au moins une culture est commune entre la planification simulée par DYSPALLOC et la planification réelle de l'agriculteur, alors nous considérons que le modèle a simulé une planification correcte d'allocation de culture dans une parcelle. DYSPALLOC alloue en effet, soit une culture, soit un groupe de cultures, et l'agriculteur peut planifier soit une culture unique, soit hésiter entre plusieurs cultures pour une même parcelle. Nous considérons que le modèle a réussi si au moins une des cultures est commune : par exemple, pour l'EA 8, dans la parcelle numéro 10, DYSPALLOC a alloué le groupe de cultures « colza tournesol » et nous avons considéré cette allocation correcte car l'agriculteur avait planifié « colza ». De la même façon, dans la parcelle numéro 17, DYSPALLOC a alloué du blé tendre, et nous avons considéré cette allocation correcte car l'agriculteur hésitait entre blé tendre et ray-grass (Tableau 5. 1).

- Si le modèle alloue une culture (ou un groupe de cultures) qui ne fait pas partie du tout de la planification de l'agriculteur, alors nous considérons qu'il s'agit d'une erreur du modèle, et la case figure en rouge dans le Tableau 5. 1. Dans l'EA 8 par exemple, DYSPALLOC a commis des erreurs dans cinq parcelles (sur 25 parcelles), soit un taux de réussite de 80%. Les 20 parcelles dans lesquelles DYSPALLOC a correctement alloué une culture ou un groupe de cultures, représentaient 44,02 ha sur 62,15 ha, soit 70,8% de réussite en termes de surface.

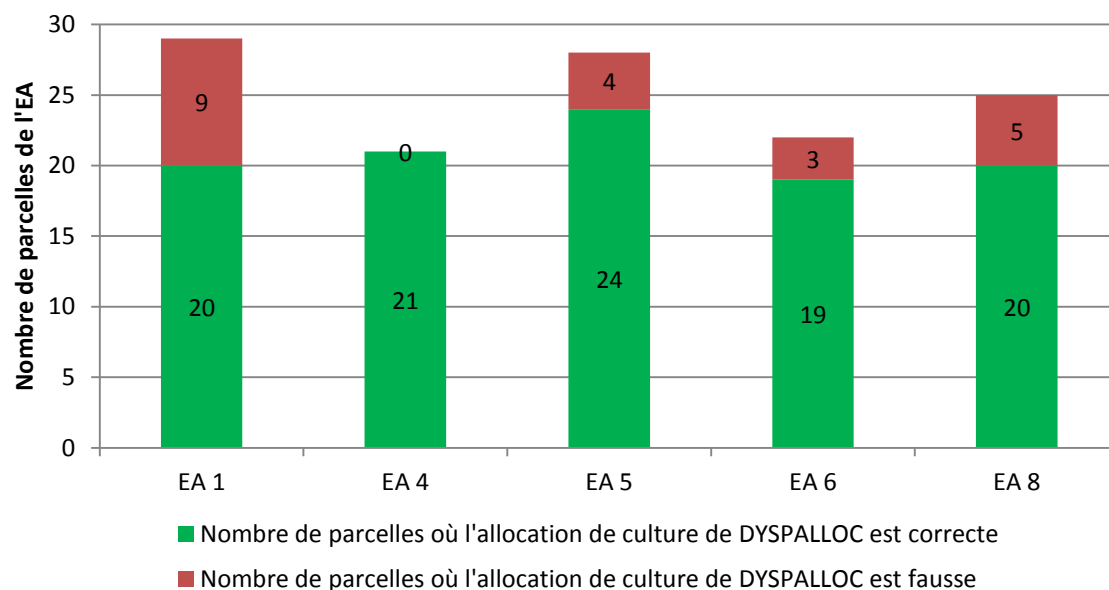
Remarque : lorsque l'agriculteur a réalisé un ajustement infra-annuel entre la planification et la réalisation de l'assolement 2010, la case est mise en gras dans la dernière colonne (ex : parcelle numéro 16 dans le Tableau 5. 1).

Nous présentons maintenant les résultats de la comparaison entre assolements planifiés simulés et assolement planifiés réels, pour les cinq EA retenues pour la validation opérationnelle. Les résultats de la même comparaison pour les quatre EA ayant servi à la construction/calibration du modèle figurent dans l'annexe 6.

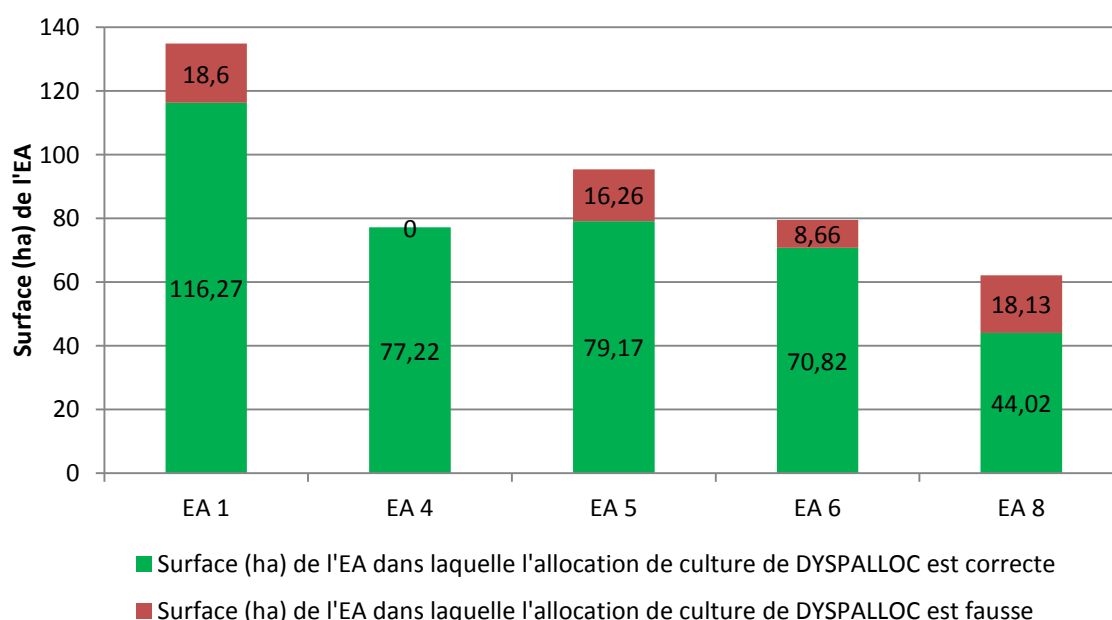
5.2.2) Evaluation de la planification d'allocation spatiale des cultures simulée par DYSPALLOC

La Figure 5. 2 présente les résultats de planification d'allocation spatiale des cultures simulée par DYSPALLOC pour chacune des cinq EA, en nombre de parcelles correctement allouées (Figure 5. 2(a)), et en surface correctement allouée (Figure 5. 2(b)). Ceci se traduit par un **pourcentage de réussite du modèle de 69 à 100% en nombre de parcelles (83% en moyenne), et de 71 à 100% en surface (86% en moyenne)**. Ces résultats nous semblent donc satisfaisants et suggèrent que DYSPALLOC représente correctement les résultats du processus de planification d'assolement des agriculteurs à l'échelle de l'EA.

Notons qu'une partie des erreurs commises peut être due à la surestimation possible des zones cultivables annuelles des cultures dans DYSPALLOC : nous avons vu, en effet, que les données d'entrée ne renseignaient que l'année n , ce qui ne permet pas de tenir compte des contraintes de délais de retour des cultures supérieurs à 2 ans. Il faudrait envisager de renseigner les années $n-1$, $n-2$, etc. pour réduire cette possible erreur.



(a)



(b)

Figure 5. 2 : Résultats des simulations de planification d'allocation des cultures aux parcelles par DYSPALLOC. (a) Nombre de parcelles de l'EA et (b) Surface de l'EA où l'allocation est correcte vs. fausse (pour cinq EA de la plaine de Niort)

Nous avons vu précédemment que DYSPALLOC simulait la planification d'allocation des cultures aux parcelles en deux étapes : il détermine d'abord les cultures effectivement possibles dans chaque parcelle (étape 6), puis il distingue les parcelles (i) où une seule culture est possible, et (ii) où plusieurs cultures sont possibles. Ainsi, il alloue une culture dite obligatoire dans les parcelles que nous qualifions de « **parcelles à choix unique** »¹

¹ Les « parcelles à choix unique » figurent en jaune dans le Tableau 5. 1 : Données utilisées pour la validation opérationnelle de DYSPALLOC. Exemple de l'exploitation numéro 8 Tableau 5. 1.

(étape 7), et il alloue une culture (ou un groupe de cultures) parmi plusieurs possibles dans les autres parcelles, que nous qualifions de « **parcelles à choix multiples** » (étape 8).

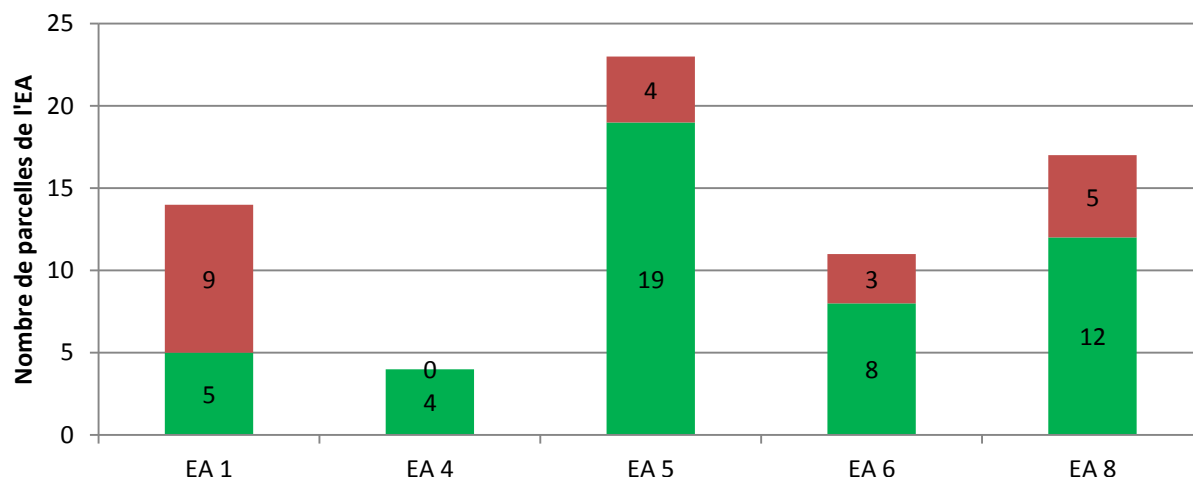
Les **parcelles « à choix unique »** représentent en moyenne **46% des parcelles des cinq EA** (entre 18 et 81% suivant les EA), et les parcelles « à choix multiple » représentent en moyenne 54% des parcelles des cinq EA (entre 19 et 82% des EA). Les parcelles « à choix unique » **traduisent le fait qu’une importante part des transitions entre cultures données en entrée sont des transitions obligatoires** (ou interdites). Le coefficient de corrélation entre le pourcentage de parcelles à choix unique et le pourcentage de transition obligatoire est d’ailleurs de 0,77. Par l’exemple, l’exploitation numéro 4, qui a 81% de parcelles « à choix unique », comporte une grande majorité de transitions entre cultures obligatoires : colza et tournesol sont obligatoirement suivis de blé tendre ; le maïs est cultivé en monoculture ; et la jachère est permanente. Seul le blé tendre est suivi de deux cultures possibles (colza ou tournesol), si bien que le nombre de parcelles « à choix multiples » pour l’année $n+1$ est réduit au nombre de parcelles cultivées en blé tendre en année n . En général, pour les cinq EA, les transitions obligatoires entre cultures concernaient surtout la jachère (permanente), les prairies permanentes et le maïs, souvent cultivé en monoculture.

Nous analysons à présent la réussite du modèle respectivement dans ces deux types de parcelles (choix unique / choix multiple).

- **Dans les parcelles « à choix unique », DYSPALLOC a toujours alloué une culture correcte** : il y avait **100% de réussite dans chacune des cinq EA**. Ceci suggère que le **modèle traduit bien les contraintes liées aux successions de cultures** données en entrée pour une phase de cohérence, et qu’il utilise correctement ces données pour restreindre le nombre de cultures effectivement cultivables en année $n+1$. Le concept de zone cultivable annuelle, qui désigne les parcelles dans lesquelles une culture est effectivement possible pour l’année $n+1$ semble donc pertinent.
- **Dans les parcelles « à choix multiple », DYSPALLOC a alloué en moyenne une culture ou un groupe de cultures correct dans 71% des parcelles**. La Figure 5. 3 représente, pour chaque EA, le nombre de parcelles dans lesquelles DYSPALLOC a correctement alloué une culture (ou un groupe de cultures) parmi les parcelles « à choix multiples ». Dans les cinq EA utilisées pour tester le modèle, le pourcentage de réussite est toujours supérieur à 71% (jusqu’à 100%), sauf dans l’EA 1 où il est seulement de 36%. Ceci peut vraisemblablement s’expliquer (i) par le fait que cette EA comportait 11 cultures¹ et un grand nombre de transitions possibles entre cultures, ce qui accroissait fortement le nombre de cultures possibles par parcelle pour l’année 2010 ; (ii) par le fait que DYSPALLOC n’a pas alloué de groupes de cultures complémentaires dans cette EA, mais seulement des cultures uniques, ce

¹ Ceci ne signifie pas qu’il y avait 11 espèces cultivées différentes. Nous avons utilisé la définition de culture du Chapitre 4, et distingué les cultures en fonction de leurs usages et des fonctions qu’elles remplissent dans l’EA. Nous avons par exemple distingué maïs ensilage pour le fourrage et maïs grain pour la vente, etc.

qui réduisait aussi les chances d'allouer une culture commune avec celle(s) planifiée(s) par l'agriculteur.



■ Nombre de parcelles où l'allocation de culture de DYSPALLOC est correcte parmi les parcelles à choix multiples

■ Nombre de parcelles où l'allocation de culture de DYSPALLOC est fautive parmi les parcelles à choix multiples

Figure 5. 3 : Résultats des simulations de planification d'allocation des cultures aux parcelles par DYSPALLOC, parmi les parcelles « à choix multiples » (pour cinq EA de la plaine de Niort)

Remarque 1 : le pourcentage de réussite dans les parcelles « à choix multiples » conditionne fortement le pourcentage global de réussite à l'échelle de l'EA (coefficient de corrélation de 0,94 entre le nombre de parcelles où l'allocation est correcte parmi celles « à choix multiples » et le nombre de parcelles où l'allocation est correcte à l'échelle de l'EA).

Remarque 2 : nous avons vu que DYSPALLOC allouait aux parcelles, soit une seule culture, soit un groupe de cultures. Dans les cinq EA, **DYSPALLOC a alloué une culture unique dans 93% des parcelles (vs. un groupe de cultures dans seulement 7% des parcelles, i.e. 9 parcelles sur 125)**. Cela signifie que la bonne réussite du modèle n'est donc pas uniquement due au fait que DYSPALLOC alloue un groupe de cultures à certaines parcelles (et accroisse ainsi ses chances de planifier une culture en commun avec celle(s) de l'agriculteur).

Remarque 3 : **dans le cas où DYSPALLOC donne une allocation de culture** (ou groupe de cultures) **fautive à une parcelle** (erreurs dans 21 parcelles sur un total de 125 parcelles dans les cinq EA), nous constatons que **dans 95% des cas** (i.e. 20 parcelles sur 21), **la culture réellement planifiée par l'agriculteur faisait malgré tout partie de la liste des cultures possibles donnée par le modèle**. Ainsi, la liste des cultures effectivement possibles en année n+1, établie dans chaque parcelle par le modèle (en étape 6), semble extrêmement pertinente. La zone cultivable annuelle des cultures a été erronée dans une seule parcelle, dans laquelle l'agriculteur a planifié une transition de cultures donnée comme interdite en entrée de DYSPALLOC. Ceci suggère que la variable « zone cultivable annuelle » calculée par le modèle est sensible à la donnée d'entrée [CROP TRANSITION MATRIX].

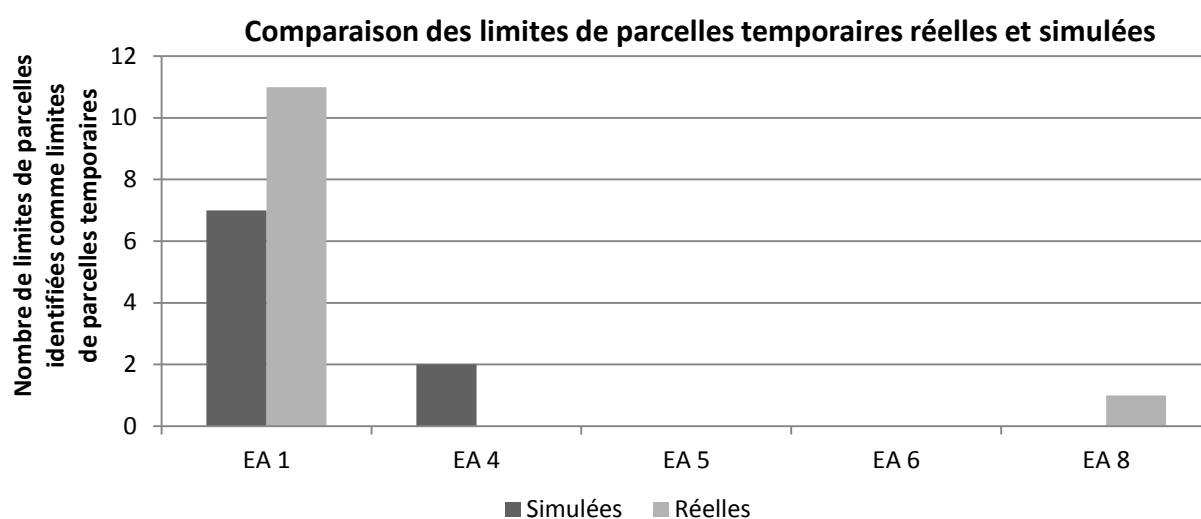
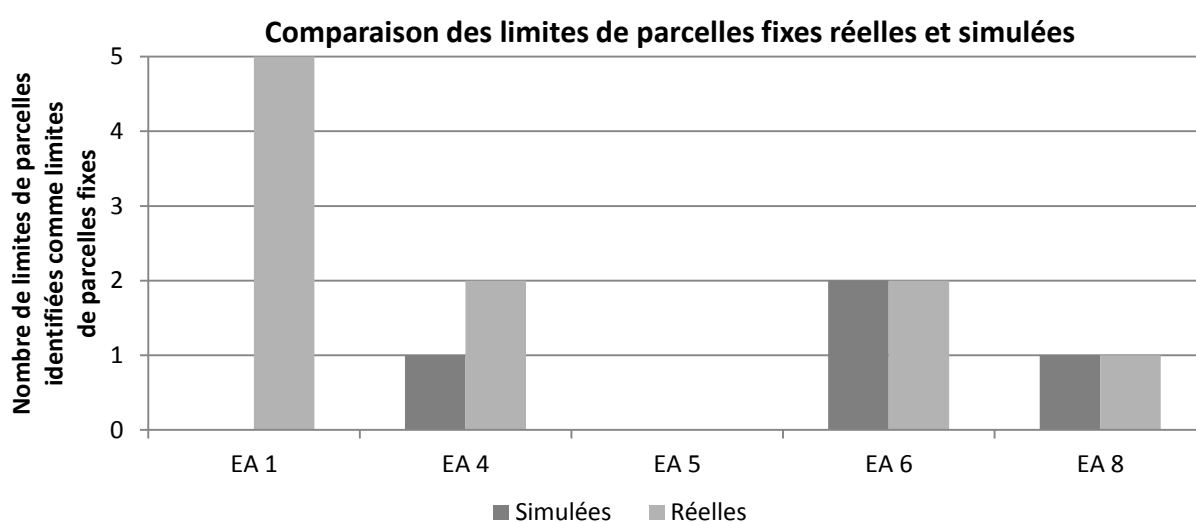
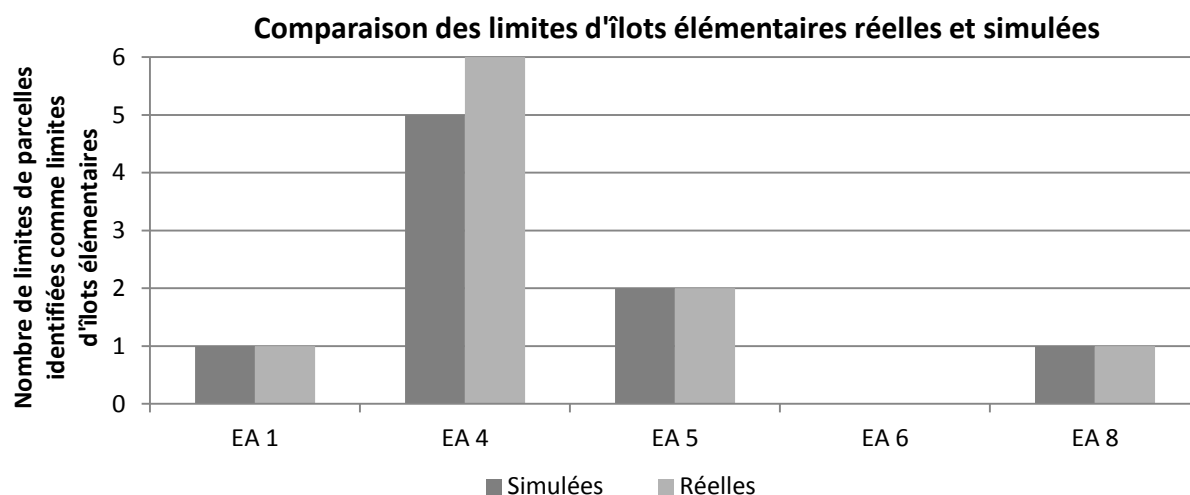
En conclusion, la comparaison des planifications d'assolement 2010 (i) simulées par DYSPALLOC et (ii) réelles des agriculteurs montre que le modèle DYSPALLOC obtient une réussite très satisfaisante avec en moyenne 83% de parcelles de l'EA où l'allocation de culture (ou groupe de cultures) est correcte, et 71% de parcelles où l'allocation est correcte parmi les parcelles « à choix multiples ». Ces résultats suggèrent que les choix de modélisation faits dans DYSPALLOC représentent correctement les décisions de planification d'assolement de l'agriculteur à l'échelle de l'EA.

5.2) Validation des concepts de parcelles fixes et parcelles temporaires introduits dans le modèle DYSPALLOC

Dans cette section, nous évaluons la deuxième sortie du modèle DYSPALLOC : la qualification des limites de parcelles de l'EA. Nous comparons d'abord brièvement les qualifications des limites de parcelles simulées, avec les qualifications de limites de parcelles données par les agriculteurs (section 5.2.1). Après avoir constaté la réussite plutôt réduite du modèle pour qualifier les limites de parcelles fixes et de parcelles temporaires, nous évaluons les hypothèses de construction de ces concepts par rapport aux pratiques réelles des agriculteurs. Nous construisons alors un dispositif expérimental virtuel visant à évaluer ces concepts (section 5.2.2). Pour cela, nous comparons les découpages réels de parcelles réalisés par les agriculteurs, avec des découpages de parcelles simulés par un outil informatique (APILandSFACTS).

5.2.1) Comparaison de la qualification des limites de parcelles (i) simulée par DYSPALLOC et (ii) donnée par les agriculteurs

La Figure 5. 4 montre la comparaison entre la qualification de limites de parcelles simulée par le modèle DYSPALLOC et la qualification de limites de parcelles réelle identifiée dans cinq EA. Globalement, nous constatons que **toutes les EA font l'objet d'au moins un type de découpage de parcelles** (à l'intérieur des îlots PAC), et que certaines combinent les trois types de limites de parcelles, i.e. îlots élémentaires, parcelles fixes et parcelles temporaires (EA numéro 1 et 8 qui sont des EA de polyculture-élevage). Pour les cinq EA, nous avons identifié par enquête 10 limites d'îlots élémentaires, 10 limites de parcelles fixes et 12 limites de parcelles temporaires. Les limites d'îlots élémentaires et de parcelles fixes concernent quatre EA sur cinq, tandis que les limites de parcelles temporaires concernent un nombre plus restreint d'EA (deux sur cinq). Les réunions de parcelles temporaires sont plus rares pour l'année 2010 avec 2 réunions sur les cinq EA (données non montrées).



Lorsque les barres (simulées et réelles) sont de même taille, cela signifie que les limites de parcelles ont été qualifiées de la même façon par le modèle DYSPALLOCC et par l'agriculteur. Lorsque les barres ne sont pas de même taille, cela signifie que DYSPALLOCC s'est trompé pour la qualification de certaines limites de parcelles : il a qualifié soit trop de limites de parcelles de certains types, soit pas assez.

Figure 5. 4 : Comparaison des qualifications de limites de parcelles simulées par DYSPALLOCC et des qualifications de parcelles réelles identifiées auprès des agriculteurs (pour cinq EA de la plaine de Niort)

Neuf limites d'îlots élémentaires ont été correctement qualifiées par DYSPALLOCC sur 10 limites identifiées par enquêtes, soit un **taux de réussite de 90% pour la qualification des limites d'îlots élémentaires**, ce qui est satisfaisant. L'erreur commise dans l'EA 4 est due à un découpage d'îlot PAC réalisé par l'agriculteur pour toute la phase de cohérence afin de contractualiser une MAEt, alors qu'il n'y avait pas de différence de type de sol. Le découpage des îlots élémentaires étant basé sur des différences de types de sol (cf. Chapitre 4), ce découpage ne pouvait pas être simulé par DYSPALLOCC.

Quatre limites de parcelles fixes ont été correctement qualifiées par DYSPALLOCC sur 10 limites identifiées en enquêtes, soit un **taux de réussite de 40% pour la qualification des limites de parcelles fixes**.

Enfin, DYSPALLOCC a qualifié sept limites correctes de parcelles temporaires et en a qualifié deux en trop, soit 7 erreurs sur 12 limites identifiées par enquêtes, et donc un **taux de réussite de 42% pour la qualification des limites de parcelles temporaires**.

DYSPALLOCC a donc une **réussite assez réduite en ce qui concerne les limites de parcelles fixes et de parcelles temporaires**. Ceci est vraisemblablement dû aux **règles de décisions 16 et 17** de l'étape 5 du modèle¹. Ces règles de décisions sont en effet basées sur une surface [MAXI PLOT AREA] : en résumé, les îlots élémentaires sont découpés en parcelles fixes si leur surface est supérieure à [MAXI PLOT AREA]. [MAXI PLOT AREA] est définie comme [la surface moyenne des îlots élémentaires du bloc de culture + l'écart-type des surfaces des îlots élémentaires du bloc de culture]. Les **règles 16 et 17 ne peuvent donc**

¹ Pour rappel, ces règles de décisions sont les suivantes, avec [MAXI PLOT AREA] = [la surface moyenne des îlots élémentaires du bloc de culture + l'écart-type des surfaces des îlots élémentaires du bloc de culture] :

RDD 16 : Dans un îlot élémentaire où il y a une seule limite de parcelle en année n, si la surface de l'îlot élémentaire est supérieure (à 1 ha près) à [MAXI PLOT AREA], alors la limite de parcelle observée en année n est qualifiée de limite de parcelle fixe. Cette limite de parcelle fixe définit donc deux parcelles fixes à l'intérieur de l'îlot élémentaire. Sinon, il n'y a pas de limite de parcelle fixe et l'îlot élémentaire n'est pas découpé en parcelles fixes.

RDD 17 : Dans un îlot élémentaire où il y a plusieurs limites de parcelles en année n, si la surface de l'îlot élémentaire est supérieure (à 1 ha près) à [MAXI PLOT AREA], alors au moins une des limites de parcelles observées en année n sera qualifiée de limite de parcelle fixe (sinon aucune des limites de parcelles n'est qualifiée de limite de parcelle fixe).

Pour déterminer quelle(s) limite(s) sera (ou seront) qualifiée(s) de limite de parcelle fixe dans l'îlot élémentaire, DYSPALLOCC teste d'abord une limite seule, puis deux limites, etc. : il choisit d'abord la limite de parcelle qui définit les deux parcelles de plus grande surface à l'intérieur de l'îlot élémentaire. Si la surface respective de ces deux parcelles est inférieure (à 1 ha près) à [MAXI PLOT AREA], alors cette limite de parcelle est qualifiée de limite de parcelle fixe.

Sinon, il choisit deux limites de parcelles qui définissent les trois parcelles de plus grande surface à l'intérieur de l'îlot élémentaire. Si la surface respective de ces trois parcelles est inférieure (à 1 ha près) à [MAXI PLOT AREA], alors ces deux limites de parcelles sont qualifiées de limites de parcelles fixes.

Sinon, on fait de même jusqu'à avoir testé simultanément toutes les limites de parcelles observées en année n dans l'îlot élémentaire. Si la surface respective de chaque parcelle est inférieure (à 1 ha près) à [MAXI PLOT AREA], alors toutes les limites de parcelles observées en année n sont qualifiées de limites de parcelles fixes. Sinon, aucune limite de parcelle n'est qualifiée de parcelle fixe.

s'appliquer que si le bloc de culture est constitué de plusieurs îlots élémentaires¹. Dans l'EA 1 par exemple, DYSPALLOC a manqué cinq limites de parcelles fixes dans un îlot élémentaire, car cet îlot élémentaire de grande surface était « seul » dans son bloc de culture. Nous n'avions pas été confrontés à cette situation pour les 4 EA avec lesquelles nous avons construit le modèle. Dans l'EA 4, DYSPALLOC a manqué deux limites de parcelles fixes car l'îlot élémentaire qui devait être découpé en parcelles fixes (d'après l'agriculteur) avait une surface inférieure à [MAXI PLOT AREA], et sa limite de parcelle a donc été qualifiée de limite de parcelle temporaire.

Ainsi, les RDD 16 et 17 apparaissent insuffisantes pour qualifier correctement les limites de parcelles fixes : elles ne s'appliquent pas dans tous les blocs de culture et le seuil de [MAXI PLOT AREA] n'est pas toujours pertinent. **Nous pensons toutefois que, même si les règles de décisions introduites dans le modèle sont insuffisantes, les concepts de parcelles fixes et de parcelles temporaires sont tout à fait pertinents.** C'est la raison pour laquelle nous avons **construit un dispositif d'expérimentation virtuelle pour évaluer ces concepts.** Cette validation conceptuelle a pour but d'évaluer les hypothèses de construction des concepts de parcelles fixes et parcelles temporaires, indépendamment de la qualité prédictive de la qualification des limites de parcelles de DYSPALLOC.

5.2.2) Validation des concepts de parcelles fixes et parcelles temporaires : expérimentation virtuelle grâce à l'outil informatique APILandSFACTS

5.2.2.1) Objectif et principe de l'expérimentation virtuelle

L'objectif de cette expérimentation virtuelle est d'évaluer les concepts de parcelles fixes et parcelles temporaires, en confirmant (ou infirmant) les hypothèses de construction de ces concepts. Ces hypothèses sont les suivantes² (cf. Chapitre 4, section 4.1.2.1) :

- H1 : les gammes de tailles de sole des cultures que vise l'agriculteur pour une phase de cohérence entraînent l'existence d'une surface d'îlot élémentaire maximale, au-delà de laquelle il est indispensable de délimiter des parcelles fixes³ dans cet îlot élémentaire (pour pouvoir respecter chaque année les gammes de tailles de sole des cultures).

- H2 : cette surface maximale d'îlot élémentaire dépend également du nombre et de la surface des autres îlots élémentaires de l'EA.

¹ Voir l'exemple donné dans l'encadré 8 du chapitre 4 (section 4.2.2, étape 5) : on n'a pas appliqué les RDD 16 et 17 au bloc de culture « rouge » qui ne comportait qu'un seul îlot élémentaire. Or, s'il avait été très grand, cet îlot élémentaire aurait peut-être été découpé en parcelles fixes par l'agriculteur.

² Corollairement, les limites de parcelles temporaires correspondent à des ajustements ponctuellement nécessaires certaines années (mais pas indispensables chaque année).

³ Nous postulons que l'agriculteur va toujours délimiter les parcelles au même endroit, en lien avec les résultats des enquêtes : les agriculteurs ont en effet déclaré éviter de « déplacer » les limites de parcelles d'une année à l'autre car ils craignaient de faire des erreurs dans les déclarations PAC et d'être contrôlés. Ainsi, une limite de parcelle indispensable sera toujours positionnée au même endroit, et qualifiée de limite de parcelle fixe.

Pour confirmer ces hypothèses, nous souhaitons montrer que :

- Pour H₁ : dans une EA donnée, **plus les gammes de tailles de sole des cultures sont contraignantes** (i.e. intervalle réduit entre taille de sole mini et taille de sole maxi), **plus la surface maximale d'îlot élémentaire (au-delà de laquelle une limite de parcelle fixe est indispensable) est petite.**
- Pour H₂ : dans une EA donnée, **plus les îlots élémentaires sont nombreux et ont des surfaces réduites, plus la surface maximale d'îlot élémentaire (au-delà de laquelle une limite de parcelle fixe est indispensable) est grande.**

Pour cela, nous avons **utilisé un outil informatique de façon à simuler des allocations de cultures aux parcelles sur plusieurs années de suite** (5 ans, durée possible d'une phase de cohérence), **avec différentes limites de parcelles possibles** (H₂), et **avec différentes contraintes de tailles de sole** (H₁). Les limites de parcelles simulées chaque année par l'outil informatique peuvent être qualifiées de limites de parcelles fixes, et les limites de parcelles simulées occasionnellement par l'outil informatique peuvent être qualifiées de limites de parcelles temporaires. Nous avons ensuite comparé ces limites de parcelles simulées, aux qualifications de limites de parcelles données par les agriculteurs, pour évaluer la pertinence de nos hypothèses. La validation conceptuelle porte ainsi essentiellement sur la temporalité des limites de parcelles (permanente vs. temporaire).

5.2.2.2) APILandSFACTS, un outil informatique permettant de tester les concepts de parcelles fixes et de parcelles temporaires

APILandSFACTS résulte du couplage entre deux outils informatiques :

- **LandSFACTS** = LANDscape Scale Functional Allocation of Crops Temporally and Spatially (Castellazzi et al., 2007a; Castellazzi et al., 2010b) ;
- **APILand** = Application Programming Interface Landscape (Boussard, 2008; Boussard et al., 2010; Joannon et al., 2009).

LandSFACTS¹ est un logiciel de **simulation d'allocation spatiotemporelle des cultures aux parcelles**. Il a été développé au Royaume-Uni (Castellazzi, 2007), dans le but de produire des cartes d'occupation du sol au cours du temps à l'échelle d'un paysage, afin de construire des scénarios d'allocation spatiale des cultures au cours du temps (Ronfort, 2010). Ce logiciel a pour but **d'explorer des allocations spatiales et temporelles de cultures possibles, en respectant un certain nombre de contraintes fixées par l'utilisateur.**

¹ Ce paragraphe est adapté de la thèse de Céline Ronfort (2010) et de la page Internet suivante : <http://www.macauley.ac.uk/LandSFACTS/>

LandSFACTS alloue une culture par parcelle et par an, en respectant :

- (i) des contraintes de rotations culturales définies par l'utilisateur sous forme de matrices de transition, qui définissent les probabilités de successions culturales comme un processus markovien (Castellazzi et al., 2008). Ces contraintes doivent obligatoirement être renseignées par l'utilisateur ;
- (ii) des contraintes d'arrangement spatiotemporel des cultures, définies par l'utilisateur sous forme de restrictions spatiales ou temporelles. Ces contraintes sont optionnelles ;
- (iii) des contraintes sur les proportions de cultures (qui correspondent aux gammes de tailles de sole). Ces contraintes sont également optionnelles.

LandSFACTS n'est pas un logiciel qui permet de trouver un assolement optimal sous contraintes ; il tire au contraire les allocations de cultures aux parcelles au hasard (modulo la matrice de transition) et retient toute solution qui respecte les contraintes. Il peut arriver qu'il ne trouve pas de solution si les contraintes données en entrée sont trop fortes. De plus, il est important de noter que **LandSFACTS ne simule pas de modifications de limites de parcelles au cours du temps, il considère au contraire un parcellaire constant**, renseigné en entrée. Les entrées et sorties du logiciel LandSFACTS sont données à l'annexe 6, de même que la traduction des données d'entrée entre LandSFACTS et DYSPALLOC.

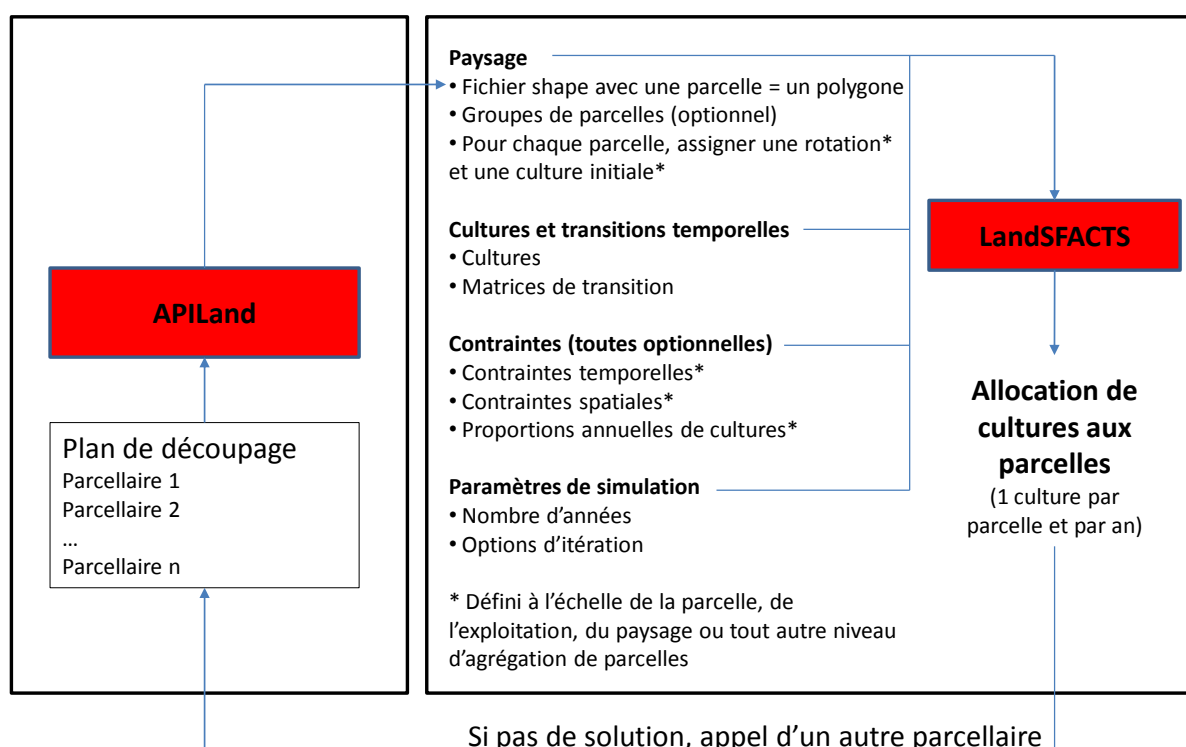


Figure 5. 5 : Schéma de fonctionnement de l'outil APILandSFACTS, couplage entre APILand et LandSFACTS, pour une année de simulation. Adapté de (Castellazzi et al., 2010a)

APILand est une librairie JAVA développée par Hugues Boussard (SAD Paysage, Rennes), permettant de gérer des éléments de paysages dans le temps et dans l'espace. APILand

permet à LandSFACTS « d'appeler » différents parcellaires en entrée, chaque parcellaire étant défini par l'utilisateur, et l'ordre d'appel des parcellaires étant également défini par l'utilisateur.

Nous appelons « **plan de découpage** » cette donnée d'entrée d'APILand consistant en (i) la **définition de chaque parcellaire** (avec des limites de parcelles différentes d'un parcellaire à l'autre), et (ii) **l'ordre d'appel des parcellaires** pour LandSFACTS (cf. Annexe 6 pour un exemple).

Le couplage entre LandSFACTS et APILand, soit **APILandSFACTS**, permet ainsi de **simuler des allocations spatiales et temporelles de cultures aux parcelles, en respectant les contraintes introduites dans LandSFACTS, et en tenant compte de modifications possibles de limites de parcelles d'une année à l'autre, via le plan de découpage renseigné dans APILand.**

Nous avons utilisé l'outil APILandSFACTS de la façon suivante (cf. Figure 5. 5) : pour chaque année de simulation, APILand fournit à LandSFACTS un parcellaire (ensemble de parcelles éventuellement contigües) auquel allouer des cultures. **APILand envoie d'abord le premier parcellaire du plan de découpage, qui correspond au parcellaire le moins découpé, avec seulement les limites d'îlots élémentaires** et aucune autre limite de parcelle. LandSFACTS cherche alors une solution respectant les contraintes données par l'utilisateur. **Si LandSFACTS ne trouve pas de solution, APILand lui envoie le deuxième parcellaire** (du plan de découpage), pour lequel LandSFACTS cherche à nouveau une solution, **et ainsi de suite**. Si LandSFACTS ne trouve pas de solution avec le dernier parcellaire (du plan de découpage), le modèle s'arrête et signale qu'il n'a pas trouvé de solution. APILandSFACTS ne simule donc pas l'année suivante. Si LandSFACTS trouve une solution avec l'un des parcellaires envoyés par APILand, alors l'allocation spatiale des cultures simulée en année $n+1$ sert de donnée d'entrée « cultures initiales » pour la simulation de l'année $n+2$. **APILand recommence à envoyer en année $n+2$, le premier parcellaire du plan de découpage, et ainsi de suite**. L'ordre dans lequel les parcellaires sont envoyés par APILand à LandSFACTS est le même chaque année (APILand recommence chaque année au premier parcellaire, quel que soit le parcellaire utilisé par LandSFACTS l'année précédente).

Ainsi, nous avons **utilisé APILandSFACTS à l'échelle de l'EA pour simuler 100 fois (dans chaque EA), l'allocation spatiale des cultures sur 5 ans** (durée possible d'une phase de cohérence). Nous avons proposé différents parcellaires à APILand, caractérisés par un nombre de parcelles et des surfaces de parcelles variables (pour tester H2). Nous avons **appelé les parcellaires dans l'ordre des parcellaires de plus en plus découpés** (i.e. avec un nombre de parcelles croissant, et une surface moyenne des parcelles décroissante). Ceci implique que si LandSFACTS trouve une solution respectant les contraintes de tailles de sole données en entrée, alors APILandSFACTS n'a pas besoin d'appeler un parcellaire plus découpé. Nous avons ensuite comptabilisé le nombre de fois où chaque parcellaire a été appelé, sur 500 fois possibles (100 simulations x 5 années). Puis, parmi les parcellaires appelés, nous avons comptabilisé le nombre de fois où chaque limite a été simulée : plus

une limite était simulée fréquemment, plus elle tendait à représenter une limite de parcelle fixe. En outre, nous avons **fait varier les contraintes de tailles de sole données en entrée** de LandSFACTS pour tester l'influence de ce facteur sur la définition des parcelles fixes (H1).

5.2.2.3) Paramétrage des simulations

Nous avons décidé de réaliser notre expérimentation virtuelle dans **deux exploitations** (nombre restreint choisi arbitrairement). Nous avons choisi parmi les EA enquêtées en 2009-2010, **celles qui avaient les parcellaires les moins morcelés** (i.e. les îlots PAC les plus grands en moyenne), et donc celles qui avaient les îlots PAC **les plus susceptibles d'être découpés en parcelles fixes et parcelles temporaires**. Les EA aux parcellaires très morcelés (ex : îlots PAC de 2 ha en moyenne) ne faisaient en effet pas l'objet de découpages de parcelles. Nous avons donc choisi une EA de grandes cultures (EA 3) et une EA de polyculture-élevage (bovin lait ; EA 1), dans lesquelles nous avons identifié par enquête à la fois des limites de parcelles fixes et des limites de parcelles temporaires.

- Pour l'exploitation de grandes cultures (EA 3)

Le parcellaire de l'EA 3 et la qualification des limites de parcelles (donnée par l'agriculteur lors des enquêtes) sont représentés à la Figure 5. 6. Il y a **une limite de parcelle fixe et une limite de parcelle temporaire**.

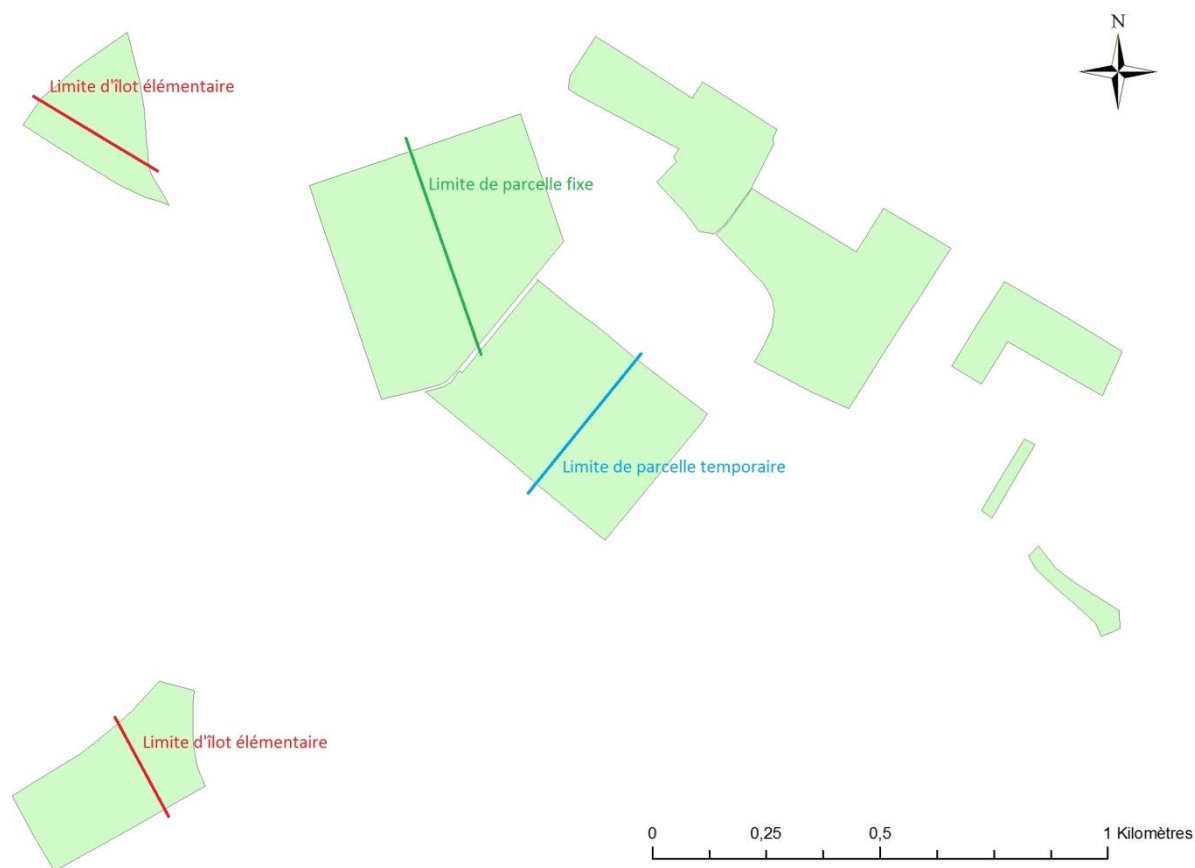


Figure 5. 6 : Parcellaire de l'exploitation EA 3 (grandes cultures). SAU = 78,78 ha

Nous avons défini quatre parcellaires possibles utilisables par LandSFACTS (cf. Figure 5. 7). Le parcellaire 0 correspond au parcellaire avec uniquement les limites d'îlots élémentaires, sans limite de parcelle fixe ou temporaire. Il comporte 11 îlots élémentaires dont la surface moyenne est de 7,16 ha. Le **parcellaire 1** correspond au parcellaire avec les limites d'îlots élémentaires et la **limite de parcelle temporaire**. Le **parcellaire 2** correspond au parcellaire avec les limites d'îlots élémentaires et la **limite de parcelle fixe**. Tous deux comportent 12 parcelles ; la surface maximale de parcelle est de 21,15 ha dans les parcellaires 0 et 1, et de 16,78 ha dans le parcellaire 2. Le parcellaire 3 correspond au parcellaire avec toutes les limites de parcelles (soit 13 parcelles en tout, et une surface maximale de parcelle de 12,68 ha).

Nous avons utilisé **deux plans de découpage différents** : tous deux commencent avec le parcellaire 0 (uniquement les limites d'îlots élémentaires) et tous deux terminent avec le parcellaire 3 (toutes les limites de parcelles). Ils diffèrent par l'ordre d'appel des parcellaires 1 et 2. Dans le **plan 1**, on appelle d'abord le parcellaire avec la **limite de parcelle temporaire** (en orange sur la Figure 5. 7), et dans le **plan 2**, on appelle d'abord le parcellaire avec la **limite de parcelle fixe** (en rouge sur la Figure 5. 7), afin de ne pas biaiser nos conclusions par l'ordre d'appel du parcellaire avec la limite de parcelle fixe.

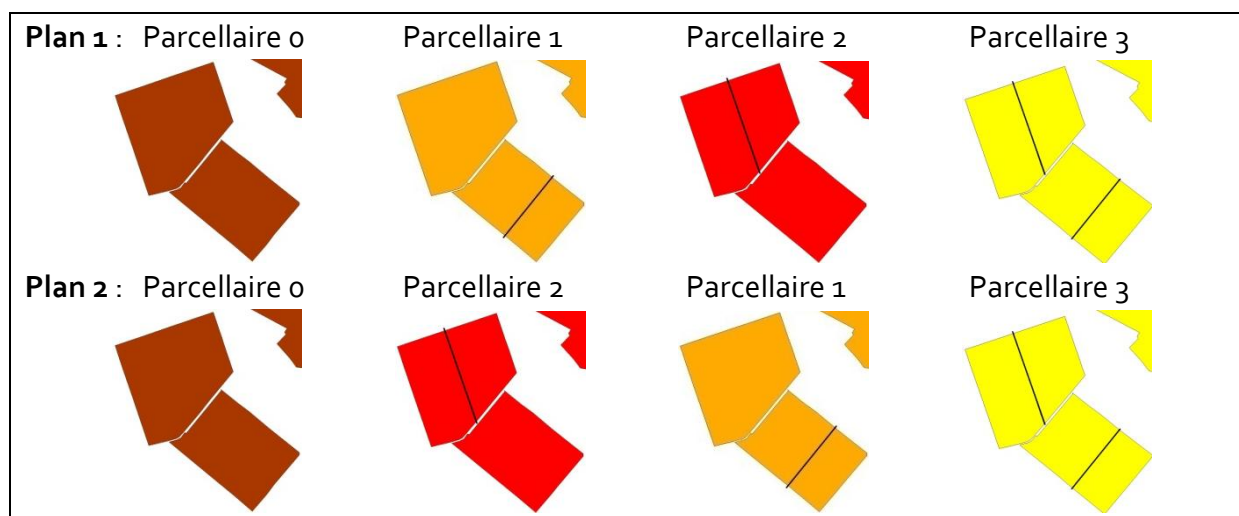


Figure 5. 7 : Plans de découpage utilisés dans APILandSFACTS pour l'EA 3 (grandes cultures). Zoom sur les limites de parcelles des différents parcellaires appelés par APILandSFACTS

Nous avons également utilisé **trois scénarios de tailles de sole** : le scénario 1 représente des gammes de tailles de sole lâches ; le scénario 2 des gammes de tailles de sole moyennes ; et le scénario 3 des gammes de tailles de sole très contraintes (cf. Tableau 5. 3). Dans la réalité, l'agriculteur se fixait depuis 2009 (début d'une nouvelle phase de cohérence) des tailles de sole très contraignantes, correspondant au scénario 3.

Tableau 5. 3 : Contraintes de tailles de sole (TS) mini et maxi (en pourcentage de la SAU de l'EA) utilisées pour les simulations APILandSFACTS de l'EA 3 (grandes cultures)

Cultures (EA 3)	Scénario 1 (TS lâches)		Scénario 2 (TS moyennes)		Scénario 3 (TS contraintes)	
	TS mini	TS maxi	TS mini	TS maxi	TS mini	TS maxi
Blé tendre	40%	55%	45%	55%	47%	52%
Blé dur						
Colza	15%	35%	15%	25%	17%	22%
Tournesol	15%	30%	15%	25%	18%	23%
Orge printemps						
Pois						

- Pour l'exploitation de polyculture-élevage (EA 1)

Le parcellaire de l'EA 1 et la qualification des limites de parcelles (donnée par l'agriculteur lors des enquêtes) sont représentés à la Figure 5. 8. Il y a **six limites de parcelles fixes et cinq limites de parcelles temporaires**.

Nous avons défini **18 parcellaires possibles** utilisables par LandSFACTS (cf. Figure 5. 9). Le parcellaire 0 correspond au parcellaire avec uniquement la limite d'îlots élémentaires, sans limite de parcelle fixe ou temporaire. Il comporte 20 îlots élémentaires dont la surface maximale est de 34,33 ha. Le parcellaire 17 correspond au parcellaire avec toutes les limites de parcelles fixes et temporaires : il comporte 31 parcelles dont la surface maximale est de 10,76 ha¹. Les parcellaires 1 à 16 correspondent à des **parcellaires de plus en plus découpés** (i.e. avec un nombre de parcelles croissant, de 21 à 30 parcelles, et une surface maximale de parcelle décroissante, de 34,33 à 11,39 ha). Dans les parcellaires 1 à 9, on introduit les limites de parcelles fixes (le **parcellaire 9 correspond au parcellaire avec toutes les limites de parcelles fixes**), et dans les parcellaires 10 à 17, on introduit en plus les limites de parcelles temporaires. Nous avons ainsi défini un seul plan de découpage, dans lequel on appelle dans l'ordre les parcellaires 0 à 17.

¹ Nous n'avons pas compté l'îlot élémentaire de 29,16 ha qui est une prairie permanente maintenue dans le cadre d'une convention avec l'aérodrome tout proche. Cette prairie permanente est en effet attenante à l'aérodrome de Niort (cf. Figure 5. 8). Ce terrain n'est jamais cultivé avec des cultures pour lesquelles l'agriculteur définit des contraintes de tailles de sole.



Figure 5. 8 : Parcellaire de l'EA 1 (polyculture-élevage). SAU = 133,79 ha

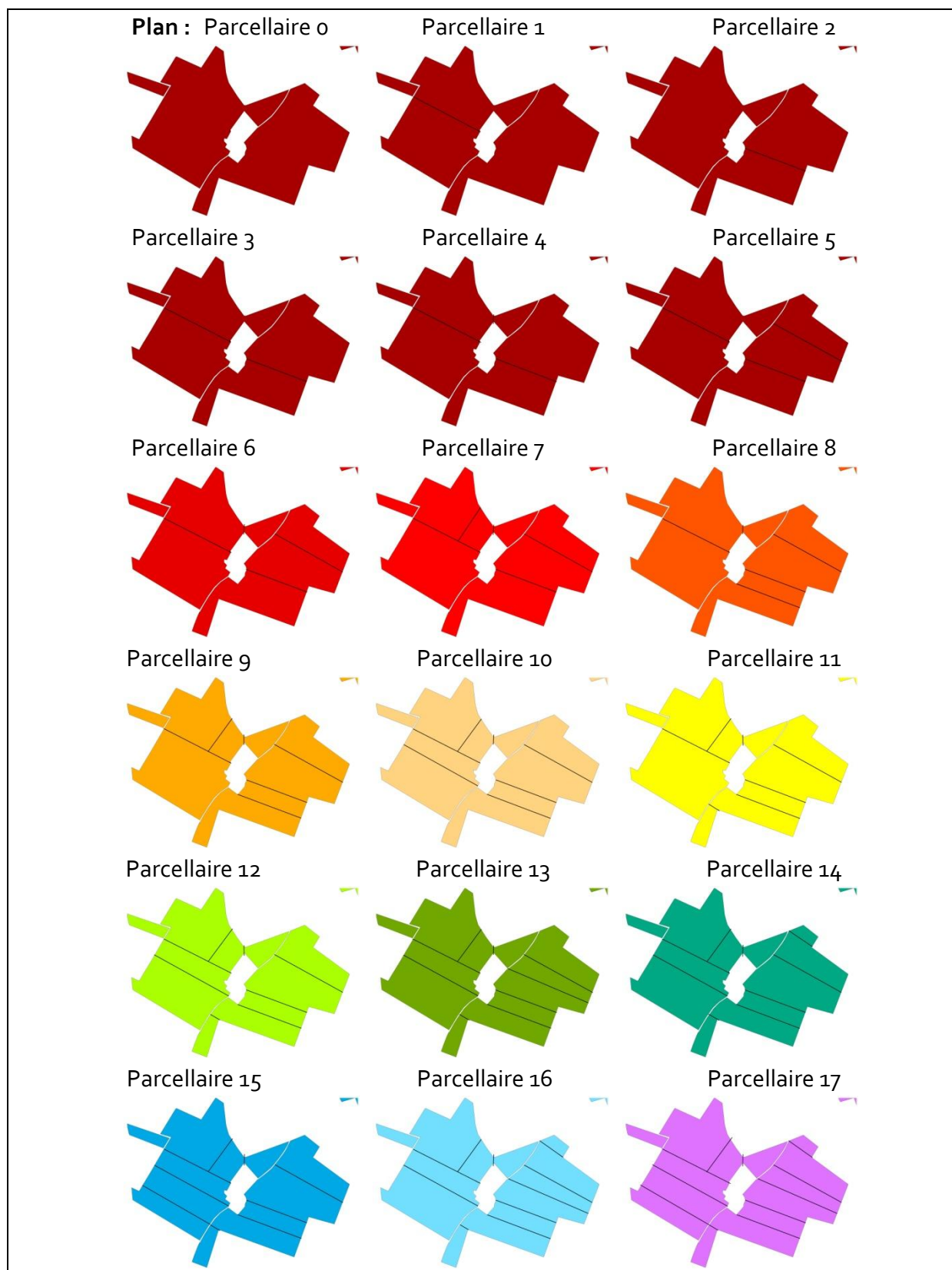


Figure 5. 9 : Plan de découpage utilisé dans APILandSFACTS pour l'EA 1 (polyculture-élevage). Zoom sur les limites de parcelles des différents parcellaires appelés par APILandSFACTS

Nous avons également utilisé **deux scénarios de tailles de sole** : le scénario 1 représente des gammes de tailles de sole lâches, et le scénario 2 des gammes de tailles de sole plus contraintes (cf. Tableau 5. 4). Dans la réalité l'agriculteur se situait dans le scénario 2.

Tableau 5. 4 : Contraintes de tailles de sole (TS) mini et maxi (en pourcentage de la SAU de l'EA) utilisées pour les simulations APILandSFACTS de l'EA 1 (polyculture-élevage)

Cultures (EA 1)	Scénario 1 (TS lâches)		Scénario 2 (TS contraintes)	
	TS mini	TS maxi	TS mini	TS maxi
Blé tendre	15% — 30%	30% — 40%	17% — 30%	25% — 38%
Blé tendre semence				
Blé dur				
Orge d'hiver				
Colza	5%	15%	7%	12%
Tournesol				
Maïs ensilage irrigué	10%	20%	14%	19%
Maïs grain irrigué				
Maïs ensilage sec				

En toute logique, si nos hypothèses¹ sont correctes, nous devrions observer que :

- les parcellaires 0, sans limite de parcelle fixe et sans limite de parcelle temporaire, ne devraient pas être appelés par APILandSFACTS car ils ne devraient pas donner de solution, surtout si les contraintes de tailles de sole sont fortes.
- les parcellaires avec limites de parcelles fixes, jugées par l'agriculteur comme ayant un nombre de parcelles et une surface maximale de parcelle appropriés (i.e. parcellaire 2 de l'EA 3, et parcellaires 1 à 9 de l'EA 1) devraient être le plus fréquemment appelés, car ils devraient donner des solutions qui respectent les contraintes de tailles de sole.
- les parcellaires avec limites de parcelles fixes et limites de parcelles temporaires (i.e. parcellaire 3 de l'EA 3 et parcellaires 10 à 17 de l'EA 1) devraient être plus fréquemment appelés pour les scénarios avec tailles de sole contraintes, et peu (voire pas) appelés pour les scénarios avec tailles de sole lâches (car les limites de parcelles temporaires ne sont pas indispensables).

¹ Pour rappel, les deux hypothèses que nous testons sont :

H1 : les gammes de tailles de sole des cultures que vise l'agriculteur pour une phase de cohérence entraînent l'existence d'une surface d'îlot élémentaire maximale, au-delà de laquelle il est indispensable de délimiter des parcelles fixes dans cet îlot élémentaire (pour pouvoir respecter chaque année les gammes de tailles de sole des cultures).

H2 : cette surface maximale d'îlot élémentaire dépend également du nombre et de la surface des autres îlots élémentaires de l'EA.

Corollairement, les limites de parcelles temporaires correspondent à des ajustements ponctuellement nécessaires certaines années (mais pas indispensables chaque année).

5.2.2.4) Résultats et interprétation de la comparaison entre limites de parcelles simulées par APILandSFACTS et limites de parcelles réelles des agriculteurs

- Résultats pour l'exploitation de grandes cultures

La Figure 5. 10 montre les résultats des simulations réalisées pour l'EA de grandes cultures. Les limites de parcelles sont rappelées sous le graphique.

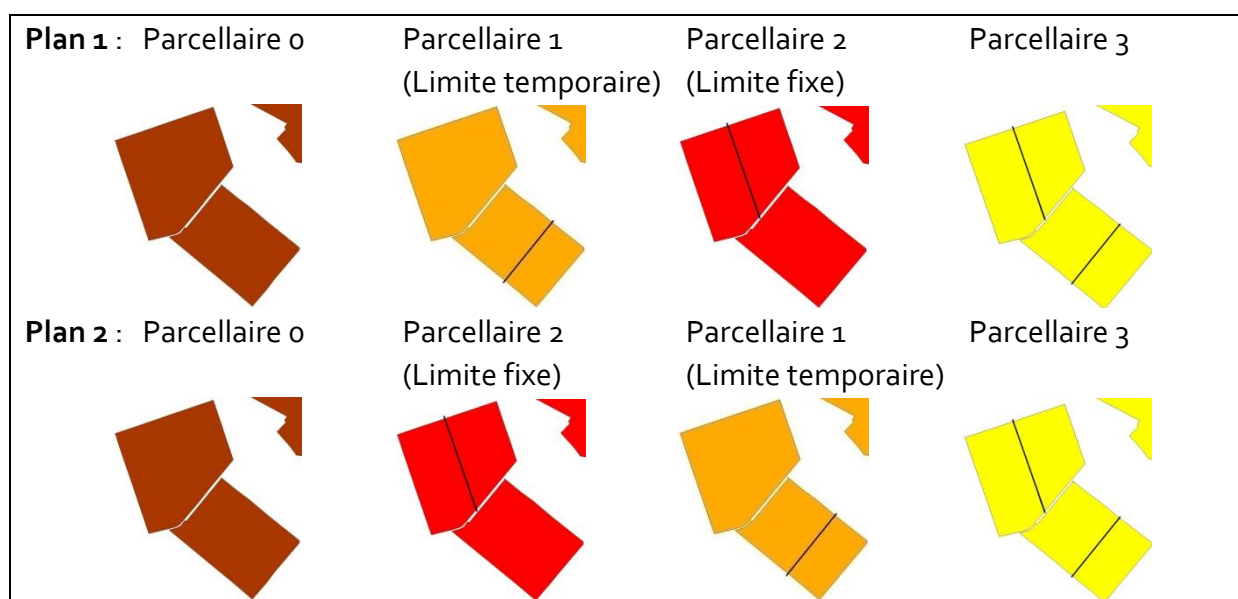
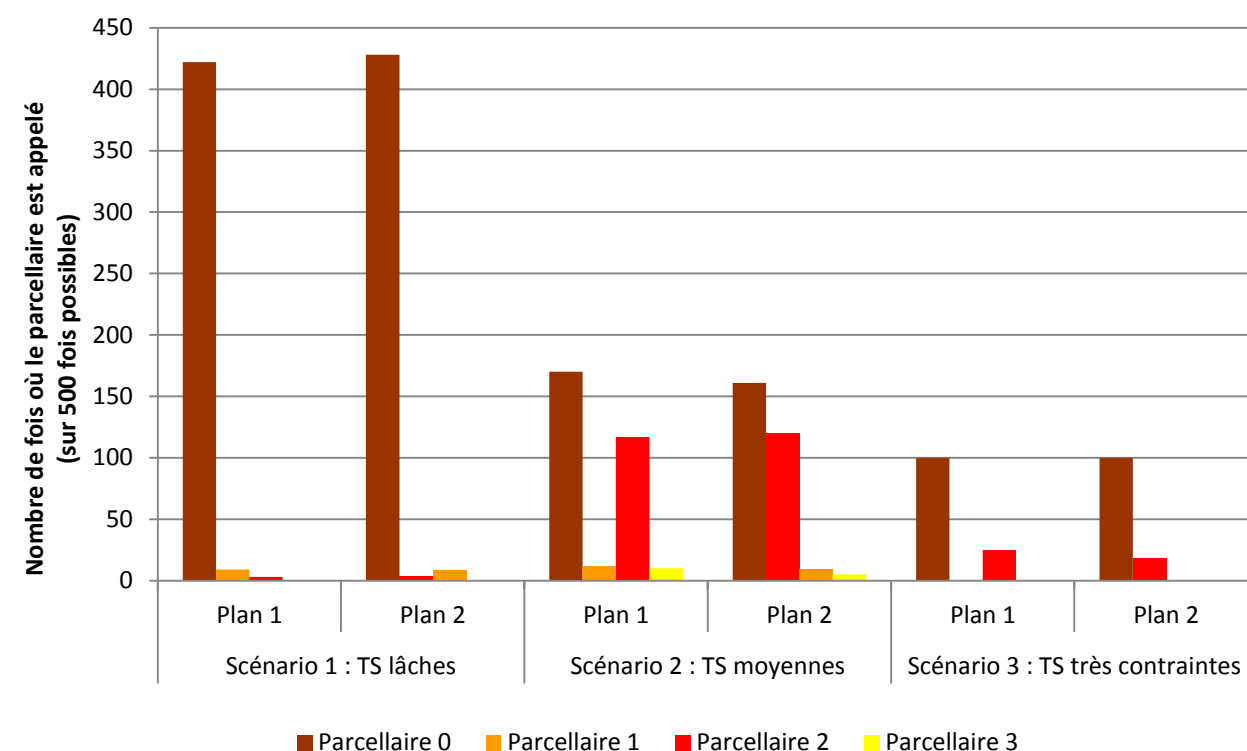


Figure 5. 10 : Résultats des simulations APILandSFACTS pour l'exploitation de grandes cultures (EA 3) pour les plans de découpage 1 et 2, et pour les scénarios de contraintes sur les tailles de sole 1, 2 et 3

La Figure 5. 10 pour l'EA de grandes cultures montre que :

- Quels que soient le scénario de contraintes sur les tailles de sole et le plan de découpage choisis, **le parcellaire 0 est toujours le plus fréquemment appelé ;**
- **Plus les contraintes sur les tailles de sole sont fortes, moins le parcellaire 0 est fréquemment appelé ;**
- Quel que soit le plan de découpage utilisé, **le parcellaire 2 est plus fréquemment appelé que le parcellaire 1 pour les scénarios 2 et 3** (TS moyennes et très contraintes) ;
- **Le parcellaire 3 n'est jamais appelé pour les scénarios 1 et 3** (TS lâches et TS très contraintes), et il est **très peu fréquemment appelé pour le scénario 2** (TS moyennes).

Par ailleurs, le Tableau 5. 5 montre le nombre de simulations APILandSFACTS ayant réussi pour les cinq ans, i.e. le nombre de fois (sur 100 simulations) où APILandSFACTS a trouvé chaque année une solution respectant les contraintes de tailles de sole, pendant cinq ans. Nous constatons que **plus les contraintes sur les tailles de sole sont fortes, plus le nombre de simulations ayant réussi sur cinq ans est réduit**. Ainsi, pour le scénario 1 (TS lâches), environ 70% des simulations ont réussi, tandis que pour le scénario 3 (TS très contraintes), aucune simulation n'a pu aller au bout des cinq ans.

Tableau 5. 5 : Nombre de simulations APILandSFACTS (sur 100) ayant réussi pour les cinq années, pour les trois scénarios de contraintes sur les tailles de sole et pour les deux plans de découpage (pour l'EA 3 de grandes cultures)

		Nombre de simulations ayant réussi pour les 5 années (sur 100)
Scénario 1 (TS lâches)	Plan 1	70
	Plan 2	71
Scénario 2 (TS moyennes)	Plan 1	44
	Plan 2	38
Scénario 3 (TS très contraintes)	Plan 1	0
	Plan 2	0

Ces résultats, et en particulier le fait que le parcellaire 0 soit toujours le parcellaire le plus appelé, contredisent pour partie nos hypothèses de départ.

- Pour le scénario 1, aucune limite de parcelle n'est indispensable pour respecter les contraintes de tailles de sole (lâches) sur cinq ans.

- Pour le scénario 2, le parcellaire 0 n'est jamais appelé cinq années de suite, quels que soient les plans de découpage et scénarios de contraintes de tailles de sole (données non montrées). Il est au plus appelé trois années sur cinq, et quasiment jamais deux années de suite. Ceci suggère que le parcellaire 0 ne permet pas de respecter les contraintes de tailles de sole du scénario 2 pour 5 années de suite (au moins une parcelle est vraisemblablement trop grande), et qu'il est nécessaire de délimiter des parcelles temporaires certaines années.

La limite de parcelle qualifiée de limite de parcelle fixe par l'agriculteur ne semble donc pas indispensable chaque année dans le scénario 2, et pourrait plutôt être qualifiée de limite de parcelle temporaire (dans le scénario 2).

- Pour le scénario 3, le parcellaire 0 est appelé dans 100% des cas pour la première année (pour les plans 1 et 2), et jamais les années suivantes. Le parcellaire 2 permet de trouver des solutions uniquement pour la deuxième année (appelé 20 fois pour le plan 1, et 18 fois pour le plan 2), mais plus aucune solution n'est trouvée pour les années suivantes (données non montrées). Ceci suggère qu'aucun des parcellaires 0 à 3 (en termes de nombre de parcelles et de surface des parcelles) ne permet de respecter les contraintes de tailles de sole du scénario 3, ou autrement dit que les contraintes de tailles de sole du scénario 3 sont trop fortes pour pouvoir être respectées sur cinq ans sur les parcellaires donnés en entrée¹. Il faudrait vraisemblablement délimiter d'autres parcelles temporaires (et ainsi diminuer la surface maximale de parcelle) pour respecter ces tailles de sole très contraintes.

Remarque : l'agriculteur se situait dans le scénario 3 (TS très contraintes) depuis 2009, date de début d'une nouvelle phase de cohérence. Les gammes de tailles de sole annoncées ont été respectées en 2009 et 2010, mais il est possible que ces gammes de TS soient en revanche trop contraignantes pour être « tenables » sur un plus grand nombre d'années.

Ainsi, nos hypothèses ne sont pas validées avec l'exemple de l'EA de grandes cultures, mais il semble tout de même que :

- **(i) plus les contraintes de tailles de sole sont fortes sur l'EA, plus certaines limites de parcelles sont nécessaires pour respecter ces contraintes** (comparaison du nombre de fois où le parcellaire 2 est appelé respectivement aux scénarios 1 et 2),
- **(ii) au-delà d'un certain niveau de contraintes sur les tailles de sole, il est indispensable de délimiter un plus grand nombre de parcelles** (pas de solution pour les cinq ans pour le scénario 3).

- Résultats pour l'exploitation de polyculture-élevage

La Figure 5. 11 donne les résultats des simulations réalisées pour l'EA de polyculture-élevage. Les parcellaires associés ont été présentés à la Figure 5. 9.

¹ Une autre explication possible au fait que la simulation ne puisse jamais aller au bout des cinq ans est la suivante : lors de la première année de simulation, les délais de retour des cultures ne jouent pas comme contraintes temporelles (car les années précédentes ne sont pas connues de LandSFACTS). Seules les transitions de cultures entre l'année 0 et l'année 1 contraignent les allocations de cultures. En revanche, plus on avance dans les années de simulation, plus les contraintes sur les délais de retour interviennent sur l'allocation des cultures. Par exemple, en année 1, les cultures qui ont un délai de retour de 3 ans seront interdites dans les parcelles où elles ont été cultivées en année 0. En année 2, ces cultures seront interdites dans les parcelles où elles ont été cultivées en année 0 et aussi dans les parcelles où elles ont été cultivées en année 1, et ainsi de suite avec différents délais de retour. Ceci peut donc peut-être expliquer que LandSFACTS ne trouve pas de solutions pour les dernières années de simulation, même avec des parcellaires découpés.

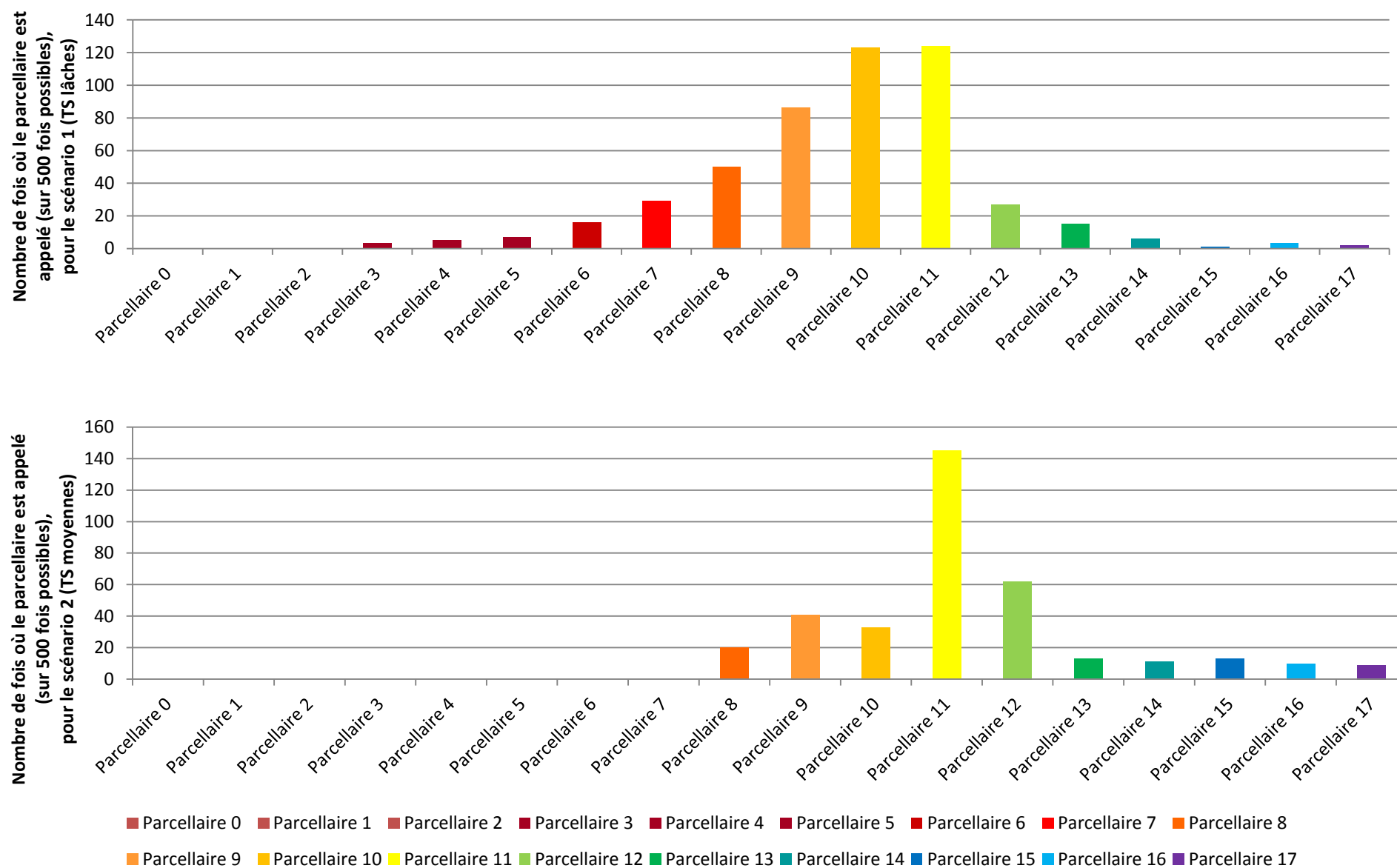


Figure 5. 11 : Résultats des simulations APILandSFACTS pour l'EA de polyculture-élevage (EA 1) pour les scénarios de contraintes sur les tailles de sole 1 (ci-dessus) et 2 (ci-dessous)

Pour le scénario 1 (TS lâches), 99 simulations sur 100 ont réussi pour les cinq ans, tandis que pour le scénario 2 (TS contraintes), seulement 13 simulations ont réussi pour les cinq ans. Ainsi, comme dans l'EA précédente, plus les contraintes de tailles de sole sont fortes, plus la réussite des simulations sur cinq ans est réduite¹.

Les résultats des simulations pour l'EA de polyculture-élevage montrent que :

- quel que soit le scénario (TS lâches ou contraintes), **les premiers parcellaires proposés à LandSFACTS, i.e. ceux qui sont très peu découpés, ne permettent jamais de respecter les contraintes de tailles de sole.** Ainsi les parcellaires 0 à 2 dans le scénario 1, et les parcellaires 0 à 7 dans le scénario 2 ne sont jamais appelés.

- pour le scénario 1 (TS lâches), le premier parcellaire permettant de trouver des solutions respectant les contraintes de tailles de sole est le parcellaire 3 (22 parcelles, et surface maximale de parcelle de 20,16 ha), tandis que pour le scénario 2 (TS contraintes), le premier parcellaire permettant de trouver des solutions est le parcellaire 8 (25 parcelles, surface maximale de parcelle de 17,52 ha). Il semble ainsi que, **plus les contraintes de tailles de sole sont fortes, plus le premier parcellaire** (proposé à LandSFACTS) **qui peut donner des solutions d'assolement respectant les contraintes de tailles de sole comporte un grand nombre de parcelles, et plus la surface maximale des parcelles est petite.**

- de la même façon, pour le scénario 1, les parcellaires les plus appelés (plus de 60 fois) sont les parcellaires 9, 10 et 11 (appelés 86, 123 et 124 fois chacun) ; pour le scénario 2, les parcellaires les plus appelés (plus de 60 fois) sont les parcellaires 11 et 12 (appelés 145 et 62 fois chacun). Ceci suggère que, **pour un niveau donné de contraintes sur les tailles de sole, il existe des parcellaires qui ont des caractéristiques optimales, en termes de nombre de parcelles et de surface maximale de parcelles, pour respecter les contraintes de tailles de sole.** Plus ces contraintes sont fortes, plus le parcellaire « optimal » comporte un grand nombre de parcelles et plus la surface maximale de parcelles est petite.

- quel que soit le scénario, **les parcellaires proposés en dernier à LandSFACTS, i.e. ceux qui sont les plus découpés, sont très peu fréquemment appelés car d'autres parcellaires (proposés avant et moins découpés) permettent de respecter les tailles de sole.** Ainsi les parcellaires 13 à 17 (avec plus de 29 parcelles, et dont la surface maximale est inférieure à 13,66 ha) sont appelés moins de 15 fois chacun au cours des 100 simulations sur cinq ans (soit 500 fois possibles). Ces parcellaires les plus découpés sont d'ailleurs deux fois moins appelés dans le scénario 1 (27 fois en tout pour les parcellaires 13 à 17) que dans le scénario 2 (56 fois), ce qui suggère que les limites de parcelles des parcellaires 13 à 17 sont d'autant plus superflues (par rapport aux limites de parcelles des parcellaires 0 à 12), que les contraintes de tailles de sole sont lâches.

¹ Ces résultats sont liés au paramétrage de LandSFACTS que nous avons utilisé (paramètre Rdmx = nombre de fois où LandSFACTS teste des allocations de cultures au cours d'une même année de simulation, avant de dire qu'il n'y a pas de solution).

En conclusion, pour cette EA de polyculture-élevage, il apparaît que : pour un niveau donné de contraintes sur les tailles de sole, il existe un nombre minimal de parcelles et une surface maximale de parcelles dans l'EA, au-delà desquels il n'est pas possible de trouver de solution d'assolement respectant les contraintes de tailles de sole. Plus ces contraintes sont fortes, plus le seuil de surface maximale des parcelles est petit, et plus le seuil de nombre minimal de parcelles est grand (pour pouvoir respecter les tailles de sole sur l'EA). Ces conclusions vont dans le sens de nos hypothèses H1 et H2.

Nous n'avons toutefois pas pu valider complètement nos hypothèses sur les deux EA testées. **Il conviendrait donc de préciser ces hypothèses, et de définir un mode de calcul générique du nombre minimal de parcelles et de la surface maximale de parcelles nécessaires au respect d'un niveau donné de contraintes de tailles de sole.** Un tel calcul pourrait alors remplacer les règles de décisions 16 et 17 actuellement insérées dans DYSPALLOC et dont on a précédemment montré l'insuffisance (à la section 5.2.1).

A ce stade, nous n'avons pas trouvé de formule satisfaisante, mais nous pensons que le nombre minimal de parcelles et la surface maximale de parcelles dépendent :

- des caractéristiques des successions de cultures (nombre de cultures en succession, et/ou nombre d'années de la (ou des) succession(s)¹) ;
- du nombre et de la surface de toutes les parcelles de l'EA ;
- des tailles de sole exigées pour chaque culture et du rapport de surface entre la taille de sole maximale de chaque culture et la taille maximale des parcelles de l'EA.

Nous pensons de plus que la règle de décision à insérer dans DYSPALLOC ne devrait pas s'appliquer uniquement par bloc de culture, mais à l'échelle de toute l'EA, car une même culture peut être cultivée dans plusieurs blocs de cultures, et dans ce cas la taille de sole de la culture n'est pas à raisonner sur un seul bloc de culture.

Ces éléments de résultats concordent avec ceux simulés par LandSFACTS dans un autre contexte, celui du Pays de Caux (Ronfort et al., 2011) : en l'absence de redécoupages de parcelles dans les EA, ces auteurs ont en effet observé des variations interannuelles des tailles de sole (proportions de cultures) plus importantes dans les EA caractérisées par un faible nombre de parcelles et par un grand nombre de cultures différentes². **Ainsi, l'outil APILandSFACTS et l'expérimentation virtuelle qu'il a permis de mettre en œuvre confirment que les redécoupages de parcelles permettent d'ajuster et de respecter les tailles de sole souhaitées par chaque agriculteur à l'échelle de son EA.** D'autres investigations seraient toutefois nécessaires pour identifier un mode de calcul générique des surfaces de parcelles optimales, compte tenu des caractéristiques individuelles des EA.

¹ La durée d'une succession pourrait être estimée par le délai de retour maximal de la succession.

² « This is mainly due to farm specific fields' size which is set up as fixed in LandSFACTS model. Field size does not change so crops proportions vary each year accordingly. In reality, farmers probably subdivide their fields according to the crop acreage they want » Ronfort C., Souchère V., Martin P., Sebillotte C., Castellazzi M.S., Barbottin A., Meynard J.M., Laignel B. (2011) Methodology for land use change scenario assessment for runoff impacts: A case study in a north-western European Loess belt region (Pays de Caux, France). Catena 86:36-48. DOI: 10.1016/j.catena.2011.02.004.

5.3) Discussion partielle sur le modèle DYSPALLOC

Après une revue de littérature des modèles visant à simuler ou aider les décisions d'assolement et de successions de cultures (Dury et al., 2011), deux principaux manques de connaissances avaient été mis en évidence concernant : l'un la dimension spatiale, l'autre la dimension temporelle des décisions d'assolement des agriculteurs¹. Nous discutons à présent des apports de DYSPALLOC par rapport à ces deux dimensions.

5.3.1) Apports de DYSPALLOC sur la dimension spatiale des décisions d'assolement

Tout d'abord, DYSPALLOC apporte de nouvelles connaissances sur la façon dont les agriculteurs découpent leurs îlots PAC en parcelles cultivées. Nous avons ainsi mis en évidence **trois types de limites de parcelles, qui définissent eux-mêmes trois types de parcelles.**

- Les îlots élémentaires sont des parcelles dont les limites externes sont permanentes (au cours d'une phase de cohérence de l'EA). La localisation des limites d'îlots élémentaires à l'intérieur des îlots PAC est liée au milieu physique (types de sol) et aux caractéristiques individuelles des îlots PAC (accès à l'irrigation, forme de l'îlot PAC, etc.).
- Les parcelles fixes sont des parcelles dont les limites externes sont également permanentes au cours d'une phase de cohérence de l'EA. La délimitation de parcelles fixes est liée à la structure du parcellaire, aux successions de cultures et aux gammes de tailles de sole définies dans l'EA. Elles correspondent aux règles stratégiques de successions de cultures et de tailles de sole que se fixe l'agriculteur pour une phase de cohérence.
- Les parcelles temporaires sont définies à l'intérieur des îlots élémentaires et/ou des parcelles fixes, et ce sont des parcelles dont les limites externes sont temporaires. La présence de ces limites temporaires est principalement liée à des ajustements ponctuels de tailles de sole des cultures, et la durée de ces limites correspond à la durée de la culture allouée dans les parcelles (annuelle ou pluriannuelle).

¹ Pour la dimension spatiale : « In most of the modelling approaches, the cropping plan is not spatially represented and is summarised as simple crop acreage distributions across various land types ». « A few authors [...] have introduced discrete management units. In such cases, management units are usually reduced to the plot unit, even if such units are in reality much more complex » Dury J., Schaller N., Garcia F., Reynaud A., Bergez J.E. (2011) Models to support cropping plan and crop rotation decisions. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. DOI: 10.1007/s13593-011-0037-x..

Pour la dimension temporelle : « Cropping plan design decisions have mainly been tackled as a static concept, i.e. as if they were a single decision made only once a year or once a rotation ». « A better knowledge about the temporal dimension of farmers' cropping plan decision-making would also be a key step for helping managers of rural spaces in designing appropriate policies for local environmental issues. [...] One needs to know exactly when farmers make their decisions and until when the planned decisions can be adjusted » *ibid.*

La définition de ces trois types de limites de parcelles **permet de prévoir leur évolution potentielle** : les limites de **parcelles temporaires peuvent disparaître et réapparaître d'une année à l'autre au cours d'une phase de cohérence**, mais le plus souvent au même endroit dans un îlot PAC. La localisation des limites de parcelles temporaires est en effet le plus souvent inchangée puisque les agriculteurs craignent de se tromper dans le géo-référencement de nouvelles limites de parcelles lors des déclarations PAC. Les limites de **parcelles fixes** sont permanentes pour une phase de cohérence, mais elles **peuvent être modifiées lorsque l'EA change de phase de cohérence**. Si l'agriculteur modifie ses règles de successions de cultures ou ses gammes de tailles de sole, s'il introduit une nouvelle culture ou en supprime, ou encore si le parcellaire est modifié (ex : agrandissement), alors il est très probable que la surface maximale à partir de laquelle une limite de parcelle est indispensable soit modifiée, et que de nouvelles limites de parcelles fixes apparaissent ou que des limites de parcelles fixes disparaissent. Enfin, les limites d'îlots élémentaires ne peuvent être modifiées que si de gros changements ont lieu sur l'EA, car pour modifier une limite d'îlot élémentaire, il est nécessaire de modifier les caractéristiques de l'îlot PAC (ex : drainer une parcelle, installer l'irrigation, arracher une haie, etc.). Ainsi, **même lors d'un changement de phase de cohérence, il est possible que les limites d'îlots élémentaires restent inchangées**.

Nous avons par ailleurs mis en évidence **des logiques de regroupement spatial, soit des parcelles (indépendamment des cultures sur ces parcelles), soit des cultures (indépendamment de leur localisation dans les parcelles)**, de la part des agriculteurs. Ces logiques de regroupement spatial se traduisent par :

- Le fait que **certains îlots PAC soient gérés ensemble, comme un seul îlot PAC**. Les agriculteurs mettent ainsi dans un même « lot » les îlots PAC qui ont des caractéristiques similaires en termes de types de sol et d'accès à l'irrigation, et surtout qui sont proches les uns des autres. Ces « lots » d'îlots PAC ont été traduits dans le modèle DYSPALLOCC par les [GROUPS OF CAP ISLETS] et sur lesquels la même culture doit obligatoirement être allouée, une année donnée. La culture allouée peut changer chaque année, mais une année donnée, tous les îlots PAC regroupés portent la même culture. Ces groupes d'îlots PAC ont surtout été observés dans les EA qui avaient des parcellaires où coexistaient des parties très groupées et des parties des morcelées : les îlots PAC des parties morcelées étaient alors le plus regroupés possible.
- Le fait que les agriculteurs **évitent de délimiter des parcelles temporaires**, et qu'ils **essaient de minimiser la durée de ces parcelles temporaires en les réunissant dès l'année suivante**. Ces réunions de parcelles temporaires visent à limiter au maximum le morcellement parcellaire des EA. Les **agriculteurs tentent aussi de regrouper spatialement les cultures**, en particulier celles qui demandent beaucoup d'opérations culturales (ex : colza), ou celles qui nécessitent le transport d'importantes quantités récoltées (ex : maïs ensilage, luzerne, etc.). Les agriculteurs

tendent alors de regrouper ces cultures chaque année, dans des parcelles différentes d'une année à l'autre. Ces stratégies de minimisation du nombre de parcelles et de la distance entre cultures ont été traduites dans DYSPALLOCC par les critères de préférence utilisés dans l'étape 8 : DYSPALLOCC alloue les cultures aux parcelles en minimisant le nombre de parcelles pour une surface donnée et en minimisant les distances entre cultures (y compris en réunissant des parcelles temporaires).

DYSPALLOCC permet ainsi de **renouveler le concept de parcelle**, en montrant qu'il existe plusieurs entités de gestion dans une même exploitation, et qu'il est nécessaire de **considérer à la fois des découpages de parcelles et des regroupements de parcelles pour saisir les logiques de gestion des cultures des agriculteurs** au sein de leur EA.

5.3.2) Apports de DYSPALLOCC sur la dimension temporelle des décisions d'assolement

La dimension temporelle du modèle DYSPALLOCC s'appuie sur celle définie dans le modèle d'action (Sebillotte and Soler, 1990) : nous avons considéré que les décisions d'assolement des agriculteurs, comme d'autres types de décisions cycliques et récurrentes (Aubry et al., 1998a; Mérot et al., 2008; Navarrete and Le Bail, 2007), consistaient d'abord en une **planification**, puis en un pilotage (ou **ajustements**) de cette planification.

DYSPALLOCC permet de décrire et simuler les décisions de planification d'un assolement $n+1$ (en année n). Nous avons ainsi distingué des décisions de **planification stratégique**, prises pour toute une phase de cohérence, et des décisions de **planification annuelle**, prises uniquement pour l'année $n+1$. Ceci nous a permis de **préciser la dimension temporelle de certaines variables de décisions** telle que la zone cultivable des cultures, et de distinguer une zone cultivable stratégique et une zone cultivable annuelle. La zone cultivable annuelle d'une culture permet de définir les parcelles d'une EA où une culture sera effectivement cultivable une année donnée, ce qui peut être une information utile aux gestionnaires des territoires ruraux.

DYSPALLOCC ne permet toutefois pas, à ce stade, de simuler les décisions d'ajustements de planification d'un assolement. Nous avons pu décrire ces décisions d'ajustements infra-annuel *a posteriori*, et identifier leurs déterminants au cours du temps (cf. Chapitre 4), mais nous ne sommes pas en mesure actuellement de prévoir le contenu de ces ajustements en fonction de l'évolution des informations dont dispose l'agriculteur au cours du temps.

Or, pour organiser une concertation entre agriculteurs concernant leurs choix d'assolement respectifs, il serait toutefois nécessaire d'approfondir les moments, au cours de l'année, où les agriculteurs ajustent leurs planifications d'assolement, et les moments après lesquels les ajustements ne sont plus possibles (Dury et al., 2011). Il serait donc intéressant d'**approfondir la réflexion sur les possibilités de simulation des ajustements infra-annuels dans le modèle DYSPALLOCC**. Ceci nécessiterait de prendre en compte la variabilité temporelle des déterminants des décisions d'ajustements au cours de l'année

(évolution des prix de vente, des conditions climatiques, etc.), et de simuler les réactions des agriculteurs face à l'incertitude (aversion au risque notamment). Des travaux liant agronomie et intelligence artificielle sont menés en ce sens dans le cadre des thèses de Jérôme Dury et Mahuna Akplogan (INRA Toulouse, UMR AGIR et BIA).

Il conviendrait également de réfléchir à l'intégration, dans les données d'entrée de DYSPALLOCC, de **données sur les assolements précédents de plusieurs années** (n , $n-1$, $n-2$, etc.). Ces données d'entrée supplémentaires permettraient de mieux tenir compte des contraintes temporelles sur les successions de cultures (délai de retour, durée de culture, nombre de cycles successifs), et de définir plus précisément la zone cultivable annuelle des cultures pour l'année $n+1$. Dans la version actuelle de DYSPALLOCC, seul l'assolement de l'année n est demandé, si bien que la zone cultivable annuelle est vraisemblablement surestimée pour les cultures ayant de longs délais de retour, ce qui peut sûrement expliquer une partie des erreurs actuellement commises par DYSPALLOCC.

Les données de plusieurs assolements précédents permettraient également de connaître les limites de parcelles des années antérieures, et de mieux évaluer leur caractère temporaires ou permanents. Ces données permettraient également de s'affranchir du problème suivant : si l'agriculteur a « réuni » les parcelles temporaires en année n , et qu'il a besoin de délimiter à nouveau les parcelles temporaires en année $n+1$ (pour ajuster ponctuellement les tailles de sole), alors DYSPALLOCC n'a pas les informations suffisantes pour délimiter ces parcelles temporaires en année $n+1$. L'information sur les limites de parcelles des années précédentes pourraient donc être utilisées pour cela.

Néanmoins, les données sur les limites de parcelles des assolements précédents ne pourraient pas toujours être utilisées dans les EA qui ont récemment changé de phases de cohérence, car les limites de parcelles observées dans une phase de cohérence n ne sont pas nécessairement pertinentes dans une phase de cohérence $n+1$.

5.3.3) Possibilités d'utilisation de DYSPALLOCC à l'échelle d'un paysage composé d'exploitations agricoles

A ce stade, DYSPALLOCC permet de simuler la planification d'un assolement à l'échelle de l'EA et l'organisation spatiale des cultures dans les parcelles d'une EA d'une année n à une année $n+1$. Il pourrait être utilisé pour rechercher des marges de manœuvre dans le choix d'un assolement $n+1$ à l'échelle de l'EA.

Or, si l'on souhaite utiliser l'organisation spatiale des cultures comme levier d'action pour la conciliation entre production agricole et préservation des écosystèmes, il est nécessaire de considérer cette organisation des cultures à l'échelle des paysages (Foley et al., 2005). C'est la raison pour laquelle nous souhaitons tester l'utilisation de DYSPALLOCC à l'échelle d'un paysage composé d'EA. Nous souhaitons pouvoir simuler la planification de mosaïques de cultures à l'échelle d'un paysage composé d'EA, pour pouvoir évaluer les conséquences

environnementales de ces mosaïques de cultures (ceci constitue une perspective au présent travail, nous ne le traiterons pas dans le cadre de cette thèse).

Pour utiliser DYSPALLOC à l'échelle d'un paysage, nous avons besoin de données d'entrée pour toutes les EA composant ce paysage. Or, à ce stade, ces données d'entrée ont été renseignées par des enquêtes en EA, longues et détaillées. Puisqu'il n'est évidemment pas possible d'enquêter toutes les EA d'un paysage, il est nécessaire d'utiliser des données génériques pour toutes les EA, soit dans leurs valeurs, soit dans leur mode d'obtention. Dans le chapitre suivant, nous allons donc passer à l'échelle paysage : nous allons construire des données d'entrée génériques et tester l'utilisation de DYSPALLOC à l'échelle d'un paysage composé d'EA. Ceci nous permettra de répondre à la troisième sous-question de la thèse : peut-on utiliser DYSPALLOC, modèle construit à l'échelle de l'EA, pour rendre compte de l'organisation spatiale des cultures à l'échelle d'un paysage composé d'EA ?

Conclusion du chapitre 5

Nous avons évalué le modèle DYSPALLOC en deux étapes : d'abord une validation opérationnelle visant à évaluer la qualité prédictive du modèle concernant la planification d'allocations des cultures aux parcelles, puis une validation conceptuelle visant à évaluer les concepts de parcelles fixes et parcelles temporaires introduits dans le modèle.

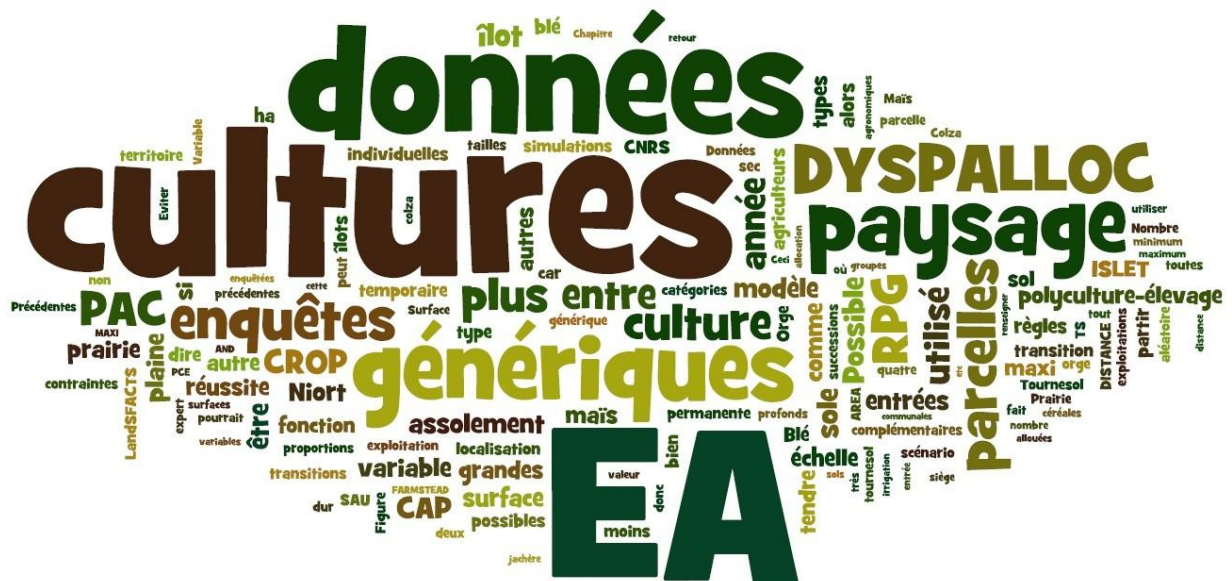
Pour la validation opérationnelle, nous avons comparé, dans cinq EA, la planification d'assolement (en 2009 pour 2010) réelle des agriculteurs, identifiée par enquêtes, avec celle simulée par DYSPALLOC. Le modèle a alloué une culture unique dans 93% des parcelles et un groupe de cultures dans 7% des parcelles. L'allocation de culture (ou groupe de cultures) a été correcte dans 83% des parcelles en moyenne. Parmi les parcelles des EA, nous avons également évalué la réussite du modèle dans les parcelles « à choix unique » (100% d'allocation correcte) et dans les parcelles « à choix multiples » (71% d'allocation correcte). Lorsque l'allocation de culture simulée par DYSPALLOC était fausse, la définition de la zone cultivable annuelle était toutefois correcte dans 95% des cas (i.e. la culture choisie réellement par l'agriculteur dans la parcelle faisait partie de la liste, établie par le modèle, des cultures possibles pour cette parcelle).

DYSPALLOC a correctement qualifié les limites de parcelles dans 90% des cas pour les limites d'îlots élémentaires, et dans seulement 40% des cas pour les limites de parcelles fixes et parcelles temporaires. Les règles de définition des parcelles fixes et temporaires introduites dans le modèle semblent insuffisantes. Nous avons alors évalué les hypothèses de construction des concepts de parcelles fixes et temporaires, par une expérimentation virtuelle avec l'outil APILandSFacts. Nous avons simulé les assolements et les découpages de parcelles dans deux EA, et avons confirmé, pour une EA, que : pour un niveau donné de contraintes sur les tailles de sole, il existe un nombre minimal de parcelles et une surface maximale de parcelles dans l'EA, au-delà desquels il n'est pas possible de trouver de solution d'assolement respectant les contraintes de tailles de sole, et au-delà desquels une limite de parcelle fixe est donc indispensable. Plus les contraintes sur les tailles de sole sont fortes, plus le seuil de surface maximale des parcelles est petit, et plus le seuil de nombre minimal de parcelles est grand (pour pouvoir respecter les tailles de sole sur l'EA).

Ainsi, DYSPALLOC apparaît comme un outil satisfaisant pour simuler la planification d'allocation des cultures aux parcelles à l'échelle d'une EA, et il permet de renouveler le concept de « parcelle » en qualifiant la temporalité de leurs limites et en renseignant les déterminants de ces limites. DYSPALLOC, en qualifiant à la fois les limites des parcelles et en simulant la planification d'assolement des agriculteurs, rend donc compte de la mosaïque de cultures dans ses deux composantes : sa configuration (définition des limites de parcelles) et sa composition (allocation spatiale des cultures à ces parcelles).

Chapitre 6.

Utilisation du modèle DYSPALLOC à l'échelle d'un paysage composé d'exploitations agricoles



Dans ce chapitre, nous présentons les résultats relatifs à la troisième sous-question de la thèse : **peut-on utiliser le modèle de décisions d'assolement DYSPALLOC, construit à l'échelle de l'exploitation agricole (EA), pour rendre compte de l'organisation spatiale des cultures à l'échelle d'un paysage composé d'exploitations ?** Si tel est le cas, alors DYSPALLOC permettrait à terme de générer des mosaïques de cultures spatialisées à l'échelle d'un paysage, et de raisonner la localisation de certaines cultures ou groupes de cultures d'intérêt au sein du paysage (pour des questions liées par exemple à la gestion locale de la biodiversité, de la coexistence OGM / non-OGM, etc.).

Nous avons ici **utilisé DYSPALLOC en parallèle dans plusieurs EA, dont les parcellaires constituent un petit paysage (au sens de mosaïque de cultures)**. Nous avons appliqué DYSPALLOC de la même façon pour chaque EA¹, i.e. en utilisant des données d'entrée spécifiques à chaque EA et en simulant les décisions de planification d'assolement *via* les huit étapes du modèle, décrites au chapitre 4, et qui sont identiques pour chaque EA. De même que dans les chapitres précédents, nous avons uniquement considéré des EA qui se trouvaient dans des phases de cohérence.

Nous avons ainsi simulé l'organisation spatiale des cultures pour une année donnée, dans un paysage composé d'EA. Ceci nous a permis d'**évaluer si le modèle DYSPALLOC, qui représente les décisions d'assolement à l'échelle de l'EA, permet de simuler correctement et d'expliquer l'organisation spatiale des cultures observée plus globalement à l'échelle d'un paysage composé d'EA (EA en phases de cohérence)**.

Or, à cette échelle, une difficulté apparaît concernant la définition des données d'entrée : il n'est en effet pas possible, pour chaque EA, de renseigner les données d'entrée de DYSPALLOC à partir d'enquêtes individuelles en EA (comme nous l'avons fait pour le chapitre 5), car elles sont très coûteuses en temps. C'est la raison pour laquelle nous avons dû élaborer des données d'entrée à partir d'autres sources de données : nous appelons ces données élaborées sans nouvelles enquêtes individuelles, les **données d'entrée génériques** (cf. section 6.1), même si elles ont parfois une valeur individualisée par EA.

Nous avons alors comparé :

- l'organisation spatiale des cultures réelle observée, avec celle simulée par DYSPALLOC (i) utilisé avec des données d'entrée génériques, (ii) utilisé avec des données d'entrée tirées d'enquêtes individuelles. Cette **comparaison à la réalité** a pour but d'évaluer la perte de qualité prédictive (supposée) du modèle due à la perte de finesse des données d'entrée à l'échelle d'un paysage composé d'EA.
- l'organisation spatiale des cultures simulée par DYSPALLOC (utilisé avec des données d'entrée génériques) avec celle simulée par un modèle aléatoire. Cette **comparaison à un modèle aléatoire** a pour but d'évaluer la pertinence de passer par

¹ Un exemple d'application du modèle a été donné à l'Encadré 1 du Chapitre 5.

la modélisation des décisions d'assolement des agriculteurs à l'échelle de l'EA (en utilisant des données d'entrée génériques) pour simuler l'organisation spatiale des cultures dans un paysage (par rapport à une modélisation aléatoire de l'allocation des cultures aux parcelles).

Dans ce chapitre, nous présentons d'abord la construction de données d'entrée génériques pour le territoire de la plaine de Niort, i.e. sans recourir à de nouvelles enquêtes individuelles en EA (section 6.1). Puis nous comparons les sorties de DYSPALLOCC utilisé avec des données d'enquêtes individuelles d'une part et des données génériques d'autre part, avant de comparer DYSPALLOCC à un modèle d'allocation aléatoire des cultures aux parcelles (section 6.2). Nous discutons enfin de l'intérêt et des limites d'utilisation de DYSPALLOCC à l'échelle d'un paysage composé d'EA (section 6.3).

6.1) Construction de données d'entrée génériques pour DYSPALLOCC

6.1.1) Démarche générale de construction des données d'entrée génériques

Nous souhaitons ici produire des données d'entrée pour DYSPALLOCC qui soient à la fois les plus précises possibles (valeurs individualisées par EA), et peu coûteuses en temps d'acquisition, ce qui exclut les enquêtes individuelles systématiques en EA. Les données construites devaient donc être un compromis entre ces deux exigences. Nous avons ainsi produit des **données génériques, soit dans leur mode d'acquisition** (ce qui permet de garder des données individualisées), **soit dans leurs valeurs** (valeurs communes entre EA, lorsque les sources de données disponibles étaient limitantes).

Nous avons choisi de **distinguer deux grands types d'exploitations et de créer deux jeux distincts de données génériques : l'un pour les exploitations de grandes cultures (GC), l'autre pour les exploitations de polyculture-élevage (PCE)**. Nous avons en effet constaté au cours de la première série d'enquêtes en EA que les données d'entrée des céréaliers et des éleveurs étaient très différentes (choix des cultures possibles et fonctions associées, et règles de successions de cultures notamment) : ainsi, même si le processus de décision des agriculteurs et des éleveurs peut être représenté de manière générique *via* DYSPALLOCC, nous pensons qu'il est indispensable de distinguer ces deux grands types d'EA en ce qui concerne les données d'entrée. Il serait vraisemblablement opportun de distinguer des sous-types d'EA pour produire des données d'entrée plus fines, mais notre objectif principal est ici de produire des données génériques à moindre coût, pour justement évaluer la perte de qualité prédictive du modèle DYSPALLOCC due à la perte de finesse de ses données d'entrée à l'échelle d'un paysage composé de plusieurs EA.

Pour construire ces deux jeux de données génériques, nous avons mobilisé les **sources de données** suivantes :

- données de précédentes enquêtes dans 12 EA de la plaine de Niort (utilisées pour construire puis évaluer DYSPALLOCC, cf. Chapitre 2) ;

- données des enquêtes communales de 2009, au sujet des bâtiments agricoles, sièges d'EA et orientations de production des EA de la zone d'étude (cf. Annexe 3 pour la méthode de recueil des données et les principaux résultats obtenus) ;
- données RPG spatialisées issues des déclarations PAC des années 2007 à 2009 ;
- base de données spatialisée du CNRS (année 2009).

Nous avons de plus mobilisé un expert des successions de cultures (Laurence Guichard, UMR Agronomie Grignon) afin de valider à dire d'expert nos choix de données d'entrée.

Remarque : lorsque nous avons utilisé les données RPG **pour produire des données par type d'EA, nous avons utilisé le RPG de 2007** car les types d'EA ont eux-mêmes été définis sur le RPG de 2007 lors des enquêtes communales (c'était l'année la plus récente disponible au moment des enquêtes communales). Lorsque nous avons utilisé les données RPG **pour produire des données individualisées par EA, nous avons utilisé le RPG de 2009** car c'était l'année la plus récente disponible au moment de la production de ces résultats). Nous n'avons pas cherché à transférer l'information sur les types d'EA (de 2007) dans le RPG de 2009, car les identifiants des EA sont différents dans les RPG de chaque année.

Le Tableau 6. 1 résume les sources de données mobilisées pour chaque variable d'entrée du modèle DYSPALLOCC, les détails pour chaque variable étant présentés ultérieurement. Les valeurs affectées à chaque variable sont :

- **soit identiques pour toutes les EA** (au sein d'un type d'EA). On s'affranchit alors des caractéristiques individuelles des EA (cases orange du Tableau 6. 1). C'est le cas par exemple pour la variable [CROP] : nous avons considéré que toutes les EA d'un même type avaient la même liste de cultures possibles.
- **soit individualisées pour chaque EA grâce à des bases de données *ad hoc*** (moyen d'obtention générique des informations). C'est le cas des données concernant le parcellaire des EA, renseigné EA par EA dans les données RPG, et des données concernant l'assolement précédent (année 2009), renseigné par les données du CNRS (cases vertes du Tableau 6. 1).
- **soit individualisées pour chaque EA grâce à un mode de calcul identique pour toutes les EA**. C'est le cas des tailles de sole des cultures (tailles de soles minimum, maximum ou optimale) qui sont calculées *via* un pourcentage (identique) de la SAU de chaque EA (cases hachurées du Tableau 6. 1). Ce pourcentage a lui-même été déterminé à partir des données RPG et de précédentes enquêtes en EA (cf. détails dans la section 6.1.4.3).

Tableau 6. 1 : Sources de données mobilisées pour renseigner chaque variable d'entrée du modèle DYSPALLOC

Volet des données d'entrée	Identifiant de la variable d'entrée	Descriptif de la variable d'entrée	Source(s) de données mobilisées pour renseigner la variable
Volet cultures	CROP	Cultures possibles sur l'exploitation	Précédentes enquêtes en EA + données RPG + enquêtes communales (identification des orientations de productions des EA)
	FUNCTION	Fonction(s) associée(s) à une culture	Précédentes enquêtes en EA
	ADJUST	Rôle d'ajustement de la culture	Précédentes enquêtes en EA
	MAX DISTANCE BETWEEN CROP AND FARMSTEAD	Distance maximum à laquelle une culture peut être cultivée du siège d'EA	Précédentes enquêtes en EA
	MIN DISTANCE BETWEEN CROP AND FOREST	Distance minimum d'un bosquet à laquelle une culture peut être cultivée	Précédentes enquêtes en EA et règle de décision exposées au chapitre 3
	IRRIGATION REQUIREMENT	Exigence irrigation de la culture	Précédentes enquêtes exposées au chapitre 3
Volet parcellaire	CAP ISLET	Ilot PAC	Données RPG 2009 (<i>shapefile</i>)
	FARMSTEAD	Siège d'exploitation	Enquêtes communales (inventaire des sièges d'EA)
	TOTAL FARM AREA	SAU de l'exploitation	Données RPG 2009
	NUMBER OF CAP ISLET	Nombre d'îlots PAC de l'exploitation	Données RPG 2009
	CAP ISLET AREA	Surface de l'îlot PAC	Données RPG 2009
	DISTANCE BETWEEN CAP ISLET AND FARMSTEAD	Distance entre l'îlot PAC et le siège d'exploitation le plus proche	Données RPG 2009 et enquêtes communales (inventaire des sièges d'EA)
	DISTANCE BETWEEN CAP ISLETS	Distance entre îlots PAC	Données RPG 2009
	DISTANCE BETWEEN CAP ISLET AND FOREST	Distance entre l'îlot PAC et la forêt ou le bosquet le plus proche	Données RPG 2009 et données CNRS 2009
	SOIL TYPE	Type(s) de sol présent(s) dans l'îlot PAC et localisation	Données RPG 2009 et données IGCS 2004
	SOIL TYPE HOMOGENEITY	Homogénéité de type de sol dans tout l'îlot PAC	Variable abandonnée à ce stade
	CAP ISLET IRRIGATION ACCESS	Accès à l'irrigation dans l'îlot PAC et localisation	Données RPG 2009
	POINTED CAP ISLET	Présence d'une pointe dans l'îlot PAC et localisation	Données RPG 2009 + expertise basée sur les précédentes enquêtes en EA

	MULTIPLE POINTED CAP ISLET	Présence de multiples pointes dans l'îlot PAC	Données RPG 2009 + expertise basée sur les précédentes enquêtes en EA
	PHYSICAL LIMIT	Présence d'une limite physique dans l'îlot PAC et localisation	Variable abandonnée à ce stade
	GROUP OF CAP ISLETS	Appartenance de l'îlot PAC à un groupe d'îlots PAC	Variable abandonnée à ce stade
Volet successions de cultures	MINIMUM CROP RETURN TIME	Délai de retour minimum de la culture	Précédentes enquêtes en EA + validation à dire d'expert en agronomie
	CROP TRANSITION MATRIX	Matrice de transition entre cultures	Précédentes enquêtes en EA + validation à dire d'expert en agronomie
	OPTIMAL CROP AREA FOR PRIORITY CROPS	Taille de sole optimale pour les cultures prioritaires	Après détermination de la hiérarchisation des cultures :
	MINI and MAXI CROP AREA FOR COMPLEMENTARY CROP GROUPS	Taille de sole minimum et maximum pour les groupes de cultures complémentaires	Précédentes enquêtes en EA + données RPG + enquêtes communales (identification des orientations de production des EA)
	MAXI CROP AREA FOR COMPLEMENTARY CROPS	Taille de sole maximum pour les cultures complémentaires	
	MAXI CROP AREA FOR ALL FACULTATIVE CROPS	Taille de sole maximum pour l'ensemble des cultures facultatives	
	MINI and MAXI CROP IMPLANTATION LENGTH	Durée de culture minimum et maximum	Précédentes enquêtes en EA + validation à dire d'expert en agronomie
	MAXI SUCCESSIVE CYCLE NUMBER	Nombre de cycles successifs maximum	Précédentes enquêtes en EA + validation à dire d'expert en agronomie
Volet annuel	PREVIOUS CROPPING PLAN	Assolement spatialisé de l'année n	Données RPG et CNRS 2009

Les cases orange représentent les données pour lesquelles toutes les EA ont la même valeur (pour un type d'EA donné) ; les cases vertes représentent les données pour lesquelles chaque EA a une valeur individualisée car l'information a été extraite de base de données. Les cases hachurées orange et vert représentent les données pour lesquelles le mode de calcul est le même pour toutes les EA, mais la valeur attribuée à chaque EA est individualisée car ramenée à sa SAU individuelle.

Pour une utilisation de DYSPALLOC avec des données génériques, nous avons **supprimé trois variables d'entrée** (Tableau 6. 1) :

- [SOIL TYPE HOMOGENEITY]. Les données utilisées pour caractériser les types de sol¹ ont été élaborées à l'échelle départementale, si bien qu'il est peu approprié de

¹ Données du programme Inventaire, Gestion et Conservation des Sols (IGCS) du Groupement d'Intérêt Scientifique sur les sols (GISSOL), cf. Chapitre 2

les utiliser à l'échelle des îlots PAC (dont la surface est parfois inférieure à 1 ha). Puisque nous n'avons pas d'autres informations, nous avons tout de même utilisé ces données départementales pour caractériser les grands types de sol présents dans chaque EA, mais nous n'avons pas été jusqu'à caractériser différents types de sol par îlot PAC (un seul type de sol attribué à chaque îlot PAC). Ceci implique que, lorsqu'utilisé avec des données d'entrée génériques, aucun îlot PAC ne sera découpé en îlot élémentaire par DYSPALLOCC en raison d'une hétérogénéité de type de sol intra-îlot PAC.

- [PHYSICAL LIMIT]. Nous n'avons pas trouvé de moyen d'identifier des limites physiques intra-îlot PAC (clôture, fossé, haie, etc.) autrement que par enquête individuelle en EA, si bien que nous avons abandonné cette variable. Ceci implique que, lorsqu'utilisé avec des données d'entrée génériques, aucun îlot PAC ne sera découpé en îlot élémentaire par DYSPALLOCC en raison d'une limite physique.
- [GROUP OF CAP ISLETS]. De même, sans enquête individuelle en EA, nous n'avons pas réussi à identifier les groupes d'îlots PAC gérés ensemble par l'agriculteur. Ceci implique que, lorsqu'utilisé avec des données d'entrée génériques, tous les îlots PAC seront traités par DYSPALLOCC comme indépendants les uns des autres : nous ne rendrons pas compte des logiques de regroupements d'îlots PAC (mais nous rendrons tout de même compte des logiques de regroupements de cultures).

Nous allons à présent détailler la méthode de construction des données génériques et la valeur affectée à chaque variable d'entrée, pour les différents volets des données d'entrée du modèle DYSPALLOCC (sections 6.1.2, 6.1.3, 6.1.4, 6.1.5).

6.1.2) Construction des données d'entrée génériques pour le volet cultures

6.1.2.1) Variable [CROP]

Cette variable va servir à définir les cultures qui seront présentes dans l'assolement n+1 simulé par DYSPALLOCC. Pour déterminer cette variable, nous avons tout d'abord identifié les cultures présentes et leurs proportions de surface par type d'EA, à l'échelle du territoire de la plaine de Niort. Les types d'EA avaient été définis à dire d'acteurs grâce aux enquêtes communales réalisées en 2009 à partir du RPG 2007 (cf. Chapitre 2 et annexe 3). Nous avons simplifié ces types d'EA en deux grands ensembles : celui des EA de grandes cultures et celui des EA de polyculture-élevage¹. Les cultures présentes ont été identifiées grâce aux catégories de cultures des données RPG (pour l'année 2007) : nous avons calculé les surfaces et proportions de chaque catégorie de culture (option « récapituler » dans le logiciel ArcGis). Le RPG contient 28 catégories de cultures (Tableau 6. 2), dont 12 représentent chacune moins de 0,1% de la surface agricole déclarée dans la plaine de Niort (riz, canne à sucre,

¹ « Grandes cultures » regroupe les types : GC; GC_DIV; GC_PLURIA. « Polyculture-élevage regroupe les types : GC_BL; GC_BL_BV; GC_BL_BV_CL; GC_BL_BV_VOL; GC_BL_DIV; GC_BL_POR; GC_BL_VOL; GC_BV; GC_BV_DIV; GC_BV_POR; GC_CL; GC_CL_BV; GC_CL_DIV; GC_OV; GC_POR; GC_VOL; VOL. Voir la Figure 2.1 au Chapitre 2 ou l'annexe 3.

oliviers, plantes à fibre, autres gels, légumineuses à grain, estives et landes, vergers, vignes, fruits à coque, autres cultures industrielles, et arboriculture).

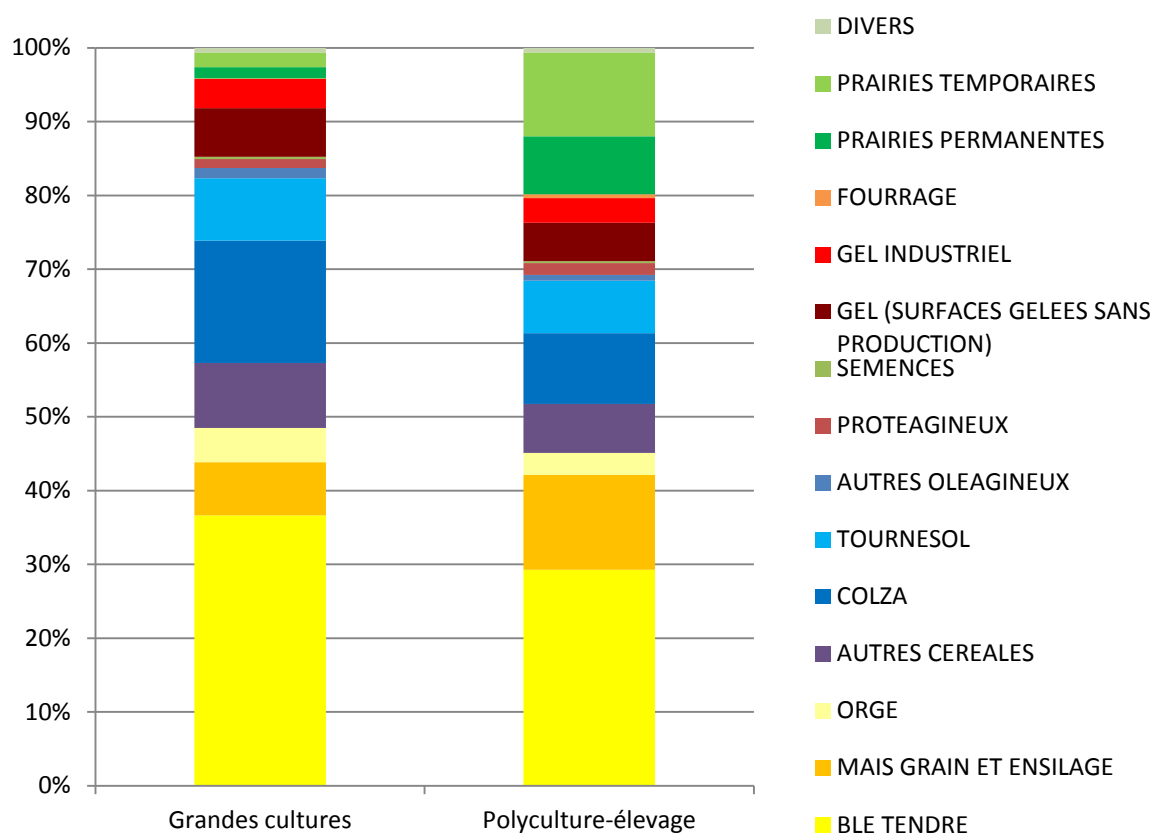
Tableau 6. 2 : Table de correspondance entre les catégories de cultures déclarées dans le RPG et les cultures observées dans les EA de grandes cultures et de polyculture-élevage dans la plaine de Niort

Identifiant des catégories de cultures dans le RPG	Nom des catégories de cultures dans le RPG	Correspondance avec les cultures dans les EA de grandes cultures	Correspondances avec les cultures dans les EA de polyculture-élevage
1	Blé tendre	Blé tendre	Blé tendre
2	Maïs grain et ensilage	Maïs	Maïs
3	Orge	Orge	Orge en majorité
4	Autres céréales	Blé dur en majorité	
5	Colza	Colza	Colza
6	Tournesol	Tournesol	Tournesol
7	Autres oléagineux	Colza	Colza
8	Protéagineux	Pois	Pois
9	Plantes à fibres		
10	Semences	Blé semences	Blé semences
11	Gel (surfaces gelées sans production)	Jachère	Jachère
12	Gel industriel	Colza	Colza
13	Autres gels		
14	Riz		
15	Légumineuses à grain		
16	Fourrage	?	?
17	Estives, landes		
18	Prairies permanentes	Prairies permanentes	Prairies permanentes
19	Prairies temporaires	Prairies temporaires	Prairies temporaires
20	Vergers		
21	Vignes		
22	Fruits à coques		
23	Oliviers		
24	Autres cultures industrielles		
25	Légumes, fleurs		
26	Canne à sucre		
27	Arboriculture		
28	Divers	?	?

Les cases en orange représentent les cultures dont la surface est inférieure à 0,4% de la surface agricole déclarée en 2007 dans la plaine de Niort.

La Nous n'avons fait apparaître que les catégories de cultures représentant plus de 0,4% de la surface totale déclarée dans le RPG 2007 pour la plaine de Niort (i.e. les catégories de cultures en blanc dans le Tableau 6. 2).

Figure 6. 1 représente les proportions de surface des différentes catégories de cultures pour les EA de grandes cultures et de polyculture-élevage respectivement (en pourcentage de la SAU).



Nous n'avons fait apparaître que les catégories de cultures représentant plus de 0,4% de la surface totale déclarée dans le RPG 2007 pour la plaine de Niort (i.e. les catégories de cultures en blanc dans le Tableau 6. 2).

Figure 6. 1 : Proportion (en % de la SAU des EA) des différentes catégories de cultures déclarées dans les données RPG 2007 pour la zone de Niort dans les EA de grandes cultures et de polyculture-élevage (types identifiés via les enquêtes communales)

Pour choisir la variable [CROP] dans les **EA de grandes cultures**, nous avons éliminé les catégories de cultures qui représentaient moins de 2% de la SAU des EA en 2007 : semences, fourrage, prairie temporaire, prairie permanente, et divers. Nous avons toutefois gardé le pois (catégorie « protéagineux », qui représentait moins de 2%), car il était cultivé dans 75% des EA enquêtées en 2009-2010 (3 EA sur 4), en raison de la prime aux protéagineux mise en place pour 2010. Les catégories « autres oléagineux » et « gel industriel » ont été assimilées au colza (cf. Tableau 6. 2). Nous avons identifié la catégorie « autres céréales » comme étant du blé dur d'après les enquêtes en EA réalisées en 2009-2010 (cultivé dans 3 EA sur 4).

Ainsi, les **cultures finalement choisies pour la variable [CROP] dans les EA de grandes cultures** sont : blé tendre, blé dur, orge, maïs, colza, tournesol, pois, et gel (i.e. jachère).

Pour choisir la variable [CROP] dans les **EA de polyculture-élevage**, nous avons de même éliminé toutes les catégories de cultures qui représentaient moins de 2% de la SAU des EA en 2007 : semences, protéagineux, fourrages et divers. Nous avons également assimilé les catégories « autres oléagineux » et « gel industriel » au colza (Tableau 6. 2). Nous avons éliminé la catégorie « gel » même si elle représentait plus de 2% de surface (5,2% en 2007), car les prairies permanentes jouaient souvent le même rôle que la jachère (couvert environnemental et valorisation des terrains difficiles) dans les EA de polyculture-élevage enquêtées en 2009-2010 (3 EA sur 5) : nous n'avons gardé que les prairies permanentes pour les EA de polyculture-élevage. De plus, nous avons regroupé les catégories « orge » et « autres céréales » pour les EA de polyculture-élevage car nous n'avons pas observé d'autres céréales majoritaires dans nos enquêtes en 2009-2010 (blé dur cultivé dans 1 EA sur 5).

Ainsi, les **cultures finalement choisies pour la variable [CROP] dans les EA de polyculture-élevage sont : blé tendre, orge, maïs, colza, tournesol, prairie temporaire et prairie permanente**. Nous avons considéré la luzerne comme une prairie temporaire.

Cela signifie que tous les assolements simulés par DYSPALLOCC dans des EA de type polyculture-élevage seront composés de ces sept cultures (et des huit cultures de l'encadré précédent dans les EA de grandes cultures).

6.1.2.2) Variables [FUNCTION] et [ADJUST]

Pour la variable [FUNCTION], nous avons utilisé les données des précédentes enquêtes : pour chaque EA enquêtée (de GC et de PCE respectivement), nous avons fait le bilan de quelle culture remplissait quelle fonction¹. **Lorsqu'une association culture-fonction était présente dans au moins 50% des EA enquêtées, alors la fonction était retenue pour la variable [FUNCTION] des données génériques**. Ces fonctions figurent en bleu dans le Tableau 6. 3 (pour les EA de GC) et le Tableau 6. 4 (pour les EA de PCE).

Remarque : Pour les exploitations de GC, le maïs ne remplissait pas de fonction partagée par plusieurs agriculteurs. Nous avons donc décidé de lui attribuer une fonction unique de « valorisation des terrains profonds », car nous avons constaté que c'était un déterminant majeur de l'implantation et de la localisation du maïs dans le territoire (Cf. Chapitre 3). Pour les exploitations de PCE, la culture « prairie temporaire » ne remplissait pas de fonction partagée par plus de 50% des EA. Aussi avons-nous décidé de lui attribuer la fonction « affouragement équilibré », remplie dans deux EA sur cinq.

¹ Ces fonctions sont décrites à la Figure 4.3 du Chapitre 4 (section 4.2.1.1). A chaque fonction est associée une ou plusieurs cultures qui peuvent remplir cette fonction (ex : vente, affouragement, tête de rotation, etc.). Les fonctions servent à définir la hiérarchie des cultures (étape 1 du modèle). Grosso modo, si une seule culture peut remplir la fonction, alors la culture est prioritaire ; si plusieurs cultures peuvent remplir une même fonction, alors les cultures sont complémentaires pour cette fonction.

Tableau 6. 3 : Liste des fonctions remplies par les cultures dans les EA de grandes cultures (4 EA enquêtées en 2009-2010 dans la plaine de Niort)

	Revenu de sécurité	Vente des récoltes	Haute valeur ajoutée	Tête de rotation	Culture de printemps	Apport N	Pailles	Fumier	Valorisation terrains difficiles	Obligation réglementaire	Ajustement
Blé tendre	3	1					3				
Blé dur		3	1				3				
Orge		2			1		2				1
Colza		3	2	4							
Tournesol		3		4	1			1			1
Pois		3		3	1	1					1
Maïs en sec	1	1							1		1
Jachère									2	4	

Tableau 6. 4 : Liste des fonctions remplies par les cultures dans les EA de polyculture-élevage (cinq EA enquêtées en 2009-2010 dans la plaine de Niort)

	Revenu de sécurité	Vente des récoltes	Haute valeur ajoutée	Vente ou aff. grain	Vente ou aff. ensilage	Aff. énergie	Aff. de sécurité	Aff. équilibré	Rotation	Pailles	Fumier	Valorisation terrains difficiles	Obligation réglementaire	Ajustement
Blé tendre	5	1								5				
Orge		3		1		1				4				2
Maïs en sec		1	1		1	3					2			
Colza		4							4					
Tournesol		5	1						5		2			2
Prairie temporaire							1	2						
Prairie permanente		1						2				1	3	

Pour les deux tableaux, les chiffres indiquent le nombre d'EA (sur 5) dans lesquelles la culture remplissait la fonction. Pour chaque culture, les fonctions retenues pour la variable [FUNCTION] figurent en bleu. Aff. = affouragement

En parallèle, nous avons identifié les cultures qui avaient un rôle d'ajustement¹ (variable [ADJUST]) parmi les EA enquêtées. Puisqu'aucune culture n'avait de rôle d'ajustement dans plus de 50% des EA, nous avons choisi de **n'allouer ce rôle d'ajustement à aucune des cultures retenues** pour les données génériques.

A ce stade, compte tenu du fait que les règles de hiérarchisation fonctionnelle des cultures dans DYSPALLOCC sont basées sur les fonctions remplies par les cultures (étape 1 du modèle), il est possible de déterminer la **hiérarchie des cultures pour les données génériques** :

- Les EA de grandes cultures auront comme cultures prioritaires : blé tendre (fonction revenu de sécurité), colza (fonction haute valeur ajoutée), maïs en sec (fonction valorisation des terrains profonds) et jachère (fonction obligation réglementaire) ; et comme cultures complémentaires : blé dur, orge, tournesol et pois. Ces EA ne comporteront pas de cultures facultatives et leurs groupes de cultures complémentaires seront : blé tendre / blé dur / orge pour la fonction « approvisionnement en pailles », et colza / tournesol / pois pour la fonction « tête de rotation ».
- Les EA de polyculture-élevage auront comme cultures prioritaires : blé tendre (revenu de sécurité), prairie temporaire (fonction affouragement équilibré), maïs (fonction affouragement en énergie), prairie permanente (fonction obligation réglementaire) ; et comme cultures complémentaires : orge, colza, tournesol. Elles n'auront pas non plus de cultures facultatives et leurs groupes de cultures complémentaires seront : blé tendre / orge d'hiver pour l'« approvisionnement en pailles », et colza / tournesol pour la fonction « tête de rotation ».

6.1.2.3) Variable [MAX DISTANCE BETWEEN CROP AND FARMSTEAD]

Pour cette variable, nous avons également utilisé les résultats des précédentes enquêtes en EA. Nous avons inventorié les règles de décisions relatives à la distance maximale entre une culture et le siège d'exploitation : nous avons identifié des règles mais elles nécessitent de connaître précisément les usages des cultures (prairie temporaire pour le pâturage des vaches laitières ou bien pour la fauche, maïs pour l'autoconsommation d'ensilage ou bien pour la vente du grain, etc.). Or, vues les cultures retenues (variable [CROP]), nous n'avons pas d'informations sur les usages des cultures, et donc pas assez d'informations pour attribuer des distances maximales au siège d'exploitation à ces cultures. Pour les données génériques, nous avons donc **attribué une valeur infinie à la variable [MAX DISTANCE BETWEEN CROP AND FARMSTEAD]**. Ceci implique que, lorsqu'utilisé avec des données génériques, la définition des zones cultivables des cultures (étape 3 de DYSPALLOCC) ne dépend pas de la distance entre l'îlot et le siège d'exploitation.

¹ Nous rappelons que chaque fonction est soit à remplir obligatoirement chaque année sur l'EA, soit non obligatoire chaque année. Si la fonction est non obligatoire chaque année, alors on dit qu'elle a un rôle d'ajustement (variable [ADJUST]).

6.1.2.4) Variable [MIN DISTANCE BETWEEN CROP AND FOREST]

Nous avons ici utilisé les résultats exposés au chapitre 3 : nous avons considéré que, pour tout type d'EA, le **tournesol n'était pas cultivable à moins de 500 m des forêts et bosquets**, en raison des fréquents dégâts sur cette culture, causés par les lapins et corbeaux en bordure de forêts. Cette règle avait en effet été énoncée par 9 agriculteurs sur 16 lors de précédentes enquêtes dans le territoire de la plaine de Niort (Schaller et al., 2011). Nous n'avons pas ajouté d'autre règle concernant d'autres cultures car nous n'en avons pas identifié lors des enquêtes dans les 12 EA enquêtées en 2009-2010.

6.1.2.5) Variable [IRRIGATION REQUIREMENT]

Les précédentes enquêtes en EA ont montré que plusieurs cultures pouvaient être irriguées dans la plaine de Niort : pois, tournesol, maïs, blé dur, luzerne, prairie temporaire, etc., mais que cette irrigation n'était pas requise dans une majorité d'EA. Néanmoins, le maïs, qui a les besoins en eau les plus conséquents, est systématiquement irrigué si cultivé en sols superficiels de groies. En sols profonds, il peut être cultivé en sec, y compris en monoculture. Ainsi, la localisation et l'irrigation du maïs dépendent essentiellement de l'accès ou non de l'exploitant à des sols profonds et du risque de restriction d'irrigation (Havet et al., 2010; Martin et al., 2009b). Dans DYSPALLOCC, nous avons distingué deux cultures de maïs différentes, l'une en sec et l'autre irriguée, afin de définir des zones cultivables distinctes (l'une uniquement en sols profonds ou inondables, l'autre sur tout type de sol). Or, pour le présent test, nous allons utiliser DYSPALLOCC avec des données génériques dans une zone où les EA n'ont pas accès à l'irrigation, si bien que nous avons décidé d'**attribuer la valeur « non obligatoire » à la variable [IRRIGATION REQUIREMENT]**. Ceci implique que, lorsqu'utilisé avec des données génériques, la culture « maïs » ne pourra pas être cultivé dans les sols de groies, et la zone cultivable des autres cultures dans DYSPALLOCC ne dépendra pas du caractère irrigué ou non des îlots.

6.1.3) Construction des données d'entrée génériques pour le volet parcellaire

6.1.3.1) Variables [CAP ISLET], [TOTAL FARM AREA], [NUMBER OF CAP ISLET], [CAP ISLET AREA] et [CAP ISLET IRRIGATION ACCESS]

Les données RPG nous ont permis de renseigner ces variables. Nous avons utilisé les données de 2009, année la plus récente disponible, afin de travailler avec les parcellaires d'EA les plus récents possibles¹.

¹ Nous rappelons que nous avons utilisé le RPG 2007 lorsqu'il s'agissait de produire des données par type d'EA (pour les volets cultures et successions de cultures par exemple), car les types d'EA ont été identifiés sur le RPG 2007. Mais nous avons travaillé avec le RPG 2009 lorsqu'il s'agissait de produire des données individualisées par EA.

Les données graphiques du RPG¹, sous forme de *shapefile* (un polygone correspondant à un îlot PAC), permettaient de renseigner les variables [CAP ISLET] et [NUMBER OF CAP ISLET]. La variable [CAP ISLET AREA] était renseignée par le champ « surface de référence de l'îlot », et [CAP ISLET IRRIGATION] par le champ « caractère irrigué ou non ». La variable [TOTAL FARM AREA] était calculée en faisant la somme des surfaces de chaque îlot de l'EA.

6.1.3.2) Variable [FARMSTEAD]

« Le siège d'exploitation est, par convention, le bâtiment principal de l'EA, à défaut de bâtiment agricole, la parcelle agricole la plus importante qui se trouve sur le territoire de la commune où est située la majeure partie des terres agricoles de l'exploitation » (agreste.agriculture.gouv.fr). Grâce aux enquêtes communales, nous avons identifié les bâtiments agricoles de la plaine de Niort, et les sièges d'exploitation de 287 EA. Chaque siège a été rattaché à son EA au moyen de l'identifiant anonyme de l'EA des données RPG 2007 (RPG disponible au moment des enquêtes communales). Ces données ont été mises sous la forme d'un ***shapefile* où chaque siège d'EA est représenté par un point** (cf. Annexe 3), ce qui nous a permis de renseigner la variable [FARMSTEAD].

6.1.3.3) Variables [DISTANCE BETWEEN CAP ISLET AND FARMSTEAD], [DISTANCE BETWEEN CAP ISLETS] et [DISTANCE BETWEEN CAP ISLET AND FOREST]

La distance entre chaque îlot PAC et le siège d'EA a été estimée sous ArcGis (via l'outil de mesure de distance), comme la distance euclidienne entre le point représentant le siège d'EA, et le centroïde du polygone représentant l'îlot PAC.

La distance entre îlots PAC a de même été estimée sous ArcGis comme la distance euclidienne entre les centroïdes des polygones représentant les îlots PAC.

La distance entre chaque îlot PAC et la forêt la plus proche a été estimée sous ArcGis comme la distance minimale entre les bords d'une part des polygones représentant l'îlot PAC et d'autre part les polygones représentant la forêt. Les polygones représentant la forêt en 2009 ont été identifiés à partir des données spatialisées d'occupation du sol identifiées par le CNRS, qui renseignent la localisation des forêts et friches (codes de cultures 15 et 90).

6.1.3.4) Variable [SOIL TYPE], [POINTED CAP ISLET] et [MULTIPLE POINTED CAP ISLET]

Pour déterminer les types de sol des îlots PAC (un seul type de sol par îlot PAC), nous avons utilisé les données pédologiques départementales élaborées par le programme IGCS (Figure 2.3 du chapitre 2). Nous avons procédé de la façon suivante :

- Si l'îlot PAC avait son centroïde dans la couche « groies superficielles », alors le type de sol était considéré comme « **groies** » ;

¹ Voir <http://www.asp-public.fr/?q=node/856>

- Si l'îlot PAC avait son centroïde dans la couche « vallées calcaires », alors le type de sol était considéré comme « **profond** » ;
- Les autres îlots PAC étaient considérés comme ayant un type de sol **intermédiaire** entre « groies » et « profonds ».

Ceci implique que, lorsqu'utilisé avec des données génériques, DYSPALLOCC fonctionne avec des types de sol (groies / profonds / intermédiaires) qui sont différents de lorsqu'utilisé avec des données individuelles d'enquêtes (groies / profonds / inondables). Ceci a des conséquences sur la définition des zones cultivables des cultures.

Par ailleurs, pour déterminer si un îlot PAC comportait une pointe ou plusieurs pointes (ou pas de pointe), nous avons utilisé un critère visuel basé sur notre expertise des précédentes enquêtes en EA : c'est donc essentiellement la forme géométrique des îlots PAC qui nous a permis de caractériser la présence de pointes dans ces îlots PAC. Un exemple est donné à la Figure 6. 2.

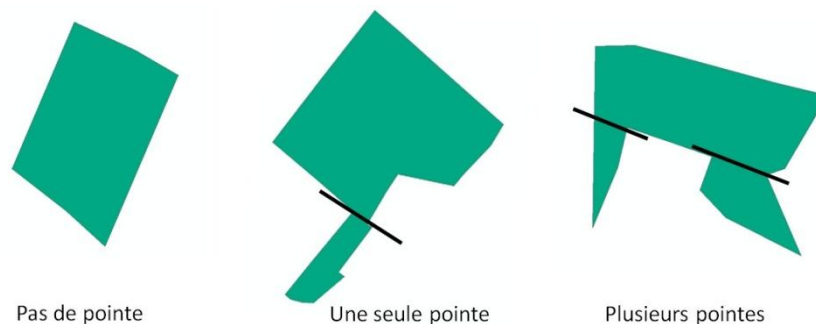


Figure 6. 2 : Exemple d'identification de pointes à l'intérieur des îlots PAC (exemples tirés du RPG 2009)

6.1.4) Construction des données d'entrée génériques pour le volet successions de cultures

6.1.4.1) Variables [MINIMUM CROP RETURN TIME] [MAXI SUCCESSIVE CYCLE NUMBER] et [MINI and MAXI CROP IMPLANTATION LENGTH]

Pour déterminer les délais de retour minimum des cultures, nous nous sommes basés sur les valeurs données par les agriculteurs enquêtés en 2009-2010. Nous avons synthétisé ces connaissances et proposé des valeurs de **délai de retour** génériques, validées ensuite à dire d'expert (Laurence Guichard, UMR Agronomie) sur la base de ses connaissances des successions de cultures types de la région Poitou-Charentes.

Ces délais de retour sont donnés au Tableau 6. 5. Le délai de retour de 1 an du maïs se justifie par le fait qu'il est fréquemment cultivé en monoculture dans les sols profonds.

Tableau 6. 5 : Délais de retour minimum des cultures pour les exploitations de grandes cultures et de polyculture-élevage de la plaine de Niort (données agrégées à partir d'enquêtes en exploitations et de dire d'expert)

Exploitations de grandes cultures (GC)		Exploitations de polyculture-élevage (PCE)	
Cultures	DR minimum (années)	Cultures	DR minimum (années)
Blé tendre grain	2	Blé tendre	2
Blé dur	3		
Orge	3	Orge d'hiver	3
Colza	3	Colza	3
Tournesol	3	Tournesol	3
Pois	4	Prairie temporaire	2
Maïs en sec	1	Maïs en sec	1
Jachère	1	Prairie permanente	1

Les seules cultures pour lesquelles il est nécessaire de considérer un **nombre de cycles successifs maximal** sont celles pour lesquelles le délai de retour minimum est égal à 1 : maïs, jachère et prairie permanente. Nous avons considéré ces trois cultures comme de potentielles monocultures, si bien que leur nombre de cycles successifs maximal n'est pas limité.

Enfin, nous considérerons la **durée de culture minimale et maximale des cultures pluriannuelles**. La seule culture pluriannuelle ici est « prairie temporaire », qui rassemble toutes sortes de prairies : ray-grass, luzerne, graminées, etc. Puisque ces différents types de prairies peuvent avoir des durées très variables, nous avons choisi des durées de culture assez souples : 1 an minimum et 5 ans maximum. Nous avons choisi un maximum de 5 ans car au-delà de 5 ans, les prairies temporaires doivent être déclarées à part pour la PAC, si bien que la plupart des agriculteurs interrogés ont déclaré ne pas les faire durer plus de 5 ans lorsque ces prairies étaient incluses dans une succession de cultures (par opposition aux prairies permanentes).

6.1.4.2) Variable [CROP TRANSITION MATRIX]

Tableau 6. 6 : Matrice de transition entre cultures des EA de grandes cultures de la plaine de Niort (données génériques établies à partir d'enquêtes en EA et de dire d'expert)

N	N+1	Blé tendre	Blé dur	Orge	Colza	Tournesol	Pois	Maïs en sec	Jachère
Blé tendre	Interdit	Eviter	Possible	Possible	Possible	Possible	Possible	Interdit	Interdit
Blé dur	Possible	Interdit	Eviter	Possible	Possible	Possible	Possible	Interdit	Interdit
Orge	Interdit	Interdit	Interdit	Possible	Possible	Possible	Possible	Interdit	Interdit
Colza	Possible	Eviter	Interdit	Interdit	Interdit	Interdit	Interdit	Interdit	Interdit
Tournesol	Possible	Possible	Interdit	Interdit	Interdit	Interdit	Interdit	Interdit	Interdit
Pois	Possible	Possible	Interdit	Interdit	Interdit	Interdit	Interdit	Interdit	Interdit
Maïs en sec	Interdit	Interdit	Interdit	Interdit	Interdit	Interdit	Interdit	Obligatoire	Interdit
Jachère	Interdit	Interdit	Interdit	Interdit	Interdit	Interdit	Interdit	Interdit	Obligatoire

Tableau 6. 7 : Matrice de transition entre cultures des EA de polyculture-élevage de la plaine de Niort (données génériques établies à partir d'enquêtes en EA et de dire d'expert)

N	N+1	Blé tendre	Orge	Colza	Tournesol	Prairie temporaire	Maïs en sec	Prairie permanente
Blé tendre		Interdit	Possible	Possible	Possible	Possible	Eviter	Interdit
Orge		Interdit	Interdit	Possible	Possible	Eviter	Interdit	Interdit
Colza		Obligatoire	Interdit	Interdit	Interdit	Interdit	Interdit	Interdit
Tournesol		Possible	Interdit	Interdit	Interdit	Eviter	Interdit	Interdit
PT		Possible	Interdit	Interdit	Eviter	Eviter	Eviter	Interdit
Maïs en sec		Eviter	Interdit	Interdit	Eviter	Interdit	Possible	Interdit
PP		Interdit	Interdit	Interdit	Interdit	Interdit	Interdit	Obligatoire

De même que précédemment, nous avons synthétisé les données recueillies lors des précédentes enquêtes pour construire des matrices de transition entre cultures, puis ces matrices génériques ont été validées à dire d'expert. Le Tableau 6. 6 donne cette matrice pour les EA de grandes cultures, et le Tableau 6. 7 pour celles de polyculture-élevage.

Comme dans DYSPALLOC, ces matrices comportent quatre classes de transition entre cultures entre une année n et une année n+1 : transitions obligatoire (cases vertes), interdite (cases blanches), possible (cases bleues) ou à éviter (cases roses).

6.1.4.3) Toutes les variables [CROP AREA]

Dans DYSPALLOC, les tailles de sole des cultures doivent être renseignées en fonction de la place des cultures dans la hiérarchie : les cultures prioritaires ont une taille de sole optimale ; les cultures complémentaires ont une taille de sole maximale (leur taille de sole minimale est de zéro), et les groupes de cultures complémentaires ont des tailles de sole minimale et maximale¹.

Les données du RPG permettent de connaître les surfaces moyennes des catégories de cultures par EA pour tout le territoire de la plaine de Niort (Nous n'avons fait apparaître que les catégories de cultures représentant plus de 0,4% de la surface totale déclarée dans le RPG 2007 pour la plaine de Niort (i.e. les catégories de cultures en blanc dans le Tableau 6. 2).

Figure 6. 1), mais pas de distinguer des tailles de sole minimale ou maximale.

C'est pourquoi, en plus des surfaces moyennes des cultures renseignées par le RPG 2007 (en % de la SAU) par type d'EA², nous avons également considéré les tailles de sole exprimées par les agriculteurs lors des précédentes enquêtes en EA (2009-2010). Nous avons fait la moyenne, par type d'EA, des tailles de sole optimale, minimale et maximale, et les avons exprimées en pourcentage de la SAU des EA.

¹ Le groupe des cultures facultatives a aussi une taille de sole maximale (sa taille de sole minimale est de zéro) mais, pour les données génériques, nous avons expliqué à la section 6.1.2.2 qu'il n'y avait pas de cultures facultatives.

² Nous rappelons que nous avons utilisé le RPG 2007 lorsqu'il s'agissait de produire des données par type d'EA, car les types d'EA ont été identifiés sur le RPG 2007.

Puis à partir de la comparaison entre ces deux informations (RPG et enquêtes), nous avons déterminé des tailles de sole génériques pour les EA de grandes cultures (Tableau 6. 8) et pour les EA de polyculture-élevage (Tableau 6. 9). Ces tailles de sole sont ici exprimées en pourcentage de la SAU de l'EA, et il conviendra de calculer une valeur individuelle en ha pour chaque EA.

Tableau 6. 8 : Tailles de sole génériques des cultures dans les EA de grandes cultures de la plaine de Niort (données établies à partir d'enquêtes et des données RPG 2007 appliquées aux EA de grandes cultures)

Tailles de sole optimale des cultures prioritaires (en % de la SAU)	Blé tendre	Colza	Maïs en sec	Jachère
Moyenne enquêtes (%)	33,40%	18,85%	13,37%	6,08%
Proportion RPG 2007 (%)	36,50%	16,52%	7,19%	6,59%
Valeur générique choisie (%)	35%	17%	10%	7%
Tailles de sole des groupes de cultures complémentaires (en % de la SAU)	Céréales à pailles		Oléoprotéagineux	
Moyenne enquêtes (%)	BT+BD mini	BT+BD maxi	C+T+P mini	C+T+P maxi
	40,57%	55,13%	28,33%	43,40%
Proportion RPG 2007 (%)	BT+Orge+Autres céréales		C+T+Autres ol+Gel ind+Prot	
	49,89%		31,41%	
Valeur générique choisie (%)	BT+BD+O mini	BT+BD+O maxi	C+T+P mini	C+T+P maxi
	42%	58%	28%	40%
Tailles de sole des cultures complémentaires (en % de la SAU)	Blé dur	Orge	Tournesol	Pois
Moyenne enquêtes (%)	TS maxi	-	TS maxi	TS maxi
	20,63%	-	20,45%	11,37%
Proportion RPG 2007 (%)	TS Autres cér	TS Orge	TS Tournesol	TS Prot
	8,78%	4,60%	8,40%	1,21%
Valeur générique choisie (%)	BD maxi	Orge maxi	T maxi	P maxi
	18%	10%	18%	8%

BT = blé tendre ; BD = blé dur ; C = colza ; T = tournesol ; P = pois ; O = orge ; Ol = oléagineux ; Gel ind = gel industriel ; Prot = protéagineux ; Autres cér = autres céréales

Tableau 6. 9 : Tailles de sole génériques des cultures dans les EA de polyculture-élevage de la plaine de Niort
(données établies à partir d'enquêtes et des données RPG 2007 appliquées aux EA de polyculture-élevage)

Tailles de sole optimale des cultures prioritaires (en % de la SAU)	Blé tendre	Prairie temporaire	Maïs en sec	Prairie permanente
Moyenne enquêtes (%)	BT 29,10%	PT+LUZ 27,88%	M 10,58%	PP 5,42%
Proportion RPG 2007 (%)	BT 29,18%	PT+Gel+Frg+Prot 18,66%	M 12,79%	PP 7,84%
Valeur générique choisie (%)	29%	20%	11%	7%
Tailles de sole des groupes de cultures complémentaires (en % de la SAU)	Céréales à pailles		Oléagineux	
Moyenne enquêtes (%)	BT+O mini 30,98%	BT+O maxi 39,14%	C+T mini 17,40%	C+T maxi 30,26%
Proportion RPG 2007 (%)	BT+Orge+Autres céréales 38,81%		C+T+Autres Ol+Gel Indus 20,72%	
Valeur générique choisie (%)	32%	45%	15%	30%
Tailles de sole des cultures complémentaires (en % de la SAU)	Orge	Colza	Tournesol	
Moyenne enquêtes (%)	TS maxi 9,80%	TS maxi 12,15%	TS maxi 16,88%	
Proportion RPG 2007 (%)	TS moyenne Orge+Autre Cér 9,63%	TS moyenne 9,53%	TS moyenne 7,11%	
Valeur générique choisie (%)	Orge maxi 10%	C maxi 12%	T maxi 15%	

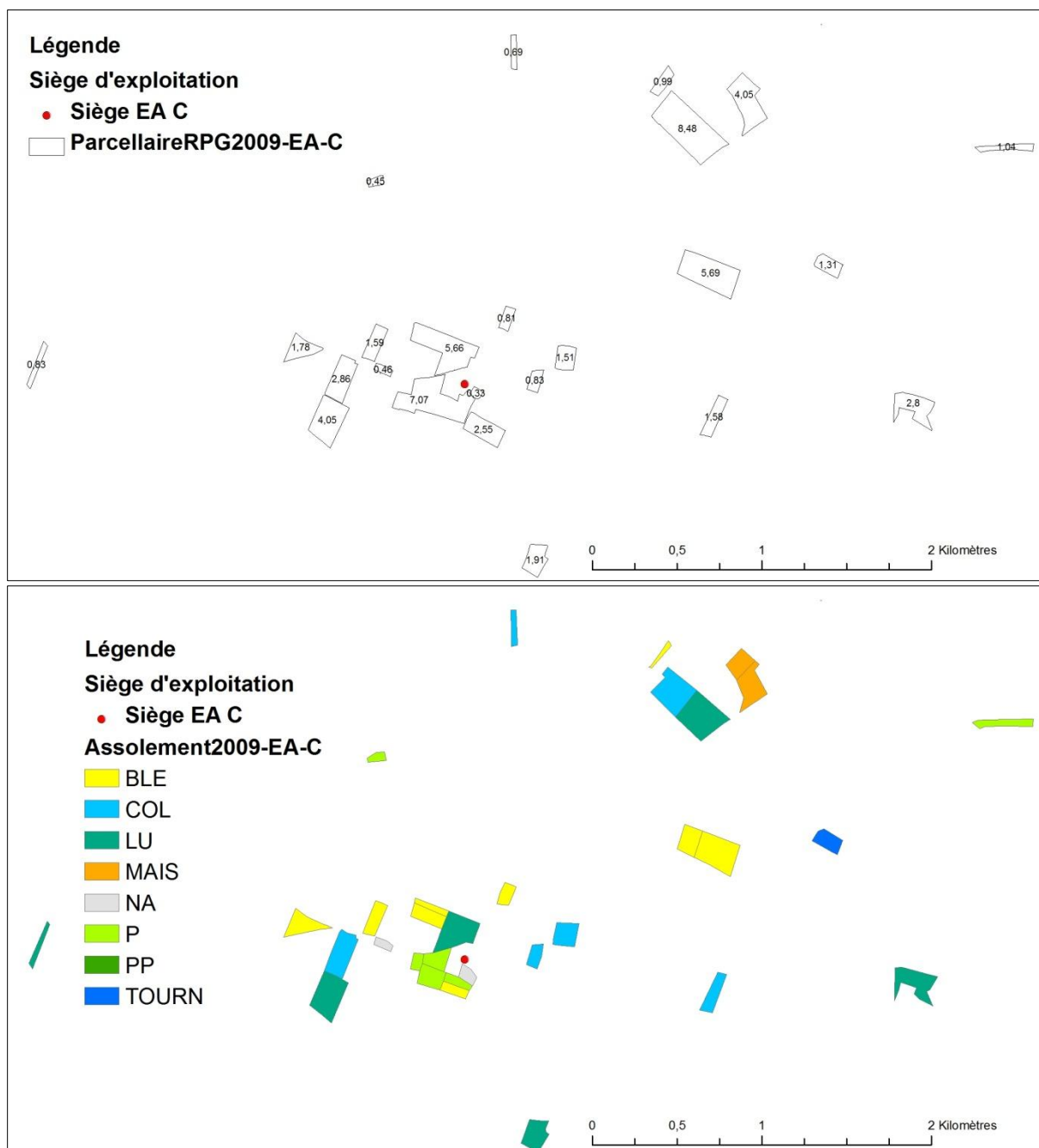
BT = blé tendre ; C = colza ; T = tournesol ; O = orge ; PT = prairie temporaire ; Frg = fourrage ; LUZ = luzerne ; PP = prairie permanente ; Ol = oléagineux ; Prot = protéagineux ; Autre cér = autres céréales ; Gel indus = gel industriel ; M = maïs

6.1.5) Construction des données d'entrée génériques pour le volet assolement de l'année n [PREVIOUS CROPPING PLAN]

Nous allons utiliser DYSPALLOC pour simuler l'assolement planifié pour 2010, à partir de l'assolement 2009. Nous avons donc besoin de connaître l'assolement (i.e. avec les limites de parcelles) de chaque EA pour 2009. Pour cela, nous avons utilisé les données 2009 :

- (i) du RPG, qui renseignent les limites externes du parcellaire *via* les îlots PAC et les surfaces des catégories de cultures dans chaque îlot PAC (parmi les 28 catégories du RPG), mais sans donner la localisation de ces catégories de cultures à l'intérieur de l'îlot PAC, ni les limites de parcelles ;
- (ii) du CNRS, qui renseignent les limites de parcelles et l'occupation du sol dans chaque parcelle (parmi les catégories d'occupation du sol définies par le CNRS).

Pour chaque EA sur laquelle nous voulions appliquer le modèle DYSPALLOC, nous avons tout d'abord sélectionné le parcellaire de l'EA dans les données RPG (îlots PAC déclarés). Puis, dans la base de données du CNRS, nous avons sélectionné toutes les parcelles qui avaient leur centroïde dans un îlot PAC de l'EA (sélection spatiale dans ArcGis). Nous avons alors exporté ces données dans une nouvelle couche et légendé les cultures présentes dans chaque parcelle. Un exemple de parcellaire RPG et d'assolement 2009 renseigné par la base de données du CNRS est donné à la Figure 6. 3.



COL = colza ; LU = luzerne ; NA = non agricole ; P = prairie ; PP = prairie permanente ; TOURN = tournesol
 Figure 6. 3 : Parcellaire RPG et assolement 2009 de l'exploitation numéro C, obtenu à partir de la base de données spatiale du CNRS et du RPG 2009

Une des difficultés à ce stade est que les catégories de cultures définies dans le RPG ne coïncident pas nécessairement avec celles définies par le CNRS. Une autre difficulté tient au fait qu'une même culture peut faire partie de différentes catégories d'occupation du sol dans la base de données du CNRS, en fonction de l'observateur qui a renseigné cette culture (ex : du blé peut être catégorisé en « blé » ou en « céréale » si l'observateur n'a pas reconnu que c'était du blé ; cf. Tableau 6. 10).

Nous avons donc agrégé les catégories de culture définies par le CNRS, en 15 catégories présentées dans le Tableau 6. 10 (inspiré de (Bernard, 2010)), en rappelant leur correspondance possible avec les catégories définies dans le RPG.

Tableau 6. 10 : Tableau de correspondance entre les catégories d'occupation du sol définies par le CNRS, celles utilisées pour décrire l'assolement 2009 (variable [PREVIOUS CROPPING PLAN]) et les catégories de cultures définies dans le RPG. Adapté de : (Bernard, 2010)

Code CNRS	Libellé du code culture CNRS	Code- Culture agrégé	Corresp. RPG	Code CNRS	Libellé du code culture CNRS	Code- Culture agrégé	Corresp. RPG
10	Prairie permanente (âge>3 ans)	PP	PP	45	Avoine	CER	Autres céréales
11	Prairie âge inconnu	P	PT	46	Seigle	CER	Autres céréales
15	Friche	F	Divers	47	Orge de printemps	O	Orge
20	Prairie temporaire (âge 2-3 ans)	PT	PT	50	Colza	COL	Colza
25	Luzerne	LU	PT	62	Pois	POIS	Protéagineux
30	Ray grass suivi inconnu	RG	PT	64	Sorgho/Millet	CER	Autres céréales
31	Ray grass suivi RG	RG	PT	65	Sorgho	CER	Autres céréales
32	Ray grass suivi Maïs	RG	PT	66	Millet	CER	Autres céréales
33	Ray grass suivi TOURN	RG	PT	70	Labour	AC	Divers
34	Moha	PT	PT	71	Maïs	MAIS	Maïs
35	Ray grass suivi Labour	RG	PT	72	Tournesol	TOURN	Tourne-sol
36	Jachère spontanée	JA	Gel	74	Autre culture	AC	Divers
37	Prairie année 1	P	PT	91	Vigne	AC	Vignes
38	Jachère suivi de Labour	JA	Gel	251	Luzerne 1an	LU	PT
40	Céréale	CER	Autres céréales	252	Luzerne 2 ans	LU	PT
41	Blé	BLE	Blé	253	Luzerne 3ans	LU	PT
42	Blé barbu	BLE	Blé	254	Luzerne > 3ans	LU	PT
44	Orge d'hiver	O	Orge				

AC = autres cultures ; BLE = blé ; CER = céréales ; COL = colza ; F = friche ; JA = jachère ; LU = luzerne ; MAIS = maïs ; O = orge ; P = prairie ; POIS = pois ; PP = prairie permanente ; PT = prairie temporaire ; RG = ray grass ; TOURN = tournesol

Il est important de noter que **parfois, les cultures réelles de l'assolement 2009 identifiées grâce aux données RPG et CNRS ne correspondaient pas aux cultures que nous avons définies comme génériques (variable [CROP])**. Même si cela pouvait engendrer des erreurs, nous avons tout de même simulé l'assolement 2010 avec DYSPALLOCC en considérant notre liste générique de cultures [CROP].

Dans l'étape 6 du modèle, la connaissance de la culture 2009 dans chaque parcelle [PREVIOUS CROPPING PLAN] est utilisée par DYSPALLOCC pour déterminer la liste des cultures possibles par parcelle pour l'année 2010, compte tenu des règles de successions de cultures données en entrée (matrice de transition entre cultures). Lorsque, dans l'assolement 2009, nous avons identifié une parcelle portant une culture X qui n'était pas dans la liste des cultures [CROP], la culture X n'était pas renseignée dans la matrice générique de transition entre cultures ([CROP TRANSITION MATRIX], établie à la section 6.1.4.2). Nous avons déterminé la transition entre X et les cultures génériques de [CROP] de la façon suivante :

- Si la culture X identifiée est luzerne, prairie d'âge inconnu, ou ray-grass, alors elle est assimilée à une prairie temporaire (pour les EA de PCE) et suit la transition d'une prairie temporaire ;
- Si la culture X identifiée est céréales, alors on considère toutes les transitions possibles et à éviter des cultures de céréales de l'EA (blé tendre, blé dur, orge pour les EA de GC ; blé tendre, orge pour les EA de PCE) ;
- Si la culture X identifiée est prairie permanente ou friche pour une EA de GC, alors on considère que c'est une jachère. Inversement si la culture identifiée est jachère ou friche dans une EA de PCE, alors on considère que c'est une prairie permanente ;
- Si la culture X identifiée est une autre culture n'appartenant pas à la liste générique des cultures possibles sur l'EA [CROP], alors nous avons considéré que toutes les transitions étaient possibles pour l'année n+1, comme si nous n'avions pas d'information sur la culture 2009 (toutes les cultures sont alors possibles en n+1 sur la parcelle considérée).

6.2) Simulations d'allocations spatiales de cultures aux parcelles, à l'échelle d'un paysage composé d'exploitations

6.2.1) Rappel de la démarche

Dans un premier temps, nous avons utilisé **DYSPALLOCC** pour simuler l'assolement planifié pour 2010 d'un ensemble d'EA, puis **comparé les résultats de ces simulations, aux assolements réels observés en 2010** (et pas réels planifiés). DYSPALLOCC a été utilisé d'une part avec des **données d'entrée individuelles tirées d'enquêtes**, et d'autre part avec les **données génériques précédemment construites**. La comparaison de la réussite du modèle pour ces deux utilisations (données individuelles / données génériques) a pour but d'évaluer la perte de qualité prédictive (supposée) de DYSPALLOCC lorsqu'utilisé avec des données génériques (plutôt qu'individuelles), à l'échelle d'un paysage composé d'EA.

Dans un deuxième temps, nous avons **comparé les assolements simulés par DYSPALLOCC en utilisant des données génériques, avec ceux simulés par un modèle aléatoire**. Cette comparaison a pour but d'évaluer la pertinence de passer par la modélisation des décisions d'assolement à l'échelle de l'EA (*via* le modèle DYSPALLOCC utilisé avec des données génériques par type d'EA), pour simuler l'organisation spatiale des cultures d'une année $n+1$, à partir de l'année n connue, par rapport à une modélisation aléatoire de l'allocation des cultures aux parcelles.

Nous avons distingué quatre scénarios aléatoires, dans lesquels la liste des cultures à allouer aux parcelles est identique (variable [CROP]), mais dans lesquels le niveau de contraintes agronomiques est croissant :

- S1 « *random* » : allocation totalement aléatoire des cultures aux parcelles (n'importe quelle culture peut être allouée à n'importe quelle parcelle, toutes les transitions de cultures sont équiprobables, et toutes les cultures peuvent être cultivées dans n'importe quelle proportion). Les cultures possibles sont renseignées par la variable [CROP];
- S2 « *random+prop* » : allocation aléatoire des cultures aux parcelles, mais avec une contrainte sur les proportions de cultures à l'échelle de l'EA. Les proportions de cultures sont renseignées par les variables [CROP AREA] ;
- S3 « *random+transition* » : allocation aléatoire des cultures aux parcelles, mais avec une contrainte sur les transitions de cultures d'une année n à l'année $n+1$ (les transitions peuvent être soit interdites, soit obligatoires, soit possibles). Ces transitions sont renseignées par la variable [CROP TRANSITION MATRIX] et correspondent à des règles agronomiques de successions de cultures ;
- S4 « *random+prop+transition* » : allocation aléatoire des cultures aux parcelles, mais avec une double contrainte sur les proportions de cultures à l'échelle de l'EA et sur les transitions de cultures d'une année à l'autre.

Le modèle utilisé pour **simuler ces quatre scénarios d'allocations aléatoires** est le logiciel **LandSFACTS** (Castellazzi et al., 2007a; Castellazzi et al., 2010b). Comme expliqué dans le chapitre 5, ce modèle permet en effet de simuler aléatoirement des allocations de cultures à des parcelles, en respectant les contraintes choisies par l'utilisateur. Nous appliquons ici des contraintes sur les tailles de sole (proportions de cultures) et sur les transitions de cultures d'une année à l'autre. Nous rappelons que, contrairement à APILandSFACTS qui permet de simuler des assolements en faisant varier les limites de parcelles, LandSFACTS simule des allocations de cultures aux parcelles en considérant un seul parcellaire au cours du temps (i.e. les limites de parcelles ne peuvent pas changer au cours du temps). Nous avons donc donné en entrée de LandSFACTS le parcellaire connu de l'année 2009 (avec les limites de parcelles de l'année 2009).

Pour le scénario « *random* », nous n'avons mis aucune contrainte dans LandSFACTS ; pour le scénario « *random+prop* », nous avons défini des contraintes dans la catégorie *yearly crop proportions* ; et pour le scénario « *random+transition* », nous avons défini des matrices de

transition dont les probabilités n'étaient pas équiprobables (probabilité de 0 pour une transition interdite, de 1 pour une transition obligatoire, et entre les deux pour une transition possible). Pour le scénario « *random+prop+transition* », nous avons appliqué les deux contraintes. Le détail des paramétrages des simulations LandSFACTS est donné à l'annexe 7. Nous avons réalisé **1 000 simulations par scénario**. Nous supposons que ces simulations seront d'autant plus réussies (i.e. que l'allocation de cultures aux parcelles simulée sera proche de celle observée dans la réalité) que le niveau de contraintes introduit est élevé.

Toutes les simulations (DYSPALLOC et LandSFACTS) ont été réalisées pour une série d'**EA enquêtées dans le cadre d'un stage** (Bernard, 2010). Ces enquêtes ont permis de renseigner à la fois les données d'entrée individuelles, et les assolements réalisés en 2010 (auxquels comparer les assolements simulés). Nous aurions pu comparer les assolements simulés aux données RPG ou CNRS 2010, mais ces données n'étaient pas encore disponibles au moment de la production des résultats. Parmi les 14 EA enquêtées par Bernard (2010) (cf. Chapitre 2), neuf EA se situaient dans des phases de cohérence et faisaient l'objet de suffisamment de données (les EA D, G, I, K et M ont été exclues). Parmi les neuf EA, nous avons choisi¹ d'appliquer DYSPALLOC et LandSFACTS à **2 EA de grandes cultures** (exploitations C et E) et **2 EA de polyculture-élevage** (exploitations H et J) (cf. Figure 2.9 du chapitre 2). Ces quatre EA **composent un paysage de 327,90 ha**.

6.2.2) Comparaison des sorties obtenues par DYSPALLOC utilisé avec des données individuelles d'enquêtes et avec des données génériques

Lorsqu'utilisé avec des **données d'entrée basées sur des enquêtes individuelles** dans chaque EA, DYSPALLOC a correctement alloué une culture ou un groupe de cultures dans 81 parcelles sur 117, soit **69% des parcelles** ; ce qui correspond à 234,82 ha sur 327,90 ha, soit **71% de la surface** (Tableau 6. 11). Ces pourcentages de réussite varient fortement d'une EA à l'autre, de 55 à 85% pour le nombre de parcelles correctement allouées, et de 58 à 88% pour la surface correctement allouée.

Lorsqu'utilisé avec des **données d'entrée génériques** pour les quatre EA (données d'entrée génériques identiques pour les EA C et E d'une part, et H et J d'autre part), DYSPALLOC a correctement alloué une culture ou un groupe de cultures dans 66 parcelles sur 117, soit **56% des parcelles** ; ce qui correspond à 179,36 ha sur 327,90 ha, soit **54% de la surface** (Tableau 6. 11). Ces pourcentages de réussite varient également fortement d'une EA à l'autre, de 42 à 76% pour le nombre de parcelles correctement allouées, et de 36 à 82% pour la surface correctement allouée.

¹ Nous n'avons pas pu tester la démarche sur l'ensemble des EA par manque de temps. Notre objectif n'était pas d'être exhaustif mais principalement de tester la démarche. Nous avons donc choisi quatre EA, parmi les neuf qui se trouvaient dans une phase de cohérence, qui avaient des parcellaires proches géographiquement, afin de pouvoir produire une carte des résultats en combinant les quatre parcellaires composant le petit paysage étudié.

Tableau 6. 11 : Résultats des simulations d'assolement 2010 par DYSPALLOCC utilisé avec des données d'entrée individuelles ou génériques, pour quatre EA de la plaine de Niort

		Total /EA	Allocations réussies par DYSPALLOCC pour les données individuelles		Allocations réussies par DYSPALLOCC pour les données génériques	
EA E	Nombre de parcelles	21	18	85,71%	16	76,19%
	Surface (ha)	50,66	44,64	88,12%	41,58	82,08%
EA C	Nombre de parcelles	31	23	74,19%	21	67,74%
	Surface (ha)	65,45	45,57	69,63%	42,67	65,19%
EA J	Nombre de parcelles	31	21	67,74%	13	41,94%
	Surface (ha)	86,33	71,95	83,34%	31,06	35,98%
EA H	Nombre de parcelles	34	19	55,88%	16	47,06%
	Surface (ha)	125,46	72,66	57,91%	64,05	51,05%
Total 4 EA	Nombre de parcelles	117	81	69,23%	66	56,41%
	Surface (ha)	327,9	234,82	71,61%	179,36	54,70%

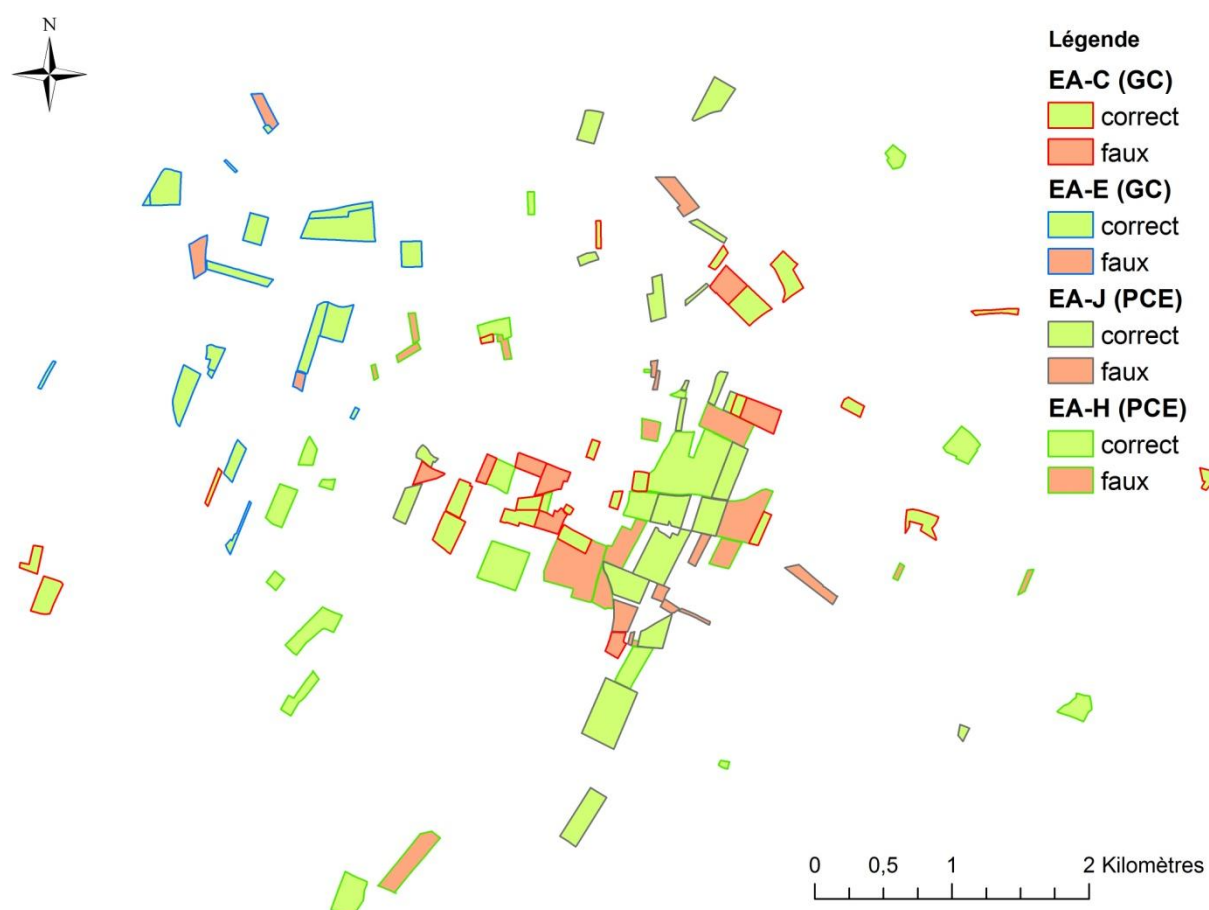


Figure 6. 4 : Résultats spatialisés des simulations d'assolement 2010 par DYSPALLOCC utilisé avec des données d'entrée individuelles, pour un paysage composé de quatre EA de la plaine de Niort

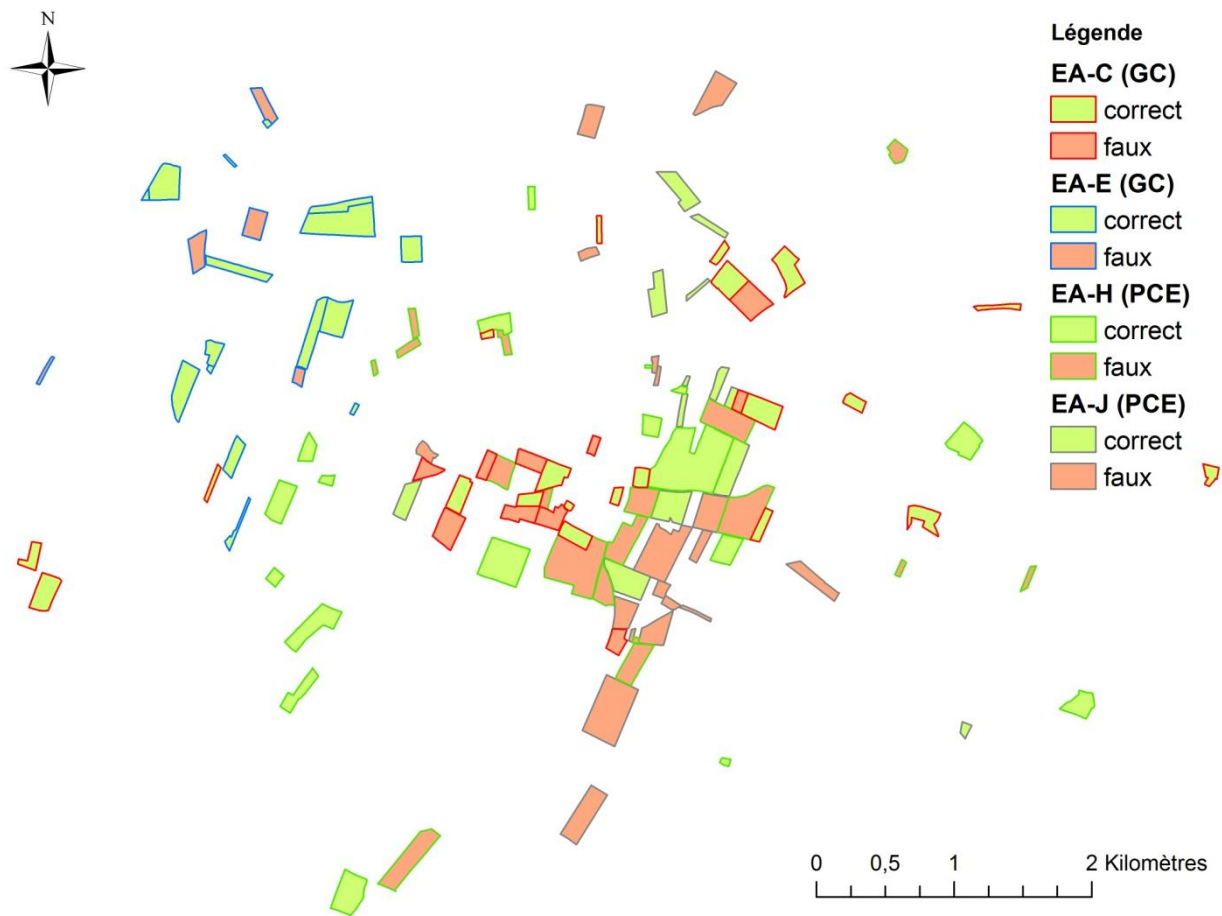


Figure 6. 5 : Résultats spatialisés des simulations d'assolement 2010 par DYSPALLOC utilisé avec des données d'entrée génériques, pour un paysage composé de quatre EA de la plaine de Niort

Ces résultats (Tableau 6. 11) confirment l'hypothèse selon laquelle la qualité prédictive de DYSPALLOC utilisé avec des données d'entrée génériques est moins bonne que celle de DYSPALLOC utilisé avec des données individuelles. La **baisse de qualité prédictive du modèle due à la moindre finesse des données d'entrée est de l'ordre de 15% environ**.

La localisation des parcelles où ont été allouées une culture ou un groupe de cultures correctes (vs. erronées) pour les quatre EA testées est donnée à la Figure 6. 4 pour DYSPALLOC utilisé avec des données individuelles, et à la Figure 6. 5 pour DYSPALLOC utilisé avec des données génériques. Les parcelles « correctes » figurent en vert et celles « fausses » en orange. La couleur du contour des parcelles correspond aux EA à laquelle appartiennent les parcelles.

Nous constatons que :

- 30 erreurs d'allocation de cultures aux parcelles ont été communes entre les simulations réalisées avec données individuelles d'enquêtes et données génériques ;
- 6 erreurs d'allocation de cultures aux parcelles ont été commises uniquement dans les simulations avec les données individuelles d'enquêtes ;

- 21 erreurs d'allocation de cultures aux parcelles ont été commises uniquement dans les simulations avec les données génériques.

Ceci signifie que, **schématiquement, les erreurs commises dans les simulations avec les données génériques sont (i) les mêmes que celles commises dans les simulations avec les données individuelles, (ii) plus, des erreurs additionnelles dues à la perte de finesse des données d'entrée génériques.**

Parmi les erreurs spécifiquement commises avec les données génériques, nous avons identifié les raisons suivantes :

- **Les matrices de transition entre cultures construites pour les données génériques comportent moins de transitions interdites ou obligatoires que les matrices de transition entre cultures construites à partir des données individuelles.** Lorsqu'utilisé avec des données d'entrée génériques, DYSPALLOCC identifie donc un plus grand nombre de cultures possibles par parcelle (plus de transitions possibles entre cultures), ce qui réduit le nombre de parcelles « à choix unique » pour l'année n+1. Ceci revient à surestimer la zone cultivable annuelle des cultures. Ainsi, pour l'ensemble des quatre EA, le nombre de parcelles « à choix unique » était seulement de 25 pour les simulations avec données génériques, contre 48 pour les simulations avec données individuelles d'enquêtes (sur un total de 117 parcelles).
- **Les matrices de transition entre cultures construites pour les données génériques étaient toutefois trop restrictives dans certains cas :** ainsi, la transition blé tendre / blé tendre est « interdite » dans la matrice de transition des données génériques, alors qu'elle est « à éviter » dans la matrice de transition des données individuelles (dans 3 EA sur 4). Cette différence a été à l'origine de 7 erreurs d'allocation de cultures (la parcelle a été cultivée en blé tendre dans la réalité mais DYSPALLOCC a interdit cette allocation lorsqu'utilisé avec des données d'entrée génériques). Ainsi, il conviendrait de revenir sur la construction des matrices de transition pour les données génériques, afin de les rendre plus proches de celles réellement pratiquées par les agriculteurs (mettre la transition blé tendre / blé tendre comme étant « à éviter » au lieu de « interdite » par exemple).
- **L'identification des types de sols dans chaque îlot PAC a été moins précise pour les données d'entrée génériques que pour les données d'entrée individuelles.** En particulier, l'identification d'îlots PAC ayant un sol de type « profond », et donc cultivable en maïs sans irrigation, a été erronée dans 4 îlots PAC (dans les deux EA de polyculture-élevage), ce qui a généré 4 erreurs d'allocations (du maïs a été cultivé dans ces îlots dans la réalité mais DYSPALLOCC a interdit cette allocation lorsqu'utilisé avec des données d'entrée génériques). Ainsi, les erreurs sur la variable d'entrée [SOIL TYPE] pénalisent la définition des zones cultivables stratégiques des cultures (pour toute la phase de cohérence).

- **Les cultures (variable [CROP]) définies dans les données génériques différaient souvent des cultures réelles dans les EA** : dans les EA C, E et J, les cultures des données génériques comportaient des cultures qui n'étaient pas cultivées en réalité (blé dur, orge, pois, colza, et maïs sur l'ensemble des trois EA) ; dans les EA C, J et H, il manquait, dans les cultures des données génériques, certaines cultures cultivées en réalité (luzerne et prairie permanente dans l'EA C, de grandes cultures), ou bien il manquait des précisions sur les différentes prairies temporaires (prairie temporaire pour le pâturage des vaches laitières, ray grass). Ces erreurs de définition de cultures ont entraîné 5 erreurs d'allocation de cultures pour DYSPALLOCC utilisé avec des données d'entrée génériques. A ces erreurs de définition de cultures se sont parfois ajouté des **erreurs sur les tailles de sole des cultures (pour les données d'entrée génériques)**. Ainsi, la taille de sole du blé tendre a été sous-estimée dans les EA J et H (polyculture-élevage) ; la taille de sole des prairies temporaires a été sous-estimée et la taille de sole du maïs surestimée dans l'EA J. Ce sont vraisemblablement ces erreurs de taille de sole qui expliquent que les résultats soient les moins bons pour l'EA J (Tableau 6. 11).

6.2.3) Comparaison des sorties de DYSPALLOCC à celles d'un modèle aléatoire

Avec LandSFACTS (modèle aléatoire), nous avons simulé 1 000 allocations spatiales des cultures pour 2010 (connaissant l'assolement 2009) pour chaque EA et pour chaque scénario, puis nous avons comparé ces simulations avec l'assolement réel identifié par enquête en 2010. Les résultats de ces simulations (en % de réussite) sont récapitulés dans le Tableau 6. 12.

Tableau 6. 12 : Résultats des simulations d'assolement 2010 par LandSFACTS pour quatre scénarios (random, random+prop, random+transition, random+prop+transition) et pour quatre EA de la plaine de Niort

		Total / EA	Allocations réussies par LandSFACTS "random"		Allocations réussies par LandSFACTS "random+prop"		Allocations réussies par LandSFACTS "random+ transition"		Allocations réussies par LandSFACTS "random+prop+ transition"	
EA E	Nombre de parcelles	21	2,60	12,40%	3,35	15,96%	11,29	53,78%	12,38	58,96%
	Surface (ha)	50,66	6,25	12,33%	9,08	17,92%	24,01	47,40%	29,67	58,57%
EA C	Nombre de parcelles	31	3,36	10,83%	4,62	14,90%	15,53	50,09%	17,22	55,55%
	Surface (ha)	65,45	6,42	9,80%	9,18	14,02%	27,68	42,30%	32,05	48,97%
EA J	Nombre de parcelles	31	4,35	14,05%	5,70	18,38%	13,80	44,51%	13,70	44,20%
	Surface (ha)	86,33	12,32	14,27%	20,96	24,28%	33,30	38,57%	33,91	39,28%
EA H	Nombre de parcelles	34	4,83	14,20%	5,70	16,77%	19,30	56,77%	18,72	55,06%
	Surface (ha)	125,46	17,82	14,20%	30,58	24,37%	58,79	46,86%	53,92	42,98%
Total 4 EA	Nombre de parcelles	117	15,14	12,94%	19,37	16,55%	59,92	51,21%	62,03	53,01%
	Surface (ha)	327,9	42,80	13,05%	69,79	21,29%	143,79	43,85%	149,55	45,61%

Comme nous le supposions, nous constatons que les **simulations sont d'autant plus réussies que le niveau de contraintes agronomiques données en entrée est élevé** :

- le scénario aléatoire total (« *random* ») donne le moins bon résultat avec seulement **13% de parcelles et 13% de surface bien allouées**. Ce pourcentage de réussite correspond au nombre de cultures possibles sur l'EA : 8 cultures pour les EA de grandes cultures (C et E) et 7 cultures pour les EA de polyculture-élevage (J et H). LandSFACTS avait ainsi 1 chance sur 8 de réussir, soit 12,5%, pour les EA de grandes cultures et 1 sur 7, soit 14,3%, pour les EA de polyculture-élevage.
- avec le scénario « *random+prop* », on obtient **17% de parcelles, soit 21% de surface bien allouées**. Le nombre de parcelles bien allouées n'est pas très différent de celui obtenu pour le scénario précédent. Les contraintes sur les proportions de cultures permettent donc surtout d'améliorer la réussite des simulations en termes de surface. Ceci peut vraisemblablement s'expliquer par le fait que les contraintes sur les proportions de cultures évitent d'allouer en excès des cultures qui doivent être présentes en faibles proportions, et obligent à ne pas allouer trop peu de cultures devant être présentes en fortes proportions. En toute logique, cette contrainte doit donc éviter un certain nombre d'erreurs sur les plus grandes parcelles de l'EA, ce qui expliquerait qu'il y a plus de réussite en surface qu'en nombre de parcelles.
- pour le scénario « *random+transition* », la réussite des simulations est **nettement améliorée avec 51% de parcelles, soit 44% de surface** bien allouées. La contrainte sur les transitions de cultures d'une année à l'autre, représentant les règles agronomiques de successions de cultures, est donc très pertinente pour améliorer la qualité prédictive des allocations de cultures aux parcelles. Logiquement, plus la matrice de transition donnée en entrée est proche de la matrice qu'utilise réellement l'agriculteur, et plus cette matrice comporte de transitions interdites (et obligatoires), plus la réussite des allocations de cultures aux parcelles est grande (car on évite un grand nombre d'erreurs). Par ailleurs, on remarque que la réussite des allocations de cultures aux parcelles pour ce scénario « *random+transition* » est bien meilleure en termes de nombre de parcelles qu'en termes de surface. Ceci suggère que les contraintes sur les transitions de cultures d'une année à l'autre permettent surtout d'éviter les erreurs dans les petites parcelles : ceci peut s'expliquer par le fait que les transitions obligatoires (qui accroissent la réussite des allocations) concernent des cultures qui sont préférentiellement localisées dans des petites parcelles afin de valoriser des terrains difficiles (jachère pour les EA de GC ; prairie permanente pour les EA de PCE).
- enfin, le scénario « *random+prop+transition* » donne la meilleure réussite avec **53% de parcelles, soit 46% de surface bien allouées**. La prise en compte des contraintes de proportions de cultures, en plus de celles sur les transitions de cultures d'une année à l'autre, n'apporte donc pas beaucoup plus de réussite que lorsque l'on

choisit la seule contrainte sur les transitions de cultures (2% de plus seulement). Ce sont donc essentiellement les règles agronomiques de successions de cultures¹ qui déterminent l'allocation des cultures aux parcelles d'une année $n+1$ (par rapport à l'année n connue).

Nous comparons maintenant les résultats issus de LandSFACTS avec ceux issus de DYSPALLOC utilisé avec des données d'entrée génériques : en moyenne, pour le paysage composé par les quatre EA, **DYSPALLOC** allouait correctement une culture ou un groupe de cultures dans **56% des parcelles**, soit **55% de la surface** (Tableau 6. 11, section 6.2.2). Ainsi, même avec le niveau de contraintes le plus élevé (scénario « *random+prop+transition* »), **LandSFACTS** n'obtient pas une aussi bonne réussite (**53% des parcelles**, soit **46% de surface** correctement allouées). Ceci signifie que, même en prenant en compte les règles agronomiques de successions de cultures (*via* les matrices de transition entre cultures), DYSPALLOC permet une meilleure prédiction de l'allocation spatiale des cultures que LandSFACTS, qui la simule de façon aléatoire. Ainsi, la **modélisation des décisions de planification d'assolement à l'échelle de l'EA via DYSPALLOC permet une meilleure prédiction de l'allocation spatiale des cultures d'une année à l'autre, à l'échelle d'un paysage composé d'EA, que celle obtenue avec un modèle aléatoire (notamment en termes de surfaces correctement allouées).**

Le fait que la différence de réussite entre le modèle DYSPALLOC et le modèle aléatoire LandSFACTS soit surtout marquée en termes de surface (46% vs. 55%) suggère que (i) les règles de localisation des cultures des agriculteurs ne sont effectivement pas aléatoires, et (ii) le modèle DYSPALLOC, même lorsqu'utilisé avec des données génériques, permet de rendre compte de ces règles de localisation des cultures à l'échelle de l'EA (logiques de regroupement spatial des cultures notamment).

6.3) Discussion sur l'utilisation de DYSPALLOC à l'échelle d'un paysage

6.3.1) Retour sur la construction de données d'entrée génériques pour le modèle DYSPALLOC

Nous avons vu qu'une partie des erreurs commises par DYSPALLOC lorsqu'utilisé avec des données d'entrée génériques provenaient d'imprécisions concernant certaines variables d'entrée : variables [CROP], [CROP AREA], [SOIL TYPE] et [CROP TRANSITION MATRIX]. Nous pourrions améliorer la définition de ces variables de la façon suivante :

¹ Notons que les règles de successions de cultures déterminent implicitement les tailles de sole : dans le modèle de constitution des assolements de Maxime et al. (1995) et Aubry et al. (1998b), il est expliqué que le délai de retour contraint la taille de sole maximale de la culture (la taille de sole maximale de la culture est donnée par la surface de sa zone cultivable divisée par le délai de retour). Dans LandSFACTS (Castellazzi et al. (2007), les probabilités de transition d'une culture à l'autre, utilisées dans les matrices de transition (probabilités comprises entre 0 et 1, la somme des probabilités devant être égale à 1) déterminent les proportions de cultures à long terme.

- pour les variables [CROP] et [CROP AREA], nous pourrions **construire des données génériques par type d'EA**, non pas à partir de la seule année 2007 comme nous l'avons fait, mais **à partir de plusieurs années successives**. Nous pourrions par exemple utiliser les données RPG disponibles pour plusieurs années successives (2007, 2008, 2009). Ceci nous permettrait de nous affranchir d'éventuels biais dus à la spécificité d'une année (contexte économique, conditions climatiques de l'année, etc.) et de mieux caractériser la réalité globale de l'ensemble du territoire. Ceci soulèverait toutefois une difficulté liée au fait que toutes les EA du territoire considéré ne sont pas nécessairement dans des phases de cohérence. Ceci ne nous permettrait donc pas de s'approcher de la réalité de chaque EA, et de prédire précisément l'allocation des cultures aux parcelles dans chaque EA pour l'année n+1. Une autre alternative pourrait donc être d'**utiliser les données réelles d'assolement de l'EA pour l'année n** (à partir des données RPG et CNRS¹) **pour définir les variables [CROP] et [CROP AREA] de l'EA pour la simulation de l'assolement n+1**. Autrement dit, au lieu de définir [CROP] et [CROP AREA] de la même façon pour toutes les EA d'un même type (comme nous l'avons fait ici), nous pourrions utiliser l'assolement précédent [PREVIOUS CROPPING PLAN] de chaque exploitation pour définir une valeur individualisée de [CROP] et [CROP AREA] par EA. Les cultures et proportions de cultures simulées par DYSALLOC pour l'année n+1 seraient ainsi plus proches de l'assolement individuel de l'EA. Ceci pourrait donc améliorer la précision des variables [CROP] et [CROP AREA], mais soulèverait trois difficultés : (i) il resterait difficile de faire correspondre les catégories de cultures définies dans le RPG et dans la base de données du CNRS (cf. section 6.1.5), (ii) il serait difficile d'associer les cultures définies à des fonctions, ce qui pourrait générer des erreurs dans la hiérarchisation des cultures en cultures prioritaires, complémentaires et facultatives, et (iii) il resterait difficile de définir des tailles de sole minimum et maximum pour les groupes de cultures complémentaires puisqu'on aurait une seule valeur de taille de sole par culture.
- Pour la variable [CROP TRANSITION MATRIX], nous pourrions compléter l'avis de l'expert que nous avons consulté (Laurence Guichard) par celui d'autres experts plus locaux (ex : chambre d'agriculture). Pour élaborer la matrice, nous pourrions également **réaliser des fouilles de données, soit à partir de la base de données du CNRS, soit à partir du RPG obtenu pour plusieurs années successives** : nous pourrions mobiliser l'outil ArpentAge (utilisé au chapitre 3) pour identifier des régularités de successions de cultures (Lazrak et al., 2010), et définir des probabilités moyennes de passage d'une culture à une autre dans le territoire de Niort. Cet outil fonctionne toutefois dans un paysage spatialement continu et ne pourrait pas être utilisé pour des portions de paysage discontinues représentant différents types d'EA.

¹ Nous rappelons que les données RPG donnent les surfaces de différentes catégories de cultures au sein des îlots PAC, sans donner la localisation de ces catégories de cultures dans l'îlot PAC ; les données CNRS donnent les limites de parcelles cultivées de l'année, et la catégorie de cultures présente dans chaque parcelle. Les catégories de cultures du RPG et du CNRS ne sont toutefois pas les mêmes.

Un autre outil possible pourrait être l'outil SIGAR (en cours de développement par Nicolas Piskiewicz, UMR SAD-APT), qui permet d'identifier des probabilités de passage entre cultures entre deux années (couples de cultures précédent/suivant). Cet outil ne permet pas, à ce stade, de traiter plus de deux années, mais il fonctionne sur un paysage discontinu.

Pour réaliser des fouilles de données sur un grand territoire, nous aurions toutefois besoin de distinguer (i) les EA qui semblent dans une phase de cohérence, et sur lesquelles on souhaite effectivement réaliser la fouille de données, et (ii) celles qui sont dans une phase de rupture, et que l'on souhaite écarter de la fouille de données.

- La variable [SOIL TYPE] apparaît **très difficile à définir à l'échelle infra-îlot PAC sans recourir à des enquêtes en EA**. Une piste pourrait consister à utiliser des données d'occupation du sol pour une année très marquée par la sécheresse, et à qualifier le potentiel des sols en fonction de l'état de la végétation (*via* des données satellites) et de l'information sur la localisation des parcelles irriguées (Martin, P. UMR SAD-APT, comm. pers.).

Les imprécisions actuelles concernant la définition des types de sol peuvent être toutefois compensées par le fait que la localisation de certaines cultures renseigne en partie sur le type de sol. Ainsi, un maïs cultivé en sec et en monoculture indique que le sol est de type « profond », et une jachère permanente peut indiquer que le type de sol est de type « inondable ».

En outre, lors de la construction des données génériques, nous avons abandonné trois variables d'entrée (cf. section 6.1.1). La variable [SOIL TYPE HETEROGENEITY] paraît en effet très difficile à renseigner (cf. ci-dessus).

La variable [PHYSICAL LIMIT] pourrait être partiellement renseignée à partir de photos aériennes et des données CNRS sur les limites de parcelles des années précédentes. Mais cette variable sert uniquement à définir les limites d'îlots élémentaires, et la définition de la nature des limites de parcelles n'est pas indispensable pour la modélisation du processus d'allocation des cultures aux parcelles : il est en effet possible d'allouer les cultures aux parcelles délimitées par les limites de l'année *n*, sans nécessairement devoir qualifier la nature des limites de parcelles à l'échelle du paysage. Le plus important est d'avoir l'information sur les limites de parcelles de l'année *n*.

La variable [GROUP OF CAP ISLETS] peut en revanche jouer un rôle important dans la localisation des cultures¹. Pour renseigner cette variable, nous pourrions chercher à repérer des îlots PAC proches géographiquement (ex : moins de 200 m entre eux) et qui ont, pour plusieurs années de suite, systématiquement la même culture une année donnée d'après le RPG.

¹ Nous rappelons que ces groupes d'îlots PAC impliquent que la même culture soit cultivée, une année donnée, sur tous les îlots PAC appartenant à un même groupe d'îlots PAC.

Nous avons testé DYSPALLOCC à l'échelle d'un paysage composé d'EA dans une zone où les EA n'avaient pas accès à l'irrigation. Dans une autre zone, où l'irrigation serait présente, il conviendrait donc de renseigner plus précisément les variables [IRRIGATION REQUIREMENT], qui indique si une culture doit être irriguée (irrigation obligatoire, possible ou sans irrigation), et [CAP ISLET IRRIGATION], qui indique si un îlot PAC est irrigable (oui, non ou mixte). Les données RPG indiquent si un îlot PAC a été irrigué ou non une année donnée (champ « caractère irrigué », oui ou non). Nous pourrions *a minima* utiliser ces informations pour renseigner les îlots irrigables (et consulter des experts locaux pour déterminer les cultures à irriguer). Les données RPG ne précisent toutefois ni la surface irrigable, ni la localisation de cette surface irrigable au sein de l'îlot PAC. Or, ces données sont indispensables pour pouvoir définir les zones cultivables stratégiques des cultures irriguées. En conséquence, pour pouvoir utiliser DYSPALLOCC dans une zone où les EA irriguent, il pourrait être intéressant de réaliser quelques enquêtes ciblées sur les deux variables d'entrée liées à l'irrigation : soit des enquêtes dans les EA où l'on a repéré grâce au RPG que certains îlots PAC étaient irrigables, soit des enquêtes communales où un expert agricole pourrait renseigner la localisation des surfaces irriguées de la commune (de façon anonyme pour tous les agriculteurs, comme nous l'avons fait pour repérer les sièges d'EA, cf. Annexe 3).

6.3.2) Retour sur les allocations de cultures aux parcelles simulées par DYSPALLOCC à l'échelle d'un paysage composé d'EA

Nous rappelons que, avec des données d'entrée individuelles, DYSPALLOCC a simulé une planification d'allocation de cultures correcte dans 83% des parcelles des EA, ce qui représentait 86% de la SAU des EA (cf. Chapitre 5, validation opérationnelle sur 5 EA).

Dans ce chapitre, nous avons **comparé les sorties de DYSPALLOCC (assolements planifiés)** non pas à des assolements planifiés, mais à **des assolements finaux réalisés**, i.e. dont la planification a pu faire l'objet d'ajustements, mais sans que l'on connaisse ces ajustements. DYSPALLOCC, lorsqu'utilisé avec des données d'entrée individuelles tirées d'enquêtes, a simulé des planifications d'allocation de cultures qui étaient identiques aux allocations réelles dans 69% des parcelles des EA, ce qui représentait 72% de la SAU des EA. **La différence de réussite du modèle entre le premier lot d'EA (comparaison à des assolements planifiés) et le deuxième lot d'EA (comparaison à des assolements réalisés) est donc proche de 14%.** Il est probable que cette différence s'explique majoritairement par l'existence d'ajustements de la planification d'assolement, mais il ne nous a pas été possible de le mesurer car les assolements planifiés en mai 2009 pour 2010 n'ont pas été renseignés par enquête dans le deuxième lot d'EA (enquêtes réalisées en 2010 par Camille Bernard, cf. Chapitre 2). Dans le premier lot d'EA, nous avons mesuré les ajustements infra-annuels au cours de toute la campagne agricole (cf. Chapitre 4), et nous avons trouvé que ces ajustements concernaient en moyenne 17% des parcelles des EA (+/- 10%), ce qui semble néanmoins cohérent en première approximation.

Nous avons par ailleurs comparé les allocations de cultures aux parcelles, simulées par DYSPALLOC, à celles simulées par le modèle aléatoire LandSFACTS. DYSPALLOC utilisé avec des données génériques alloue correctement les cultures aux parcelles dans 56% des parcelles des EA, ce qui représente 55% de la surface des EA. Sur un total de 1000 simulations réalisées avec des contraintes sur les tailles de sole et les successions de cultures (scénario « random+prop+transition »), LandSFACTS alloue en moyenne correctement les cultures aux parcelles dans 53% des parcelles des EA, ce qui représente 46% de la surface des EA. **DYSPALLOC prédit donc mieux l'allocation des cultures aux parcelles que LandSFACTS, mais il est important de noter que les données d'entrée sur (i) les proportions de cultures (tailles de sole), (ii) les transitions entre cultures d'une année à l'autre, et (iii) l'assolement de l'année n semblent expliquer plus de la moitié des allocations de cultures aux parcelles.** Ceci suggère que ce sont ces trois contraintes qui pèsent le plus sur les raisonnements des agriculteurs dans le choix d'un assolement d'une année à l'autre. En effet, dans l'information sur la localisation des cultures en année n (qu'utilisent LandSFACTS et DYSPALLOC), il y a déjà implicitement des règles de localisation de cultures pour l'année n+1, compte tenu des règles de successions de cultures (monocultures, transition obligatoires, etc.). A une échelle très vaste, il est possible que ces trois contraintes, même définies grossièrement à partir de bases de données, permettent de renseigner la moitié des allocations de cultures aux parcelles.

Toutefois, même avec ces trois contraintes, une modélisation aléatoire des allocations de cultures aux parcelles ne permet pas de représenter le raisonnement de l'agriculteur à l'échelle de l'EA, ni d'identifier les marges de manœuvres possibles dans le choix d'un assolement. Un des intérêts de DYSPALLOC est de donc traduire l'effet de ces trois contraintes majeures (tailles de sole, transitions entre cultures, assolement précédent) sur la planification des assolements des agriculteurs à l'échelle de l'EA. Ainsi, lorsqu'utilisé à l'échelle d'un paysage composé de plusieurs EA, DYSPALLOC permet d'identifier les zones cultivables annuelles des cultures à l'échelle de plusieurs EA, ce qui pourrait être utile pour raisonner la localisation de certaines cultures à l'échelle du paysage.

6.3.3) Retour sur la dimension territoriale des décisions d'assolement des agriculteurs

Dans ce chapitre, nous avons proposé une **méthode de simulation des allocations de cultures aux parcelles, via DYSPALLOC, à l'échelle d'un paysage composé d'EA** (construction de données génériques pour différents types d'EA, ici deux types, grandes cultures et polyculture-élevage, puis simulation des assolements pour chaque EA composant le paysage étudié). Nous n'avons mis en œuvre cette méthode que de façon modeste, sur un paysage de 328 ha, composé de quatre EA, mais il serait possible de l'appliquer à un paysage plus vaste.

Cette méthode repose sur une **vision individu-centrée**, comme si les EA fonctionnaient indépendamment les uns des autres, et comme si l'organisation spatiale des cultures dans le paysage était uniquement la somme des organisations spatiales des cultures prises individuellement dans chaque EA. **Or, tout changement d'échelle suppose de considérer**

des processus supplémentaires, i.e. les propriétés émergentes du système lorsqu'on le considère à une échelle plus vaste¹ (Faivre et al., 2004). Ces propriétés peuvent émerger en raison d'interactions entre éléments du système, qu'il était possible de négliger lorsqu'on analysait le système à une plus petite échelle (Faivre et al., 2004). Lorsque nous avons modélisé les décisions d'assolement des agriculteurs à l'échelle de l'EA, nous avons en effet négligé les interactions qui pouvaient exister entre agriculteurs, ainsi que les interactions qui pouvaient exister entre agriculteurs et d'autres acteurs (ex : acteurs économiques). Nous avons considéré que l'influence d'acteurs externes était « internalisée » par l'agriculteur à l'échelle de l'EA. Or, à l'échelle d'un paysage composé d'EA, il serait intéressant d'étudier l'influence des différents acteurs du territoire² sur les décisions d'assolement des agriculteurs. Même si nos enquêtes ne visaient pas à identifier l'influence des acteurs du territoire sur ces décisions, nous avons identifié des interactions entre agriculteurs, avec certaines conséquences sur leurs choix d'assolement respectifs.

Nous revenons maintenant sur cette **dimension territoriale des décisions d'assolement des agriculteurs**. Nous définissons des **règles de décisions territoriales** comme des décisions qui sont déterminées par les caractéristiques du territoire, qui ont des répercussions spatiales dans le territoire et qui traduisent des formes d'appropriation du territoire par les acteurs (Aubry, 2007). Au cours de nos enquêtes, nous avons identifié quelques règles de décisions territoriales, concernant (1) des échanges entre agriculteurs qui pouvaient déterminer certains choix de cultures, (2) des règles de décisions d'agriculteurs qui pouvaient influencer la localisation des cultures d'autres agriculteurs, et (3) des règles de décisions collectives qui pourraient modifier la structure des parcellaires des EA.

(1) Nous avons identifié **deux principaux types d'échanges³ entre EA : des échanges classiques « pailles / fumier » entre céréaliers et éleveurs, et des échanges de fourrages**. Ces échanges font l'objet d'accords oraux entre agriculteurs pour une année donnée, ou à plus long terme ; ils sont réalisés sans intermédiaire, directement entre agriculteurs concernés. Certains céréaliers échangent leurs pailles contre du fumier produit par des EA voisines de polyculture-élevage. Ces échanges permettent aux céréaliers d'épandre de la

¹ "Scale change implies the consideration of new processes and properties, emerging on the scale considered and revealed by the extension of the system considered." "The interactions between fields can also result from the multiplicity of actors in a region and from the decisions they make. They arise because, on this scale, human and economic sub-systems cannot be neglected. For example, on the scale of an irrigated area, the water resource must be allocated between farmers." Faivre R., Leenhardt D., Voltz M., Benoît M., Papy F., Dedieu G., Wallach D. (2004) Spatialising crop models. *Agronomie* 24:205-217. DOI: 10.1051/agro:2004016.

² Nous rappelons que nous avons utilisé la définition des écologues du **paysage** en ce qui concerne le paysage : nous considérons que le paysage est constitué d'une mosaïque de cultures et d'éléments semi-permanents du paysage (haies, bosquets, etc.). Et nous avons considéré le **territoire** dans sa définition la plus courante, i.e. un espace géographique approprié par des acteurs (cf. Chapitre 1).

³ Ces éléments de résultats seront présentés avec le collectif « polyculture-élevage » du département SAD de l'INRA aux Rencontres Recherche Ruminants 2011. Cf. Gibon A., Ryschawy J., Schaller N., Blouet A., Coquil X., Martin P., Fiorelli J.L., Havet A., Martel G. (2011) L'élevage, un atout pour le développement durable des territoires dans les régions de polyculture-élevage, Communication courte aux Rencontres Recherche Ruminants, Paris. pp. 4.

fumure organique en sortie d'hiver sur les cultures de printemps (tournesol, maïs). En retour, les éleveurs bénéficient de pailles pour leurs troupeaux sans mobiliser trop de surfaces pour les céréales, ce qui leur permet de cultiver plus de cultures fourragères et/ou plus de cultures de vente (oléoprotéagineux principalement), et ainsi de diversifier leurs successions de cultures.

Par ailleurs, certains exploitants de polyculture-élevage bénéficient de surfaces fourragères cultivées chez d'autres agriculteurs : soit ils achètent directement la production fourragère récoltée par l'autre agriculteur (c'est souvent le cas si le récoltant est un ancien éleveur qui a encore le matériel nécessaire), soit ils récoltent eux-mêmes la surface mise à disposition et versent une contribution négociée auparavant. Ces échanges concernent le plus souvent des prairies temporaires (luzerne et/ou graminées) récoltées en foin, mais parfois aussi des surfaces en maïs ensilage : lorsqu'ils ont accès à des sols profonds où le maïs peut être cultivé en sec, certains agriculteurs choisissent d'implanter du maïs et de le valoriser par la vente directe d'ensilage aux voisins éleveurs qui viennent le récolter, plutôt que de le récolter en grain *via* une entreprise extérieure (surtout si les parcelles concernées sont de petite surface, inférieure à 1 ha). Compte tenu du fort risque de sécheresse dans la plaine de Niort (sols majoritairement superficiels et déficit hydrique fréquent au printemps et en été), les échanges de fourrages entre EA peuvent être considérés comme un moyen d'accroître les tailles de sole fourragère, de sécuriser la production fourragère et ainsi de pérenniser les activités d'élevage. En retour, la présence d'EA de polyculture-élevage dans le territoire de la plaine de Niort donne l'opportunité à certaines EA de grandes cultures de diversifier leur assolement, en cultivant des prairies temporaires à destination des éleveurs. Cette diversification des cultures peut ainsi contribuer à accroître la diversité de la mosaïque de cultures du territoire (notamment pour les surfaces en herbe), ce qui semble favorable aux enjeux de biodiversité locale de la plaine de Niort (Bretagnolle, 2004).

Les échanges réalisés entre agriculteurs ne sont actuellement pas pris en compte dans DYSPALLOC à l'échelle de l'EA. Il serait toutefois possible d'intégrer *a minima* des fonctions supplémentaires que pourraient remplir certaines cultures (du type fonction « échange »).

(2) Nous avons identifié chez certains agriculteurs, **des règles de décisions (concernant la localisation des cultures) pour lesquelles les déterminants étaient précisément les décisions prises par d'autres agriculteurs**. Par exemple, un agriculteur a déclaré avoir modifié la zone cultivable du tournesol dans son EA depuis que son voisin avait supprimé la jachère et remis en culture une parcelle voisine de son parcellaire (ce qui avait eu pour effet de réduire les dégâts des lapins sur son tournesol). Un autre agriculteur a déclaré avoir modifié la zone cultivable du maïs dans son EA depuis que son voisin avait coupé la haie qui était attenante à son parcellaire. En effet, d'après l'agriculteur, le fait que la haie ait été coupée a permis à la petite parcelle attenante de recevoir plus de lumière et d'être à nouveau cultivable en maïs (alors qu'elle était en prairie permanente auparavant). Enfin, plusieurs agriculteurs ont déclaré que la zone cultivable annuelle du tournesol dans leur EA dépendait de la localisation des cultures de tournesol chez leurs voisins. La règle de décision

était du type : si la parcelle voisine de ma parcelle est en tournesol, alors je peux aussi cultiver du tournesol dans ma parcelle, même si celle-ci est de petite taille et proche d'un bosquet, car la taille globale du *patch* en tournesol est suffisamment importante pour les dégâts des ravageurs ne soient pas rédhibitoires (Bernard, 2010).

Ces interactions entre règles de décisions d'agriculteurs, concernant la localisation des cultures, ne seraient pas facilement intégrables dans le modèle DYSPALLOC : lorsqu'utilisé à l'échelle d'un paysage composé d'EA, DYSPALLOC fonctionne en effet dans chaque EA indépendamment les unes des autres, si bien qu'il serait difficile de simuler l'effet du choix de l'assolement dans une EA sur le choix de l'assolement dans une autre EA.

(3) Dans la commune de Saint-Romans-des-Champs, dans laquelle les EA ont des parcellaires très morcelés, les enquêtes réalisées en 2009 et 2010 ont révélé que les **agriculteurs cherchaient à s'organiser collectivement pour réaliser des échanges d'îlots PAC entre EA, afin de regrouper spatialement les parcellaires de chaque EA**. Ces échanges constituent ainsi des sortes de petits remembrements « à l'amiable », et visent à accroître la taille des îlots PAC et à diminuer le nombre d'îlots PAC dans chaque EA. Au moment des enquêtes en 2010, les échanges n'étaient pas encore effectifs mais ils étaient prévus pour concerner environ 5 EA en 2011 (sur 11 EA ayant leur siège dans la commune). Dès le printemps 2010, certains agriculteurs concernés ont déclaré que ces changements de parcellaire pourraient modifier la zone cultivable de leurs cultures : tous les îlots PAC dont la surface deviendra supérieure à 0,5 ha pourront être cultivables en une autre culture que des prairies permanentes. Ces changements de parcellaires à l'échelle du territoire peuvent donc modifier non seulement la configuration (limites des îlots PAC), mais aussi la composition de la mosaïque de cultures (ici diminution probable des surfaces en prairies permanentes).

DYSPALLOC pourrait alors être utilisé pour simuler les planifications d'assolement dans chaque EA avec leurs nouveaux parcellaires, afin d'évaluer si ces nouveaux parcellaires permettent ou non de trouver un assolement respectant les règles de décisions des agriculteurs (en termes de tailles de sole, et de successions de cultures surtout). En simulant les assolements dans toutes les EA composant le paysage « remembré », DYSPALLOC permettrait aussi de simuler l'allocation des cultures aux parcelles pour la première année après les échanges d'îlots PAC, et de rechercher d'éventuelles marges de manœuvre pour le choix de ces assolements.

Conclusion du chapitre 6

Nous avons proposé une méthode de simulation des allocations de cultures aux parcelles *via* DYSPALLOC, à l'échelle d'un paysage composé d'EA (testée ici sur 328 ha pour 4 EA). Notre méthode a consisté à (i) définir des types d'EA (ici deux types : grandes cultures et polyculture-élevage), (ii) produire des données d'entrée génériques par type d'EA pour DYSPALLOC (à partir de différentes sources d'informations), puis (iii) simuler les assolements dans chaque EA composant ce paysage.

Nous avons tout d'abord comparé l'organisation spatiale des cultures réelle observée, avec l'organisation spatiale des cultures (planifiée) simulée par DYSPALLOC utilisé avec (i) des données d'entrée tirées d'enquêtes individuelles (comme nous l'avons fait à l'échelle de l'EA), et (ii) des données d'entrée génériques précédemment construites. Cette comparaison à la réalité a confirmé que la qualité prédictive de DYSPALLOC était moindre lorsqu'utilisé avec des données d'entrée génériques (56% des parcelles des EA bien allouées), que lorsqu'il est utilisé avec des données individuelles d'enquêtes (69% des parcelles des EA bien allouées). Ainsi la perte de finesse des données d'entrée à l'échelle d'un paysage entraîne une perte de qualité prédictive du modèle de l'ordre de 15%.

Nous avons ensuite comparé l'organisation spatiale des cultures simulée par DYSPALLOC (utilisé avec des données d'entrée génériques) avec celle simulée par le modèle aléatoire LandSFACTS. Nous avons testé différents scénarios aléatoires, avec des contraintes agronomiques croissantes (en termes de tailles de sole et de couples précédent/suivant). Cette comparaison à un modèle aléatoire a montré que DYSPALLOC avait une meilleure qualité prédictive (56% des parcelles des EA bien allouées, ce qui représentait 55% de la surface des EA) que LandSFACTS, surtout en termes de surface (pour le scénario le plus contraint : 53% des parcelles des EA bien allouées en moyenne, ce qui représentait 46% de la surface des EA).

Ces résultats suggèrent que : (1) la modélisation des décisions d'assolement à l'échelle de l'EA (*via* DYSPALLOC) semble pertinente pour rendre compte de l'organisation spatiale des cultures à l'échelle d'un paysage composé d'EA. (2) Les contraintes de tailles de sole, de couples de cultures précédent/suivant et de l'assolement précédent apparaissent comme celles qui pèsent le plus sur le raisonnement des agriculteurs. (3) Les règles de localisation des cultures et les logiques de regroupement des cultures intégrées dans DYSPALLOC rendent mieux compte de l'organisation spatiale des cultures qu'un modèle aléatoire.

Il conviendrait néanmoins d'approfondir le rôle que peuvent jouer les autres acteurs du territoire sur l'organisation spatiale des cultures à l'échelle d'un paysage composé d'EA (interactions entre agriculteurs, influence des acteurs économiques, etc.).

Chapitre 7.

Discussion générale



Dans ce chapitre, nous discutons des apports de la thèse (section 7.1), en termes de démarche méthodologique et de résultats, puis nous donnons des perspectives possibles à ce travail (section 7.2).

7.1) Discussion sur les apports de la thèse

7.1.1) Apports méthodologiques

Dans cette section, nous montrons en quoi nos choix méthodologiques à l'échelle de l'EA ont permis de répondre à notre objectif de construction d'un modèle de décisions d'assolement des agriculteurs (section 7.1.1.1); puis, nous discutons de nos apports méthodologiques à l'échelle du paysage, et des possibilités d'application de notre démarche dans un autre territoire que celui de la plaine de Niort (section 7.1.1.2).

7.1.1.1) Apports méthodologiques à l'échelle de l'exploitation agricole

A l'échelle de l'EA, nous nous inscrivons dans la continuité des travaux du département SAD de l'INRA, en menant des enquêtes en exploitations agricoles (EA) pour analyser les pratiques et/ou les décisions des agriculteurs (Aubry et al., 1998b; Benoît, 1985; Girard et al., 2001; Ingrand et al., 2003; Maxime et al., 1995; Navarrete and Le Bail, 2007).

Nous avons mis en œuvre la **méthode de l'étude de cas** (Eisenhardt, 1989; Hlady-Rispal, 2000) pour construire, à partir d'enquêtes en EA, un modèle conceptuel de simulation des décisions d'assolement des agriculteurs. D'après Hlady-Rispal (2000), la méthode de l'étude de cas « suppose un contact approfondi avec le terrain. Cette caractéristique est son principal atout : la richesse des données autorise une analyse fine. Elle est également sa principale faiblesse : l'étude de cas limite le potentiel de généralisation statistique. En revanche, une généralisation théorique partielle ou plus large est possible ». Nous reviendrons sur la généricité du modèle à la section 7.1.2.

Pour représenter et formaliser les décisions des agriculteurs, nous avons utilisé un **cadre conceptuel générique** dérivé de celui du modèle d'action (Sebillotte and Soler, 1990), et comprenant des **variables décisionnelles**, des **déterminants** et des **règles de décisions**. Ce cadre, habituellement utilisé pour caractériser des décisions de conduite technique (Aubry et al., 1998a; Ingrand et al., 2003; Mérot et al., 2008), s'est révélé suffisamment générique pour être appliqué aux décisions d'assolement.

En combinant méthode de l'étude de cas et utilisation de ce cadre conceptuel, nous avons pu produire un certain nombre d'avancées conceptuelles, et notamment identifier de nouvelles variables décisionnelles, que nous discuterons dans la section 7.1.2.

Nous avons de plus développé une **méthodologie d'enquêtes permettant d'approfondir les dimensions (1) spatiale et (2) temporelle des décisions d'assolement**.

(1) Pour examiner la dimension spatiale des décisions, nous avons utilisé des cartes représentant les parcellaires des EA (Mathieu et al., 2005) : ces **supports graphiques** se sont avérés essentiels pour discuter avec les agriculteurs de la localisation des cultures, des logiques de regroupements ou au contraire de découpages des îlots PAC. Nous avons superposé sur une même carte le parcellaire RPG de chaque exploitant, et un fond de cartographie IGN, représentant notamment les zones urbanisées, les bois, et les routes. Ceci nous a permis de discuter avec les agriculteurs de l'influence de ces éléments sur leurs décisions d'assolement : ils désignaient spontanément ces éléments¹ sur la carte et expliquaient en quoi ils représentaient des contraintes par rapport à leurs choix d'assolement. Sans support graphique, il aurait été très difficile de visualiser les règles de décisions liées au spatial (Mailly, 2011), d'où **l'intérêt majeur de disposer des données RPG** pour notre approche.

(2) Pour étudier la dimension temporelle des décisions d'assolement, nous avons réalisé **plusieurs enquêtes successives dans les mêmes EA** (trois enquêtes au cours de la campagne agricole 2009-2010). Ces passages répétés nous ont permis à la fois de comprendre l'évolution des décisions au cours de l'année (i.e. à quels moments les décisions sont planifiées puis éventuellement ajustées, et à cause de quoi), et de préciser au fur et à mesure des passages notre compréhension des décisions d'assolement. Malgré le temps important que nécessitent ces enquêtes répétées dans les mêmes EA (Mawois, 2009), nous avons pu en tirer profit pour tester nos hypothèses d'une session d'enquêtes à l'autre, et les confirmer ou les affiner au fur et à mesure en discutant avec les agriculteurs (et en mettant parfois en évidence des écarts entre ce que disent faire les agriculteurs et ce qu'ils font réellement (Mailly, 2011)).

Cette **démarche abductive** (Dubois and Gadde, 2002), i.e. par **allers-retours entre le terrain et la théorie**, nous a ainsi permis de (1) identifier les variables, déterminants et règles de décisions spécifiquement liés aux décisions d'assolement, (2) formaliser d'une part les liens entre variables, et d'autre part les liens entre variables, déterminants et règles, afin de (3) construire le modèle DYSPALLOC qui permet de simuler (manuellement dans sa forme actuelle) les décisions d'assolement à l'échelle de l'EA.

Enfin, les **trois critères d'échantillonnage** que nous avons utilisés pour choisir les EA à enquêter nous ont permis de couvrir une **diversité importante d'exploitations**. Ces trois critères étaient : (1) la combinaison des productions dans l'EA, (2) la structure du parcellaire (SAU et le morcellement), et (3) le milieu physique (types de sol et accès ou non à l'irrigation). Malgré la diversité des EA de notre échantillon, nous avons **repéré des**

¹ Exemple dans l'EA numéro 10 : « vous voyez ici, il y a l'autoroute qui passe, ça fait comme une barrière dans mon exploitation. C'est coupé en deux, il y a d'un côté un parcellaire irrigable, et de l'autre côté, derrière l'autoroute, ce n'est pas irrigable. Derrière l'autoroute, ce sont les mêmes terrains, c'est profond, alors je fais tout en maïs grain, en sec. Tant que j'ai assez d'eau, je fais tout mon ensilage de ce côté de l'autoroute, comme ça, ça fait moins loin pour les remorques ».

éléments invariants entre EA, qui nous ont conduits à identifier des variables et règles de décisions génériques à l'échelle de notre échantillon.

- La diversité des combinaisons des productions dans l'EA a permis de construire la variable « hiérarchisation fonctionnelle des cultures », qui permet d'explicitier la façon dont l'agriculteur hiérarchise ses cultures, quelle que soit l'orientation de production de son EA (grandes cultures ou polyculture-élevage).
- La diversité des structures parcellaires a permis d'identifier des règles de décisions concernant à la fois le découpage et le regroupement des îlots PAC.
- La diversité des milieux physiques a permis d'identifier les règles de décisions génériques de définition des zones cultivables des cultures.

Ainsi, nos choix méthodologiques à l'échelle de l'EA s'inscrivent dans la continuité de travaux antérieurs. Ils se sont toutefois révélés pertinents pour remplir l'objectif de construction d'un modèle de décisions d'assolement à l'échelle de l'EA, permettant d'approfondir les dimensions spatiale et temporelle de ces décisions.

7.1.1.2) Apports méthodologiques à l'échelle du paysage

Nous avons montré au chapitre 1 qu'il existait des méthodes (i) de modélisation des dynamiques d'organisation des mosaïques de cultures, (ii) de modélisation des décisions d'assolement des agriculteurs, mais que ces méthodes ne permettaient pas de comprendre les liens entre décisions d'assolement à l'échelle de l'EA et organisation spatiale des cultures à l'échelle du paysage.

Dans ce travail, nous avons développé une **démarche de simulation de l'organisation spatiale des cultures à l'échelle d'un paysage composé d'EA, à partir de la modélisation des décisions d'assolement dans ces EA**. Cette démarche visait à simuler l'allocation des cultures aux parcelles en considérant une définition assez fine des cultures (i.e. en considérant plus qu'une catégorisation grossière en céréales, prairies, etc.), et une bonne précision des allocations de cultures, à l'échelle d'un petit territoire. A l'inverse, d'autres auteurs (Rounsevell et al., 2003) ont simulé l'allocation des cultures à l'échelle régionale (plusieurs milliers de km²), avec une moindre précision des allocations de cultures (discrétisation du paysage en pixels de 2 500 ha et assimilés chacun à une grande EA).

Notre démarche de simulation des allocations de cultures aux parcelles mobilise le modèle DYSPALLOCC, construit précédemment à l'échelle de l'EA, et a consisté à :

- (1) Définir des types d'exploitations ;
- (2) Produire des données d'entrée génériques par type d'EA pour DYSPALLOCC (à partir de différentes sources d'informations, notamment enquêtes communales et bases de données spatialisées) ;
- (3) Simuler, *via* DYSPALLOCC et pour une année donnée, les allocations de cultures aux parcelles (planifiées) dans chaque EA composant ce paysage.

Nous avons mis en œuvre cette démarche de façon très modeste, sur un paysage de 328 ha et composé de quatre EA, mais il serait possible de l'appliquer à un paysage plus vaste (et moins discontinu). DYSPALLOCC étant à ce stade un modèle conceptuel, nous serions tout de même limités par le fait que les simulations d'assolement dans chaque EA sont réalisées « à la main », ce qui peut prendre jusqu'à plusieurs heures par EA. Il ne serait donc pas possible à ce stade d'accroître excessivement le nombre d'EA, surtout si ces dernières comportent un grand nombre de parcelles (plus de 30 parcelles).

Il serait également **possible d'appliquer cette démarche dans un autre territoire que celui de la plaine de Niort**, mais nous voyons **trois difficultés** principales (indépendamment de la généralité même du modèle DYSPALLOCC, que nous discuterons à la section 7.1.2).

(1) Dans n'importe quelle région française, les données RPG seraient disponibles de même qu'à Niort, mais **nous n'aurions pas accès à une base de données spatialisées telle que celle établie par le CNRS** (cette base de données est liée à la présence de la Zone Atelier Plaine et Val de Sèvre et est donc spécifique de ce territoire). Nous n'aurions donc pas d'informations sur les **limites de parcelles à l'intérieur des îlots PAC**, alors que cette information conditionne la précision des allocations de cultures aux parcelles dans DYSPALLOCC. Pour pallier ce manque et repérer les limites de parcelles à l'intérieur des îlots PAC, nous pourrions utiliser des **données satellites** en complément des données RPG. Les progrès permis par le satellite Sentinel-2¹ permettent d'ailleurs d'espérer, à l'échéance 2014, la production de cartes d'occupation du sol, à l'échelle régionale voire nationale, avec reconnaissance des limites de parcelles intra-îlots PAC et mise à jour fréquente des informations (environ tous les 10 jours) (Inglada, J. CESBIO, comm. pers.).

(2) Dans un autre territoire, dans lequel nous n'aurions aucune connaissance de terrain des EA, nous aurions à **distinguer les EA en phase de cohérence et les EA en phase de rupture, sans pouvoir recourir à des enquêtes individuelles en EA**. Nous pourrions alors utiliser les données RPG sur plusieurs années, en tentant par exemple de repérer des changements brutaux à l'échelle de l'EA, soit en termes de parcellaire, soit en termes de cultures ou de proportions de cultures. Ces changements pourraient indiquer des phases de rupture. A l'inverse, le repérage, à l'échelle de l'EA, d'une stabilité pluriannuelle, et de parcellaire, et de cultures présentes, et de proportions de cultures pourrait indiquer que l'EA se situe dans une phase de cohérence.

Notons que le repérage de changements brutaux de parcellaires ou de proportions de cultures pourrait ne pas forcément traduire une rupture à l'échelle de l'EA : en effet, dans certains départements tels que la Seine Maritime, il est très fréquent que les agriculteurs échangent à l'année des morceaux de parcellaire (portions d'îlots PAC ou îlots PAC entiers), afin de cultiver des cultures industrielles² à haute marge brute et long délai de retour (ex : pomme de terre). Ces échanges représentent environ 25 000 ha par an en Seine Maritime

¹ http://www.esa.int/esaLP/SEMM4T4KXMF_LPgmes_o.html

² Le même phénomène existe en Poitou-Charentes, avec des locations de terres à l'année pour la production de melons par des entreprises (Martin, P. UMR SAD-APT, comm. pers.).

(Pascal, S. Chambre d'agriculture de Seine Maritime, comm. pers.). Chaque année, c'est l'agriculteur qui exploite effectivement les terres qui les déclare à la PAC, même s'il ne possède pas et ne loue pas officiellement ces terres (il suffit que les agriculteurs se soient mis d'accord entre eux pour ne pas déclarer deux fois la même surface). Par conséquent, la comparaison des données RPG de plusieurs années successives peut donner l'impression que le parcellaire de certaines EA change chaque année, alors que ces EA sont dans une phase de cohérence.

(3) Dans un autre territoire, sans aucune connaissance de terrain sur les EA, nous aurions aussi à **définir des types d'EA et à les reconnaître sans pouvoir mobiliser d'enquêtes individuelles en EA**. Dans la démarche présentée au chapitre 6, nous n'avons distingué que deux types d'EA très schématiques : EA de grandes cultures et EA de polyculture-élevage. Dans d'autres cas, il serait sûrement opportun de distinguer d'autres types d'EA¹, par exemple à dire d'expert local (ex : chambre d'agriculture). La question serait alors de pouvoir « reconnaître », dans une base de données telle que le RPG, à quel type appartient une EA donnée. Si les types d'EA sont définis à partir de critères sur la SAU et/ou les proportions de cultures et/ou la présence/absence d'irrigation sur l'EA, alors le RPG peut suffire à reconnaître les types d'EA. Sinon, on pourrait imaginer des enquêtes communales ciblées qui viseraient à identifier les types d'EA à l'aide d'un expert agricole, à partir d'autres critères (ex : nombre d'animaux présents sur l'EA).

7.1.2) Apports en termes de résultats

Nous rappelons que la problématique de la thèse était la suivante : en quoi la modélisation des décisions d'assolement dans leurs dimensions spatiale et temporelle au niveau de l'EA permet-elle de rendre compte : (i) de l'organisation spatiale des cultures au niveau du paysage agricole, et (ii) de la temporalité des décisions conduisant à cette organisation spatiale ? Nous revenons maintenant sur les apports de la thèse, en termes de résultats, sur la modélisation des décisions d'assolement (section 7.1.2.1), sur la compréhension de l'organisation spatiale des cultures à l'échelle de l'EA et à l'échelle d'un paysage composé d'EA (section 7.1.2.2), et sur la compréhension de la temporalité du processus de décision d'assolement (section 7.1.2.3).

7.1.2.1) Retour sur le modèle de décisions d'assolement DYSPALLOC

Nous abordons ici les **avancées conceptuelles** permises par le modèle DYSPALLOC. Nous discutons de (1) la construction d'un modèle unique pour les EA de grandes cultures et de polyculture-élevage, (2) la généricité des variables décisionnelles du modèle.

¹ Par exemple, en Camargue, quatre types d'EA ont été identifiés à partir d'enquêtes en EA et de traitements statistiques (dans le cadre de la thèse de Sylvestre Delmotte, UMR Innovation) : les riziculteurs, les riziculteurs-céréaliers, les céréaliers diversifiés et les éleveurs. Ces quatre types d'EA se distinguent par la proportion de riz, de céréales, d'oléagineux et de fourrages dans l'EA. Il est donc possible d'identifier ces types à partir d'une base de données telle que le RPG, et de les spatialiser à l'échelle du territoire.

- Un modèle unique pour les EA de grandes cultures et les EA de polyculture-élevage

Nous avons volontairement construit **un seul modèle pour les EA de grandes cultures et les EA de polyculture-élevage**, postulant qu'il est possible de représenter de façon générique (i) le processus de décision d'assolement et (ii) les entités de gestion utilisées par les agriculteurs dans les EA de grandes cultures et les EA de polyculture-élevage. La construction du modèle DYSPALLOC permet ainsi de **contribuer à décloisonner les concepts utilisés par les agronomes et les zootechniciens**, respectivement dans les EA de grandes cultures et dans celles d'élevage.

(i) En ce qui concerne les variables décisionnelles, nous avons réutilisé les quatre variables du modèle initial de Maxime et al. (1995) et Aubry et al. (1998b) (zone cultivable, délai de retour, couples de cultures précédent-suivant, et taille de sole, définies pour les EA de grandes cultures), et les avons appliquées de la même façon aux cultures de vente spécifiques des EA de grandes cultures et aux cultures fourragères spécifiques des EA de polyculture-élevage. Nous avons aussi mobilisé d'autres variables, qui avaient été définies pour les systèmes maraîchers (Mawois, 2009; Navarrete and Le Bail, 2007), et que nous avons ici appliquées aux cultures annuelles et pluriannuelles : durée de culture et nombre de cycles successifs. En nous inspirant des réflexions des zootechniciens (Bellon et al., 1995; Josien et al., 1994) sur les usages des surfaces fourragères (fauche/pâturage par exemple), nous avons de plus identifié une nouvelle variable, la **hiérarchisation fonctionnelle des cultures**. Nous avons considéré que les cultures n'étaient en effet pas hiérarchisées sur un seul critère économique, mais selon les fonctions qu'elles remplissent sur l'EA. Nous avons appliqué cette notion de fonction non pas aux parcelles mais aux cultures. La notion de « parcelle tampon » (Coléno, 1999), en particulier, a été intégrée à la hiérarchisation des cultures sous la forme d'une fonction indéterminée associée à certaines cultures (cf. Chapitre 4), qui permet de traduire le fait qu'une même surface cultivée peut potentiellement remplir plusieurs fonctions (mutuellement exclusives), mais qu'une seule fonction sera finalement choisie par l'agriculteur. Cette fonction indéterminée s'applique le plus souvent aux surfaces en herbe dans les EA d'élevage, mais aussi plus largement à toutes les cultures fourragères, et même aux cultures de vente dans les EA de grandes cultures (ex : fonction vente des récoltes ou fonction vente des semences).

(ii) En ce qui concerne les modes de découpage/agrégation du territoire d'exploitation, (Joannon et al., 2005) ont montré que les agronomes et les zootechniciens avaient décrit un grand nombre de découpages des territoires d'exploitations, intermédiaires entre l'échelle de la parcelle et l'échelle de l'exploitation. Ces découpages sont basés :

- soit sur une proximité géographique des parcelles : « blocs de parcelles » dans les EA de grandes cultures (Aubry et al., 1998b; Maxime et al., 1995) ; « îlots » pour les EA d'élevage (Josien et al., 1994) ;
- soit sur une similarité des usages des parcelles : « blocs de cultures » pour les EA de grandes cultures (Aubry et al., 1998b; Maxime et al., 1995) ; ensembles de parcelles de

production de fourrages, de pâturage ou mixtes pour les EA d'élevage (Coléno, 1999; Josien et al., 1994) ;

- soit les deux : « lots de cultures » pour les EA de grandes cultures (Aubry et al., 1998b; Maxime et al., 1995) ou « blocs » pour les EA d'élevage (Bellon et al., 1995; Josien et al., 1994).

Tous ces concepts visaient à décrire les entités de gestion manipulées par les agriculteurs. A notre connaissance, ces concepts n'ont pourtant été utilisés que de façon spécifique soit aux EA d'élevage, soit à celles de grandes cultures. Les concepts introduits dans DYSPALLOC ont au contraire vocation à pouvoir être utilisés dans tout type d'EA (de grandes cultures ou de polyculture-élevage), et à combiner une vision structurelle et fonctionnelle de l'EA. Nous avons ainsi défini des groupes d'îlots PAC qui correspondent à des îlots PAC proches les uns des autres et qui portent systématiquement une même culture une année donnée, que ce soit une culture de vente ou une culture fourragère. Nous avons également mis en évidence une logique de regroupement spatial des cultures prioritaires dans les deux types d'EA (que la culture soit une culture de vente ou fourragère), utilisée par les agriculteurs pour faciliter le travail et limiter les déplacements entre parcelles des soles de cultures prioritaires.

- Retour sur la généricité des variables décisionnelles

Nous avons introduit **sept variables décisionnelles**¹ dans le modèle DYSPALLOC. Toutes **n'ont pas le même statut dans le modèle : certaines sont simulées en tant que telles, tandis que d'autres sont demandées en entrée.**

- Les délais de retour, tailles de sole, durées de culture (minimum et maximum) et nombres de cycles successifs sont des données d'entrée demandées telles quelles.
- Les couples précédent-suivant sont aussi une donnée d'entrée, mais demandée sous forme de matrice de transition, comme dans le logiciel LandSFACTS (Castellazzi et al., 2007a). Nous avons défini dans DYSPALLOC quatre classes de transition (obligatoire, possible, à éviter, interdite), tandis que dans le logiciel LandSFACTS, ces transitions sont renseignées sous forme de probabilités chiffrées (entre 0 et 1, la somme sur une ligne devant faire 1).
- La hiérarchie fonctionnelle des cultures et la définition des zones cultivables sont quant à elles représentées par une variable interne et simulée par le modèle.

Cette différence est due au fait que **pour certaines variables, nous avons identifié des déterminants et règles de décisions communs entre EA, et nous avons pu expliciter le lien entre les déterminants et la valeur des variables choisie par l'agriculteur**, si bien que nous avons pu simuler la valeur de ces variables (c'est le cas de la zone cultivable² par

¹ Les sept variables décisionnelles sont les suivantes : zone cultivable, délai de retour, couple précédent-suivant, taille de sole, durée de culture, nombre de cycles successifs, hiérarchie fonctionnelle des cultures.

² Nos enquêtes en EA nous ont permis d'observer que les zones cultivables des cultures faisaient l'objet de règles de décisions partagées entre agriculteurs (cf. règles de décisions 9 à 15, section 4.2.2.1). Pour le territoire de Niort, les zones cultivables sont très déterminées par le milieu physique, contrainte qui est

exemple). **Pour d'autres variables**, la valeur choisie pour la variable décisionnelle résultait d'une agrégation de diverses informations de la part de l'agriculteur, et **nous n'avons pas réussi à expliciter totalement le raisonnement qui conduisait au choix de la valeur**, si bien que nous n'avons pas simulé le choix de cette valeur et la demandions directement en donnée d'entrée (c'est le cas de la taille de sole¹ par exemple).

Les variables décisionnelles introduites dans le modèle DYSPALLOCC ont été testées sur un autre terrain que celui de la plaine de Niort, dans le cadre d'un stage en Camargue (Florine Mailly, UMR Innovation). Ce stage a permis de montrer que les **variables décisionnelles de DYSPALLOCC étaient globalement pertinentes pour décrire le contenu des décisions d'assolement dans un autre contexte** (Mailly, 2011). Mais il a également révélé **certaines limites de généricité du modèle**, développées ci-après.

Les **règles de définition de la zone cultivable des cultures introduites dans DYSPALLOCC sont très spécifiques du territoire de la plaine de Niort**. Les déterminants de ces règles (types de sol, accès à l'irrigation, distance entre la parcelle et le siège d'exploitation) et surtout les seuils utilisés dans ces règles ne seraient pas pertinents dans d'autres territoires. Par exemple, dans un territoire où les types de sols sont très homogènes, comme certaines zones du Pays de Caux (Souchère, V. UMR SAD-APT, comm. pers.), les zones cultivables ne seraient pas déterminées par les types de sols. Dans un territoire où le morcellement des parcellaires est très réduit, tel que la Camargue (Mailly, 2011), il est possible que les seuils de distance, au-delà desquels les agriculteurs mettraient systématiquement une parcelle en jachère, soient très différents. Pour d'autres territoires, l'étape de définition des zones cultivables du modèle DYSPALLOCC serait à donc revoir car elle ne semble pas suffisamment générique : **il faudrait considérer les types de sol et les contraintes spécifiques à chaque territoire** (ex : pierrosité, altitude, pente, réseau routier, etc.) et identifier des règles en conséquence. Il a par exemple été montré en Ile-de-France que la zone cultivable de certaines cultures (ex : céréales, herbes aromatiques) pouvait dépendre de la proximité entre la parcelle et les routes, car plusieurs opérateurs économiques ont imposé des distances de sécurité entre parcelles et routes afin de minimiser les risques de pollution diffuse due au trafic routier, très dense en Ile-de-France (Petit et al., 2009). Dans le pays de

partagée entre agriculteurs de ce territoire. Le fait que les déterminants des décisions soient communs entre EA a rendu possible l'identification de règles génériques à la fois dans leur structure et dans leurs seuils, et permis de simuler les décisions des agriculteurs concernant les zones cultivables.

¹ Même si la structure des règles de décisions est la même entre agriculteurs (ex : pour telle culture, je veux avoir entre x et y hectares), les valeurs des variables (x et y) sont choisies individuellement et peuvent varier de manière importante entre agriculteurs. Même si ces valeurs peuvent parfois être communes entre EA, il reste très difficile de les simuler de façon générique. Il n'a en effet pas été possible d'identifier tous les déterminants de la taille de sole, et les liens entre ces déterminants et la valeur que choisissaient les agriculteurs pour cette variable. Il en est de même pour d'autres variables telles que le délai de retour par exemple : un déterminant important du délai de retour du colza est le niveau de pression des adventices dans les parcelles de colza. Pour autant, certains agriculteurs choisissent un délai de retour de 3 ans minimum, d'autres de 4 ans, voire plus. Nous n'avons pas réussi à comprendre de quoi dépendait précisément la valeur de 3 ou 4 ans, et nous n'avons donc pas simulé cette valeur.

Caux, c'est le réseau routier lui-même qui peut déterminer la localisation de certaines cultures dans le territoire (Thenail et al., 2009) : la taille des routes et l'accessibilité des parcelles aux camions collecteurs de betteraves est par exemple un déterminant important de la zone cultivable de la betterave en Haute-Normandie (Joannon et al., 2006).

En outre, les critères de préférence introduits dans le modèle DYSPALLOC (règles de décisions 21 à 23, cf. section 4.2.2.2) demanderaient également à être évalués dans un autre territoire que celui de la plaine de Niort.

Par ailleurs, dans d'autres territoires, il conviendrait de revoir la liste des cultures possibles pour les EA, ainsi que les fonctions que remplissent ces cultures. Dans ce travail, nous avons établi une **liste de cultures et de fonctions spécifiques des EA de grandes cultures et de polyculture-élevage de la plaine de Niort**, mais il serait nécessaire de compléter cette liste à la fois pour le territoire de Niort (ex : cultures permettant de produire des semences de CIPAN, planifiées chez plusieurs agriculteurs pour l'assolement 2011) et d'ajouter d'autres cultures et d'autres fonctions pour des territoires différents. En Camargue par exemple, il a été montré qu'une fonction très importante pour le fonctionnement des EA était la fonction de « désalinisation des sols », permise par les cultures irriguées telles que le riz (Mailly, 2011). Dans d'autres contextes, les mêmes cultures que celles cultivées à Niort pourraient aussi être associées à d'autres fonctions : par exemple, les céréales et la jachère sont fréquemment pâturées par les troupeaux en milieu semi-aride (Benniou and Aubry, 2009).

Remarque : même si nous avons observé que certaines fonctions étaient plus importantes que d'autres dans une majorité d'EA (à Niort et en Camargue), nous avons **choisi de ne pas hiérarchiser a priori les fonctions dans le modèle DYSPALLOC**. Nous simulons seulement une hiérarchisation des cultures en fonction du nombre de cultures remplissant chacune des fonctions, afin d'accroître la généricité du modèle.

Pour finir, il est important de noter que **dans d'autres contextes, d'autres variables décisionnelles seraient sans doute nécessaires** pour représenter et simuler les décisions d'assolement des agriculteurs : en Camargue par exemple, Mailly (2011) a distingué deux types de délais de retour des cultures. En plus du délai de retour minimum largement décrit dans la littérature (Aubry et al., 1998b; Maxime et al., 1995; Navarrete and Le Bail, 2007), les agriculteurs semblent considérer, en Camargue, **un délai de retour maximum entre deux cycles de cultures irriguées**, le plus souvent le riz (Mailly, 2011). Ce délai de retour maximum est lié au nombre de cycles successifs maximum de la (ou des) culture(s) sèche(s) cultivée(s) entre deux cycles de cultures irriguées (le nombre de cycles successifs maximum est lui-même déterminé par le délai de retour maximal de la culture irriguée). La nécessité de considérer un délai de retour maximal en Camargue est due à la très forte contrainte de salinité des sols, qui est gérée par la submersion régulière des terres lors des cycles de cultures irriguées (la submersion permettant de diminuer la salinité des sols (Mailly, 2011)).

7.1.2.2) Apports du modèle DYSPALLOC à la compréhension de l'organisation spatiale des cultures à l'échelle de l'EA et à l'échelle d'un paysage composé d'EA

Nos enquêtes en EA et la construction de DYSPALLOC ont permis de mettre en évidence des règles de décisions génériques concernant la localisation des cultures dans le parcellaire des EA et ainsi d'**améliorer notre compréhension de l'organisation spatiale des cultures à l'échelle de l'EA.**

Nous avons mis en évidence **d'une part des logiques de regroupements d'îlots PAC ou de cultures, et d'autre part des logiques de découpages d'îlots PAC en plusieurs parcelles.** Nous avons de plus défini trois types de limites de parcelles (limites d'îlots élémentaires, de parcelles fixes et de parcelles temporaires) en fonction de leurs déterminants, et de leur temporalité (limites temporaires ou permanentes).

DYSPALLOC, en décrivant à la fois les découpages parcellaires et les processus d'allocation des cultures aux parcelles, rend compte des **deux composantes des décisions d'assolement impactant la mosaïque de cultures** : des décisions de **configuration** (définition des entités spatiales) et de **composition** (allocation des cultures à ces entités spatiales). Ces deux composantes sont indispensables dans l'optique d'une modélisation spatialement explicite de l'organisation spatiale des cultures dans un paysage (qui peut ensuite servir de donnée d'entrée à des modèles écologiques par exemple). Nos avancées sur les limites de parcelles ont d'ailleurs permis de faire évoluer un outil informatique tel que LandSFACTS (Castellazzi et al., 2007a). Comme la plupart des modèles de simulation des paysages, ce modèle s'attache à simuler l'allocation des cultures dans des parcelles, mais pas à simuler l'évolution des limites géométriques des parcelles (Gaucherel and Houet, 2009). Nos enquêtes en EA et nos réflexions sur la temporalité des limites de parcelles ont permis de construire les données d'entrée nécessaires au couplage de deux modèles (LandSFACTS et APILand), et de mener une expérimentation virtuelle sur les redécoupages de parcelles (*via* APILandSFACTS, cf. Chapitre 5).

DYSPALLOC permet ainsi de **renouveler le concept de parcelle¹**, en montrant qu'il existe plusieurs entités de gestion dans une même EA, et qu'il est nécessaire de **considérer à la fois des découpages et des regroupements de parcelles pour saisir les logiques de gestion des cultures des agriculteurs** au sein de leur EA. Ces résultats vont dans le sens de (Nesme et al., 2010) qui ont montré que le concept de parcelle était très relatif et qu'il importait de considérer à la fois le niveau infra-parcelle, pour comprendre et mieux gérer la

¹ Nous donnons ici deux définitions classiques de la parcelle. La parcelle cultivable est une « pièce de terre d'un seul tenant portant, au cours d'un cycle cultural donné, la même culture ou la même association de cultures géré par un seul individu ou par un groupe déterminé d'individus ». Milleville P. (1972) Approche agronomique de la notion de parcelle en milieu traditionnel africain : la parcelle d'arachide en moyenne Casamance. Cahier ORSTOM, série biologique 17:23-37.

La parcelle cadastrale est définie comme « une pièce de terre d'un seul tenant, dépendant de la même exploitation et entourée par des limites matérialisées ou simplement coutumières » ibid. Cette thèse permet donc d'enrichir en particulier la définition de parcelle cadastrale.

variabilité infra-parcelle de la qualité des récoltes (en particulier en arboriculture), et le niveau supra-parcelle, pour concevoir des systèmes de culture plus performants à l'échelle de l'EA voire d'un ensemble d'EA (par exemple pour améliorer la gestion des ravageurs en arboriculture à l'échelle du paysage). Il a par ailleurs été montré que les logiques de regroupement de parcelles pour le choix de la culture s'accompagnaient de logiques de regroupement de parcelles pour le choix des opérations techniques, et que ces regroupements engendraient une simplification de la gestion technique : toutes les parcelles d'un même lot de parcelles sont par exemple fertilisées en même temps, même si toutes les cultures n'en sont pas au même stade dans les parcelles, ce qui peut engendrer un risque de lessivage important des nitrates et/ou de carence azotée temporaire dans certaines parcelles (Aubry, 2007).

Il conviendrait de réfléchir à la **généricité des concepts de (i) regroupement de parcelles, de (ii) limites d'îlots élémentaires, de (iii) parcelles fixes et parcelles temporaires.**

(i) En ce qui concerne les regroupements de parcelles, Mailly (2011) a montré en Camargue que, même si les parcellaires étaient particulièrement peu morcelés (par rapport à ceux de Niort), les agriculteurs tentaient le plus possible de regrouper spatialement les cultures dans les parcelles afin de faciliter le travail, en particulier les opérations d'irrigation (l'irrigation est le déterminant le plus important des regroupements de parcelles en Camargue). Ces regroupements correspondaient aux groupes d'îlots PAC et aux réunions de parcelles temporaires décrits dans DYSPALLO, avec des règles de décisions du type : « ces parcelles ne peuvent être cultivées en riz que si les parcelles voisines sont aussi cultivées en riz la même année » (Mailly, 2011). Ces logiques de regroupements semblent donc généralisables à d'autres contextes.

(ii) En ce qui concerne les **îlots élémentaires**, la **généricité du concept** porte sur la **nécessité de distinguer plusieurs entités de gestion au sein d'un terrain d'un seul tenant** (ici îlot PAC), **en raison d'hétérogénéités sur les contraintes de ce terrain**. A condition de spécifier les contraintes spécifiques à chaque contexte (ex : accès à l'irrigation en Camargue), le concept d'îlot élémentaire peut être générique. Nous avons en effet considéré les contraintes les plus marquées dans le contexte de la plaine de Niort (types de sol, accès à l'irrigation, limites physiques¹ de type haie ou clôture, etc.), mais ces contraintes pourraient ne pas être pertinentes dans d'autres contextes tels que le Pays de Caux où les sols apparaissent très homogènes par rapport à d'autres régions (Thenail et al., 2009).

(iii) En ce qui concerne les **parcelles fixes** et les **parcelles temporaires**, nous pensons que **ces concepts sont pertinents dans les contextes où les agriculteurs cherchent effectivement à équilibrer les tailles de sole des cultures d'une année à l'autre sur une**

¹ Nous aurions pu considérer également les limites entre parcelles cultivées et bandes enherbées obligatoires au sein des îlots PAC, qui relèvent d'après nous des limites d'îlots élémentaires car ce sont des limites permanentes et déterminées par les caractéristiques individuelles des îlots PAC (ex : cours d'eau attenant à l'îlot PAC).

SAU limitée. Dans d'autres contextes, où les surfaces des EA sont excessivement grandes (plusieurs milliers d'hectares, ex : Amérique du Sud), il n'est vraisemblablement pas nécessaire de délimiter des parcelles temporaires pour ajuster des tailles de sole d'une année à l'autre, d'autant plus s'il n'y a qu'un nombre restreint de cultures (ex : système maïs / soja du *Midwest* américain). A l'inverse, dans des contextes où les EA sont très petites et surtout où les surfaces gérées collectivement sont importantes (ex : agriculture soudano-sahélienne), il est vraisemblablement très difficile de prévoir la localisation et la temporalité des limites de parcelles. La très forte incertitude climatique au cours de l'année (date de début et d'arrêt des pluies, nombre de jours de pluie, etc.) entraîne une incertitude sur les cultures et la surface de cultures qu'il sera possible d'implanter au cours de l'année (Milleville, 1989; Schaller, 2008), si bien que l'incertitude est grande également sur la limite et la surface des parcelles. Dans ces contextes, les stratégies de regroupement spatial identifiées dans la plaine de Niort ne sont pas non plus pertinentes et on assiste même à des stratégies inverses, de dispersion spatiale des cultures, dans le but de minimiser les risques de chute de rendement due à un déficit hydrique (en raison du caractère très local des précipitations) (Akponikpè et al., 2011).

Il conviendrait de considérer d'autres déterminants de la présence et de la localisation de limites de parcelles. La largeur de travail du matériel agricole (et en particulier celle du pulvérisateur) détermine fréquemment la localisation de la limite des parcelles au sein des îlots, car les agriculteurs tentent d'atteindre une largeur de parcelle qui soit un multiple de la largeur du pulvérisateur. Au cours de nos enquêtes dans la plaine de Niort, nous avons constaté que la présence de certains découpages de parcelles était due à la largeur du matériel¹. De plus, **le point d'entrée des parcelles, en lien avec le réseau de routes et chemins, peut aussi être un déterminant fort de la localisation des limites de parcelles** au sein des îlots PAC. Dans le pays de Caux par exemple, les routes sont en « cavées » par rapport aux parcelles (i.e. en contrebas), si bien que les agriculteurs ne peuvent pas entrer n'importe où dans leurs parcelles (ils sont limités à certains points d'entrée) : ceci peut fortement limiter les découpages de parcelles car ces derniers pourraient générer des parcelles inaccessibles (Martin P. UMR SAD-APT, comm. pers.).

Enfin, **à l'échelle du paysage, nous avons montré dans cette thèse que l'on pouvait simuler l'organisation spatiale des cultures à partir de la modélisation des décisions d'assolement des agriculteurs, et que la prise en compte de ces décisions à l'échelle de l'EA permettait de mieux comprendre l'organisation des cultures à l'échelle du paysage.** L'organisation spatiale des cultures simulée à partir de la modélisation des décisions d'assolement était plus proche de l'organisation réelle observée que ne l'était l'organisation spatiale des cultures simulée par un modèle aléatoire (même en tenant compte de contraintes agronomiques sur les successions de cultures). Pour aller plus loin dans la

¹ Les règles de décisions étaient du type : « j'ai découpé l'îlot PAC en deux, car dans une partie de l'îlot, je ne peux pas passer avec le pulvérisateur. Du coup, cette partie est laissée en jachère (ou en prairie permanente), et je ne cultive que la partie accessible au pulvérisateur ». Ces décisions ont été traduites dans DYSPALLOCC par la présence de pointe dans les îlots PAC, qui étaient découpées et non cultivées (cf. Chapitre 4).

simulation de l'organisation spatiale des cultures à l'échelle du paysage, il conviendrait toutefois de pouvoir simuler cette organisation sur plusieurs années de suite, et pas seulement d'une année à l'autre (cf. section 7.2.1).

7.1.2.3) Apports de DYSPALLOC à la compréhension de la temporalité du processus de décision d'assolement des agriculteurs

Nous discutons à présent des apports de la thèse par rapport au deuxième volet de la problématique initiale¹, celui de la **temporalité du processus de décision d'assolement** des agriculteurs. Nous avons **construit DYSPALLOC pour des phases de cohérence** des exploitations agricoles. Nous nous sommes ainsi placés dans des phases où les décisions d'ordre stratégique sont stabilisées (Chantre et al., 2010b), et n'avons pas modélisé les phases de rupture au cours desquelles les décisions des agriculteurs sont modifiées, en lien avec un contexte de changements internes et/ou externes à l'EA. Nous reviendrons sur l'utilisation possible de DYSPALLOC en phases de rupture dans la section 7.2.

Les décisions d'ordre stratégique étant considérées comme stabilisées dans notre approche, nous avons interprété les décisions des agriculteurs, comme dans le modèle d'action (Sebillotte and Soler, 1990), comme consistant d'abord en une **planification**, puis en des **ajustements** éventuels. Nous avons observé que les agriculteurs planifiaient leur assolement $n+1$ en mai de l'année n . **Avec le modèle DYSPALLOC, nous pouvons simuler les décisions de planification d'assolement d'une année à l'autre** : nous avons distingué les décisions de planification stratégique, stables pour toute une phase de cohérence, et celles de planification annuelle, renouvelées chaque année agricole. Cette distinction nous a permis de décliner certaines variables décisionnelles sur ces deux pas de temps : nous avons ainsi distingué une zone cultivable stratégique et une zone cultivable annuelle. Cette distinction permet de traduire l'interdépendance des éléments à différents pas de temps dans l'EA, selon une vision systémique (Papy, 2001). De même que (Relier and Marcaillou, 1990), nous avons considéré que le processus de planification est un processus itératif, au cours duquel les agriculteurs planifient successivement l'allocation des cultures prioritaires, puis des cultures complémentaires et enfin des cultures facultatives, le choix d'allocation de chaque culture aux parcelles déterminant les allocations possibles pour les autres cultures. Ce processus itératif est traduit dans DYSPALLOC par le calcul de $[CROP\ AREA\ GAP]^2$, qui indique la marge de manœuvre dont dispose l'agriculteur pour le choix d'allocation de chaque culture aux parcelles, et qui est recalculé après la planification d'allocation de chaque culture.

¹ Pour rappel, la problématique est la suivante : « en quoi la modélisation des décisions d'assolement dans leurs dimensions spatiale et temporelle au niveau de l'exploitation agricole permet-elle de rendre compte : (i) de l'organisation spatiale des cultures au niveau du paysage agricole, et (ii) de la temporalité des décisions conduisant à cette organisation spatiale ? »

² $[CROP\ AREA\ GAP]$ correspond à l'écart de surface entre la surface de la zone cultivable annuelle ($n+1$) de chaque culture (ou de chaque groupe de cultures complémentaires) et la taille de sole optimum de la culture prioritaire (ou la taille de sole minimum du groupe de cultures complémentaires) (cf. Chapitre 4).

Le cadre conceptuel de DYSPALLOC permet aussi de décrire et caractériser *a posteriori* les décisions d'ajustements infra-annuels de la planification. Nous interprétons l'utilisation de ces ajustements de planification d'assolement comme un moyen pour les agriculteurs d'accroître la flexibilité de leur système de production et de s'adapter à la diversité des aléas auxquels ils sont soumis (climatique, technique, économique, etc.). Nous avons mis en évidence des « moments » d'ajustements communs entre EA, environ tous les deux mois, la plupart des ajustements de choix d'assolement pour l'année $n+1$ étant réalisés au moment des récoltes de l'année n (en raison du prix de vente des cultures et du déroulement même des récoltes). **DYSPALLOC ne permet toutefois pas de simuler ces ajustements *a priori*.** Il s'agit actuellement de la **principale limite du modèle**. Nous avons identifié des règles d'ajustements communes entre EA (cf. Annexe 5), mais une grande diversité de seuils utilisés par les agriculteurs pour déclencher ces ajustements¹. Nous n'avons pas réussi à ce stade à comprendre de quoi dépendaient ces seuils, et donc à simuler de façon générique les ajustements qui découlent de ces seuils. Pour simuler les décisions d'ajustements infra-annuels à l'échelle de l'EA, il serait nécessaire de tenir compte de l'évolution infra-annuelle des déterminants, mais aussi de l'incertitude associée à ces informations, et de l'aversion au risque de l'agriculteur face à cette incertitude (Dury et al., 2011). Des travaux liant agronomie et intelligence artificielle sont actuellement menés en ce sens dans le cadre des thèses de Jérôme Dury et Mahuna Akplogan (INRA Toulouse, UMR AGIR et BIA).

Remarque : dans ce travail, nous avons analysé les dimensions spatiale et temporelle des décisions d'assolement et en avons construit une représentation à partir de notre regard d'agronomes. Cette réflexion pourrait être complétée par un regard de socio-anthropologue *via* des enquêtes sur les conceptions des agriculteurs (Mathieu et al., 2005), et en particulier sur leurs **conceptions du temps et de l'espace dans l'exercice de leurs activités**. Ces apports sur les conceptions des agriculteurs permettraient de mesurer un éventuel décalage entre notre représentation des dimensions spatiale et temporelle des choix d'assolement des agriculteurs (dans DYSPALLOC) et leurs conceptions effectives² (Martin, 2011), et de donner d'éventuelles pistes d'amélioration du modèle.

¹ Voici par exemple une règle de décision d'ajustement souvent citée par les agriculteurs : « si le stock fourrager escompté est déficitaire en septembre n , alors j'augmente la taille de sole de certaines cultures fourragères (prairies temporaires graminées ou luzerne implantées dès l'automne), au détriment de cultures ayant d'autres fonctions et prévues pour être implantées au printemps $n+1$ (ex : tournesol, pois) ». La difficulté est alors de comprendre quel niveau de déficit fourrager (quel seuil) entraîne quel niveau d'augmentation des tailles de sole des cultures fourragères (et lesquelles, et quelle augmentation pour chaque culture fourragère respectivement).

² « A titre d'illustration de décalage, on peut citer le fait que dans le Pays de Caux les agronomes utilisent un modèle qui génère des volumes d'eau, alors que l'analyse des conceptions montre que les agriculteurs mettent davantage en avant la « vitesse de l'eau ». Il semble alors naturel aux agriculteurs de mettre en place des aménagements qui « cassent » la vitesse de l'eau mais ils voient moins l'importance d'une réduction des quantités de ruissellement ». Martin P. (2009b) De la trajectoire d'états des écosystèmes cultivés aux espaces territorialisés dynamiques: contribution à la prise en compte de la dimension temporelle dans une agronomie des territoires, Mémoire d'habilitation à diriger les recherches, INPT, Paris. pp. 113.

7.2) Perspectives

Dans cette section, nous donnons quelques perspectives possibles à ce travail, d'abord en termes d'informatisation et/ou évolution du modèle DYSPALLOCC (section 7.2.1), puis en termes d'opérationnalisation des résultats (section 7.2.2).

7.2.1) Perspectives d'informatisation et d'évolution du modèle DYSPALLOCC

Il serait intéressant de réfléchir aux **possibilités d'informatisation de DYSPALLOCC**, qui est à ce stade un modèle conceptuel (les simulations de planification d'assolement se font « à la main »). En réduisant le temps de simulation, l'informatisation du modèle permettrait par exemple de simuler l'organisation spatiale des cultures dans des paysages plus vastes que celui sur lequel nous avons travaillé dans le chapitre 6. Elle permettrait aussi de faire des tests de sensibilité du modèle : sensibilité à la fois aux données d'entrée (sur les tailles de sole notamment, auxquelles nous pensons que DYSPALLOCC est sensible, mais sans l'avoir mesuré explicitement), et aux seuils utilisés dans les règles de décisions internes au modèle (règles de définition des zones cultivables notamment). Enfin, l'informatisation du modèle permettrait de tester et évaluer DYSPALLOCC dans d'autres contextes que celui dans lequel il a été construit et validé.

Cette informatisation pourrait se faire soit en construisant un modèle informatique à part entière, éventuellement dans le cadre d'une plateforme de modélisation telle que la plateforme RECORD¹ de l'INRA ; soit en faisant évoluer des modèles informatiques existants de simulation des assolements, tels que LandSFACTS (Castellazzi et al., 2007a), DYPAL (Gaucherel et al., 2006), ou TOURNESOL (Garcia et al., 2005b) par exemple. Les règles de découpages de parcelles ont par exemple pu être intégrées au modèle LandSFACTS à travers le couplage avec APILand (cf. Chapitre 5). La notion de fonctions associées aux cultures pourrait être intégrée au modèle TOURNESOL, dans lequel les cultures sont déjà associées à la production de différentes matières premières répondant aux besoins de l'EA (grains, pailles, fourrages, etc.). La recherche d'une taille de sole optimale pour les cultures prioritaires pourrait être intégrée au modèle DYPAL, dans lequel il existe un calcul permettant de rechercher les combinaisons de parcelles permettant de s'approcher au plus près des tailles de sole données en entrée (Gaucherel, C. Institut Français de Pondichéry, comm. pers.). Les opérations géométriques sur les limites de parcelles (découpages/réunions de parcelles) pourraient également être simulées par le modèle DYPAL, avec toutefois une difficulté concernant la formulation de règles de décisions de découpages de parcelles comme données d'entrée de DYPAL².

¹ RECORD = « REnovation et COoRDination de la modélisation de cultures pour la gestion des agroécosystèmes ». Pour une description synthétique, voir Bergez J.E., Chabrier, P., Garcia, F., Gary, C., Makowski, D., Quesnel, G., Ramat, E., Raynal, H., Rousse, N., Wallach, D. (2009) RECORD: a new software platform to model and simulate cropping systems, *Farming Systems Design*, Monterey, CA. pp. 107-108.

² A notre connaissance, les opérations géométriques sont simulées dans DYPAL à partir de proportions d'opérations renseignées en entrée par l'utilisateur : par exemple, il fixe que 20% des parcelles seront

Quoi qu'il en soit, il nous semble qu'il serait plus opportun de favoriser des développements informatiques dans le cadre de plateformes de modélisation, et ainsi de bénéficier de collaborations avec des informaticiens expérimentés en ce qui concerne la modélisation du spatial, plutôt que de vouloir créer un nouvel outil informatique à part entière.

Il conviendrait de plus de réfléchir aux **possibilités d'évolution du modèle DYSPALLOC**. Nous voyons **trois axes** de progression.

(1) Le premier concerne la **simulation des décisions d'ajustements infra-annuels** en lien avec la prise en compte de l'évolution des déterminants des décisions en cours d'année. Pour cela, il serait nécessaire d'approfondir la modélisation du comportement de l'agriculteur en **contexte d'incertitude**. En contexte d'incertitude, la modélisation du comportement de l'agriculteur par règles de décisions apparaît en effet limitant, et il serait intéressant d'aller au-delà d'une représentation du comportement de l'agriculteur comme un comportement de réaction à des aléas, et d'intégrer aussi des comportements d'anticipation¹ (Akplogan et al., 2009). Le modèle CRASH, développé dans le cadre de la thèse de Jérôme Dury (UMR AGIR, Toulouse), vise par exemple à représenter de façon combinée les comportements de réaction aux aléas et d'anticipation des agriculteurs dans le choix de leur assolement et de leurs pratiques culturales.

(2) Le second axe d'évolution du modèle concerne la **prise en compte de changements au cours des phases de cohérence des EA**. En effet, ce n'est pas parce que l'EA se trouve dans une phase de cohérence que le contexte externe à l'EA est nécessairement stable (c'est même rarement le cas, ne fût-ce qu'en termes de prix de vente des produits). Il serait donc intéressant, pour simuler des décisions d'assolement sur plusieurs années d'une phase de cohérence, de prendre en compte l'impact des changements de contexte sur les données d'entrée du modèle DYSPALLOC.

Par exemple, nous avons fait le choix dans DYSPALLOC d'associer une taille de sole optimale aux cultures prioritaires : il serait intéressant de pouvoir faire varier d'une année à l'autre la valeur des tailles de sole optimales des cultures de vente, en fonction du prix de vente de ces cultures (élasticité des tailles de sole optimales). On pourrait aussi imaginer un couplage avec un module économique, qui contraindrait la liste des cultures possibles sur l'EA, en lien avec leurs fonctions respectives (ex : si le prix de vente de telle culture à fonction « vente » devient $> x$, alors la culture devient possible sur l'EA, ou inversement). En ce qui concerne les cultures fourragères, on pourrait imaginer faire évoluer les tailles de sole visées par l'agriculteur en fonction de l'évolution des stocks fourragers : par exemple, si une

découpées, et que 10% des parcelles seront réunies. Or, nous n'avons pas interprété les découpages et réunions de parcelles comme devant représenter un certain pourcentage dans un parcellaire, nous avons au contraire caractérisé les déterminants et la temporalité des limites de parcelles à l'intérieur d'îlots PAC. Il nous semble donc difficile à ce stade de renseigner les données d'entrée demandées dans DYPAL.

¹ L'agriculteur anticipe sur les conséquences possibles de ses décisions (il fait des « scénarios » et les évalue), et choisit la décision qui lui semble la meilleure compte tenu de ses objectifs (Akplogan, M. comm. pers.).

année est particulièrement marquée par la sécheresse, et que les stocks fourragers sont très bas (voire déficitaires), la taille de sole fourragère visée par l'agriculteur l'année suivante pourrait être augmentée.

Dans d'autres contextes, il faudrait aussi faire évoluer d'autres éléments au cours du temps. Par exemple, en Camargue, Mailly (2011) a montré que la salinité du sol augmentait chaque année en raison de remontées de sel, et que ce facteur impactait la définition de la zone cultivable des cultures : au cours d'une phase de cohérence de l'EA, au-delà d'un certain niveau de salinité, la parcelle peut ne plus être cultivable en cultures sèches et nécessiter une culture irriguée (pour faire diminuer la salinité). Pour ce territoire, il faudrait donc faire évoluer l'état du sol au cours du temps dans les données d'entrée du modèle, pour que ce dernier simule correctement la définition des zones cultivables des cultures. Cette évolution des zones cultivables des cultures au cours du temps a aussi été observée au cours même d'une année, dans les zones de décrues à Madagascar (Mawois, 2009) : la zone cultivable des cultures grandissait en cours d'année au fur et à mesure que l'eau se retirait de ces zones de décrues.

(3) Le troisième axe d'évolution de DYSPALLOCC concerne la **simulation des décisions d'assolement pour des phases de rupture des EA**. Dans ce travail, nous avons uniquement utilisé DYSPALLOCC en phase de cohérence, arguant que les données d'entrée du modèle n'étaient identifiables que durant ces périodes de stabilité (cf. Chapitre 2). Il serait intéressant d'essayer de collecter, par enquêtes dans des EA en phase de rupture, des informations permettant de renseigner les données d'entrée de DYSPALLOCC. Le modèle servirait alors à **tester différentes données d'entrée** (en termes de cultures, de successions de cultures, ou de parcellaire), **en analysant les planifications d'assolement possibles qui découlent de ces données d'entrée**. On pourrait imaginer tester l'effet de l'introduction ou la suppression d'une culture dans l'EA, de l'augmentation ou la diminution d'une taille de sole, ou encore d'un changement dans les règles de successions de cultures (ex : arrêt d'une monoculture, allongement d'une rotation, etc.), sur la planification de l'assolement $n+1$ dans l'EA. Cet usage du modèle serait notamment intéressant pour des EA en transition vers l'agriculture biologique ou des EA qui modifient leurs modes de commercialisation (orientation vers les circuits courts). (Petit et al., 2010) ont en effet montré que les agriculteurs de ces EA cherchaient à planifier leur assolement d'une année à l'autre en changeant les cultures présentes sur l'EA (diversification) ainsi que les règles de successions de cultures, ce qui rendait leur processus de décision très complexe. DYSPALLOCC pourrait donc contribuer à tester l'effet de différents choix de cultures et de successions de cultures sur la planification d'assolement $n+1$ d'EA en phase de rupture.

7.2.2) Perspectives d'opérationnalisation des résultats

Nous discutons pour finir des perspectives d'opérationnalisation des résultats produits dans cette thèse. **Le modèle DYSPALLOCC apparaît comme un outil polyvalent qui peut potentiellement servir à répondre à différentes questions**. Nous présentons tout d'abord

des perspectives d'utilisation du modèle à l'échelle de l'EA (section 7.2.2.1) puis à l'échelle d'un paysage composé d'EA (section 7.2.2.2), avant de discuter de la dimension collective des décisions des agriculteurs dans un territoire (section 7.2.2.3).

7.2.2.1) Perspectives d'utilisation du modèle DYSPALLOC à l'échelle de l'exploitation agricole

A l'échelle de l'EA, DYSPALLOC pourrait être utilisé pour **aider à la mise en place de Mesures Agro-Environnementales territorialisées (MAEt) concernant l'implantation de certaines cultures dans les parcelles**¹ : grâce à la définition des zones cultivables annuelles des cultures (étape 6 du modèle), le modèle pourrait servir à **identifier les parcelles dans lesquelles une contractualisation MAEt est possible** (ex : connaître les parcelles où une luzerne serait cultivable en année n+1). L'information sur les parcelles « à choix unique » (i.e. celles où une seule culture est possible en année n+1) servirait à identifier les parcelles où il est certain que l'agriculteur ne modifiera pas son choix de culture pour l'année n+1, et où la contractualisation d'une MAEt ne sera donc pas possible. De façon complémentaire, l'information sur les parcelles « à choix multiples » (i.e. celles où plusieurs cultures sont effectivement possibles en année n+1) serait utile pour cibler les parcelles dans lesquelles il serait opportun de localiser une MAEt. DYSPALLOC pourrait aussi servir à simuler l'impact d'une MAEt (sur une ou plusieurs parcelles) sur la planification d'assolement sur le reste des parcelles de l'EA. Cette information sur l'impact d'une MAEt sur les parcelles non contractualisées de l'EA pourrait aussi intéresser les gestionnaires des espaces ruraux, qui pourraient alors **estimer si la contractualisation d'une MAEt engendre ou non des conséquences négatives sur le reste des parcelles de l'EA**.

De plus, comme évoqué dans la section précédente, le modèle **DYSPALLOC pourrait être utilisé pour planifier des assolements d'une année à l'autre avec des données d'entrée modifiées** (changement de cultures, des successions de cultures ou de parcellaire d'EA) ; la modification des données d'entrée pouvant correspondre soit à une phase de rupture (ex : transition vers l'agriculture biologique), soit à une nouvelle phase de cohérence de l'EA. On pourrait imaginer différents « scénarios » de données d'entrée, et simuler les effets en termes de planification d'assolement. Ces « scénarios » pourraient concerner le parcellaire (ex : agrandissement, échanges de parcelles entre EA), l'irrigation (ex : arrêt de l'irrigation), les cultures possibles sur l'EA en lien avec leurs fonctions, les successions de cultures, les tailles de sole des cultures, etc. La **diversification des cultures et l'allongement des successions de cultures** sont préconisés par exemple dans le cadre des plans d'actions agricoles sur les aires d'alimentation de captage, et il serait donc intéressant d'utiliser

¹ Pour le territoire de la plaine de Niort, ces MAEt consistent par exemple en l'implantation de surfaces en herbe, de surfaces en luzerne, ou encore la mise en jachère de certaines parcelles, afin de répondre à l'enjeu de biodiversité locale. Voir : <http://www.zaplainedesevre.fr/tel/plaquetteMAET2009.pdf>.

Dans d'autres territoires, et en particulier dans les aires d'alimentation de captage, ces MAEt concernent l'implantation de surfaces en herbe et/ou la réduction de l'utilisation des intrants, afin de répondre à l'enjeu de reconquête de la qualité de l'eau. Voir : http://dise.seine-maritime.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/100621_Guide_methodo_AAC_agricole_v1_def_cleoe17e7.pdf

DYSPALLOCC à l'échelle de l'EA pour simuler les conséquences de ces changements (traduits en données d'entrée) sur de futurs assolements de l'EA.

7.2.2.2) Perspectives d'utilisation du modèle DYSPALLOCC à l'échelle d'un paysage composé d'exploitations agricoles

A l'échelle de quelques EA, DYSPALLOCC pourrait être utilisé pour raisonner des assolements concertés. Le modèle pourrait d'une part servir à identifier, pour plusieurs EA en parallèle, les parcelles « à choix multiples ». Les **parcelles « à choix multiples » de chaque EA peuvent alors servir à identifier les marges de manœuvre de chaque agriculteur**, pour un petit ensemble d'EA (dans le choix de leur assolement $n+1$). Ceci permettrait de faciliter une planification coordonnée de la localisation des cultures pour l'année $n+1$ à l'échelle de plusieurs EA, dans l'optique d'une mosaïque de cultures plus favorable à certains enjeux environnementaux. Par exemple, la coordination d'agriculteurs dans un bassin versant pour localiser les cultures produisant plus de ruissellement érosif à l'amont de cultures ayant une plus grande capacité d'infiltration, permet de réduire le ruissellement en sortie du bassin versant (Joannon et al., 2006; Le Goff, 2007; Silvestre, 2004). La même démarche de coordination des planifications d'assolement pourrait être appliquée à la problématique de la qualité de l'eau dans les aires d'alimentation de captage, en tentant de localiser préférentiellement les cultures les plus favorables à la protection de la ressource en eau (ex : prairie extensive) dans les zones de vulnérabilité (Coutarel L., UR SenS, comm. pers.).

En plus de jouer sur des marges de manœuvre individuelles à l'échelle de chaque EA, nous pourrions aussi **réfléchir à des marges de manœuvre collectives, en essayant de planifier un assolement commun pour plusieurs EA**. Nous pourrions par exemple mettre en commun les données d'entrée de plusieurs EA¹, et simuler avec DYSPALLOCC un assolement commun pour l'ensemble de ces EA. Le fait de considérer le parcellaire de plusieurs EA en même temps permettrait par exemple d'accroître les zones cultivables de certaines cultures, et de trouver davantage de marges de manœuvre pour la localisation des cultures (ex : identifier davantage de terrains sur lesquels une prairie pourrait être implantée).

Remarque : comme évoqué dans la section précédente, l'identification des zones cultivables des cultures par DYSPALLOCC utilisé à l'échelle d'un paysage composé d'EA pourrait servir à identifier les parcelles dans lesquelles une MAEt pourrait être contractualisée. L'information sur les zones cultivables des cultures à l'échelle du paysage pourrait également être utile à certains acteurs économiques (ex : coopératives), pour estimer une surface potentielle de production dans un bassin local d'approvisionnement (Le Bail, 2005).

¹ Les cultures possibles sur l'ensemble des EA seraient la somme des cultures possibles de chaque EA (et idem pour leur taille de sole) ; le parcellaire de l'ensemble des EA serait la somme des parcellaires de chaque EA ; le délai de retour des cultures de l'ensemble des EA serait le délai de retour minimum des EA individuelles, etc.

Enfin, DYSPALLOC pourrait être utilisé pour simuler l'organisation spatiale des cultures à l'échelle d'un paysage agricole, en vue d'une évaluation environnementale de cette organisation, à l'échelle du paysage. Les mosaïques de cultures simulées par DYSPALLOC pourraient en effet servir de données d'entrée à des modèles écologiques spatialement explicites (ex : modèle simulant des dynamiques de population dans un paysage, modèle simulant le ruissellement érosif dans un bassin versant, modèle simulant des transferts de pollen entre parcelles, etc.). Cette perspective nécessiterait toutefois **trois avancées**.

(1) Nous aurions **besoin de simuler la mosaïque de cultures sur plusieurs années successives** car l'évolution temporelle de l'organisation spatiale des cultures peut avoir un impact très important sur les processus environnementaux (cf. section 1.1.2). Ceci nécessiterait donc de compléter le modèle DYSPALLOC pour que celui-ci n'alloue qu'une et une seule culture par parcelle : il faudrait une procédure de choix d'une culture parmi les cultures des groupes (de cultures) qui sont parfois alloués. Il faudrait aussi envisager d'intégrer les décisions d'ajustements infra-annuels pour pouvoir simuler l'assolement final, et utiliser ce dernier comme donnée d'entrée pour simuler l'assolement suivant.

(2) Il serait important, à terme, de **simuler des organisations spatiales de cultures en tenant compte du fait que plusieurs cultures peuvent être allouées successivement à la même parcelle au cours d'une année agricole** : cultures dérobées, cultures intermédiaires piège à nitrates (CIPAN), etc. La gestion des inter-cultures a en effet de forts impacts sur les processus biophysiques et écologiques car ils modifient les états de surface des parcelles au cours du temps (ex : ruissellement et flux hydriques (Martin and Meynard, 1997)). Nous devrions également considérer les associations de cultures, et les cultures qui sont implantées les unes dans les autres (ex : luzerne semée dans le tournesol, pratique observée à Niort et dont nous n'avons pas tenu compte dans DYSPALLOC).

(3) Pour mener des évaluations environnementales des mosaïques de cultures simulées par DYSPALLOC, il serait **nécessaire de coupler les informations sur l'organisation spatiale des cultures avec des informations sur les itinéraires techniques associés à ces cultures**. Pour éviter de faire des enquêtes individuelles en EA sur les itinéraires techniques, on pourrait imaginer définir des itinéraires techniques types (à dire d'expert, ou à partir des enquêtes « pratiques culturales »¹ par exemple) et ainsi évaluer l'ensemble [organisation spatiale des cultures + des pratiques culturales associées à ces cultures]. Ces approches s'avèreraient particulièrement intéressantes pour les diagnostics territoriaux des pressions agricoles², réalisés dans le cadre des démarches « aires d'alimentation de captage » : les maîtres d'ouvrage de ces démarches cherchent en effet à prévoir la localisation des épandages de nitrates et de produits phytosanitaires, pour cibler les zones prioritaires où mettre en place des actions, afin de réduire l'utilisation des intrants et ainsi les risques de pollutions diffuses (Petit, C. UMR SAD-APT, comm. pers.).

¹ Voir : <http://agreste.maapar.lbn.fr/tableviewer/document.aspx?FileId=883>

² Voir : http://dise.seine-maritime.agriculture.gouv.fr/IMG/doc/100610_Memento_DTPA_cle83678f.doc

Pour évaluer les mosaïques de cultures simulées par DYSPALLOCC à l'échelle d'un paysage, notons qu'il serait prudent, au préalable, de préciser les critères d'évaluation environnementale de la mosaïque de cultures, et de vérifier que DYSPALLOCC a une bonne qualité prédictive sur ce critère en particulier.

Pour finir sur les perspectives d'utilisation de DYSPALLOCC à l'échelle du paysage, notons qu'une autre sortie du modèle pourrait être très utile aux gestionnaires des espaces ruraux : **la qualification de la temporalité des limites de parcelles (permanentes vs. temporaires) pourrait aider les gestionnaires des espaces ruraux à mettre en place (ou inciter les agriculteurs à mettre en place) des aménagements de bordures de parcelles**, soit temporaires, soit permanents (en fonction de la qualification des limites de parcelles tirée du modèle DYSPALLOCC). Ces aménagements pourraient par exemple être des bandes enherbées, temporaires ou permanentes, des plantations de haies, ou des fascines¹. Ces aménagements sont d'une importance capitale vu le rôle que joue la connectivité entre parcelles sur les processus biophysiques (van Oost et al., 2000) et écologiques (Burel and Baudry, 2003). Les bordures de parcelles et les éléments semi-permanents du paysage sont en effet un habitat pour la biodiversité (carabes notamment) et pour les auxiliaires des cultures (Rusch et al., 2011), et ils jouent un rôle important dans la dynamique des adventices² (Petit et al., 2011), et les flux hydriques (de Snoo and de Wit, 1998).

7.2.2.3) Perspectives liées à la dimension collective des décisions d'assolement des agriculteurs

Il a été montré que les **décisions d'assolement prises au niveau des EA peuvent en réalité être partagées entre les agriculteurs et les acteurs du secteur aval** (Faure et al., 2010), et que **ces décisions pouvaient donc revêtir une dimension collective**. Les acteurs externes aux EA, et en particulier ceux qui commercialisent les produits, peuvent influencer fortement sur les choix d'assolement : à Madagascar par exemple, les collectrices de légumes feuilles participent aux décisions de l'agriculteur en matière de choix de cultures et d'allocation de la ressource en terre (Faure et al., 2010; Mawois, 2009) ; les organisations de producteurs d'ananas au Costa Rica interviennent sur les assolements en planifiant l'installation individuelle des cultures (Faure et al., 2010), etc. **Dans la plaine de Niort, nous avons observé peu d'influence des acteurs économiques locaux sur les décisions d'assolement**. La charte qualité mise en place par une des coopératives laitières (cf. section 2.1.2.4) incite les éleveurs à atteindre l'autonomie fourragère, mais n'impose pas réellement de changements d'assolement (Bernard, 2010). Les contrats commerciaux mis en place par les coopératives sur grandes cultures ne concernent pas l'allocation des cultures aux parcelles, mais plutôt des pratiques culturales (ex : variété) ou des engagements commerciaux.

¹ Il s'agit d'aménagements boisés visant à freiner les ruissellements et l'érosion dans les parcelles agricoles. Voir : http://www.seine-maritime.chambagri.fr/iso_album/12_fiche-fascine_a3.pdf

² « Introducing grassy margin strips along crop edges usually reduces weed populations in crop edges and therefore within the core of the field (...), depending upon management type and intensity in the core field » Petit S., Boursault A., Le Guilloux M., Munier-Jolain N., Reboud X. (2011) Weeds in agricultural landscapes. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 31:309-317. DOI: 10.1051/agro/2010020.

Dans l'optique d'une utilisation de la mosaïque de cultures comme levier d'action pour concilier préservation des écosystèmes et production agricole, il serait intéressant d'approfondir la dimension collective des décisions d'assolement des agriculteurs, que ces décisions soient partagées avec d'autres agriculteurs, d'autres acteurs économiques, ou d'autres types d'acteurs (ex : opérateur de mise en place des MAEt). Une gestion collective des décisions d'assolement permettrait en effet de favoriser les concertations, et de construire collectivement une mosaïque de cultures à l'échelle du paysage, qui soit favorable à la préservation des écosystèmes.

Un tel projet de coordinations entre agriculteurs pour générer un paysage favorable aux populations d'oiseaux a été mis en place et évalué aux Pays-Bas (*mosaic management*, mesures de gestion des mosaïques d'habitats) (Schekkerman et al., 2008). Il semble que ce projet ait révélé des difficultés de mise en place des coordinations entre agriculteurs, ce qui d'une part montre le besoin de développer des outils de coordination entre acteurs, et d'autre part, pose la question de qui doit porter un tel projet collectif (Sabatier, 2010).

La recherche agronomique peut alors jouer un rôle dans ces projets, (i) soit à travers des démarches de modélisation d'accompagnement, (ii) soit à travers des projets de recherche action en partenariat avec des acteurs locaux. A notre connaissance, ces deux types de démarche sont développés au sein de l'INRA.

(i) Des démarches de modélisation d'accompagnement incluant des jeux de rôle (Souchère et al., 2010) ont été expérimentées, par exemple dans le Pays de Caux sur la question du ruissellement : ces travaux montrent que la construction d'une vision partagée du fonctionnement du territoire par les acteurs permet de favoriser les coopérations entre ces acteurs, et ainsi de réduire les impacts environnementaux négatifs des décisions individuelles. Le même type de démarche est actuellement en cours de développement dans les Vosges en ce qui concerne la qualité de l'eau dans les aires d'alimentation de captage (Barataud et al., 2010).

(ii) Un projet de recherche action est actuellement en cours de développement dans la plaine de Niort, à l'initiative d'une coopérative agricole de Charente-Maritime, et en partenariat avec l'INRA et le CNRS de Chizé. L'objectif de ce projet de partenariat public privé est d'organiser la création d'une filière courte de luzerne (Berthet E., UMR SAD-APT, comm. pers.) : la coopérative agricole souhaite en effet prendre en charge l'organisation des échanges de fourrages entre EA (ex : des céréaliers produiraient de la luzerne pour des éleveurs), en créant des contrats sur la quantité et la qualité des fourrages. L'idée du projet est de favoriser les coordinations entre agriculteurs par le biais d'un acteur extérieur. La gestion collective des échanges de fourrages permettrait ainsi d'optimiser la localisation des surfaces en luzerne à l'échelle du paysage (sur la base des recommandations du CNRS), et de favoriser les services écosystémiques associés aux surfaces en luzerne (ici biodiversité patrimoniale) (Berthet E., UMR SAD-APT, comm. pers.).

Conclusion

Dans les paysages agricoles, l'organisation spatiale et temporelle des cultures peut être considérée comme un levier d'action pour concilier production agricole et préservation des écosystèmes. Les décisions individuelles des agriculteurs constituent un des moteurs de cette organisation. Dans ce travail de thèse, qui s'inscrit en agronomie des territoires, nous avons cherché à comprendre en quoi la modélisation des décisions d'assolement des agriculteurs permettait de rendre compte de l'organisation spatiale des cultures dans les paysages agricoles, et de la temporalité des décisions conduisant à cette organisation spatiale.

Ce travail remplit plusieurs des caractéristiques de l'agronomie des territoires telle que définie par Martin (2011) : (1) il s'ancre dans la réalité des pratiques pour développer de nouveaux cadres théoriques, (2) il vise à prendre en compte explicitement les aspects spatiaux, et (3) il contribue à développer la boîte à outils de l'agronome.

Après avoir réalisé des enquêtes en exploitations, nous avons construit un modèle de décisions d'assolement permettant de simuler l'organisation spatiale des cultures d'une année à l'autre à l'échelle de l'exploitation. Ce modèle, DYSPALLOC, est générique pour les exploitations de grandes cultures et de polyculture-élevage. Il a permis de nouvelles avancées conceptuelles sur la modélisation des décisions d'assolement, et en particulier d'approfondir leurs dimensions spatiale et temporelle. Il permet de rendre compte des deux composantes des décisions d'assolement impactant l'organisation spatiale des cultures : des décisions de configuration (définition des entités spatiales) et des décisions de composition (allocation des cultures à ces entités spatiales). Nous avons défini trois types de parcelles en fonction de la qualification de leurs limites : îlots élémentaires, parcelles fixes et parcelles temporaires.

Nous avons ensuite utilisé le modèle DYSPALLOC pour construire une démarche permettant de simuler l'organisation spatiale des cultures à l'échelle d'un paysage composé d'exploitations, à travers les décisions d'assolement prises à l'échelle de ces exploitations. Cette démarche a consisté à (i) définir des types d'exploitations, (ii) produire des données d'entrée génériques par type d'exploitation (à partir de bases de données essentiellement), et (iii) simuler *via* DYSPALLOC, les allocations de cultures aux parcelles dans chaque exploitation composant le paysage. Nos résultats montrent que la prise en compte des décisions d'assolement à l'échelle de l'exploitation permet de simuler l'organisation spatiale des cultures dans le paysage de façon plus proche de la réalité que ne le permet un modèle aléatoire, même en intégrant des contraintes agronomiques.

Il serait intéressant de tester cette démarche dans d'autres contextes, et de faire évoluer le modèle DYSPALLOCC pour qu'il intègre mieux la dimension temporelle des décisions d'assolement (niveaux infra-annuel et pluriannuel, contexte d'incertitude).

Les apports de cette thèse pourraient globalement servir à rechercher les marges de manœuvre des agriculteurs dans leurs exploitations, ce qui pourrait aider à (i) mettre en place des mesures agro-environnementales, (ii) réfléchir à une diversification des assolements et un allongement des successions de cultures à l'échelle de l'exploitation, et (iii) encourager les concertations entre agriculteurs pour générer une mosaïque de cultures favorable aux services écosystémiques à l'échelle du paysage.

La mosaïque de cultures à l'échelle d'un paysage agricole peut ainsi être vue comme un bien commun¹. Un bien commun est défini comme une ressource, matérielle ou immatérielle, dont l'utilité est individuelle mais dont la dégradation est partagée collectivement (Hardin, 1968). La mosaïque de cultures d'un paysage procure en effet des utilités individuelles (à l'échelle des EA, les cultures choisies remplissent des fonctions indispensables au bon fonctionnement des EA), mais sa dégradation engendrerait une dégradation des services écosystémiques associés à cette mosaïque de cultures (ex : réduction de la biodiversité, pollution des eaux, etc.).

Ainsi, en tant que bien commun, il apparaît d'autant plus intéressant de gérer collectivement la mosaïque de cultures à l'échelle d'un paysage². Il serait alors nécessaire de prendre en compte d'autres acteurs que l'agriculteur et construire des collaborations en ce sens avec d'autres disciplines, les sciences de gestion par exemple. Nous espérons que les apports de cette thèse sur la compréhension des décisions d'assolement des agriculteurs et des liens entre ces décisions et l'organisation spatiale des cultures pourront contribuer à une amélioration de la gestion collective des mosaïques de cultures dans les territoires agricoles.

¹ Un exemple classique de bien commun est la qualité de l'air : chaque individu bénéficie de la qualité de l'air, et aucun individu ne peut empêcher un autre individu d'en bénéficier ; mais si la qualité de l'air est dégradée, tous les individus subissent collectivement cette dégradation.

² Même si les modes d'interaction entre les acteurs qui gèrent ce bien peuvent favoriser la durabilité ou au contraire la disparition du bien. Hannachi M. (2011) La coopération au service du bien commun. Les stratégies des entreprises de collecte et de stockage de céréales face aux OGM, Sciences de gestion, recherche en management, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines. pp. 302.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

- Agenis-Nevers M., Galdi B. (2006) Diagnostic territorial de la plaine de Niort., Mémoire de projet d'ingénieur INA P-G. pp. 31.
- Akplogan M., Garcia F., Joannon A., Martin-Clouaire R., Quesnel G. (2009) Un modèle DEVS d'agent intelligent : application à la conduite des systèmes de culture, Journées francophones sur la planification, la décision et l'apprentissage pour la conduite de systèmes JFPDA.
- Akponikpè P.B.I., Minet J., Gérard B., Defourny P., Biolders C.L. (2011) Spatial fields' dispersion as a farmer strategy to reduce agro-climatic risk at the household level in pearl millet-based systems in the Sahel: A modeling perspective. *Agricultural and Forest Meteorology* 151:215-227. DOI: 10.1016/j.agrformet.2010.10.007.
- Albouy S., Coupin N., Lheure R., Moncorger J. (2009) Gestion de l'irrigation dans les exploitations agricoles du bassin versant de la Courance et adaptations face aux mesures de restriction, Initiation à l'ingénierie de projet. *Gestion des eaux dans un bassin versant : étude du bassin versant de la Courance.*, AgroParisTech, Paris. pp. 52.
- Andrieu N. (2004) Diversité du territoire de l'exploitation d'élevage et sensibilité du système fourrager aux aléas climatiques : étude empirique et modélisation, Thèse de doctorat de l'Institut National Agronomique de Paris-Grignon. pp. 258.
- Angevin F., Klein E.K., Choimet C., Gauffreteau A., Lavigne C., Messéan A., Meynard J.M. (2008) Modelling impacts of cropping systems and climate on maize cross-pollination in agricultural landscapes: The MAPOD model. *European Journal of Agronomy* 28:471-484. DOI: 10.1016/j.eja.2007.11.010.
- Annetts J.E., Audsley E. (2002) Multiple objective linear programming for environmental farm planning. *Journal of the Operational Research Society* 53:933-943. DOI: 10.1057/palgrave.jors.2601404.
- Assoul N. (2005) Etablissement d'une typologie spatialisée des exploitations agricoles de la plaine de Niort à des fins environnementales., Mémoire de fin d'études INA P-G. pp. 33.
- Aubry C. (2000) Une modélisation de la gestion de production dans l'exploitation agricole. *Revue française de gestion* 129:32-46.
- Aubry C. (2007) La gestion technique des exploitations agricoles. Composante de la théorie agronomique, INPT, Mémoire d'habilitation à diriger les recherches, Toulouse. pp. 101.
- Aubry C., Michel-Dounias I. (2006) Systèmes de culture et décisions techniques dans l'exploitation agricole, in: E. QUAE (Ed.), *L'agronomie aujourd'hui*, Doré, T., Le Bail, M., Martin, P., Ney, B., Roger-Estrade, R., Paris. pp. 57-75.
- Aubry C., Papy F., Capillon A. (1998a) Modelling decision-making processes for annual crop management. *Agricultural Systems* 56:45-65.
- Aubry C., Paillat J., Guerrin F. (2006) A conceptual representation of animal waste management at the farm scale: The case of the Reunion Island. *Agricultural Systems* 88:294-315. DOI: 10.1016/j.agsy.2005.06.006.
- Aubry C., Biarnes A., Maxime F., Papy F. (1998b) Modélisation de l'organisation technique de la production dans l'exploitation agricole : la constitution de système de culture. *Etud. Rech. Syst. Agraires Dév.* 31:25-43.
- Bacic I., Rossiter D., Bregt A. (2006) Using spatial information to improve collective understanding of shared environmental problems at watershed level. *Landscape and Urban Planning* 77:54-66. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2005.01.005.
- Baltas N.C., Korka O. (2002) Modelling farmers' land use decisions. *Applied Economics Letters* 9:453-457.
- Bamière L., Havlík P., Jacquet F., Lherm M., Millet G., Bretagnolle V. (2011) Farming system modelling for agri-environmental policy design: The case of a spatially non-aggregated allocation of conservation measures. *Ecological Economics* 70:891-899. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2010.12.014.

- Barataud F., Rolland V., Kung-Benoît A., Benoît M. (2010) Construire des coordinations d'activités agricoles sur un bassin d'alimentation de captage, Rencontres du GIS GC HP2E "protection des aires d'alimentation de captage vis à vis des pollutions diffuses", Paris. pp. 67-70.
- Beaujouan V., Durand P., Ruiz L. (2001) Modelling the effect of the spatial distribution of agricultural practices on nitrogen fluxes in rural catchments. *Ecological Modelling* 137:93-105.
- Bellon S., Chatelin M.H., Guérin G., Havet A., Moreau J.C. (1995) Analyse de la conduite du pâturage au printemps. *Fourrages* 141:33-55.
- Benniou R., Aubry C. (2009) Place et rôle de l'élevage dans les systèmes de production agricole en régions semi-arides de l'est de l'Algérie. *Fourrages* 198:239-251.
- Benoît M. (1985) La gestion territoriale des activités agricoles. L'exploitation et le village : deux échelles d'analyse en région d'élevage. Cas de la Lorraine (région de Neufchâteau). Thèse de doctorat de l'INA P-G. pp. 168.
- Benoît M. (1990) La gestion territoriale de l'activité agricole dans un village lorrain. *Mappemonde* 4:15-17.
- Benoît M., Le Ber F., Mari J.F. (2001) Recherche des successions de cultures et de leurs évolutions : analyse par HMM des données Ter-Uti en Lorraine. *La statistique agricole* 31:23-30.
- Benoît M., Deffontaines J.P., Gras F., Bienaimé E., Riela-Cosserat R. (1997) Agriculture et qualité de l'eau. Une approche interdisciplinaire de la pollution par les nitrates d'un bassin d'alimentation. *Cahiers Agricultures* 6:97-105.
- Benoît M., Mignolet C., Hermann S., Rizzo D., Moonen A.C., Barberi P., Galli M., Bonari E., Silvestri N., Thenail C., Lardon S., Rapey H., Marraccini E., Le Ber F., Meynard J.M. (2007) Landscape as designed by farming systems: a challenge for landscape agronomists in Europe, *Farming Systems design 2007, methodologies for integrated analysis of farm production systems*, Catania.
- Benton T.G., Vickery J.A., Wilson J.D. (2003) Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? *Trends in Ecology & Evolution* 18:182-188. DOI: 10.1016/s0169-5347(03)00011-9.
- Bergez J.E., Chabrier, P., Garcia, F., Gary, C., Makowski, D., Quesnel, G., Ramat, E., Raynal, H., Rousse, N., Wallach, D. (2009) RECORD: a new software platform to model and simulate cropping systems, *Farming Systems Design*, Monterey, CA. pp. 107-108.
- Bernard C. (2010) Modélisation des dynamiques spatio-temporelles de l'occupation du sol à l'échelle des territoires d'exploitations agricoles situées sur une zone continue. Zone Atelier de Chizé, Mémoire de fin d'études de Montpellier SupAgro, spécialisation en agronomie tropicale de l'institut des régions chaudes, UMR SAD-APT Grignon. pp. 87 +annexes.
- Berthet E. (2010) La conception innovante à l'appui d'une gestion collective des services écosystémiques. Etude d'un cas de mise en oeuvre de Natura 2000 en plaine céréalière, Mines ParisTech. pp. 106.
- Blazy J., Hornsperger V. (2009) Evolution du paysage de la plaine de Niort de 1958 à 2002 : analyse spatio-temporelle de la dynamique paysagère., Mémoire de projet d'ingénieur INA P-G. pp. 41.
- Boiffin J., Papy F., Eimberck M. (1988) Influence des systèmes de culture sur les risques d'érosion par ruissellement concentré. I. Analyse des conditions de déclenchement de l'érosion. *Agronomie* 8:663-673.
- Bousquet F., Le Page C. (2004) Multi-agent simulations and ecosystem management: a review. *Ecological Modelling* 176:313-332. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2004.01.011.
- Boussard H. (2008) APILand: an object-oriented library of landscape constitutive elements. Principles and handling examples with JAVA, in: CNRS (Ed.), Symposium "Spatial landscape modelling: from dynamic approaches to functional evaluations", Toulouse.
- Boussard H., Martel G., Vasseur C. (2010) Spatial links specifications in the APILand simulation approach: an application to the coupling of a farm model and a carabid population model, *Proceedings of the LandMod2010 conference*, Montpellier. pp. 11.
- Bretagnolle V. (2004) Pastures and forage crops: what are the consequences for birds in environments with intensive cereal crops? *Fourrages* 178:171-178.

- Brunet R., Ferras R., Théri H. (2009) Les mots de la géographie. Dictionnaire critique. 3ème édition, Paris, collection dynamiques du territoire.
- Brunschwig G., Josien E., Bernhard C. (2006) Contraintes géographiques et modes d'utilisation des parcelles en élevage bovin laitier et allaitant. *Fourrages* 185:83-95.
- Brussaard L., Pulleman M., Kuyper T.W. (2010) Soil ecology for agricultural production and ecosystem services, in: I. S.-T. J. Wery, A. Perrin (Eds), *Agropolis International Editions (Ed.)*, Proceedings of 'Agro2010 the XIth ESA Congress', Montpellier, France. pp. 163-164.
- Buissière C.d.l. (2005) Agriculture et environnement : quatre scénarios à l'horizon 2025, Ministère de l'environnement - Ministère de l'agriculture et de la pêche. pp. 7.
- Burel F., Baudry J. (2003) Landscape ecology: concepts, methods and applications Science Publishers.
- Burel F., Baudry J. (2005) Habitat quality and connectivity in agricultural landscapes: The role of land use systems at various scales in time. *Ecological Indicators* 5:305-313. DOI: 10.1016/j.ecolind.2005.04.002.
- Burel F., Baudry J. (2010) Landscape and resilience, in: I. S.-T. J. Wery, A. Perrin (Eds), *Agropolis International Editions (Ed.)*, Proceedings of 'Agro2010 the XIth ESA Congress', Montpellier, France. pp. 143-144.
- Capillon A. (1993) Typologie des exploitations agricoles. Contribution à l'étude régionale des problèmes techniques. Tomes I et II, Thèse de doctorat en agronomie, Institut National Agronomique de Paris-Grignon, Paris. pp. 48 et 301.
- Caron P. (2005) À quels territoires s'intéressent les agronomes ? Le point de vue d'un géographe tropicaliste. *Natures Sciences Sociétés* 13:145-153. DOI: 10.1051/nss:2005021.
- 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.
- Castellazzi M.S. (2007) Spatio-temporal modelling of crop co-existence in European agricultural landscapes, School of applied sciences, Cranfield university. pp. 201.
- Castellazzi M.S., Joannon A., Brown I., Gimona A., Poggio L. (2010a) Developing a nested-scale landscape modelling framework for ecosystem services assessment, Proceedings of the LandMod2010 conference, Montpellier. pp. 9.
- Castellazzi M.S., Matthews J., Wood G.A., Burgess P.J., Conrad K.F., Perry J.N. (2007a) LandSFACTS: Software for spatio-temporal allocation of crops to fields, Proceedings of 5th Annual Conference of the European Federation of IT in Agriculture Glasgow, UK.
- Castellazzi M.S., Wood G., Burgess P., Morris J., Conrad K., Perry J. (2008) A systematic representation of crop rotations. *Agricultural Systems* 97:26-33. DOI: 10.1016/j.agry.2007.10.006.
- Castellazzi M.S., Perry J.N., Colbach N., Monod H., Adamczyk K., Viaud V., Conrad K.F. (2007b) New measures and tests of temporal and spatial pattern of crops in agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 118:339-349. DOI: 10.1016/j.agee.2006.06.003.
- Castellazzi M.S., Matthews J., Angevin F., Sausse C., Wood G.A., Burgess P.J., Brown I., Conrad K.F., Perry J.N. (2010b) Simulation scenarios of spatio-temporal arrangement of crops at the landscape scale. *Environmental Modelling & Software* 25:1881-1889. DOI: 10.1016/j.envsoft.2010.04.006.
- Chantre E. (2011) Apprentissages des agriculteurs vers la réduction d'intrants en grandes cultures : cas de la Champagne Berrichonne de l'Indre dans les années 1985-2010, Thèse de doctorat de l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech). Spécialité Agronomie. pp. 397.
- Chantre E., Cerf M., Le Bail M. (2010a) Diagnostic agronomique des trajectoires de changements de pratiques en vue de la réduction d'utilisation de pesticides en grande culture : cas de la Champagne Berrichonne de l'Indre, Société française d'économie rurale. Actes du colloque "la réduction des pesticides : enjeux, modalités et conséquences", SFER, Lyon, France, 11-12 Mars 2010. pp. 18.

- Chantre E., Cerf M., Le Bail M. (2010b) Farmers' learning processes in implementing low-input field crop agriculture, in: I. S.-T. J. Wery, A. Perrin (Eds), *Agropolis International Editions* (Ed.), *Proceedings of 'Agro2010 the XIth ESA Congress'*, Montpellier, France. pp. 993-994.
- Chardon X. (2008) *Evaluation environnementale des exploitations laitières par modélisation dynamique de leur fonctionnement et des flux de matière : développement et application du simulateur Mélodie*, Thèse de doctorat, AgroParisTech, Rennes. pp. 227.
- Chavas J.P., Holt M.T. (1990) Acreage decisions under risk: The case of corn and soybeans. *American Journal of Agricultural Economics* 72:548-555.
- Colbach N., Clermont-Dauphin C., Meynard J.M. (2001) GeneSys: a model of the influence of cropping system on gene escape from herbicide tolerant rapeseed crops to rape volunteers. II. Genetic exchanges among volunteer and cropped populations in a small region. *Agriculture Ecosystems & Environment* 83:255-270.
- Colbach N., Monod H., Lavigne C. (2009) A simulation study of the medium-term effects of field patterns on cross-pollination rates in oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Ecological Modelling* 220:662-672. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2008.11.020.
- Coléno F.C. (1999) Le pâturage des troupeaux laitiers en question : contribution d'une analyse des décisions des éleveurs. *Fourrages* 157:63-76.
- Coléno F.C., Angevin F., Lécroart B. (2009) A model to evaluate the consequences of GM and non-GM segregation scenarios on GM crop placement in the landscape and cross-pollination risk management. *Agricultural Systems* 101:49-56. DOI: 10.1016/j.agsy.2009.03.002.
- Coquillard P., Hill D.R.C. (1997) Vérification et validation des modèles de simulation, in: Masson (Ed.), *Modélisation et simulation d'écosystèmes. Des modèles déterministes aux simulations à événements discrets*, Paris. pp. 183-200.
- Cros M.J., Garcia F., Martin-Clouaire R., Rellier J.P. (2003) Modeling management operations in agricultural production simulators. *Agricultural Engineering International: the CIGR electronic Journal of Scientific Research and Development*:11.
- Cumming G., Cumming DHM, Redman CL. (2006) Scale mismatches in social-ecological systems: causes, consequences, and solutions. *Ecology and Society* 11:14. DOI: <http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss1/art14/>.
- Dalgaard T., Hutchings N.J., Porter J.R. (2003) Agroecology, scaling and interdisciplinary. *Agriculture Ecosystems & Environment* 100:39-51.
- Darnhofer I., Bellon, S., Dedieu, B., Milestad, R. (2008) Adaptive farming systems - A position paper, 8th European IFSA Symposium, Clermont-Ferrand (France). pp. 339-351.
- De Schutter O. (2010) Rapport du rapporteur spécial sur le droit à l'alimentation des Nations-Unies, Assemblée général du conseil des droits de l'Homme. pp. 23.
- de Snoo G.R., de Wit P.J. (1998) Buffer zones for reducing pesticide drift to ditches and risks to aquatic organisms. *Ecotoxicology and environmental safety* 41:112-118. DOI: 10.1006/eesa.1998.1678.
- Debrauwer L., van der Heyde F. (2005) UML 2.
- Deffontaines J.P., Thenail C., Baudry J. (1995) Agricultural systems and landscape patterns: how can we build a relationship? *Landscape and Urban Planning* 31:3-10.
- Dogliotti S., Rossing W.A.H., van Ittersum M.K. (2003) ROTAT, a tool for systematically generating crop rotations. *European Journal of Agronomy* 19:239-250. DOI: 10.1016/s1161-0301(02)00047-3.
- Doré T., Makowski D., Malézieux E., Munier-Jolain N., Tchamitchian M., Tittone P. (2011) Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge. *European Journal of Agronomy* 34:197-210. DOI: 10.1016/j.eja.2011.02.006.
- Dounias I., Aubry C., Capillon A. (2002) Decision-making processes for crop management on African farms. Modelling from a case study of cotton crops in northern Cameroon. *Agricultural Systems* 73:233 - 260.
- Dubois A., Gadde L.E. (2002) Systematic combining: an abductive approach to case research. *Journal of business research* 55:553-560.

- Duru M., Papy F., Soler L.G. (1988) Le concept de modèle général et l'analyse du fonctionnement de l'exploitation agricole. *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France* 74:81-96.
- Dury J., Schaller N., Garcia F., Reynaud A., Bergez J.E. (2011) Models to support cropping plan and crop rotation decisions. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. DOI: 10.1007/s13593-011-0037-x.
- Dury J., Genest Y., Garcia F., Reynaud A., Théron O., Bergez J.E. (2010) The cropping plan decision-making in crop farms, in: I. S.-T. J. Wery, A. Perrin (Eds), *Agropolis International Editions (Ed.)*, Proceedings of 'Agro2010 the XIth ESA Congress', Montpellier, France. pp. 853-854.
- Edwards-Jones G. (2006) Modelling farmer decision-making: concepts, progress and challenges. *Animal Science* 82:783-790. DOI: 10.1017/asc2006112.
- Edwards A.L. (1957) The social desirability variable in personality assessment and research. Dryden Press, New York.
- Eisenhardt K.M. (1989) Building theories from case study research. *Academy of Management Review* 14:532-550.
- Etienne M. (2010) La modélisation d'accompagnement. Une démarche participative en appui au développement durable, Paris.
- Faivre R., Leenhardt D., Voltz M., Benoît M., Papy F., Dedieu G., Wallach D. (2004) Spatialising crop models. *Agronomie* 24:205-217. DOI: 10.1051/agro:2004016.
- Faure G., Mawois M., Le Gal P.Y. (2010) Effets des chaînes d'approvisionnement aval sur la gestion des exploitations agricoles, ISDA Innovation and Sustainable Development in Agriculture and Food, Montpellier, France. pp. 21.
- Fiener P., Auerwald K., Van Oost K. (2011) Spatio-temporal patterns in land use and management affecting surface runoff response of agricultural catchments—A review. *Earth-Science Reviews* 106:92-104. DOI: 10.1016/j.earscirev.2011.01.004.
- Fischer C., Flohre A., Clement L.W., Batáry P., Weisser W.W., Tschardt T., Thies C. (2011) Mixed effects of landscape structure and farming practice on bird diversity. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 141:119-125. DOI: 10.1016/j.agee.2011.02.021.
- Flohre A., Rudnick M., Traser G., Tschardt T., Eggers T. (2011) Does soil biota benefit from organic farming in complex vs. simple landscapes? *Agriculture, Ecosystems & Environment* 141:210-214. DOI: 10.1016/j.agee.2011.02.032.
- Foley J.A., DeFries R., Asner G.P., Barford C., Bonan G., Carpenter S.R., Chapin S.C., Coe M.T., Daily G.C., Gibbs H.K., Helkowski J.H., Holloway T.H., Howard E.A., Kucharik C.J., Monfreda C., Patz J.A., Prentice I.C., Ramankutty N., Snyder P.K. (2005) Global Consequences of Land Use. *Science* 309:570-574. DOI: 10.1126/science.1111772.
- Garcia F., Guerrin F., Martin-Clouaire R., Rellier J.P. (2005a) The human side of agricultural production management - the missing focus in simulation approaches, in: A. Zerger, Argent, R. M. (Ed.), *Proceedings of the MODSIM 2005 International Congress on Modelling and Simulation*. pp. 203-209.
- Garcia F., Faverdin P., Delaby L., Peyraud J.L. (2005b) Tournesol : un modèle pour simuler les assolements en exploitation bovine laitière, *Rencontres Recherche Ruminants*. pp. 195-198.
- Gaucherel C., Houet T. (2009) Preface to the selected papers on spatially explicit landscape modelling: Current practices and challenges. *Ecological Modelling* 220:3477-3480. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2009.06.025.
- Gaucherel C., Giboire N., Viaud V., Houet T., Baudry J., Burel F. (2006) A domain-specific language for patchy landscape modelling: The Brittany agricultural mosaic as a case study. *Ecological Modelling* 194:233-243. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2005.10.026.
- Gibon A., Ryschawy J., Schaller N., Blouet A., Coquil X., Martin P., Fiorelli J.L., Havet A., Martel G. (2011) L'élevage, un atout pour le développement durable des territoires dans les régions de polyculture-élevage, *Communication courte aux Rencontres Recherche Ruminants*, Paris. pp. 4.

- Girard N., Hubert B. (1999) Modelling expert knowledge with knowledge based systems to design decision aids. The example of a knowledge based model on grazing management. *Agricultural Systems* 59:123-144.
- Girard N., Bellon S., Hubert B., Lardon S., Moulin C.H., Osty P.Y. (2001) Categorizing combinations of farmers' land use practices: an approach based on examples of sheep farms in the south of France. *Agronomie* 21:435-459.
- Grimm V., Berger U., Bastiansen F., Eliassen S., Ginot V., Giske J., Goss-Custard J., Grand T., Heinz S.K., Huse G. (2006) A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. *Ecological Modelling* 198:115-126. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2006.04.023.
- Hannachi M. (2011) La coopération au service du bien commun. Les stratégies des entreprises de collecte et de stockage de céréales face aux OGM, *Sciences de gestion, recherche en management*, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines. pp. 302.
- Hardin G. (1968) The tragedy of the commons. *Science* 162:1243-1248.
- Havet A., Martin P., Lelaure B., Laurent M. (2007) L'eau, principal facteur d'évolution des fonctionnements d'exploitations laitières en Plaine de Niort, *Productions fourragères et adaptations à la sécheresse*, Actes des journées AFPP, 27-28 mars 2007. pp. 180-181.
- Havet A., Martin P., Laurent M., Lelaure B. (2010) Adaptation des exploitations laitières aux incertitudes climatiques et aux nouvelles réglementations. Le cas des productions bovines et caprines en Plaine de Niort. *Fourrages* 202:145-151.
- Havlík P., Bamière L., Jacquet F., Millet G. (2008) Spatially explicit farming system modelling for an efficient agri-environmental policy design, 107th EAAE Seminar "Modeling of Agricultural and Rural Development Policies", Sévilla, Spain.
- Hlady-Rispal M. (2000) Une stratégie de recherche en gestion : l'étude de cas. *Revue française de gestion*:61-70.
- Ingrand S., Cournut S., Dedieu B., Antheaume F. (2003) La conduite de la reproduction du troupeau de vaches allaitantes : modélisation des prises de décision. *INRA Productions animales* 16:263-270.
- Itoh T., Ishii H., Nanseki T. (2003) A model of crop planning under uncertainty in agricultural management. *International Journal of Production Economics* 81-82:555-558.
- Joannon A., Souchère V., Tichit M. (2005) Analyse de la gestion spatialisée de l'exploitation agricole à partir de l'utilisation du parcellaire, in: C. Laurent, Thion, P. (Ed.), *Agricultures et territoires*, Hermès. pp. 155-174.
- Joannon A., Souchère V., Martin P., Papy F. (2006) Reducing runoff by managing crop location at the catchment level, considering agronomic constraints at farm level. *Land Degradation & Development* 17:467-478. DOI: 10.1002/ldr.714.
- Joannon A., Bro E., Thenail C., Baudry J. (2008) Crop patterns and habitat preferences of the grey partridge farmland bird. *Agronomy for Sustainable Development* 28:379-387. DOI: 10.1051/agro:2008011.
- Joannon A., Baudry J., Boussard H., Castellazzi M.S., Schermann N., Vasseur C. (2009) A method to assess farmers' room for maneuvering crop location at the landscape level for biodiversity conservation, *Farming Systems Design*, Monterey, CA. pp. 145-146.
- Josien E., Dedieu B., Chassaing C. (1994) Etude de l'utilisation du territoire en élevage herbager. L'exemple du réseau extensif bovin limousin. *Fourrages* 138:115-134.
- Klein E.K., Lavigne C., Picault H., Renard M., Gouyon P.-H. (2006) Pollen dispersal of oilseed rape: estimation of the dispersal function and effects of field dimension. *Journal of Applied Ecology* 43:141-151. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2005.01108.x.
- 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* 28:205-241. DOI: 10.1146/annurev.energy.28.050302.105459.
- Lambin E.F., Geist H., Rindfuss R.R. (2006) Introduction: local processes with global impacts, in: E. F. Lambin and H. Geist (Eds.), *Land-use and land-cover change. Local processes and global impacts*, Springer, Berlin Heidelberg New York. pp. 1-8.

- Lazrak E.G., Mari J.-F., Benoît M. (2010) Landscape regularity modelling for environmental challenges in agriculture. *Landscape Ecology* 25:169-183. DOI: 10.1007/s10980-009-9399-8.
- 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 Bail M., Lecroart B., Gauffreteau A., Angevin F., Messean A. (2010) Effect of the structural variables of landscapes on the risks of spatial dissemination between GM and non-GM maize. *European Journal of Agronomy* 33:12-23. DOI: 10.1016/j.eja.2010.02.002.
- Le Bas C., Souchère V., Laurent C. (2005) Les informations existantes pour renseigner les relations agricultures - territoires, in: C. Laurent, Thion, P. (Ed.), *Agricultures et territoires*, Hermès. pp. 57-76.
- Le Ber F., Benoît M. (1998) Modelling the spatial organization of land use in a farming territory. Example of a village in the Plateau Lorrain. *Agronomie* 18:103-115.
- Le Ber F., Benoît M., Schott C., Mari J., Mignolet C. (2006) Studying crop sequences with CarrotAge, a HMM-based data mining software. *Ecological Modelling* 191:170-185. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2005.08.031.
- 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 Goff A. (2007) Mise en oeuvre d'une démarche de concertation des assolements sur un bassin versant. Evaluation de la démarche pour la maîtrise du ruissellement érosif, Mémoire de master de l'université de Rennes 1. *Gestion Intégrée des Bassins Versants*, Rennes. pp. 36+annexes.
- Leenhardt D., Cernesson F., Mari J.F., Mesmin D. (2005) Anticiper l'assolement pour mieux gérer les ressources en eau : comment valoriser les données d'occupation du sol ? *Ingénieries* 42:13-22.
- Lelaure B. (2006) Place et avenir des prairies dans les exploitations agricoles d'un territoire de polyculture-élevage en mutation. Le cas de la plaine sud-est de Niort., Mémoire de fin d'études, SupAgro Montpellier. pp. 38.
- Lemaire G. (2008) PRAITERRE Prairies, Territoires, Ressources et Environnement, Rapport final du projet ANR ADD Praiterre.
- Leteinturier B., Herman J., Longueville F., Quintin L., Oger R. (2006) Adaptation of a crop sequence indicator based on a land parcel management system. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 112:324-334. DOI: 10.1016/j.agee.2005.07.011.
- Lô-Pelzer E., Bousset L., Jeuffroy M.H., Salam M.U., Pinochet X., Boillot M., Aubertot J.N. (2010) SIPPOM-WOSR: A Simulator for Integrated Pathogen POPulation Management of phoma stem canker on Winter OilSeed Rape. Description of the model. *Field Crops Research* 118:73-81. DOI: 10.1016/j.fcr.2010.04.007.
- Louis M., Rousset S. (2010) Coûts de transaction et adoption des contrats agroenvironnementaux. Le cas des MAE territorialisées à enjeu DCE en Poitou-Charentes, Société française d'économie rurale. Actes du colloque "la réduction des pesticides : enjeux, modalités et conséquences", SFER, Lyon, France, 11-12 Mars 2010. pp. 27.
- Madelrieux S., Dedieu B., Dobremez L. (2002) Modifications de l'utilisation du territoire lorsque des éleveurs cherchent à résoudre leurs problèmes de travail. *Fourrages* 172:355-368.
- Mailly F. (2011) Déterminants et règles de décision des agriculteurs pour la définition de l'assolement. Application aux cas d'exploitations rizicoles camarguaises, Mémoire de fin d'études de l'ISARA-Lyon, Montpellier. pp. 98.
- Malézieux E. (2011) Designing cropping systems from nature. *Agronomy for Sustainable Development Online first*. DOI: 10.1007/s13593-011-0027-z.
- Marie M., Bensaid A., Delahaye D. (2009) Le rôle de la distance dans l'organisation des pratiques et des paysages agricoles : l'exemple du fonctionnement des exploitations laitières dans l'arc

- atlantique., *Cybergeog : European Journal of Geography*. pp. Cartographie, Imagerie, SIG, article 460, mis en ligne le 27 mai 2009. URL : <http://www.cybergeog.eu/index22366.html>.
- Martin-Clouaire R., Rellier J.P. (2003) Modélisation et simulation de la conduite d'un système de production agricole, Conférence Francophone de MODélisation et SIMulation (MOSIM'03), Toulouse, France. pp. 6.
- Martin G. (2009a) Analyse et conception de systèmes fourragers flexibles par modélisation systémique et simulation dynamique, Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse, spécialité agronomie. pp. 182.
- Martin G., Hossard L., Theau J.P., Therond O., Josien E., Cruz P., Rellier J.P., Martin-Clouaire R., Duru M. (2009a) Characterizing potential flexibility in grassland use. Application to the French Aubrac area. *Agronomy for Sustainable Development* 29:381-389. DOI: 10.1051/agro:2008063.
- Martin P. (2009b) De la trajectoire d'états des écosystèmes cultivés aux espaces territorialisés dynamiques: contribution à la prise en compte de la dimension temporelle dans une agronomie des territoires, Mémoire d'habilitation à diriger les recherches, INPT, Paris. pp. 113.
- Martin P. (2011) Programme d'enseignement et de recherche, AgroParisTech, Concours de professeur d'agronomie, profil "agronomie des territoires". pp. 103.
- Martin P., Meynard J.M. (1997) Systèmes de culture, érosion et pollution par l'ion nitrate., in: C. Riou, et al. (Eds.), *L'eau dans l'espace rural : production végétale et qualité de l'eau*, INRA, collection "mieux comprendre", Paris. pp. 303-322.
- Martin P., Schaller N., Havet A. (2009b) Diversity of farmers' adaptations to a new context of irrigation restrictions: consequences on grassland area development, *Farming System Design*, Monterey, CA. pp. 249-250.
- Martin P., Joannon A., Mignolet C., Souchère V., Thenail C. (2006) Systèmes de culture et territoires : cas des questions environnementales, in: E. QUAE (Ed.), *L'agronomie aujourd'hui*, Doré, T., Le Bail, M., Martin, P., Ney, B., Roger-Estrade, R., Paris. pp. 253-283.
- Mathieu A., Thinon P., Havet A. (2005) Les enquêtes en exploitation agricole sur les usages du territoire, in: C. Laurent, Thinon, P. (Ed.), *Agricultures et territoires*, Hermès. 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.
- Mawois M. (2009) Constitution des systèmes de culture maraîchers à proximité d'une ville : quelles marges de manoeuvre des agriculteurs pour répondre à une augmentation de la demande ? Cas des systèmes de culture à base de légumes feuilles dans l'espace périurbain de Mahajanga (Madagascar), Thèse de doctorat de l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech), Paris. pp. 210.
- Mawois M., Aubry C., Le Bail M. (2011) Can farmers extend their cultivation areas in urban agriculture? A contribution from agronomic analysis of market gardening systems around Mahajanga (Madagascar). *Land Use Policy* 28:434-445. DOI: 10.1016/j.landusepol.2010.09.004.
- Mawois M., Le Bail M., Navarrete M., Aubry C. (2010) Modelling farmers' decisions on crop sequences and crop on-farm location: from arable farms to market-gardeners' management decisions, in: I. S.-T. J. Wery, A. Perrin (Eds), *Agropolis International Editions* (Ed.), *Proceedings of 'Agro2010 the XIth ESA Congress'*, Montpellier, France. pp. 841-842.
- Maxime F., Mollet J.M., Papy F. (1995) Aide au raisonnement de l'assolement en grande culture. *Cahiers Agricultures* 4:351-362.
- MEA. (2005) Millenium Ecosystem Assessment. Ecosystem and human well-being. Synthesis, in: I. Press (Ed.), Washington, DC. pp. 155.
- Médiène S., Valantin-Morison M., Sarthou J.P., de Tourdonnet S., Gosme M., Bertrand M., Roger-Estrade J., Aubertot J.N., Rusch A., Motisi N., Pélosi C., Doré T. (2011) Agroecosystem management and biotic interactions: a review. *Agronomy for Sustainable Development* online first. DOI: 10.1007/s13593-011-0009-1.

- Meola G. (2007) Diversité et répartition spatiale des exploitations agricoles d'un territoire en mutation: l'exemple de la plaine de Niort, Esitpa, Mémoire de fin d'étude. pp. 49.
- Mérot A., Bergez J.E., Capillon A., Wéry J. (2008) Analysing farming practices to develop a numerical, operational model of farmers' decision-making processes: An irrigated hay cropping system in France. *Agricultural Systems* 98:108-118. DOI: 10.1016/j.agsy.2008.05.001.
- Mérot A., Aubry C., Barbier M., Benoît M., Joannon A., Martin P., Thenail C. (2009) Interactions between farming systems and landscapes at various scales : a data-mining approach, *Farming Systems Design*, Monterey, CA. pp. 2.
- Mérot A., Aubry C., Barbier M., Joannon A., Martin P., Thenail C., Benoît M. (Submitted) Interfacing landscape and agrosystems research at various scales to deal with natural resource preservation : a review. *Agriculture Ecosystems & Environment*.
- Metzger M.J., Rounsevell M.D.A., Acosta-Michlik L., Leemans R., Schröter D. (2006) The vulnerability of ecosystem services to land use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 114:69-85. DOI: 10.1016/j.agee.2005.11.025.
- Meynard J.M. (2008) Produire autrement : réinventer les systèmes de culture, in: E. Educagri (Ed.), *Systèmes de culture innovants et durables. Quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ?*, Reau, R., Doré, T. . pp. 11-27.
- Mignolet C., Schott C., Benoit M. (2007) Spatial dynamics of farming practices in the Seine basin: Methods for agronomic approaches on a regional scale. *Science of The Total Environment* 375:13-32. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2006.12.004.
- Milleville P. (1972) Approche agronomique de la notion de parcelle en milieu traditionnel africain : la parcelle d'arachide en moyenne Casamance. *Cahier ORSTOM, série biologique* 17:23-37.
- Milleville P. (1989) Activités agropastorales et aléa climatique en région sahélienne, in: ORSTOM (Ed.), *Le risque en agriculture, A travers champs*, Paris. pp. 233-241.
- Moonen A.C., Galli M., Lardon S., Rapey H., Silvestri N., Benoit M., Thenail C., Marraccini E., Rizzo D., Debolini M., Barberi P., Bonari E. (2010) A winter school in landscape agronomy and the synergies it created, 9th IFSA symposium, International Farming Systems Association Europ Group, Vienna (Austria). pp. 2176-2183.
- Morlon P., Benoît M. (1990) Étude méthodologique d'un parcellaire d'exploitation agricole en tant que système. *Agronomie* 6:499-508.
- Morlon P., Trouche G. (2005a) Nouveaux enjeux de la logistique dans les exploitations de grande culture. L'organisation spatiale des assolements : exemple et questions. *Cahiers Agricultures* 14:305-311.
- Morlon P., Trouche G. (2005b) Nouveaux enjeux de la logistique dans les exploitations de grande culture. L'organisation spatiale des chantiers, une question dépassée ? *Cahiers Agricultures* 14:233-239.
- Mottet A., Ladet S., Coqué N., Gibon A. (2006) Agricultural land-use change and its drivers in mountain landscapes: A case study in the Pyrenees. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 114:296-310. DOI: 10.1016/j.agee.2005.11.017.
- Moulin C.H., Ingrand S., Lasseur J., Madelrieux S., Napoléone M., Pluvinaud J., Thénard V. (2008) Comprendre et analyser les changements d'organisation et de conduite de l'élevage dans un ensemble d'exploitations : propositions méthodologiques, in: B. Dedieu, et al. (Eds.), *L'élevage en mouvement. Flexibilité et adaptation des exploitations d'herbivores*, Editions Quae, Versailles. pp. 181-196.
- Murray-Rust D., Dendoncker N., Dawson T.P., Acosta-Michlik L., Karali E., Guillem E., Rounsevell M. (2011) Conceptualising the analysis of socio-ecological systems through ecosystem services and agent-based modelling. *Journal of Land Use Science* 6:83-99. DOI: 10.1080/1747423x.2011.558600.
- N'Dienor M. (2006) Fertilité et gestion de la fertilisation dans les systèmes maraîchers périurbains des pays en développement : intérêts et limites de la valorisation agricole des déchets urbains dans ces systèmes. Cas de l'agglomération d'Antananarivo (Madagascar), Thèse de Doctorat de l'INA P-G, Paris. pp. 198+annexes.

- Navarrete M., Le Bail M. (2007) SALADPLAN: a model of the decision-making process in lettuce and endive cropping. *Agronomy for Sustainable Development* 27:209-221. DOI: 10.1051/agro:2007009.
- Nesme T., Lescourret F., Bellon S., Habib R. (2010) Is the plot concept an obstacle in agricultural sciences? A review focussing on fruit production. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 138:133-138. DOI: 10.1016/j.agee.2010.04.014.
- Nevo A., Oad R., Podmore T.H. (1994) An integrated expert system for optimal crop planning. *Agricultural Systems* 45:73-92.
- Overmars K., Verburg P., Veldkamp T. (2007a) 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.
- Overmars K.P., Groot W.T., Huigen M.G.A. (2007b) Comparing Inductive and Deductive Modeling of Land Use Decisions: Principles, a Model and an Illustration from the Philippines. *Human Ecology* 35:439-452. DOI: 10.1007/s10745-006-9101-6.
- Papy F. (2001) Interdépendence des systèmes de culture dans l'exploitation, in: E. Malézieux, Trébuil, G., Jaeger, M. (Ed.), *Modélisation des agroécosystèmes et aide à la décision*, Cirad-Inra, Montpellier, Paris. pp. 51-74.
- Papy F., Baudry J. (2005) Le système de culture : différents niveaux d'organisation territoriale à distinguer et articuler, in: P. Prevost (Ed.), *Agronomes et territoires. Deuxième édition des Entretiens du Pradel*, L'Harmattan. pp. 9.
- Payraudeau S., Gregoire C. (2011) Modelling pesticides transfer to surface water at the catchment scale: a multi-criteria analysis. *Agronomy for Sustainable Development Online first*. DOI: 10.1007/s13593-011-0023-3.
- Pelosi C., Goulard M., Balent G. (2010) The spatial scale mismatch between ecological processes and agricultural management: Do difficulties come from underlying theoretical frameworks? *Agriculture, Ecosystems & Environment* 139:455-462. DOI: 10.1016/j.agee.2010.09.004.
- Petit C., Rémy E., Aubry C. (2009) Trafic routier et distances de sécurité : le dilemme de l'agriculture en Ile-de-France. *Vertigo - La revue de sciences en environnement* 9:1-11.
- Petit C., Bressoud F., Aubry C. (2010) The effects of transition towards short supply chains on liveability of farming systems: initial findings and further research needs, in: I. Darnhofer and M. Grötzer (Eds.), *9th European IFSA Symposium*, Vienne. pp. 1138-1147.
- Petit S., Boursault A., Le Guilloux M., Munier-Jolain N., Reboud X. (2011) Weeds in agricultural landscapes. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 31:309-317. DOI: 10.1051/agro/2010020.
- Pocewicz A., Nielsen-Pincus M., Goldberg C.S., Johnson M.H., Morgan P., Force J.E., Waits L.P., Vierling L. (2008) Predicting land use change: comparison of models based on landowner surveys and historical land cover trends. *Landscape Ecology* 23:195-210. DOI: 10.1007/s10980-007-9159-6.
- Rellier J.P., Marcaillou J.C. (1990) Modèles de raisonnement en conduite de cultures et conséquences pour les systèmes d'aide à la décision. *Agronomie* 6:487-498.
- Rindfuss R.R., Walsh S.J., Turner B.L., Fox J., Mishra V. (2004) Developing a science of land change: Challenges and methodological issues. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101:13976-13981. DOI: 10.1073/pnas.0401545101.
- Robinson R.A., Wilson J.D., Crick H.Q.P. (2001) The importance of arable habitat for farmland birds in grassland landscapes. *Journal of Applied Ecology* 38:1059-1069.
- Ronfort C. (2010) *Elaboration et évaluation environnementale de scénarios prospectifs d'occupation des sols à l'échelle locale : application au cas du ruissellement érosif dans le Pays de Caux, Haute-Normandie*, Thèse de doctorat de l'Université de Rouen. Sciences de l'environnement, spécialité agronomie. pp. 230+annexes.
- Ronfort C., Souchère V., Martin P., Sebillotte C., Castellazzi M.S., Barbottin A., Meynard J.M., Laignel B. (2011) Methodology for land use change scenario assessment for runoff impacts: A case

- study in a north-western European Loess belt region (Pays de Caux, France). *Catena* 86:36-48. DOI: 10.1016/j.catena.2011.02.004.
- Rounsevell M., Ewert F., Reginster I., Leemans R., Carter T. (2005) Future scenarios of European agricultural land use. II. Projecting changes in cropland and grassland. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 107:117-135. DOI: 10.1016/j.agee.2004.12.002.
- Rounsevell M.D.A., Annetts J.E., Audsley E., Mayr T., Reginster I. (2003) Modelling the spatial distribution of agricultural land use at the regional scale. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 95:465-479. DOI: 10.1016/s0167-8809(02)00217-7.
- Rusch A., Valantin-Morison M., Sarthou J.-P., Roger-Estrade J. (2011) Multi-scale effects of landscape complexity and crop management on pollen beetle parasitism rate. *Landscape Ecology* 26:473-486. DOI: 10.1007/s10980-011-9573-7.
- Rykiel E.J. (1996) Testing ecological models: the meaning of validation. *Ecological Modelling* 90:229-244.
- Sabatier R. (2010) Arbitrages multi-échelles entre production agricole et biodiversité dans un agroécosystème prairial, Thèse de doctorat de l'Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement (AgroParisTech). Spécialité sciences animales. pp. 228.
- Sabatier R., Doyen L., Tichit M. (2010) Reconciling production and conservation in agrolandscapes: does landscape heterogeneity help?, *Innovation and Sustainable Development in Agriculture and Food ISDA*, Montpellier. pp. 10.
- Schaller N. (2008) Analyse et modélisation des relations agriculture - élevage au sein d'exploitations cotonnières dans l'Ouest du Burkina-Faso, Mémoire de fin d'études cursus ingénieur agronome, AgroParisTech, Paris. pp. 58.
- Schaller N., Aubry C., Havet A., Martin P. (2010) Diversity of farmers' adaptation strategies in a context of changes and consequences on land-use dynamics: a methodological approach, 1st Latin American and European congress on co-innovation of sustainable rural livelihood systems (Eulacias project), Montevideo, Uruguay. pp. 189-192.
- Schaller N., Lazrak E.G., Martin P., Mari J.F., Aubry C., Benoît M. (2011) Combining farmers' decision rules and landscape stochastic regularities for landscape modelling. *Landscape ecology* Under review.
- Schekkerman H., Teunissen W., Oosterveld E. (2008) The effect of mosaic management on the demography of black-tailed godwit *Limosa limosa* on farmland. *Journal of Applied Ecology*:1067-1075. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2008.01506.x.
- Sebillotte M. (1974) Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome. *Cahier ORSTOM, série biologique* 24:3-25.
- Sebillotte M. (1990a) Système de culture, un concept opératoire pour les agronomes, in: L. Combe, Picard, D. (Ed.), *Les systèmes de culture*, INRA, Paris. pp. 165-196.
- 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.
- Sebillotte M. (2005) Agronomes et territoires. Les trois métiers des agronomes, in: P. Prevost (Ed.), *Agronomes et territoires. Deuxième édition des Entretiens du Pradel*, L'Harmattan, Paris. pp. 479-497.
- Sebillotte M., Soler L.G. (1990) Les processus de décision des agriculteurs : acquis et questions vives. , in: J. Brossier, Vissac, B., Lemoigne, J.L. (Ed.), *Modélisation systémique et systèmes agraires*, INRA Paris. pp. 93-102.
- Silvestre M. (2004) Mise au point d'outils d'aide à la gestion concertée des assolements à des fins environnementales : application à l'érosion, Mémoire de fin d'étude ENSAT, Toulouse. pp. 66.
- Simon H.A. (1955) A behavioral model of rational choice. *The Quarterly Journal of Economics* 69:99-118.
- Snow V.O., Lovatt S.J. (2008) A general planner for agro-ecosystem models. *Computers and Electronics in Agriculture* 60:201-211. DOI: 10.1016/j.compag.2007.08.001.

- Sorel L., Viaud V., Durand P., Walter C. (2010) Modeling spatio-temporal crop allocation patterns by a stochastic decision tree method, considering agronomic driving factors. *Agricultural Systems* 103:647-655. DOI: 10.1016/j.agsy.2010.08.003.
- Souchère V., Millair L., Echeverria J., Bousquet F., Le Page C., Etienne M. (2010) Co-constructing with stakeholders a role-playing game to initiate collective management of erosive runoff risks at the watershed scale. *Environmental Modelling & Software* 25:1359-1370. DOI: 10.1016/j.envsoft.2009.03.002.
- Soulard C., Morlon P., Chevignard N. (2002) Le schéma d'organisation territoriale de l'exploitation agricole. Un outil dans l'étude des relations agriculture - environnement, in: P. Prevost (Ed.), Deuxième édition des entretiens du Pradel. *Agronomes et territoires*, L'Harmattan.
- Stoate C., Boatman N. D., Borralho R. J., Rio Carvalho C., R. d.S.G., P. E. (2001) Ecological impacts of arable intensification in Europe. *Journal of Environmental Management* 63:337-365. DOI: 10.1006/jema.2001.0473.
- Thenail C., Baudry J. (2004) Variation of farm spatial land use pattern according to the structure of the hedgerow network (bocage) landscape: a case study in northeast Brittany. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 101:53-72. DOI: 10.1016/s0167-8809(03)00199-3.
- Thenail C., Joannon A., Capitaine M., Souchère V., Mignolet C., Schermann N., Di Pietro F., Pons Y., Gaucherel C., Viaud V. (2009) The contribution of crop-rotation organization in farms to crop-mosaic patterning at local landscape scales. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 131:207-219. DOI: 10.1016/j.agee.2009.01.015.
- Tsakiris G., Spiliotis M. (2006) Cropping pattern planning under water supply from multiple sources. *Irrigation and Drainage Systems* 20:57-68.
- Tscharntke T., Klein A.M., Kruess A., Steffan-Dewenter I., Thies C. (2005) Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity - ecosystem service management. *Ecology Letters* 8:857-874. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2005.00782.x.
- Uriarte M., Yackulic C.B., Lim Y., Arce-Nazario J.A. (2011) Influence of land use on water quality in a tropical landscape: a multi-scale analysis. *Landscape Ecology* 26:1151-1164. DOI: 10.1007/s10980-011-9642-y.
- 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. DOI: 10.1016/j.agee.2008.04.015.
- 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. DOI: 10.1007/s10980-009-9380-6.
- van Oost K., Govers G., Desmet P. (2000) Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. *Landscape ecology* 15:577-589.
- Vavra P., Colman D. (2003) The analysis of UK crop allocation at the farm level: implications for supply response analysis. *Agricultural Systems* 76:697-713. DOI: 10.1016/s0308-521x(02)00075-6.
- Vayssières J., Lecomte P., Guerrin F., Nidumolu U.B. (2007) Modelling farmers' action: decision rules capture methodology and formalisation structure: a case of biomass flow operations in dairy farms of a tropical island. *Animal* 1:716. DOI: 10.1017/s1751731107696657.
- Veldkamp A., Fresco L.O. (1996) CLUE-CR: an integrated multi-scale model to simulate land use change scenarios in Costa Rica. *Ecological Modelling* 91:231-248.
- Veldkamp A., Lambin E.G. (2001) Predicting land-use change: editorial. *Agriculture Ecosystems & Environment* 85:1-6.
- Verburg P., Rounsevell M., Veldkamp A. (2006a) Scenario-based studies of future land use in Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 114:1-6. DOI: 10.1016/j.agee.2005.11.023.
- Verburg P.H., Veldkamp A. (2001) The role of spatially explicit models in land-use change research: a case study for cropping patterns in China. *Agriculture Ecosystems & Environment* 85:177-190.

- Verburg P.H., Kok K., Pontius R.G.J., Veldkamp A. (2006b) Modeling land-use and land-cover change, in: E. F. Lambin and H. Geist (Eds.), Land-use and land-cover change. Local processes and global impacts, Springer Berlin Heidelberg New York. pp. 117-155.
- Verburg P.H., Soepboer W., Veldkamp A., Limpiada R., Espaldon V., Mastura S.S.A. (2002) Modeling the Spatial Dynamics of Regional Land Use: The CLUE-S Model. *Environmental Management* 30:391-405. DOI: 10.1007/s00267-002-2630-x.
- Wezel A., Bellon S., Doré T., Francis C., Vallod D., David C. (2009) Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 29:503-515. DOI: 10.1051/agro/2009004.
- Wünsch J. (2004) Intégration des contraintes du marché dans la conduite des cultures : effet de la différenciation des produits sur la conduite de la culture de pomme de terre de conservation dans les exploitations agricoles de Picardie, Thèse de doctorat de l'Institut National Agronomique de Paris-Grignon. Spécialité Agronomie. pp. 168.

Nouveau Chapitre de la Thèse

NCT®



Valorisation des compétences des docteurs « Nouveau Chapitre de la Thèse® »

Noémie SCHALLER

Ecole doctorale : ABIES Agriculture, Alimentation, Biologie, Environnements et Santé

Organisme de rattachement : AgroParisTech

"Mentor" : Eric Birlouez

Modélisation des décisions d'assolement des agriculteurs
et organisation spatiale des cultures dans les territoires



Date probable de présentation orale du « NCT » : octobre 2011

Sujet académique de la thèse : Modélisation des décisions d'assolement des agriculteurs et de l'organisation spatiotemporelle des cultures dans les territoires de polyculture-élevage

Directeur de thèse : Philippe Martin (AgroParisTech, UMR SAD-APT)

Co-directrice : Christine Aubry (Inra Versailles-Grignon, UMR SAD-APT)

Date probable de soutenance de la thèse : Décembre 2011

1. Cadre général et enjeux de la thèse

1.1. Présentation générale de la thèse

Au cours des dernières décennies, l'agriculture s'est profondément transformée et intensifiée, permettant une augmentation considérable de la productivité par hectare et par travailleur. Les objectifs d'autosuffisance alimentaire de la France et de l'Europe ont ainsi été atteints et même dépassés, mais de nombreux travaux dénoncent les conséquences environnementales négatives de cette intensification agricole, en particulier la dégradation des écosystèmes.

Par conséquent, un enjeu majeur dans les territoires agricoles est aujourd'hui de **concilier production agricole et préservation des écosystèmes**. Or, il est possible de répondre à ce double objectif en agissant sur l'organisation des paysages et de l'occupation des sols. Les gestionnaires des espaces agricoles utilisent déjà ce levier d'action dans le cadre des zones *Natura 2000* et des « mesures agro-environnementales territoriales » : des aides financières visant à compenser les éventuelles pertes de rendement et/ou l'augmentation des coûts de production et du temps de travail sont attribuées aux agriculteurs qui opèrent des choix (de cultures, de pratiques agricoles...) dont les conséquences sont favorables à la préservation des écosystèmes.

L'organisation des paysages agricoles au sein d'un territoire résulte en grande partie de l'activité des agriculteurs qui y travaillent. L'organisation spatiale et temporelle des cultures est déterminée par les choix d'assolement que les agriculteurs font individuellement au niveau de leur exploitation. Ces choix concernent les cultures à planter, leur surface totale, leur localisation et leur succession dans le temps. Ainsi, pour gérer l'organisation globale d'un paysage agricole, il apparaît nécessaire de comprendre les décisions d'assolement des agriculteurs, ainsi que l'impact de ces décisions sur l'organisation spatiale et temporelle des cultures dans le paysage.

Mon projet de thèse en agronomie s'inscrivait dans cette optique d'aide à la décision publique en matière de gestion de l'organisation des paysages agricoles. Il avait pour but de **modéliser les décisions d'assolement des agriculteurs afin de rendre compte de l'organisation spatiale et temporelle des cultures dans les paysages agricoles**. Cette thèse permettra ensuite d'évaluer les conséquences environnementales potentielles des dynamiques d'organisation des paysages. *In fine*, une des perspectives de la thèse serait d'identifier les leviers les plus efficaces (types d'assolements à favoriser, nature et modalités des incitations) pour concilier production agricole et préservation des écosystèmes.

1.2. Contexte scientifique et institutionnel de la thèse

Ma thèse s'est déroulée au sein de l'UMR SAD-APT (Unité Mixte de Recherche Sciences pour l'Action et le Développement – Activités, Produits, Territoires). Ce laboratoire pluridisciplinaire regroupe agronomes, zootechniciens, écologues, économistes, sociologues et chercheurs en sciences de gestion autour des questions liées aux transformations de l'agriculture et des paysages. L'UMR associe l'Inra et AgroParisTech, ce

qui m'a permis d'avoir accès à ces deux réseaux, notamment en ce qui concerne les opportunités de formation. Mes deux directeurs de thèse étaient agronomes et rattachés à cette UMR (maître de conférences à AgroParisTech et ingénieur de recherche INRA).

J'ai été intégrée au sein de l'équipe CONCEPTS (CONCilier Environnement et Productions dans les Territoires agricoles et les Supply Chains), dont le caractère pluridisciplinaire m'a permis de bénéficier de l'appui complémentaire de nombreux chercheurs non agronomes.

En ce qui concerne le financement de la thèse, j'ai été rémunérée par la région Ile-de-France via le DIM ASTREA (Domaine d'Intérêt Majeur en AgroSciences, TerritoiRes, Ecologie, Alimentation) qui, chaque année depuis 2008, soutient deux projets de thèse sur la problématique *Agriculture, environnement et territoires*. Les dépenses de fonctionnement de ma thèse (déplacements, matériel, etc.) et le recrutement de main d'œuvre temporaire ont été financés par un projet ANR (Agence Nationale pour la Recherche). L'objectif de ce projet, intitulé « BioDivAgriM », était de modéliser les paysages afin de comprendre les conséquences des changements d'organisation spatiale des cultures sur la biodiversité au niveau paysager. Je m'insérais dans ce projet ANR pour étudier l'organisation spatiale et temporelle des cultures à l'échelle de l'exploitation agricole et du paysage.

En plus de l'appui des collaborateurs du projet ANR (écologues, modélisateurs du paysage, agronomes, géographes, etc.) et des collègues de l'UMR, j'ai également pu solliciter plusieurs réseaux de scientifiques au cours de cette thèse :

- Les agronomes du SAD (groupe disciplinaire du département SAD de l'Inra), auxquels j'ai pu présenter mon projet de thèse et qui m'ont fait bénéficier en retour de leurs conseils et critiques constructives ;
- ModeliSAD : séminaires trimestriels sur les questions de modélisation, au cours desquels j'ai partagé des difficultés méthodologiques avec d'autres chercheurs et pu discuter des solutions à apporter ;
- Le réseau « landscape agronomy » : ce réseau rassemble des chercheurs européens émergeant à une discipline en construction, l'agronomie des territoires. J'ai eu la chance de participer en 2009 à une semaine de formation dans le cadre de ce réseau européen, et d'échanger avec chercheurs et doctorants sur la construction de méthodes spécifiques à cette discipline ;
- Le trio de doctorants « assolement » : trois thèses Inra ont démarré fin 2008 sur le thème des décisions d'assolement des agriculteurs, ce qui témoigne de l'intérêt actuel de l'Inra pour ce sujet. D'un commun accord entre doctorants et encadrants, nous avons créé un petit groupe de travail collaboratif pour échanger sur les complémentarités et synergies, mais aussi sur les risques de concurrence entre nos projets de thèse.

1.3. Motivations personnelles

Au cours de ma formation d'ingénieur agronome, j'ai toujours été attirée par les opportunités de stages de recherche, car je considérais que la formation par la recherche était la plus rigoureuse et celle qui développait le plus l'esprit critique. Dès ma première année à AgroParisTech, j'ai réalisé un stage volontaire dans un laboratoire de sociologie

rurale, au cours duquel je me suis familiarisée avec les méthodes d'enquêtes. Entre la deuxième et la troisième année, j'ai opté pour une année de « césure » en vue de réaliser deux stages de longue durée en laboratoire : l'un en recherche-développement au Cirad et l'autre en recherche fondamentale dans une université. La comparaison de ces deux expériences m'a permis de confirmer mon goût pour la recherche agronomique appliquée, en lien direct avec les défis agricoles et environnementaux actuels.

C'est la raison pour laquelle je me suis orientée d'abord vers un stage de fin d'études en recherche-développement, puis vers une thèse en agronomie. J'ai immédiatement postulé pour ce sujet de thèse car il permettait de combiner plusieurs de mes attentes :

- Traiter un sujet concret lié à des enjeux sociétaux (ici pour les gestionnaires des espaces agricoles), de façon à accompagner les mutations de l'agriculture ;
- Poursuivre l'étude des pratiques et des décisions techniques des agriculteurs, qui déterminent fortement le fonctionnement des agroécosystèmes et leur durabilité ;
- Travailler en collaboration avec des chercheurs de disciplines différentes et bénéficier de regards complémentaires autour d'un même projet ;
- Valoriser les compétences acquises pendant mes précédents stages (enquêtes, analyse des décisions, modélisation) pour construire une trajectoire scientifique personnelle cohérente.

Ainsi, lorsque j'ai préparé ma candidature pour la thèse, j'ai rédigé une analyse critique du sujet proposé, en mettant notamment en valeur les points communs entre mon stage de fin d'étude et le sujet de thèse proposé, en soulevant les difficultés éventuelles du sujet de thèse et en donnant des pistes de réflexion lorsque cela était possible. Concernant le financement de la thèse, j'ai également participé au montage de plusieurs dossiers de candidature, dont deux ont été acceptés (DIM ASTREA et bourse ministérielle obtenue par concours *via* l'école doctorale ABIES).

2. Déroulement, gestion et coût estimé du projet de thèse

2.1. Préparation et cadrage du projet

Au cours des trois premiers mois de la thèse et suite à la lecture critique du sujet réalisée peu avant, j'ai participé à une formation de l'école doctorale ABIES intitulée « gérer sa thèse comme un projet », ce qui m'a incitée à rédiger une ébauche de projet de recherche. La rédaction de ce document m'a permis de formaliser ma propre vision du sujet et de commencer à me l'approprier, ce qui a constitué la première étape de la transformation du *sujet* de thèse (proposé par les encadrants) en *projet* de recherche (construit par le doctorant).

Au démarrage du projet, mes encadrants m'ont aidée à identifier les collaborations possibles mais aussi à évaluer les risques associés. Ainsi, le démarrage de trois thèses sur le thème des décisions d'assolement a immédiatement donné lieu à une concertation de façon à créer le plus de synergies possibles entre les doctorants, tout en évitant les situations de concurrence. Nous avons donc décidé d'organiser des réunions régulièrement pour faire le point sur les avancées de chacun et identifier les spécificités de chaque thèse. Nous avons

aussi décidé de participer mutuellement à nos comités de pilotage de thèse pour créer des occasions supplémentaires de suivre le travail des autres et d'interagir positivement. Cette collaboration a par la suite donné lieu à une participation conjointe dans un colloque international et à la rédaction d'un article publié dans une revue anglophone.

De la même manière, le projet ANR dans lequel s'insérait ma thèse me donnait la possibilité de plusieurs collaborations concernant la partie « modélisation des paysages agricoles ». S'il y avait un risque à lancer une collaboration trop prématurément, il y en avait aussi un à s'engager dans toutes les directions à la fois. Une des collaborations a bien fonctionné dès la fin de la première année de ma thèse, car les timings des différents interlocuteurs coïncidaient pour préparer ensemble la participation à un congrès puis la rédaction d'un article. Les deux autres collaborations ont été initiées pendant la durée de la thèse mais elles seront finalisées après la fin de la thèse.

2.2. Conduite du projet

Le déroulement global du projet est présenté au Tableau 1.

Tableau 1 : Présentation du déroulement global du projet de thèse

	2008	2009				2010				2011				
	nov-dec	janv-mars	avril-juin	juil-sept	oct-dec	janv-mars	avril-juin	juil-sept	oct-dec	janv-mars	avril-juin	juil-sept	oct-dec	
Acquisition de données	Bases de données CNRS et RPG		1ère session enquêtes	Traitement enquêtes	2ème session enquêtes + inventaire sièges	Traitement enquêtes	3ème session enquêtes	Traitement enquêtes	Elaboration modèle conceptuel	Validation modèle conceptuel	Simulation paysages			
Présentation du travail	Réunion CONCEPTS + BioDivAgriM	Journées doctorants SAD		Colloque FSD	ModeliSAD + Réflexives + BioDivAgriM	Journées doctorants SAD + DIM		Colloque ESA	Réunion CONCEPTS + BioDivAgriM + colloque ASI et 3R + restitution agriculteurs	Colloque EGC	Réunion CONCEPTS			
Comité de pilotage				1er comité			2ème comité				3ème comité			
Encadrement					MOO inventaire sièges		Stage M2 Niort		MOO logiciel LandSFACTS	Stage M2 Camargue				
Enseignement									Cours M2	Module 1A territoire				Cours M2
Formations	Gestion projet + insertion professionnelle	SIG + landscape agronomy	Anglais : rédaction et poster		Séminaire Réflexives		Anglais : présentation orale	UML						
Documents écrits	Rédaction projet de thèse	Guide d'entretiens	CR enquêtes + Doc comité	Résumés colloque FSD	Guides entretiens et CR enquêtes	Résumés colloque ESA	Guides entretiens et CR enquêtes	Article colloque ASI et résumé 3R	Rédaction article suite ESA + article colloque EGC	Doc comité + Plan de thèse	Ebauches chapitres méthodes et modèle conceptuel	Rédaction thèse et finalisation avant soutenance		

Le projet de thèse a été rythmé par des réunions mensuelles (ou au minimum tous les deux mois) avec mes encadrants, au cours desquelles nous faisons le bilan de ce qui avait été réalisé depuis la dernière réunion et planifions le travail jusqu'à la prochaine rencontre. Compte tenu des nombreuses responsabilités de mes encadrants, je me chargeais d'organiser le planning des réunions très à l'avance pour être sûre de pouvoir faire le point avec eux régulièrement. Chaque réunion donnait lieu à un compte-rendu écrit qui récapitulait les décisions prises ensemble, ce qui permettait « d'acter » formellement les orientations choisies et de ne plus en rediscuter ensuite (sauf si nécessaire). Pour certaines

réunions et pour l'accompagnement des phases d'enquêtes (préparation et traitement des données), nous avons bénéficié de l'appui d'un chercheur de l'équipe en zootechnie.

La thèse a également été jalonnée de trois comités de pilotage : en juillet 2009, juin 2010 et avril 2011. Ces réunions rassemblaient des chercheurs experts de certains aspects complémentaires de ma thèse (agronome, géographe, informaticien, zootechnicien, géomaticien) et avaient pour but de discuter du travail réalisé : valider ou remettre en cause les choix méthodologiques, critiquer la cohérence de la démarche, suggérer certaines approches complémentaires, etc. Chaque comité de thèse donnait également lieu à un compte-rendu écrit qui synthétisait l'ensemble des remarques, critiques et décisions que les participants avaient approuvées.

Plus largement, j'ai appris au cours de la thèse à rechercher des occasions d'obtenir des avis extérieurs sur mon projet. A plusieurs reprises, j'ai présenté l'avancée de ma thèse dans des contextes et auprès de publics variés : réunions d'équipe, séminaire ModeliSAD sur la modélisation des décisions, séminaires de doctorants (de la région Ile-de-France ou du département SAD de l'Inra), membres du projet ANR « BioDivAgriM ». Toutes ces rencontres ont été l'occasion de mieux justifier le positionnement scientifique ou la méthodologie de la thèse, d'affiner la question de recherche ou encore d'enrichir la discussion critique de la démarche ou des résultats.

A la fin de la première année, la présentation de ma thèse à ModeliSAD et la participation au séminaire « Réflexives® » sur les démarches de recherche m'ont conduite à réorienter mon projet de thèse. En effet, ces échanges avec des chercheurs extérieurs à mon environnement scientifique quotidien m'ont fait prendre conscience de certaines lacunes méthodologiques concernant la modélisation des décisions des agriculteurs, mais aussi de la nécessité d'intégrer pleinement l'échelle du paysage à mon projet de recherche et de ne pas le limiter à l'échelle « exploitation agricole ».

Outre ces rencontres ponctuelles, le projet de thèse a mobilisé d'autres personnes sur des durées plus longues : nous avons recruté une personne en main d'œuvre occasionnelle et mobilisé un technicien plusieurs semaines pour inventorier les sièges d'exploitation et les bâtiments agricoles de la zone d'étude ; nous avons également recruté une stagiaire de master pendant 6 mois pour réaliser des enquêtes complémentaires, et nous l'avons embauchée deux mois supplémentaires pour valoriser ses résultats dans un logiciel de simulation des paysages.

Enfin, pour certains aspects précis de la thèse, nous avons également sollicité la collaboration de chercheurs experts, par exemple en SIG (système d'informations géographiques) ou en langage de modélisation UML (Unified Modelling Language).

2.3. Estimation et prise en charge du coût du projet

L'estimation du coût consolidé du projet de thèse est donnée au Tableau 2. Il s'élève à 176.847 euros. La main d'œuvre constitue le premier poste de dépenses et représente l'essentiel du coût de la thèse (82,1%). Ce poste de dépenses inclut ma rémunération de doctorante mais aussi celle des deux directeurs de thèse, de la stagiaire de M2 et des mains d'œuvre occasionnelles recrutées au cours de la thèse.

Tableau 2 : Estimation du coût consolidé de la thèse de novembre 2008 à octobre 2011

ESTIMATION DU COUT CONSOLIDE DE LA THESE

Montants en euros TTC

	Nature de la dépense	Détails *		Coûts totaux (euros TTC)			
				Nombre d'unités	Coût unitaire moyen	Quote-part utilisation	Total
1	Ressources Humaines						
1.1	Doctorant	Salaire brut : 1800	Charges : 30%	36	2340	1	84240
1.2	Encadrant 1 (MC AgroParisTech)	Salaire brut : 4000 (selon grille)	Charges : 30%	36	5200	0,15	28080
1.3	Prime Encadrement						0
1.4	Encadrant 2 (IR HC Inra)	Salaire brut : 4400 (selon grille)	Charges : 30%	36	5720	0,1	20592
1.5	Prime Encadrement						0
1.6	Autre personnel : stage M2	Salaire brut : 417	Charges : 0%	6	417	1	2502
1.7	Autre personnel : MOO	Salaire brut : 1900	Charges : 30%	4	2470	1	9880
1.8	Sous-traitance						
	Sous-total Ressources Humaines						145294
2	Consommables						
2.1	Fournitures expérimentales						
2.2	Fournitures de bureau			36	10	1	360
2.3	Autres achats						
	Sous-total Consommables						360
3	Infrastructures						
3.1	Entretien, gardiennage, secrétariat	Salaire brut AI : 2300	Charges : 30%	36	2990	0,05	5382
3.2	Loyers des locaux + électricité, eau, chauffage	1200€ /an		3	1200	1	3600
3.3	Electricité, eau, chauffage, ... (si non inclus dans les charges locatives)						
3.4	Autres						
	Sous-total Infrastructures						8982
4	Matériel (amortissements)						
4.1	Matériel d'expérimentation (dont les ordinateurs et logiciels spécialisés)	1 disque dur externe, 1 enregistreur	131 + 120				251
4.2	Ordinateur de bureau		2 ordinateurs portables (2x1288 €)				2576
4.3	Logiciels de bureau		ArcGis (800 €), EndNote (129 €)				929
4.4	Voiture INRA		15 000 €			0,05	750 €
	Sous-total Matériel						4506
5	Déplacements						
5.1	Missions en France	12 A/R Grignon Nior (66 € péage + 130 € carburant)	Autres séminaires + réunions (4126 €)		6478	1	6478
5.2	Missions à l'étranger	1 semaine de formation à Pise			500	1	500
5.3	Congrès en France	Transport : 100 €	Hébergement + autres frais : 109 + 450 €				659
5.4	Congrès à l'étranger	Transport : 1218 €	Hébergement + autres frais : 570 + 480 €				2268
	Sous-total Déplacements						9905
6	Formation						
6.1	Formations	ABIES : 13 j	150 € / j		1950		1950
		AgroParisTech : 3 j	150 € / j		450		450
		Réflexives : 5 j	150 € / j		750		750
		Inra : 6 j + 5 j	150 € / j		1650		1650
		WS Pise : 5 j	150 € / j		750		750
6.2	Autres frais (Inscription à l'Université, Sécurité Sociale étudiante, etc.)	Inscription doctorale ABIES : 350 €		3	350	1	1050
	Sous-total Formation						6600
7	Documentation et communication						
7.1	Affranchissements, Internet, téléphone						400
7.2	Publicité, communication, impressions	Impression de la thèse + 6 posters à 20 €					520
7.3	Documentation (périodiques, livres, bases de données, bibliothèque, etc.)	Abonnement WOS et revues			3600	0,05	180
7.4	Autres	Données ASP			1000	0,1	100
	Sous-total Documentation et communication						1200
	TOTAL						176847

Le second poste de dépenses concerne les déplacements effectués au cours du projet : déplacements pour les enquêtes de terrain dans la zone d'étude (Poitou-Charentes), pour les réunions de travail avec les directeurs ou autres collaborateurs, pour des séminaires, pour la participation à des congrès ou certaines formations. Ce poste représente 5,6% du coût de la thèse.

Les autres postes de dépenses suivants sont les coûts d'infrastructures (5,1%, peut-être surestimées ?) et de formation (3,7%), avec 37 jours de formation cumulés sur la durée de la thèse. Enfin, étant donné que la thèse ne reposait pas sur des expérimentations, les postes « matériel » et « consommables » ne sont pas très importants et représentent moins de 2,5% du coût de la thèse.

Le coût de la thèse a été pris en charge par le DIM ASTREA de la région Ile-de-France pour ma rémunération, par AgroParisTech et l'Inra respectivement pour la rémunération de mes encadrants, et par l'ANR pour la rémunération des mains d'œuvre occasionnelles recrutées pendant la thèse ainsi que pour les déplacements et achats de matériel informatique. L'Inra a également payé les consommables, les frais d'infrastructure et de documentation. Les formations ont été prises en charge par l'INRA, AgroParisTech et l'Ecole doctorale ABIES.

3. Compétences professionnelles et personnelles mises en œuvre

3.1. Domaines d'expertise scientifique

Au cours de cette thèse, j'ai accru mes **connaissances scientifiques** dans les domaines suivants : constitution des assolements, de successions de cultures et de systèmes de culture ; modélisation des décisions des agriculteurs ; fonctionnement technique des exploitations agricoles ; organisation spatiale du paysage et conséquences environnementales.

J'ai également renforcé ma maîtrise des **méthodes** de recherches bibliographiques, d'élaboration de guides d'entretien et de réalisation d'enquêtes, ainsi que celle des outils de modélisation conceptuelle, stochastique et informatique (*via* des modèles de simulation des paysages). J'ai en particulier progressé sur les parties formalisation d'un modèle conceptuel et évaluation / validation de ces modèles.

Enfin, cette thèse a été pour moi l'occasion de me former à deux types **outils** dont j'ai eu particulièrement besoin : d'une part un outil de gestion bibliographique (logiciel EndNote®), que j'ai utilisé pour éditer mes références lors de la rédaction de documents écrits ; et, d'autre part, un outil de système d'informations géographiques (logiciel ArcGis®), qui m'a permis de visualiser et de cartographier les parcellaires des exploitations étudiées ainsi que les paysages agricoles simulés.

3.2. Compétences transversales et transférables en dehors du monde de la recherche

En plus des compétences spécifiques de la thématique de la thèse, j'ai développé certaines compétences plus transversales et, de ce fait, transférables en dehors du monde de la recherche.

3.2.1. Des compétences en communication

Au cours de la thèse, j'ai dû rendre compte de mon travail et présenter ma démarche ou mes résultats à de multiples reprises. Cela m'a permis de développer mes compétences en communication écrite (rédaction d'un projet de thèse, de comptes-rendus de réunions, rapports intermédiaires, comptes-rendus d'enquêtes, articles scientifiques, résumés pour des congrès, manuscrit de thèse, etc.) et orale (présentation de ma thèse en réunion, dans des séminaires, dans des congrès internationaux, restitution de mes résultats aux agriculteurs enquêtés, etc.). La construction de posters pour des séminaires ou des congrès internationaux a nécessité la combinaison de compétences écrites et orales car il fallait à la fois présenter un support écrit clair et synthétique, expliquer en direct le contenu du poster, et discuter, répondre aux questions de son interlocuteur.

Si l'exercice de communication (écrite ou orale) peut parfois sembler aisé dans sa langue maternelle, il n'en était pas toujours de même en anglais. C'est pourquoi, lorsque j'ai eu la chance de participer à des congrès internationaux, j'ai sollicité le formateur anglophone de l'école doctorale pour m'aider à préparer mes posters et présentations orales. Grâce à ses conseils et aux répétitions que nous avons faites ensemble, j'ai non seulement réussi à me faire comprendre, mais aussi à vaincre ma timidité et même à être à l'aise le jour des présentations.

Les différentes occasions de présenter ma thèse ainsi que le séminaire de formation « Réflexives® » m'ont par ailleurs fait prendre conscience de l'absolue nécessité de cette communication. J'avais auparavant l'impression que la communication pouvait parfois être assimilée à du marketing, mais je suis aujourd'hui persuadée que bien communiquer permet de développer son esprit de synthèse et de clarifier son raisonnement, et aide ainsi à formaliser et à progresser dans ses résultats.

Enfin, au cours de ma thèse, j'ai eu à m'adresser à des publics variés (collègues, chercheurs, étudiants, agriculteurs, etc.), ce qui m'a obligée à adapter ma communication à ces différents types de public. J'ai dû apprendre à passer d'un langage à l'autre, celui du monde académique avec les chercheurs, et celui du monde de l'action avec les agriculteurs. Ainsi, lorsque nous avons organisé une restitution des résultats pour les agriculteurs, j'ai axé la présentation sur les résultats concrets des enquêtes et non pas sur le positionnement scientifique de l'étude.

Je me suis également rendue compte qu'au sein même du monde académique, les termes utilisés dans un sens pour certains pouvaient ne pas avoir le même sens pour d'autres (à cause de différences disciplinaires, mais parfois aussi dans une même discipline) : il a donc fallu prendre l'habitude d'être précis et rigoureux sur les termes employés, mais aussi de bien définir soi-même et faire définir aux autres certains termes polysémiques pour anticiper les malentendus.

3.2.2. Des compétences en gestion de projet

Suite à une formation de l'école doctorale suivie au début de ma thèse, je me suis efforcée de mettre en œuvre des méthodes et outils de gestion de projet tout au long de mon travail

de recherche. J'ai organisé un planning de réunions régulières avec mes encadrants, de façon à disposer de jalons et à identifier des objectifs intermédiaires pour chaque réunion suivante. Ces jalons, en plus des dates de comités de thèse et d'autres dates butoirs (ex : pour la soumission de résumés pour des colloques) ont constitué autant de points de repère pour fixer des objectifs à atteindre dans des délais définis. Cette organisation m'a permis de planifier de manière précise et rigoureuse les tâches à accomplir, et d'anticiper certaines périodes de pointe de travail pour respecter les échéances définies. Cette organisation m'a aussi permis de gérer plus sereinement les risques et imprévus (non disponibilité d'une personne, d'une voiture, annulation d'une enquête, etc.).

En outre, comme chaque réunion faisait l'objet d'un compte-rendu écrit, je disposais d'une traçabilité des activités et j'avais ainsi moins de difficultés à passer d'une activité à l'autre. Cette organisation et cette traçabilité m'ont aidée à mener plusieurs activités en parallèle et à ne pas perdre trop de temps lorsque je reprenais une tâche laissée en suspens pendant quelques temps. J'ai également pu constater que certaines tâches étaient plus énergivores que d'autres, et j'ai tenté autant que possible d'adapter mon planning en privilégiant les tâches nécessitant le moins de concentration pour les moments où j'avais moins d'énergie.

3.2.3. Des compétences liées aux relations humaines

J'ai également appris pendant ma thèse à travailler en équipe, et avec différents collaborateurs dont les modes de fonctionnement individuels peuvent être très différents les uns des autres ! J'ai par exemple dû m'adapter aux différences de réactivité des collègues en matière de réponses à leurs mails, et apprendre à relancer régulièrement mes interlocuteurs sans trop donner l'impression de les harceler !

Par ailleurs, à l'occasion des réunions avec mes encadrants et lors des comités de thèse, j'ai appris à animer des réunions : cela impliquait de fixer à l'avance un ordre du jour, de surveiller le temps passé sur chaque point, de faire des petites synthèses successives en cours de réunion pour s'assurer que tous les participants étaient d'accord, et de vérifier que tous les participants avaient pu s'exprimer afin de ne pas créer de frustrations.

A l'occasion du stage de M2 que nous avons proposé en 2010, j'ai également développé des compétences liées à l'encadrement et à la formation. J'ai souhaité renforcer les capacités d'autonomie de la stagiaire en la laissant prendre des initiatives sur l'organisation de son travail (notamment pour la préparation et la réalisation de ses enquêtes). Pour la première phase de terrain, je l'ai accompagnée afin qu'elle ne soit pas trop livrée à elle-même, mais j'ai essayé de me placer le plus possible en observatrice afin qu'elle développe son autonomie. Puis au cours des phases de traitement de données et de la rédaction de son mémoire, j'ai réalisé à quel point il était important d'être soi-même positif pour mieux rassurer et encourager les autres, et aussi qu'il était primordial de formuler les choses très clairement pour pouvoir faire passer un message.

De la même manière, lors de mes quelques expériences d'enseignement, j'ai dû me poser les questions suivantes : de quelles informations ont besoin les étudiants pour élaborer eux-mêmes le raisonnement et comprendre le message ? Comment les inciter à faire preuve d'esprit critique sur les informations que je leur apporte ? Comment les faire progresser dans

la compréhension du sujet ? C'était pour moi la première fois que je devais réfléchir à des objectifs pédagogiques et évaluer le travail des autres, alors que j'étais moi-même en formation et en position d'être évaluée.

3.2.4. Des qualités professionnelles et personnelles

La réalisation de cette thèse m'a également aidée à développer un certain nombre de qualités professionnelles et personnelles : en premier lieu, la capacité d'analyse et de synthèse, l'esprit critique, la rigueur et la ténacité dans le travail. Il m'a souvent fallu trouver un équilibre entre ne pas me décourager trop vite et ne pas être trop têtue, et pour cela mon directeur de thèse a vraiment su m'aider !

A chaque fois que je présentais mon travail, il fallait accepter les critiques pour mieux avancer, avoir suffisamment d'humilité pour reconnaître les failles dans mon travail mais aussi suffisamment de confiance en moi pour ne pas être trop déstabilisée et rebondir sur de nouvelles idées. Au fil du temps j'ai appris que l'on pouvait avoir d'autant plus confiance en soi que l'on (re)connaît mieux ses limites et ses faiblesses. Au cours des phases de traitement de données, j'ai d'ailleurs eu souvent à manipuler des informations contradictoires ou qui infirmaient certaines certitudes, ce qui m'a souvent obligée à adapter mon cadre d'analyse aux nouvelles données ou à de nouvelles critiques. Cela m'a convaincue, même si c'est inconfortable, de la nécessité de se remettre souvent en cause pour progresser. Ces critiques permanentes m'ont incitée à prouver en permanence la qualité de mon travail et la rigueur de la démarche, en argumentant et en anticipant les questionnements.

Au cours des enquêtes avec les agriculteurs, j'ai aussi développé des compétences en termes d'écoute et d'observation : il fallait écouter activement les interlocuteurs, faire preuve d'empathie et de curiosité, rebondir sur leurs idées en posant des questions. Je m'efforçais également de reformuler et de synthétiser le discours des interviewés pour leur faire valider au fur et à mesure ce qui avait été dit, et j'essayais de repérer quand l'interlocuteur était fatigué pour que les entretiens soient vraiment efficaces.

3.2.5. Des compétences dans la construction de partenariats et réseau professionnel

Enfin, la thèse m'a appris à gérer des coopérations à distance ainsi que les risques potentiels associés à une collaboration. Par exemple, j'avais prévu de réaliser plusieurs enquêtes successives chez les mêmes agriculteurs et je souhaitais éviter le risque qu'ils arrêtent notre collaboration avant la fin de mes enquêtes. C'est pourquoi je me suis efforcée de les impliquer et de les intéresser à mon travail, en leur expliquant le but de la thèse et en leur rendant compte de chaque enquête, et surtout à les remercier par écrit après chaque enquête pour le temps qu'ils m'avaient consacré. Grâce à ces précautions, seul un agriculteur sur douze a refusé une enquête (pour cause de départ en retraite et de manque d'intérêt pour ces enquêtes).

Pour finir, j'ai développé des collaborations en essayant de mobiliser des personnes ressources pour certains aspects précis de mon travail (validation de modèle, UML, SIG).

4. Résultats et impacts de la thèse

Les résultats de la thèse sont de deux ordres : méthodologique et résultats directs. D'un point de vue méthodologique, j'ai construit un cadre d'analyse des décisions des agriculteurs à partir d'enquêtes en exploitations agricoles. Ce cadre permet de formaliser les décisions des agriculteurs afin de construire un modèle conceptuel de ces décisions : dans ma thèse, je l'ai appliqué au cas des décisions d'assolement.

Du point de vue des résultats directs, j'ai construit un modèle de décisions d'assolement d'agriculteurs (à l'échelle exploitation). L'originalité de ce modèle réside dans le fait qu'il rend compte des dimensions spatiale et temporelle des décisions d'assolement : il rend compte des découpages de parcelles agricoles effectués par les agriculteurs, et il rend compte des différents pas de temps auxquels sont prises les décisions (stratégique, annuel, infra-annuel). Ce modèle permet donc de simuler l'organisation spatiale et temporelle des cultures dans un paysage agricole.

Pour l'équipe CONCEPTS, les résultats de ma thèse pourront servir à simuler des paysages agricoles qui tiennent compte des décisions d'assolement des agriculteurs. Ces paysages simulés pourront eux-mêmes servir à évaluer les conséquences environnementales (en termes de ruissellement, de biodiversité, de coexistence OGM / non-OGM, etc.) des dynamiques de paysages.

Plus largement, pour les gestionnaires des espaces agricoles, les résultats de ma thèse pourront servir à mieux appréhender et anticiper les décisions des agriculteurs. Ces connaissances pourraient aider les décideurs publics à agir sur les pratiques des agriculteurs afin d'orienter favorablement les dynamiques d'organisation spatiale des paysages (pour des questions environnementales).

5. Identification de pistes professionnelles

J'ai identifié deux grandes pistes professionnelles.

La première piste, celle que je souhaite actuellement privilégier, est directement liée à ma thèse et vise à poursuivre dans le domaine de la recherche publique et/ou l'enseignement supérieur agronomique. Les postes possibles seraient les suivants : *chargé de recherche ou ingénieur de recherche à l'Inra ou au Cirad* (institut de recherche plus axé sur le développement des pays du Sud) ; *enseignant-chercheur en agronomie*. Dans tous les cas, je souhaite poursuivre dans le domaine de l'agronomie, en focalisant sur les questions liées aux pratiques des agriculteurs, à la durabilité de leurs pratiques, aux complémentarités entre activités d'agriculture et d'élevage, et aux conséquences environnementales de leurs pratiques, à l'échelle de l'exploitation agricole et du paysage. Plus précisément, mon projet serait d'utiliser les résultats de ma thèse pour développer des outils d'aide à la décision, soit individuels à l'échelle de l'exploitation, soit collectifs à l'échelle du paysage.

La seconde piste professionnelle est plus appliquée : elle vise à mettre en œuvre les connaissances acquises au cours de la thèse dans des instituts techniques ou des

collectivités territoriales, afin de contribuer à une gestion durable des espaces agricoles. Les organismes que j'ai identifiés sont les suivants :

- *Instituts techniques liés aux productions végétales* (Arvalis, Cetiom) : je pourrais travailler sur des projets visant à optimiser la gestion de l'eau dans les exploitations et les bassins de production, ou encore à diversifier les assolements pour sécuriser les revenus ;
- *Agences de l'eau ou bureaux d'étude en agronomie environnement* : je pourrais travailler sur des projets en lien avec le développement agricole et territorial ;
- *Collectivités territoriales* : je pourrais, par exemple, participer à la mise en place de mesures agro-environnementales dans les territoires agricoles.

ANNEXES

Annexe 1. Bilan des productions scientifiques

Dans cette annexe, nous donnons tout d'abord la liste des productions scientifiques (publiées dans le cadre de la thèse ou plus larges). Puis, après avoir expliqué l'articulation des productions scientifiques réalisées dans le cadre de la thèse, nous présentons un extrait de ces productions (posters, communications, etc.).

1) Liste des productions scientifiques

Articles publiés ou acceptés

1. Dury, J., **Schaller**, N., Garcia, F., Reynaud, A., Bergez, J.E. (2011). Models to support cropping plan and crop rotation decisions. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. DOI 10.1007/s13593-011-0037-x.

<http://www.springerlink.com/content/h52584337g21r024/fulltext.pdf>

2. **Schaller**, N., Lazrak, E.G., Martin, P., Mari, J.F., Aubry, C., Benoît, M. Combining farmers' decision rules and landscape stochastic regularities for landscape modelling. *Accepted in Landscape ecology*. DOI 10.1007/s10980-011-9691-2

Article en préparation

3. Andrieu, N., Dugué, P., Le Gal, P.Y., **Schaller**, N., Rueff, M., Semporé, A. Design and validation of a crop-livestock farm model to support West African farmers in tactical and strategic decisions. *In prep for Agronomy for Sustainable Development*

Communications à des congrès (par ordre chronologique)

4. Scopel, E., Maltas, A., Corbeels, M., Macena da Silva, F.A., Affholder, F., Douzet, J-M., Oliver, R., **Schaller**, N., Cardoso, A.N. (2007). Nitrogen dynamics and valorization for mulch-based cropping systems with direct seedings in the Brazilian Cerrados. International seminar: Tropical soils under direct seedings, mulch-based cropping systems, Madagascar.

5. Andrieu, N., Dugué, P., Le Gal, P.Y., **Schaller**, N. (2009). Modéliser le fonctionnement d'exploitations agricoles de polyculture élevage pour une démarche de conseil. Cas de la zone cotonnière de l'ouest du Burkina-Faso. Actes du colloque "savanes africaines en développement : innover pour durer", 20-23 avril 2009. Garoua, Cameroun: 1-10.

<http://en.scientificcommons.org/57707267>

6. Gaucherel, C., Martinet, V., Inchausti, P., **Schaller**, N., Bamière, L., Shereen, D., Gibon, A., Joannon, A., Castellazzi, M.S., Boussard, H., Barraquand, F., Lazrak, E.G., Mari, J.F., Houet, T., Bretagnolle, V. (2010). A multidisciplinary modelling approach to understand the effects of landscape dynamics on biodiversity. Proceedings of the LandMod2010 conference, 4 February 2010, Montpellier.

<http://www.symposcience.org/exl-doc/colloque/ART-00002409.pdf>

7. **Schaller**, N., Lazrak, E.G., Martin, P., Mari, J.F., Aubry, C., Benoît, M. (2010). Modelling regional land use: articulating the farm and the landscape levels by combining farmers' decision rules and landscape stochastic regularities. **Invited speaker** to the Environmental Change and Sustainable Agricultural Systems workshop associated with the 'Agro2010 the XIth ESA Congress', Montpellier, France: 917-918.

8. **Schaller**, N., Aubry, C., Martin, P. (2010). Modelling farmers' decisions of splitting agricultural plots at different time scales: a contribution for modelling landscape spatial configuration. Proceedings of 'Agro2010 the XIth ESA Congress', Montpellier, France: 879-880. <http://www.agropolis.fr/agro2010/paper/s332/schaller.pdf>

9. Havet, A., Faure, J., Martin, P., Mathieu, A., Remy, B., **Schaller**, N. (2010). Adaptation des exploitations laitières aux aléas climatiques et économiques à différents pas de temps. Cas de la plaine de Niort et du pays de Caux. In *Eds V. Ancey, B. Dedieu, M. Antona, I. Avelange, G. Azoulay, I. Darnhofer, B. Hubert, B. Lémery, Colloque "Agir en situation d'incertitude"*, 22-24 novembre 2010, Montpellier, France, 159-164.

10. Lazrak, E.G., **Schaller**, N., Mari, J.F. (2011). Extraction de connaissances agronomiques par fouille des voisinages entre occupations du sol. Communication à la 11^{ème} conférence internationale francophone sur l'extraction et la gestion des connaissances (EGC). 8^{ème} atelier Fouille de données complexes – complexité liée aux données multiples. 25 janvier 2011, Brest, France. 12p <http://hal.archives-ouvertes.fr/inria-00560098/fr/>

11. Gibon, A., Ryschawy, J., **Schaller**, N., Blouet, A., Coquil, X., Martin, P., Fiorelli, J.-L., Havet, A., Martel, G. (2011). L'élevage, un atout pour le développement durable des territoires en régions de polyculture-élevage. Communication courtes aux 3R, 4p.

Posters (par ordre chronologique)

12. Dury, J., **Schaller**, N., Akplogan, M., Aubry, C., Bergez, J.E., Garcia, F., Joannon, A., Lacroix, B., Martin, P., Reynaud, A., Thérond, O. (2009). Modelling crop allocation decision-making processes to simulate dynamics of agricultural land-uses at farm and landscape level. Farming System Design, Monterey, CA: 9-10.
http://www.iemss.org/farmsys09/uploads/2009_FSD_Proceedings.pdf

13. Martin, P., **Schaller**, N., Havet, A. (2009). Diversity of farmers' adaptations to a new context of irrigation restrictions: consequences on grassland area development. Farming System Design, Monterey, CA : 249-250.
http://www.iemss.org/farmsys09/uploads/2009_FSD_Proceedings.pdf

14. **Schaller**, N., Martin, P., Aubry, C. (2009). Mapping farmers' diversity of grassland management for biodiversity preservation at the regional scale. Farming System Design, Monterey, CA: 251-252.
http://www.iemss.org/farmsys09/uploads/2009_FSD_Proceedings.pdf

15. **Schaller, N.**, Aubry, C., Havet, A., Martin, P. (2010). Diversity of farmers' adaptation strategies in a context of changes and consequences on land-use dynamics: a methodological approach. 1st Latin American and European congress on co-innovation of sustainable rural livelihood systems (Eulacias project), Montevideo, Uruguay: 189-192.

http://www.eulacias.org/materiales/pdfs/materiales_congreso/publicacion_congreso/sesion_8/schaller_et_al_sesion_8.pdf

16. Havet, A., Faure, J., Martin, J., Mathieu, A., Remy, B., **Schaller, N.** (2010). Quel avenir pour l'herbe dans les élevages bovins laitiers en régions de polyculture élevage (Plaine de Niort et Pays de Caux à la fin des années 2000) ? Rencontres Recherche Ruminants, 17, 434.

http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/2010_14_07_Havet.pdf

17. **Schaller, N.**, Aubry, C., Boussard, H., Joannon, A., Tichit, M., Martin, P. (2011). DYSPALLOCC, a model to simulate farmers' cropping plan decisions in their spatial and temporal dimensions. Proceedings of the 5th World Congress of Conservation Agriculture incorporating 3rd Farming Systems Design Conference, September 2011, Brisbane, Australia

Autres rapports

Schaller, N. (2008). Analyse et modélisation des relations agriculture - élevage au sein d'exploitations cotonnières dans l'Ouest du Burkina-Faso. Paris, Mémoire de fin d'études cursus ingénieur agronome, AgroParisTech: 58.

Schaller, N. (2007). Social interactions in stable versus unstable groups of pregnant goats, and the consequences for the reproductive success. Mémoire de stage de 2^{ème} année AgroParisTech (séquence 2), 37p.

Schaller, N. (2007). Dynamiques de l'eau et de l'azote dans les systèmes de culture en semis direct sous couvert végétal chez les petits producteurs de l'agriculture familiale : cas des Cerrados brésiliens. Mémoire de stage de 2^{ème} année AgroParisTech (séquence 1), 48p.

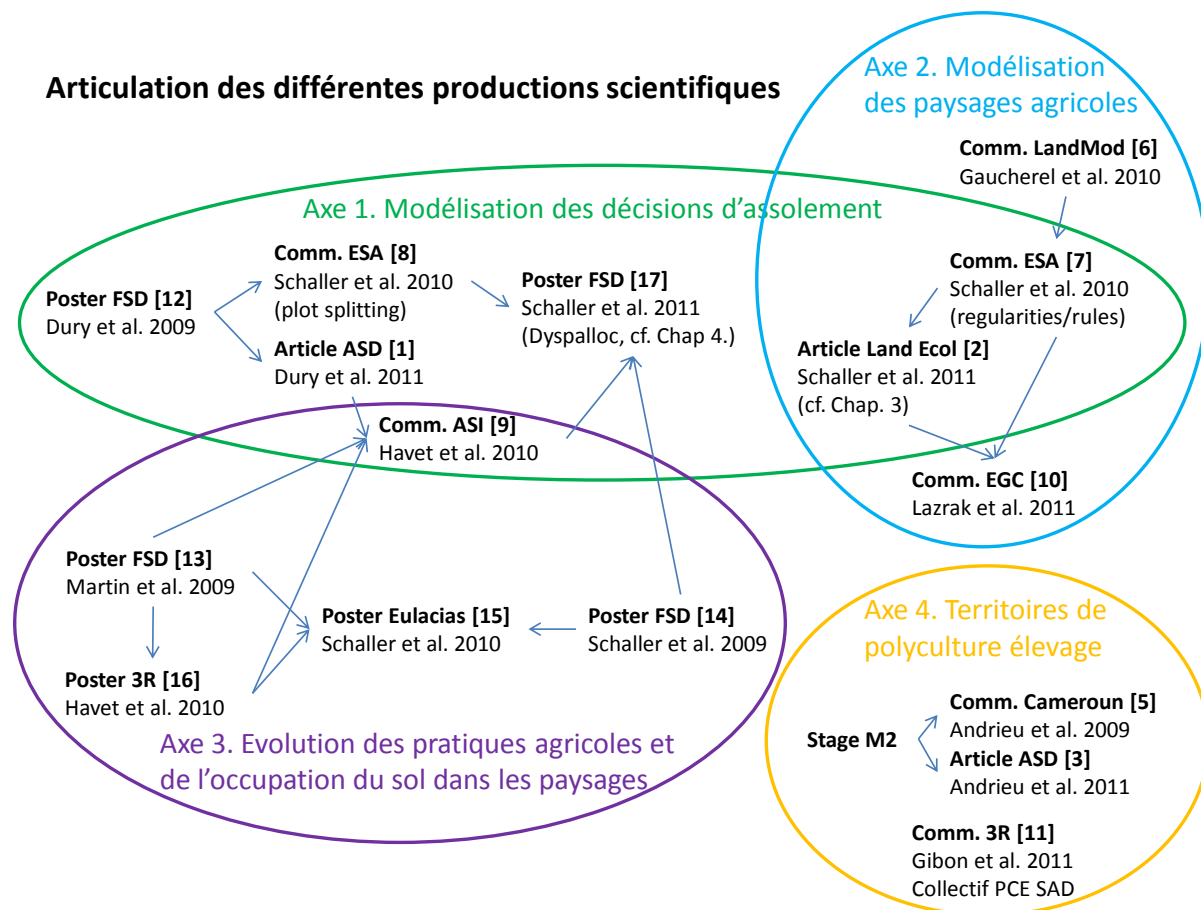
Co-encadrement de travaux d'étudiants

Bernard, C. (2010). Modélisation des dynamiques spatiotemporelles de l'occupation du sol à l'échelle des territoires d'exploitations agricoles situées sur une zone continue. Zone Atelier de Chizé. Mémoire de fin d'étude de l'Institut des Régions Chaudes de Montpellier SupAgro. 86 p + annexes. *Co-encadrement avec C. Aubry, A. Havet et P. Martin (UMR SAD-APT)*

Mailly, F. (2011). Déterminants et règles de décisions des agriculteurs pour la définition de l'assolement. Application aux cas d'exploitations rizicoles camarguaises. Mémoire de fin d'études ISARA-Lyon. 98p. *Co-encadrement avec JM. Barbier, S. Delmotte (UMR Innovation)*

2) Logique des productions scientifiques

L'articulation entre les différentes productions scientifiques réalisées pendant la thèse est représentée ci-dessous :



Les productions scientifiques sont structurées en quatre axes.

1) Le premier axe « **modélisation des décisions d'assolement** » a démarré par le poster [12], qui visait à montrer l'intérêt de la modélisation des décisions d'assolement pour améliorer à la fois l'allocation des ressources à l'échelle de l'exploitation, et la gestion de l'occupation du sol à l'échelle des paysages. Ce poster concluait sur la nécessité de construire un nouveau cadre de modélisation à partir de données d'enquêtes en exploitations. Nous avons ensuite approfondi les connaissances disponibles sur la modélisation des décisions d'assolement, dans une revue de littérature [1]. Cet article a identifié des manques de connaissances sur les dimensions spatiales et temporelles de ces décisions. Dans [8], nous avons présenté les premiers résultats d'enquêtes, en focalisant sur la dimension spatiale, tandis que nous avons insisté sur la dimension temporelle dans [9]. Ces résultats ont ensuite donné lieu au modèle DYSPALLOC [17] (cf. Chapitre 4 de la thèse).

2) Le deuxième axe « **modélisation des paysages agricoles** » a été initié par une collaboration entre différents contributeurs du projet ANR [6]. Nous avons approfondi la

collaboration avec les collègues de Mirecourt afin de comparer des régularités stochastiques de paysage et des règles de décisions identifiées par enquêtes ([7] et [10]), à l'intersection avec l'axe 1. L'article [2] est présenté dans le chapitre 3 de la thèse.

3) Le troisième axe « **évolution des pratiques agricoles et de l'occupation du sol dans les paysages** » a constitué une transition entre le programme ANR ADD-Praiterre et le démarrage de la thèse. Nous avons cherché à analyser les stratégies d'adaptation des agriculteurs à un contexte de restriction d'irrigation, et les conséquences possibles sur les surfaces en herbe, à partir d'enquêtes en exploitations [13]. [16] traite de la même thématique mais en focalisant sur les éleveurs bovins laitiers. Une typologie de fonctionnement d'exploitations a donc été établie à partir de ces travaux, ce qui a également alimenté [9]. En parallèle, nous avons exploré des bases de données spatiales pour discuter des différents usages de l'herbe dans les exploitations agricoles [14]. Puis nous avons croisé la typologie précédemment établie avec des bases de données spatiales afin d'évaluer les conséquences des stratégies d'adaptation des agriculteurs aux restrictions d'irrigation sur l'évolution de l'occupation du sol, à l'échelle de l'exploitation (territoires discontinus) et des communes (territoires continus) [15].

4) Le quatrième axe « **territoires de polyculture-élevage** » constitue une sorte de toile de fond à l'ensemble des travaux, dans la mesure où la zone d'étude de la thèse était elle-même un territoire de polyculture-élevage. Des questionnements spécifiques à ces territoires (concernant notamment les complémentarités entre agriculture et élevage) ont été traités suite à mon stage de fin d'études en 2008 ([3] et [5]), et avec le collectif « polyculture-élevage » du département SAD de l'Inra [11], auquel j'ai contribué.

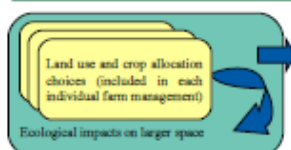
3) Extrait des productions scientifiques

MODELLING CROP ALLOCATION DECISION-MAKING PROCESSES TO SIMULATE DYNAMICS OF AGRICULTURAL LAND USES AT FARM AND LANDSCAPE LEVEL

J. Dury¹, N. Schaller^{2,6}, M. Akplogan³, C. Aubry^{2,6}, J.E. Bergez¹, F. Garcia³, A. Joannon⁴, B. Lacroix⁵, P. Martin^{2,6}, A. Reynaud¹, O. Thérond¹

¹ INRA, UMR 1248 Agir, F-31326 Castanet-Tolosan, France, ² INRA, UMR 1048 SADAPT, F-75005 Paris, France, ³ INRA, UR 875 BIA, F-31326 Castanet-Tolosan, France, ⁴ INRA, UR 980 SAD-Paysage, F-35042 Rennes, France, ⁵ ARVALIS Institut du végétal, F-31450 Bazège, France, ⁶ Agroparistech, UMR 1048 SADAPT, F-75005 Paris, France, ⁷ INRA, UMR 1081 LERNA, F-31000 Toulouse, France

Introduction



Need for dynamic and spatially explicit simulation model of crop allocations at farm and regional levels.

In the past, modelling crop allocation has been static and non-spatial.

→ Aim: investigate the decision-making processes in order to identify and represent the constraint network affecting crop allocation processes.



Figure 1: Location of study area

Methods

2 sets of farmer interviews in France (Fig. 1):

- 11 mixed crop-livestock farms in the "Niort Plain" region (blue).
- 30 arable farms scattered into Midi-Pyrénées, Poitou-Charentes and Centre (orange).

Inductive approach:

→ Analysis of particular on and off-farm constraints affecting crop and allocation choices for each farm.

Information synthesis and design of generic representations using the UML language.

Results and discussion

- Farmer's decisions to choose crops, define acreage and allocate them to land are strongly dependant on each other and can hardly be solved independently (Fig. 3 & 4).

- Farmers organize their farming territory into homogeneous land units (Fig. 3) in relation to their own production objectives (e.g. cash crop, forage for herd).

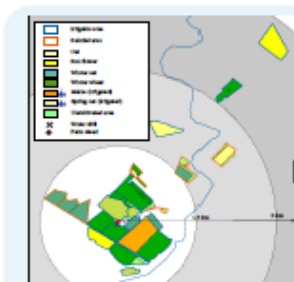


Figure 2: Example of farming territory and crop allocation in 2009

- The spatial organization implies annual and/or long term plot division strategies that appear to be dependant on the farm territory structure and the nature of production. The management units receive different crop successions or perennial crops: generating different and complementary crop management systems (Fig. 3).

- Scheduling the decision-making processes over time leading to the cropping plan (Fig. 4) are very different from farm to farm and strongly depends on farmer strategies, socio-economic context and available information. But the important decision-processes are shared between farms.

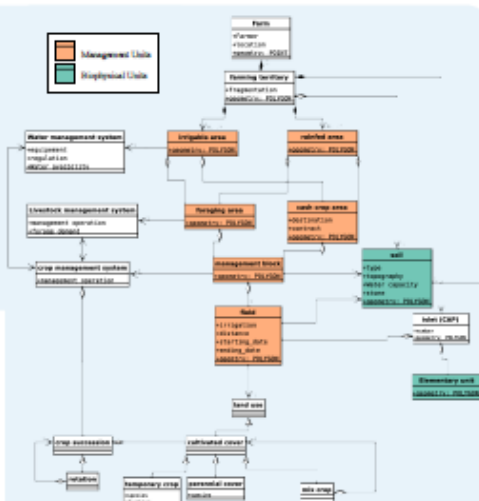


Figure 3: Analysis-level class diagram of the organization of the farming territory for the crop allocation



Figure 4: Spatio-temporal relationship between crop choices, acreage and allocation decisions. Decisions are all inserted into a strategic and tactical framework.

Conclusion

- Modelling crop allocation decision-making processes requires to explicit the interactions between a set of constraints from very different natures fitted into different time scale dynamics and integrated into various spatial entities within the farm territory.

- Farmers' decisions making involve anticipation, uncertainty and risk (e.g. price, climate and water resource available).



References: Aubry (1998), Sys Agraire Dev.
Garcia (2005) Proceeding MODSIM.

Contact:
Jérôme Dury
INRA - Unit Agir - 1248
BP 52 63122
F-31326 Castanet-Tolosan cedex
Phone: +33 (0)5 61 28 50 28
Fax: +33 (0)5 61 28 50 27
E-mail: jerome.dury@inra.fr

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT

INRA



Diversity of farmers' adaptation to a new context of irrigation restrictions: consequences on grassland area development

Martin, P., Schaller, N., Havet, A.

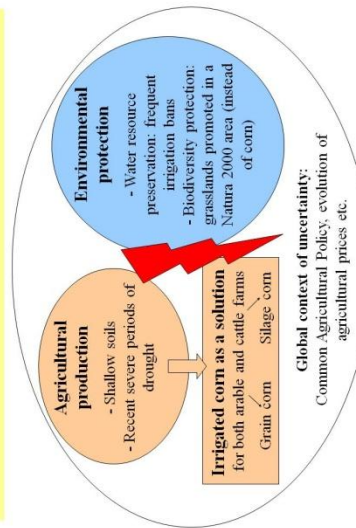
paris@agro-paris.fr

AgroParisTech, Inra, UMR 1048 SAD-APT, EGER, BP01, 78850 Thiverval-Grignon, France.



ANR

1. Context: the Niort plain, a region with major tensions between production and environment

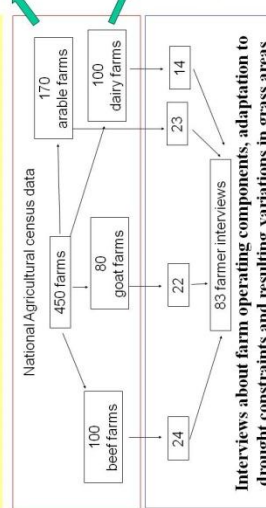


What farmer adaptations and what consequences on both sustainability of their farming systems and on the environment?

2. Goal: investigate the variability of farmers' adaptation to irrigation restrictions

An exploration of local farming systems diversity with two questions:
- What adaptation to drought and irrigation bans?
- What consequences on the extent of grassland areas?

3. Methods: farmer interviews covering the local diversity of farming systems



4. Results: farmers' adaptation to new conditions depends on soil resources and farming system

For arable farms: Results of farm adaptation to drought depend on corn status and farm size. Farms specialized in corn production invested in expensive artificial ponds filled in winter. These devices have no negative impact on water levels in rivers in summer. Farmers can use them with no restriction. As irrigation corresponds to a heavy workload, farmers use the CAP set-aside to limit their work constraints. Small and distant plots are managed with grass set-aside. Smaller arable farms can't finance such costly artificial ponds. They limit their irrigated areas and try to increase their income converting grass set-aside into biofuel set-aside.

For dairy farms: All dairy farms are very dependent on corn silage. Some of them used to grow larger corn areas than herds' needs. The extra production was sold as grain. The drought led dairy farmers to adapt their forage system. Farms with large deep soil areas just limited corn areas to herd needs and sometimes converted intercropping grass into temporary grass. Farms with shallow soils and irrigation also decided to limit corn irrigation and tried to develop new irrigated grass areas (less productive but also less sensitive to irrigation bans). Adaptation was not possible for dairy farms with shallow soils and no irrigated fields. These farms often had to buy forage.



Fig. 1: The Niort Plain: location and characteristics

The study focuses on arable and dairy farms (>50% of the farms in the Niort Plain)

Farm type	Adaptation to drought	Consequences for grass areas
Large arable farms (>250 ha UFA) based on irrigated corn grown for grain on shallow soils	• Development of artificial ponds filled in winter • Keep corn areas constant	No changes. Set-aside = smallest fields with permanent grass (work constraint limitation)
Small arable farms (<150 ha UFA) based on both irrigated and dry crops on shallow soils	• No access to the expensive artificial ponds system • Conversion of irrigated corn areas	Decrease. Grass set-aside converted into feed type dedicated to bio-fuel for income maximisation
Dairy farms with deep soil and partly irrigated corn	• Dry corn silage only (strictly limited to herd needs, no corn grain) • Grassland areas unchanged	No changes to small increase (when farmers replaced intercropping grass areas by temporary grasslands)
Dairy farms with shallow soils and irrigated corn	• Drop in irrigated corn silage • Conversion of irrigated corn	Increase in irrigated grassland areas (conversion of irrigated corn)
Dairy farms with shallow soils and no irrigation	• No changes • More silage corn than herd needs is cultivated	No changes

Legend: ■ decrease in grass area ■ no changes in grass area ■ increase in grass area

Fig. 2: Farm type, adaptation to drought and consequences for grass areas (83 interviews)

5. Discussion: present and future variation in grass areas...?

• For **arable farms**, adaptation to drought led to no change in grass areas (large farms) or slight decrease (small farms). For **dairy farms**, adaptation led to no change (dairy farms with shallow soils) to slight increase (shallow soils with irrigation)

• 2007-2008 "Increase in the agricultural prices and no more drought periods": Most of the dairy farmers switched back to their previous forage system based on corn silage. Some of them have kept some new grass areas to limit feed purchasing.

• 2008-2009 "End of the set aside system + milk price decrease by 30%": new decrease in grass areas?

Need for an accurate knowledge about the way farmers are building and adapting their cropping plans... work in progress!



Mapping farmers' diversity of grassland management for biodiversity preservation at the regional scale

Schaller, N*, Martin, P., Aubry, C.

AgroParisTech, Inra, UMR 1048 SAD-APT, EGER, BP01, 78850 Thiverval-Grignon, France. *presenting author: noemie.schaller@grignon.inra.fr

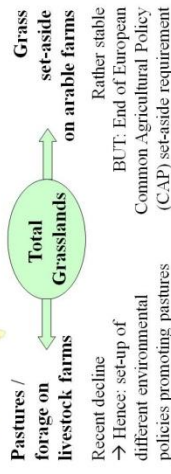


1. Context: a crucial area for biodiversity and agricultural dynamics



The French region « Niort plain »
(with protected area Natura 2000):

- Decline in breeding activities and thus in pastures (specialization in cash crops)
- Decline in patrimonial bird populations due to a reduction in total grasslands

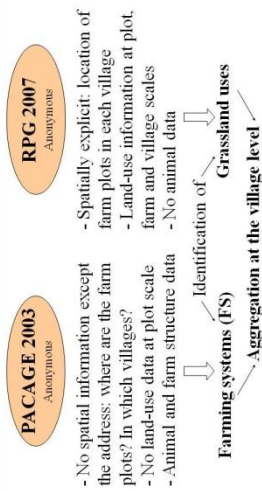


Which consequences on overall grasslands at the regional scale ?

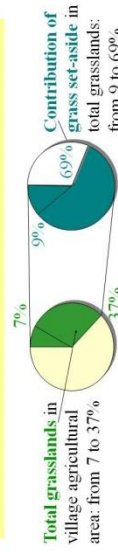
2. Goal: investigate the potential contrasted effects of environmental policies on grass

- Map the diversity of farm grassland uses at the regional scale of the « Niort Plain » and in particular the contribution of grass set-aside in total village grasslands
- Connect grassland uses and farming systems determining these uses
- Which differences from one village to another ?

3. Methods: exploration of complementary CAP data-bases for mapping grassland uses



4. Identification of contrasted zones of grassland management related to farming systems



Confirmation of two intuitive trends:

- **Most grasslands are pastures or forage on livestock farms** in breeding zones (map 1) → lots of grass but few grass set-aside (map 2)
Example: village A - dairy cattle farms or B - beef cattle farms (map 3)
- **In zones with few grass, there is a high contribution of grass set-aside to total grasslands** (map 2) → related to the former CAP obligation
Example: village C with a high proportion of grass set-aside in various FS
- Some interesting particular cases that have to be accounted for!
- Case with a **high contribution of set-aside in a high total of grasslands** (maps 1 & 2). Example: village D with different FS and not only arable farms (map 3)
- Case where **arable farms contribute the most to a medium total of village grasslands** (map 3). Example: village E with a medium contribution of grass set-aside to a medium total grass

5. Conclusion about the extent of grasslands and biodiversity preservation at the regional level

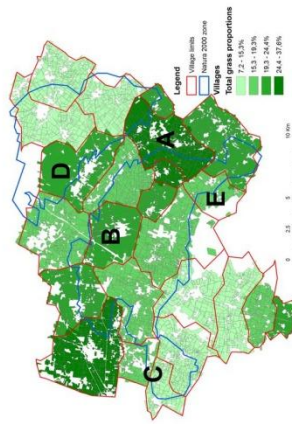
- **Different grassland uses at farm scale** (mostly pastures and forage on mixed crop-livestock farms but also set-aside on most farms) and **heterogeneous repartition of FS at the regional level** are the main drivers of the extent of grasslands and contribute to explain their high spatial variability.

→ **Contrasted effects of different environmental measures from one village to another**

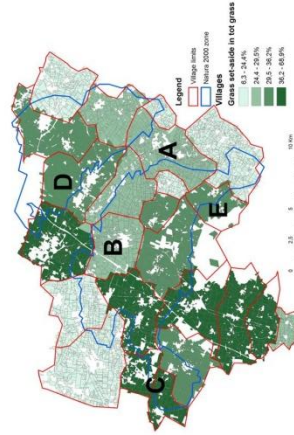
End of set-aside obligation could cause a significant drop in grass set-aside (not only on arable farms!) and in total grasslands, especially in villages like C, D, E → jeopardize patrimonial birds inside Natura 2000 zone

Measures promoting pastures...
BUT current French milk crisis → uncertainty about future extent of pastures, but potentially collapsing grass areas especially in villages like A

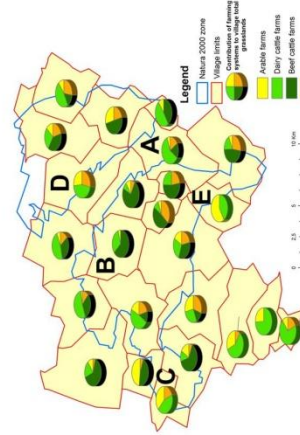
• Present study with data-bases = first regional characterization → Need for farmer interviews about their crop and grass management strategies



Map1: Proportion of total grasslands per village - RPG



Map2: Contribution of grass set-aside to total village grasslands - RPG

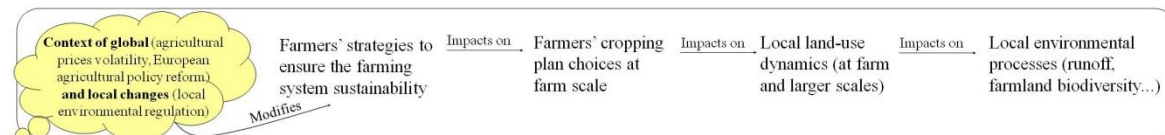


Map3: Contribution of FS to village total grasslands - PACAGE

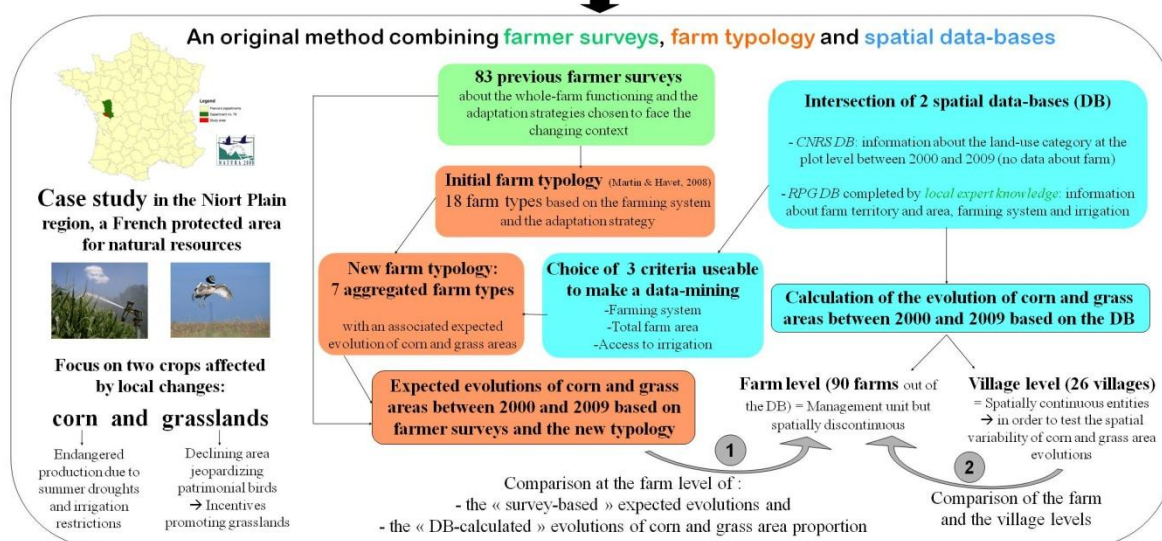
Diversity of farmers' adaptation strategies in a context of changes and consequences on land-use dynamics: a methodological approach



N. Schaller*, C. Aubry, A. Havet, P. Martin
AgroParisTech & Inra, UMR 1048 SAD-APT, F-78850 Thiverval-Grignon, France. *noemie.schaller@grignon.inra.fr



Goal: develop a method for analyzing farmers' adaptation strategies to a context of changes and the consequences on local land-use dynamics (evolution of crop acreages over time at farm and larger scales)



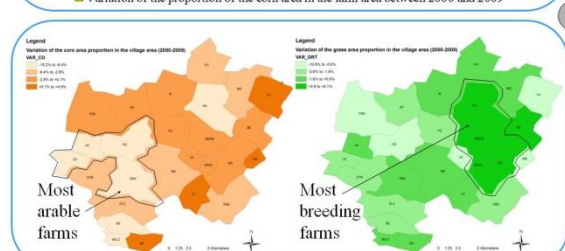
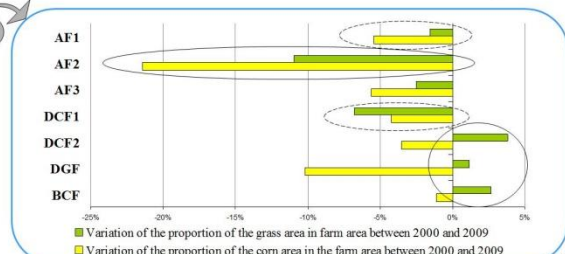
RESULTS AND DISCUSSION

7 aggregated types of farm used to mine the two complementary DB	Expected consequences on corn and grassland area evolution at the farm level
AF1: Arable Farms with irrigation; >180ha	No change in corn & grass area
AF2: Arable Farms with irrigation; <150ha	Strong reduction in corn & grass area
AF3: Arable Farms with no irrigation	Reduction in corn and grass areas
DCF1: Dairy Cattle Farms, no irrigation	Uncertain ?
DCF2: Dairy Cattle Farms with irrigation	Reduction in corn area, Increase in grass area
DGF: Dairy Goat Farms	Uncertain for corn, Increase in grass area
BCF: Beef Cattle Farms	Reduction in corn area, Increase in grass area

1 As expected, the grass area seems to rise on breeding farms (while it decreases on arable farms) and the strongest drop in corn and grass areas occurs on AF2 farms → consistent with the strategies identified through farmer surveys: development of grasslands to secure the fodder production (grass less compromised by drought than corn) and reduced irrigated corn area combined with a replacement of grass set-aside by bio-fuel crops

The criteria used to mine the DB were not sufficient to predict the decrease in corn and grass areas on AF1 and DCF1 farms: we missed the criteria « soil type » and « type of irrigation device » (no data about these criteria our the DB) to distinguish different strategies identified through surveys ("deep soils" vs. "shallow soils"; "artificial ponds" vs. "traditional drillings")

CONCLUSION Our results show a diversity of farmers' adaptation strategies to this context of local changes, which can lead to contrasted evolutions of corn and grass areas at both the farm and the village levels. Our method gives the possibility to explain the statistical evolutions of crop areas and to bring a more valuable meaning to regional agricultural statistics commonly used to build specific environmental policies.



2 → Variability, between villages, in the evolution of corn and grass area proportion in the village area. These evolutions could partly be explained by the major farm type in the village (strongest grass area decline in villages where most breeding farms; strongest corn area decline in villages where most arable farms...). However, further research would be necessary to calculate the area contribution of each farm type to the village area...

REFERENCE: Martin, P., Havet, A. (2008). "Vers une typologie d'exploitations spatialisée dans la zone Préalpes". Document de travail INRA du programme AHR/ADG-Problèmes 2005-2008, 33p.

Quel avenir pour l'herbe dans les élevages bovins laitiers en régions de polyculture élevage ?

Plaine de Niort et Pays de Caux à la fin des années 2000

HAVET A. (1), FAURE J. (2), MARTIN P. (1), MATHIEU A. (1), REMY B. (1), SCHALLER N. (1)
(1) UMR 1048 SAD APT, INRA, AgroParisTech, 78850 Thiverval-Grignon (2) UMR 1079 SENAH, INRA, Agrocampus Ouest, 35590 Saint Gilles



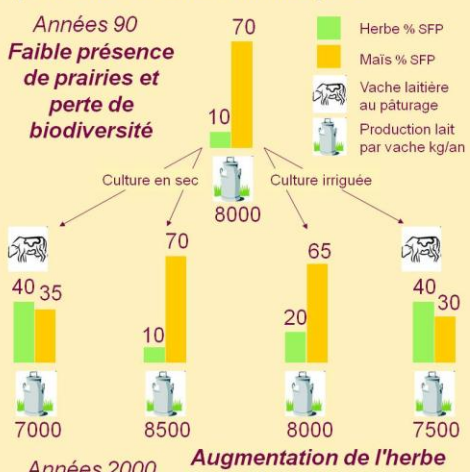
INTRODUCTION

Les systèmes d'élevage bovin laitier "maïs + soja" entraînent :

- une dégradation des paramètres environnementaux (perte de biodiversité, ruissellement)
- une dépendance alimentaire par rapport au contexte international (sensibilité aux variations de prix).

A l'inverse, les systèmes incluant des prairies ont un intérêt environnemental et apportent davantage d'autonomie alimentaire.

Ces systèmes avec prairies sont-ils viables économiquement et comment sont-ils perçus par les éleveurs ?

Plaine de Niort	METHODES / RESULTATS	Pays de Caux										
Analyse du fonctionnement des exploitations (Capillon, 1993) et diversité des évolutions en réponse aux variations climatiques Années 90 Faible présence de prairies et perte de biodiversité Années 2000 Augmentation de l'herbe favorable à la biodiversité  Herbe % SFP Maïs % SFP Vache laitière au pâturage Production lait par vache kg/an Culture en sec Culture irriguée	Transformation des systèmes laitiers  Transformation des systèmes laitiers	Fonctionnement (Capillon, 1993) et comparaison de systèmes existant <table><tr><th>Occupation du sol</th><th>Alimentation</th></tr><tr><td>Maïs</td><td>Ensilage toute l'année ➔ Sécurité</td></tr><tr><td>Prairie permanente</td><td>Pâturage ➔ Complément à faible coût</td></tr><tr><td>Diminution de la surface en maïs</td><td>Plus faible contribution du maïs ensilage à la ration</td></tr><tr><td>Introduction des prairies semées en rotation à proximité des bâtiments ➔ Diminution du ruissellement</td><td>Allongement de la durée du pâturage des vaches ➔ Dépendance alimentaire moindre (notamment protéique)</td></tr></table> Système dominant Système alternatif	Occupation du sol	Alimentation	Maïs	Ensilage toute l'année ➔ Sécurité	Prairie permanente	Pâturage ➔ Complément à faible coût	Diminution de la surface en maïs	Plus faible contribution du maïs ensilage à la ration	Introduction des prairies semées en rotation à proximité des bâtiments ➔ Diminution du ruissellement	Allongement de la durée du pâturage des vaches ➔ Dépendance alimentaire moindre (notamment protéique)
Occupation du sol	Alimentation											
Maïs	Ensilage toute l'année ➔ Sécurité											
Prairie permanente	Pâturage ➔ Complément à faible coût											
Diminution de la surface en maïs	Plus faible contribution du maïs ensilage à la ration											
Introduction des prairies semées en rotation à proximité des bâtiments ➔ Diminution du ruissellement	Allongement de la durée du pâturage des vaches ➔ Dépendance alimentaire moindre (notamment protéique)											
Evaluation d'une augmentation des prairies par calcul de budgets partiels dans 3 exploitations (Changements quantifiés d'après les dires d'éleveurs) Hypothèse : Production stable de lait par vache. Augmentation des prairies : + 6 à 9 % SAU (au détriment des cultures de vente). Pâturage : + 4,5 mois / an (sans fermeture du silo). Marge globale : + 2500 à 11000 € soit + 6 à 20 € / 1000 L lait, selon les projets des éleveurs sur l'alimentation en concentrés.	Evaluation économique	Simulation du budget résultant d'une augmentation des cultures fourragères dans une exploitation (Logiciel Olympe © INRA) Hypothèse : Production stable de lait par vache. Innovation : ray-grass de 18 mois + féverole introduits dans la rotation (au détriment des cultures de vente très rémunératrices). Pâturage : + un mois / an. Marge globale : + 1100 € soit + 2.4 € / 1000 L lait. Marge atelier lait : + 12 € / 1000 L lait.										
Conceptions des éleveurs à partir d'analyse de discours (Darré, 2004) Difficulté de maîtrise du pâturage : faible transmission entre générations ; ration moins riche et moins régulière que l'ensilage de maïs. Besoin de conseil pour ajuster la complémentation fourragère au pâturage.	Conceptions et avis d'éleveurs sur l'herbe 	Avis recueillis à partir d'un questionnaire ouvert Difficulté de maîtrise du pâturage : ration moins riche et moins régulière que l'ensilage de maïs. Besoin de conseil sur l'effet favorable de l'herbe pour les cultures en rotation.										

CONCLUSION

Les systèmes bovins laitiers incluant des prairies offrent une alternative au maïs ensilage en Plaine de Niort et en Pays de Caux. Ils sont économiquement viables. Un conseil sur la maîtrise du pâturage et l'intégration des prairies dans les systèmes de culture serait à développer dans les deux régions.

Photos INRA

Modelling farmers' decisions of splitting agricultural plots at different time scales: a contribution for modelling landscape spatial configuration

Schaller, N.^{1,2}, Aubry, C.^{2,1}, Martin, P.^{1,2}

¹ AgroParisTech, UMR 1048 SAD-APT, F-78850 Thiverval-Grignon, France

² INRA, UMR 1048 SAD-APT, F-78850 Thiverval-Grignon, France

The spatial organization of agricultural landscapes and their dynamics over time result mostly from individual farmer decisions made in different farming territories. These decisions deal with choices in annual crops, crop allocation to land and agricultural plot splitting.

Using landscape modelling may be useful to test hypotheses of landscape spatial organization and dynamics and subsequent effects on biodiversity, soil erosion etc. Still, most modelling approaches focus on changing the landscape attributes (which land-use in which patch) rather than on modifying the shape or the spatial arrangements of the landscape elements (Gaucherel and Houet, 2009). In order to model the dynamic of agricultural landscape configuration, one needs to understand the determinants of plots' spatial arrangement, which is mostly decided by farmers.

The aim of this study is to model farmers' decisions to show how they contribute to explaining the landscape spatial organization and its dynamics over different time scales.

Methodology

Our aim was to analyze and propose a conceptual model of a diversity of farmers' decision-making processes dealing with agricultural plot splitting in relation with their cropping plan choices. We carried out the study on the Niort Plain (France), a region where farming practices are at stake because of a local plan for patrimonial fauna preservation.

To represent farmers' decisions, we used a decision rule modelling approach following the concept of "model for action" (Aubry et al., 1998): decisions are represented through a generic frame including descriptive variables, rules and their internal or external determinants (Navarrete and Le Bail, 2007). The necessary data for such a model of farmers' decisions requires specific on-farm surveys (Merot et al., 2008).

We chose a sample of 12 farms that we visited twice in 2009 in order to go into detail in the determinants and the different time scales of farmers' decisions. The farms were chosen so as to account for the regional diversity in farming systems (FS) i.e. arable and breeding farms and in farming territories spatial structure (gradient of scattering). We indeed hypothesize that these two criteria spark off the diversity in farmers' decisions.

The first survey (May 2009, end of the sowing period for harvesting in 2009) aimed at analyzing the spatial organization of each farm crop production in relation with the whole-farm functioning and the spatial structure of the farming territory. It focused more precisely on the cropping plan for 2010 and the associated plot splitting choices. The second survey (November 2009, beginning of the sowing period for harvesting in 2010) aimed at confirming each farmer's cropping plan and associated plot splitting decisions and descriptive variables of decisions. Both surveys were semi-structured and aimed at encouraging the farmer to explain how he allocated the crops to land and split his farming territory into plots and to specify the reasons of his choices over different time scales.

Results and discussions

Results show that farmers' decisions dealing with plot splitting are made at 3 time scales. Each time scale is characterized by a different combination of descriptive variables of the decisions. As we hypothesized, these variables are mostly determined by either the FS, or

the farming territory spatial structure or both. We distinguished long term (more than 5 years), mid-term (2 to 5 years) and annual decisions dealing with plot splitting, hereafter simply called "decisions".

Long term decisions concern stable plots. The boundaries of such plots remain unchanged over time but the crops grown in these plots can be either permanent, such as corn monoculture or permanent grass, or included in a crop rotation. The descriptive variables of long term decisions are: the presence of permanent physical delimitation in the farming territory (paths, hedges, ditches, fences etc.) and the suitable cultivation area (SCA) for permanent crops. The latter is generally determined by the type of soils available in the farming territory. The SCA for permanent grass is moreover determined by the FS, the plot area (e.g. no permanent grass if the plot area exceeds 3 ha on most farms), the plot shape (e.g. permanent grass preferably on non rectangular plots) and the distance between plots or between a plot and the farmstead.

Mid-term decisions concern plots grown with crops lasting several years (typically temporary grasslands like rye-grass, alfalfa etc.). The associated descriptive variables of decisions are: the SCA for temporary grasslands and the farmer's crop hierarchy. The SCA is determined by the soil characteristics, the plot area, the scattering of the farming territory and the type of grassland valorisation (pasture vs. hay; consumption by productive herd vs. young animals). The crop hierarchy is mostly determined by the FS, farm resources, farmer's objectives and the role of grasslands in the herd alimentation strategy. For example, it appears that most breeders aiming at producing sufficient forage for the herd do not split plots in scattered farming territories, while they split plots of more than 10 ha in compact farming territories. In this case, they may divide a portion of plot every year so as to gradually implant grasslands and get grass of different ages at every moment.

Annual decisions concern plots grown with annual crops in rotations. Their descriptive variables are: the crop hierarchy and the farmer's desired proportion of priority vs. non priority crops. Our surveys show that farmers split plots for a one-year period whenever the proportion of a priority crop becomes lower than the minimum desired (or higher than the maximum for a non priority crop) and that he often merges the divided plots the following year. Plot divisions appear to occur lengthwise and in the largest plots of the farming territory.

Conclusion

Results of surveys confirm that the spatial arrangement of agricultural plots changes over time due to farmers' decisions of splitting their farming territory into plots lasting for different time scales. These decisions can be explained by diverse combinations of descriptive variables partly determined by farm management and spatial structure of the farming territory. Our conceptual modelling framework using descriptive variables and determinants of farmers' decisions could be useful in accounting for spatial configuration changes in landscape simulation models. One perspective of this study is to implement the descriptive variables of our conceptual model in the LandSFACTS software (Castellazzi et al., 2007).

References

- Aubry, C., Papy, F., et al. (1998). Modelling decision-making processes for annual crop management. *Agric. Syst.* 56(1): 45-65.
- Castellazzi, M. S., Matthews, J., et al. (2007). LandSFACTS: Software for spatio-temporal allocation of crops to fields. Proceedings of 5th Annual Conference of the European Federation of IT in Agriculture Glasgow, UK.
- Gaucheral, C., Houet, T. (2009). Preface to the selected papers on spatially explicit landscape modelling: current practices and challenges. *Ecological Modelling* 220: 3477-3480.
- Merot, A., Bergaz, J.E., et al. (2008). Analysing farming practices to develop a numerical, operational model of farmers' decision-making processes: An irrigated hay cropping system in France. *Agric. Syst.* 98(2): 108-118.
- Navarrete, M. and M. L. Bail (2007). "SALADPLAN: a model of the decision-making process in lettuce and endive cropping." *Agronomy for Sustainable Development* 27(3): 209-221.

Modelling regional land use: articulating the farm and the regional levels by combining farmers' decision rules and regional stochastic regularities

Schaller, N.^{1,2}, Lazrak, E.G.³, Martin, P.^{1,2}, Mari, J.F.⁴, Aubry, C.^{2,1}, Benoît, M.³

¹ AgroParisTech, UMR 1048 SAD-APT, F-78850 Thiverval-Grignon, France

² INRA, UMR 1048 SAD-APT, F-78850 Thiverval-Grignon, France

³ INRA, UR 055 SAD ASTER, F-88500 Mirecourt, France

⁴ LORIA, UMR CNRS 7503 INRIA-Grand-Est, B.P. 239, F-54506 Vandœuvre-lès-Nancy, France

The spatial organization of agricultural landscapes impacts many major ecological processes such as biodiversity, soil erosion or water pollution. In order to favourably orientate these processes, it is necessary to understand how landscapes are spatially organized and to identify the driving forces sparking off this organization. The spatial organization mostly results from individual farmer decisions made in different farming territories and dealing with annual crop choices and allocation to land. Even if individual, some of these decisions can be generic and result in spatiotemporal regularities that can be identified at the landscape level. Identifying the determinants of individual decisions impacting the spatiotemporal landscape regularities and organization is a key step for helping in designing environmental policies.

This paper proposes a coupled analysis of (1) farmers' decisions driving the spatiotemporal organization of their farming territory and (2) stochastic spatiotemporal regularities at the landscape level. These two approaches have been commonly used by agronomists, but so far in separate ways. This paper aims at combining them for modelling regional land-uses.

Methodology

On the basis of the Niort plain region (France) example, we propose to identify the main characteristics of the two approaches and to build links between them.

(1) The identification of farmers' decision logics requires specific on-farm surveys and a representation of decisions through a generic framework including decisional variables, rules and their internal or external determinants. For allocating crops to land at farm level, such descriptive variables have been identified as: suitable cultivation area (SCA) for each crop (all suitable plots for the considered species), crop return time (acceptable time to replant the same crop on the same plot) or preceding-following crop pairs (acceptable temporal crop sequences) (Navarrette and le Bail, 2007). Rotational principles may then be expressed for each farm and tested with the farmer. These on-farm understandings of land allocation and rotational principles are now considered as the determinants of regional patterns detectable by statistic methods (Castellazzi et al, 2007; Mignolet et al, 2007). We applied this method to describe farmers' decisional variables and their determinants dealing with the management strategies of alfalfa production and irrigated corn in the Niort plain.

(2) Stochastic modelling for data mining is a convenient way of building statistical and probabilistic models capturing spatiotemporal data variability. These models try to fit the observations – land use (LU) or temporal LU successions – made at the regional scale according to some streamlined assumptions. The Markov chain assumption assumes that the distribution of LU at time t – the blocking plan – depends on the previous observed blocking plans. The Markov random field assumption assumes that the probability of observing a particular LU at a given place depends only on the neighbouring LU. We used this modelling framework to cluster the landscape of the Niort plain into patches with well-characterized distributions of LU or LU successions (Lazrak et al., 2010) and to mine their time-spatial relationships. Once we had identified landscape spatiotemporal regularities in the Niort plain, we compared them with farmers' decisions identified with on-farm surveys and assessed the coherence of the combined results.

Results and discussions

Results of farmers' surveys showed two management strategies for alfalfa. On arable farms, alfalfa when cultivated only represents a diversification crop. Its SCA is thus restricted to a few plots stable over time and with alfalfa of the same age. On the contrary, on dairy farms, alfalfa is cultivated for auto-consumed fodder production. Considering that alfalfa yield depends on its age, breeders want to have alfalfa plots of each age to stabilize the annual fodder production. The SCA is thus larger: alfalfa of different ages is included in commercial crop sequences either on several plots in a scattered farm territory, or in a patch made of contiguous plots in a compact farm territory.

The stochastic clustering of the Niort Plain landscape exhibits a class of patches characterized by frequent items where alfalfa of different ages appears in the spatial and temporal vicinity of alfalfa and other arable crops (e.g. wheat, corn, barley). This preliminary result suggests that the above described breeders' decision rule is likely to prevail over this class. Further data mining and/or GIS investigations on this specific class would be required to more precisely characterize the regional extent of this rule.

The second example illustrates how a regional statistical regularity can make sense when combined with on-farm survey results. The data mining of LU evolution in neighbouring locations over the 1996-2007 period shows that corn became less frequently close to sunflower, rapeseed and forests while it became frequently closer to grasslands. In parallel, the total corn area decreased while the grasslands area slightly rose over this period.

These regional regularities are consistent with the results of farmers' decisions dealing with corn management in a local context of increasing irrigation bans (Martin et al., 2009). Farmers' adaptation strategies to this changing context partly depend on their farming system and access to deep soils. When they have access to deep soils on their farm territory, the SCA for corn consists of these soils: corn is grown as a monoculture and in the vicinity of grasslands traditionally located in deep and humid soils. When farmers have no access to deep soils, their crop choices mostly depend on the farming system, the annual fodder needs and the irrigation capacity (modulated by a risk of restriction). Thus, corn tends to decrease on arable farms where it is not a priority crop, while it is mainly maintained on breeding farms with access to irrigation. In parallel, since irrigated corn production is increasingly risky, breeders tend to extend grasslands to complement fodder production. This decision is consistent with the fact that corn is statistically becoming closer to grasslands: it is mostly maintained on breeding farms with significant grassland areas on their farm territory.

As a conclusion, this methodological work shows that these two approaches aid one another: stochastic regularity modelling in the appropriate areas at the regional scale reveals and validates some generic farmers' decisions identified first by on-farm surveys. Conversely, a diversity of farmers' decisions can explain *a posteriori* some regular landscape patterns and/or its evolution over time. Linking the two methods gives thus the possibility to assess the coherence of the combined results, to decrease time spent for collecting data about regional LU drivers and to bring a more valuable meaning to the regional regularities by introducing elements of causality.

References

- Castellazzi, M.S., Perry, J.N., Colbach, N., *et al.* (2007). "New measures and tests of temporal and spatial pattern of crops in agricultural landscapes." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 118(1-4): 339-349.
- Lazrak, E.G., Mari, J.F., Benoit, M. (2010). "Landscape regularity modelling for environmental challenges in agriculture." *Landscape ecology*, 25: 169-183.
- Martin, P., Schaller, N., Hayet, A. (2009). Diversity of farmers' adaptations to a new context of irrigation restrictions: consequences on grassland area development. FSD, CA.
- Mignolet, C. *et al.* (2007). "Spatial dynamics of farming practices in the Seine basin: Methods for agronomic approaches on a regional scale." *Science of the Total Environment*, 375(1-3):13-32.
- Navarrete, M. and M.L. Bail (2007). "SALADPLAN: a model of the decision-making process in lettuce and endive cropping." *Agron. Sust. Dev.* 27(3): 209-221.

Adaptation des exploitations laitières aux aléas climatiques et économiques à différents pas de temps. Cas de la plaine de Niort et du Pays de Caux.

Alain Havet, UMR 1 048 Sad APT Inra AgroParisTech, 78850 Thiverval-Grignon, France
Justine Faure, UMR 1 079 Senah Inra Agrocampus Ouest, 35590 Saint-Gilles, France
Philippe Martin, UMR 1 048 Sad APT Inra AgroParisTech, 78850 Thiverval-Grignon, France
Anne Mathieu, UMR 1 048 Sad APT Inra AgroParisTech, 78850 Thiverval-Grignon, France
Brigitte Remy, UMR 1 048 Sad APT Inra AgroParisTech, 78850 Thiverval-Grignon, France
Noémie Schaller, UMR 1 048 Sad APT Inra AgroParisTech, 78850 Thiverval-Grignon, France

Résumé : Les évolutions climatiques, économiques et réglementaires sont des facteurs d'incertitude pour les agriculteurs qui doivent adapter leur système de production. Nous avons étudié les évolutions dans des exploitations d'élevage laitier de deux petites régions agricoles où les prairies ont un intérêt environnemental : la plaine de Niort, où la sécheresse fréquente en été génère des pénuries d'eau et positionne les prairies comme une alternative au maïs irrigué, et le Pays de Caux où les prairies permettent de limiter les risques de coulée boueuse. À partir de différentes méthodes d'enquête auprès des agriculteurs, nous recherchons d'abord leurs conceptions sur l'élevage, l'herbe, le pâturage. Puis, nous montrons les évolutions des systèmes fourragers dans les années 2000, entre maïs ensilage et prairies. Enfin, nous traitons des prises de décisions en cours de campagne, en fonction des aléas, pour garantir le stock fourrager nécessaire à la production du troupeau.

Mots-clés : aléa, décision, adaptation, conception, système laitier.

Introduction

Soumises à des aléas économiques et climatiques, les exploitations agricoles doivent continuellement s'adapter pour survivre (Dedieu *et al.*, 2008). Dans deux régions dans lesquelles les problématiques environnementales sont liées à un maintien ou une augmentation des prairies, nous avons étudié comment la présence ou l'augmentation de l'herbe dans les systèmes fourragers peut être un moyen d'adaptation dans des exploitations de polyculture-élevage laitier. Nous considérons à la fois que les systèmes de production peuvent être modifiés et qu'il y a des régulations à l'intérieur d'un système. Nous pensons aussi que les choix faits dépendent de la manière qu'ont les acteurs de concevoir le monde, de leur appréhension des incertitudes et de leur position sociale (Darnhofer *et al.*, 2008).

Nous avons donc abordé la question de plusieurs façons : 1) Quelles conceptions les éleveurs ont-ils de l'herbe, du pâturage des laitières et des exploitations qui utilisent beaucoup d'herbe, 2) Quelles sont les évolutions récentes des systèmes fourragers dans les exploitations laitières, 3) Quels ajustements peuvent être faits en cours de campagne dans un système fourrager avec beaucoup d'herbe ? Notre étude porte sur deux régions françaises où la place des prairies dans les systèmes fourragers est au cœur des questions de gestion des territoires : la plaine de Niort, au sein de laquelle l'accroissement visé de la présence de l'outarde canepetière suppose le maintien voire l'augmentation des surfaces en prairie ; le Pays de Caux, dans lequel des épisodes pluvieux violents ont entraîné des coulées de boue qui pourraient être diminuées par une plus forte implantation de prairies notamment en fond de vallon.

Régions d'étude et méthodologie

Caractéristiques pédoclimatiques et évolution des cultures

En plaine de Niort (42 000 ha), la pluviométrie, comprise entre 800 et 900 mm par an, est caractérisée par un fort déficit hydrique estival, entraînant des risques de pertes de rendement sur les cultures, en particulier lorsqu'implantées en sec dans des terres de groies argilo-calcaires séchantes ; l'irrigation devient indispensable pour la culture du maïs. Avec la mise en place de la Lema (loi sur l'eau et les milieux aquatiques de 2006), la gestion collective de la ressource en eau s'avère de plus en plus

DYSPALLOC, a model to simulate farmers' cropping plan decisions in their spatial and temporal dimensions



N. Schaller¹*, C. Aubry¹, H. Boussard², A. Joannon², M. Tichit¹, P. Martin¹
 1: AgroParisTech Inra, UMR 1048 SAD-APT, F-78850 Thiverval-Grignon, France; 2: Inra, UR 980 SAD Paysage, F-35042 Rennes, France.
 *noemie.schaller@grignon.inra.fr



1. CONTEXT AND GOAL

Farmers' cropping plan decisions

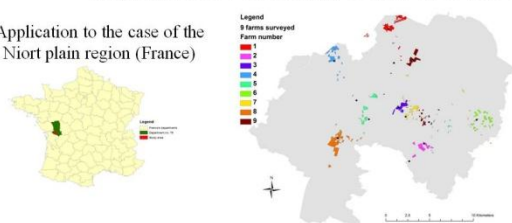
Consists in :
 - crop choices
 - choice of crop allocation to agricultural plots
 - defining the spatial boundaries of agricultural plots

Impacts on Spatial and temporal crop organization at farm and landscape scales
 Major environmental processes such as biodiversity, soil erosion, etc.

Aim: Modelling farmers' cropping plan decisions to simulate the spatial and temporal organization of crops at farm scale

2. METHODS : ON-FARM SURVEYS AND USE OF A GENERIC CONCEPTUAL FRAMEWORK

Application to the case of the
 Niort plain region (France)

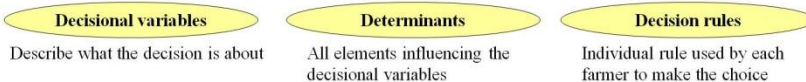


9 farms selected to account for the regional diversity in farming systems (arable vs. mixed crop livestock) and farm territory spatial structure (scattered or not)

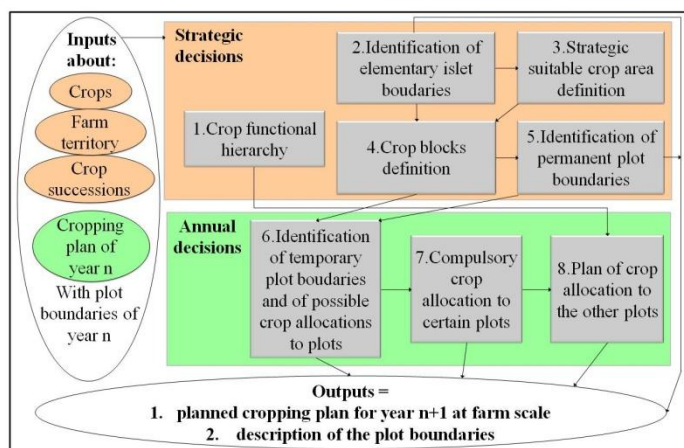
3 successive and detailed surveys in each farm (May, November 2009 and May 2010). Investigation of farmers' cropping plan choices (crop choices, crop allocation to land choices and definition of plot boundaries)

4 farms used to build the model and **5 farms** to evaluate the model

Farmers' decisions were described
 using a generic conceptual framework :



3. RESULTS : THE MODEL DYSPALLOC



DYSPALLOC is a conceptual model.

- It represents farmers' decisions when the farm is in an **agronomic coherence phase** (Chantre et al., 2010), i.e. the strategic decisions remain stable (crop choices, equipment, labor, etc.)

- It describes the **plot boundaries on the farm**, according to 3 types of plot boundaries

- It simulates a **planned cropping plan for year n+1** (based on the cropping plan of year n)

The planned cropping plan can then be **adjusted through a diversity of infra-annual decisions**, made by farmers in response to unexpected events (related to climate, market prices, technical operations, etc.). These infra-annual decisions give the possibility to explain the differences between the planned cropping plan and the final one. They are not yet simulated in DYSPALLOC though.

*A CAP islet is a continuous portion of farm land and can be divided into several types of plot



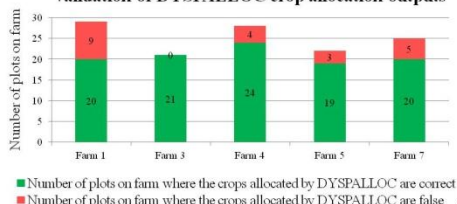
We defined 3 types of plot boundaries, inside the CAP islets*:

-**boundaries of elementary islets** are mainly due to soil type heterogeneity and water access differences. They are permanent boundaries and do not depend on farmers' cropping plan.

-**boundaries of permanent plots** are mainly due to the number and the area of plots in relation with the required crop areas. Permanent plot boundaries are defined when a plot is too large to ensure both crop successions and the stability of crop areas over time.

-**boundaries of temporary plots** are due to occasional adjustments of crop areas. They are temporary boundaries, since those plots can be merged again the next year.

Validation of DYSPALLOC crop allocation outputs



4. CONCLUSION

DYSPALLOC simulates **83% of correct crop allocation to plots at the farm scale**. DYSPALLOC is thus useful to simulate farmers' cropping plan decisions and the crop spatial organization at farm scale from one year to another. It could be used to examine farmers' leeway and flexibility in cropping plan choices, which would be useful for improving the spatial and temporal organization of crops at farm and landscape scales.

Annexe 2. Descriptif du projet ANR BioDivAgriM

Cette annexe décrit brièvement le projet ANR BioDivAgriM (ANR 07 BDIV 02), dans lequel s'insérait la thèse. Ce projet, d'une durée de 4 ans (janvier 2008-janvier 2012) et coordonné par Vincent Bretagnolle du CNRS de Chizé, s'intitule « **Conservation de la biodiversité dans les agroécosystèmes : une modélisation spatialement explicite des paysages** ». Ce projet s'appuie sur un réseau de sites d'étude faisant l'objet de dispositifs d'observation des agroécosystèmes à long terme : il s'agit des sites de Chizé (Zone Atelier Plaine et Val de Sèvre ; région Poitou-Charentes), de Pleine-Fougères (Zone Atelier ; région Bretagne) et des coteaux de Gascogne (région Midi-Pyrénées).

Nous présentons (1) les objectifs, (2) les équipes mobilisées et (3) les principales tâches du projet (workpackages, WP). Les paragraphes qui suivent sont tirés du formulaire de soumission du projet BioDivAgriM à l'ANR (mai 2007).

1) Objectifs du projet

Le projet ANR BioDivAgriM « vise à comprendre les conséquences des changements d'organisation spatiale des systèmes de culture au niveau parcellaire sur la biodiversité des agroécosystèmes aux niveaux local et territorial. Il s'agit de valider, tester et prévoir les conséquences de scénarios possibles d'évolution paysagère sur la dynamique et le maintien de la biodiversité des agroécosystèmes. Ce projet s'articule autour de quatre volets de recherche complémentaires et interdépendants dont les objectifs sont de :

- déterminer les traits de paysages favorables à la biodiversité aux niveaux des espèces et communautés ;
- analyser, à petite échelle spatiale et temporelle, les processus qui modèlent ces traits paysagers ;
- analyser ces mêmes processus à plus grande échelle ;
- et enfin modéliser la dynamique paysagère des agroécosystèmes selon les processus étudiés et les contraintes et besoins paysagers de la biodiversité. »

2) Equipes mobilisées

Le projet BioDivAgriM a mobilisé 10 équipes de recherche, décrites ci-dessous :

1. CEBC UPR 1934 (CNRS de Chizé), responsable Vincent Bretagnolle
2. SAD-Paysage (INRA Rennes), responsable Claudine Thenail
3. DYNAFOR UMR 1201 (INRA ENSAT Toulouse), responsable Annick Gibon
4. SAD-ASTER (INRA Mirecourt et LORIA Nancy), responsable Marc Benoît
5. UMR1114, Climat Sol et Environnement (INRA Avignon), responsable Martine Guérif
6. UMR SAD-APT 1048 (INRA Grignon – AgroParisTech), responsable Philippe Martin
7. UMR AMAP 5120 (Cirad INRA Montpellier), responsable Cédric Gauchere
8. UEFP & et UGAPF (INRA Lusignan), responsable Gilles Lemaire
9. UMR 6554 LETG (COSTEL) (Université Rennes 2), responsable Laurence Hubert-Moy
10. UMR 210 Economie Publique (INRA Grignon), responsable Florence Jacquet.

Il s'agit ainsi d'un projet pluridisciplinaire, avec les disciplines suivantes : agronomie, écologie, géographie, zootechnie, économie, géomatique, mathématiques, informatique et modélisation des paysages.

3) Tâches du projet

3.1) WP 1 : biodiversité et paysage (coordinateur Vincent Bretagnolle)

« Il s'agit d'établir des modèles statistiques liant la répartition spatiale et l'abondance d'espèces ou de groupes d'espèces cibles, à la distribution spatiale des ressources trophiques et d'habitats de reproduction dont ils ont besoin et qui sont fournis par les composantes des agroécosystèmes. Pour cela, nous utiliserons des espèces suivies dans les différents sites d'étude. Un résultat central de ce WP sera de déterminer à l'aide des modèles couplés (paysages ressources-consommateurs) les traits paysagers (distribution spatiale et connectivités des différents milieux) permettant d'assurer des seuils d'abondance locale des ressources trophiques et d'habitat nécessaires pour la persistance des espèces indicatrices ou patrimoniales. Cette démarche de modélisation sera conduite en liaison avec les approches développées dans les WP3 et WP4 de façon à pouvoir articuler des modèles d'évolution de dynamique paysagère avec des modèles de réponses de la biodiversité. »

3.2) WP2 : Facteurs et mécanismes d'organisation spatiale des systèmes de culture (coordinateur Marc Benoît)

« Ce WP vise à évaluer l'organisation spatio-temporelle des systèmes de culture à l'échelle du paysage, en lien avec les moteurs internes aux exploitations agricoles. Cette spatialisation des successions de cultures sera réalisée à partir d'images de télédétection satellitaires, RGA, données PAC, enquêtes en exploitations agricoles. »

« Le LORIA et l'INRA ont développé le logiciel CAROTTAGE, adapté à une modélisation stochastique temporelle qu'il faudra mettre en œuvre dans sa version spatiotemporelle. Il est utilisé pour: (i) fournir des indicateurs quantitatifs pour l'analyse de l'agriculture d'une région à partir d'une enquête sur ses successions de cultures; (ii) définir des régions comparables dans leur fonctionnement agricole et leur évolution; (iii) conforter les discours d'experts en apportant des indices objectifs d'évolution spatiotemporelle des systèmes de culture. Les travaux seront complétés par des études de terrain et de la modélisation à l'échelle du paysage et de l'exploitation, de l'évolution des modalités de configuration spatiale des exploitations et de gestion des systèmes de culture. Au-delà, ce WP vise à hiérarchiser les déterminants qui structurent les paysages selon l'appartenance à un système de production agricole dans l'affectation d'une successions de culture à une entité territoriale. Ces informations serviront au WP4. »

3.3) WP3 : Historique, dynamique et évolution du paysage agricole au cours des 50 dernières années (coordinatrices Martine Guérif et Laurence Hubert-Moy)

« Ce WP analysera les configurations à long terme et à l'échelle territoriale de l'évolution du parcellaire agricole des sites d'étude. Les paysages agricoles actuels sont le fruit d'une histoire qui s'est brusquement accélérée au cours des 40 dernières années sous l'influence, entre autres, de la PAC. Il est donc indispensable de calibrer et valider les modèles d'agencement parcellaire à établir dans le WP2, et de déterminer l'évolution des structures paysagères des sites d'étude pour concevoir des modèles prédictifs dans le WP4. Nous retracerons ces histoires paysagères en utilisant la télédétection, qui permet la prise en compte explicite de l'espace à l'échelle parcellaire sur des sites étendus. L'évolution des paysages agricoles sera étudiée selon deux échelles spatio-temporelles :

(1) sur la période 1950-aujourd'hui, à un pas de temps d'environ 10 ans, des séries de photographies aériennes seront utilisées afin de déterminer les conversions d'usage des sols et des milieux pérennes (surfaces boisées, prairies, landes, réseaux linéaires). L'agencement spatial, mais aussi les changements majeurs d'état de ces milieux feront l'objet d'une attention particulière. La fragmentation, la connectivité des éléments composant la trame paysagère ou la composition de différentes entités du paysage seront dérivées des séries d'images et de leur évolution analysée.

(2) Sur la période couvrant les deux dernières décennies, les changements concernant les cultures et les pratiques à l'échelle territoriale seront abordés à l'échelle de la variabilité interannuelle des cultures et des pratiques associées à ces cultures, et sera déterminée à partir d'une série de scènes satellitaires et de scènes acquises par des capteurs à très haute résolution spatiale. Les successions culturelles serviront à échantillonner et calibrer les modèles de successions du WP2. »

3.4) WP4 : Modélisation du paysage agricole (coordinateur Cédric Gaucherel)

« La modélisation des relations entre activités agricoles et structure et dynamique des paysages repose globalement sur deux approches complémentaires : l'une « ascendante » part de l'analyse fine des pratiques de gestion, des choix et stratégies économiques des agriculteurs et les agrège au niveau d'un territoire pour en tirer des patrons paysagers (« trajectoires de typologies » au sens des statisticiens). L'autre approche est « descendante », partant d'une analyse basée sur des outils mathématiques, de la dynamique des patrons paysagers et spatiaux et qui cherche, à partir de ces patrons, à inférer la dynamique des pratiques de gestion et des décisions des agriculteurs (« typologie de trajectoires »). La partie analytique de cette approche fait l'objet du WP2, sa modélisation sera réalisée dans ce WP4, en cherchant à produire une synthèse entre les règles de décisions et leurs conséquences spatiales (résultats de la démarche ascendante) et les patrons paysagers. Ces approches seront appliquées sur les trois sites, comparées et confrontées quant à leur réalisme, précision et capacité de généralisation, afin de proposer une stratégie de modélisation des relations dynamiques des activités / dynamiques des paysages. »

Annexe 3. Identification des types d'exploitations, sièges d'exploitations et bâtiments agricoles à partir d'entretiens auprès des élus locaux de la Plaine de Niort

Cette annexe décrit l'objectif, la démarche et les résultats obtenus d'une série d'entretiens menés auprès des élus des communes de la plaine de Niort en 2009. Cette « opération » a été menée en collaboration avec plusieurs techniciens de l'UMR SAD-APT et avec une ingénieure agronome recrutée en main d'œuvre occasionnelle (Justine Faure).

1) Objectifs de l'opération

1.1) Objectif principal : identification des sièges d'exploitations

Le but de cette opération était d'**identifier les sièges d'exploitations et les bâtiments agricoles** des exploitations présentes dans les 26 communes de la zone d'étude. Nous souhaitions connaître la localisation des différents types de bâtiments agricoles, pour comprendre leur rôle dans la structuration du territoire agricole. De nombreuses études ont en effet montré que l'organisation spatiale des cultures était fortement déterminée par celle des bâtiments (pour les cultures fourragères : Benoît, 1990 ; Marie et al., 2009 ; mais aussi en grandes cultures : Morlon et Benoît, 1990 ; Morlon et Trouche, 2005).

Nous visions d'obtenir l'exhaustivité de l'information, au moins pour les EA qui avaient l'intégralité de leur territoire d'EA dans la zone en 2007 (données RPG 2007 : 195 EA).

« Le siège d'exploitation est, par convention, le bâtiment principal de l'exploitation, à défaut de bâtiment agricole, la parcelle agricole la plus importante qui se trouve sur le territoire de la commune où est située la majeure partie des terres agricoles de l'exploitation. Ce n'est pas le domicile du chef d'exploitation, sauf si ce domicile se confond avec le bâtiment principal d'exploitation » (agreste.agriculture.gouv.fr).

Dans le cadre de notre étude, nous avons considéré que le siège d'une exploitation se situait là où se trouve le (ou les) bâtiment(s) fonctionnel(s) le(s) plus important(s) de l'exploitation. En fonction de l'orientation de production de l'EA, ce bâtiment peut être : un bâtiment de stockage de matériel, de fourrages, un bâtiment d'élevage ou une salle de traite, etc.

Ainsi, **pour identifier les sièges d'exploitations, nous avons fait l'inventaire des bâtiments agricoles** de la zone, en repérant pour chaque bâtiment : sa localisation, l'EA à laquelle il est rattaché, et sa fonction. Pour déterminer la fonction d'un bâtiment agricole, nous avons construit une classification des bâtiments, exposée à la Figure 1.

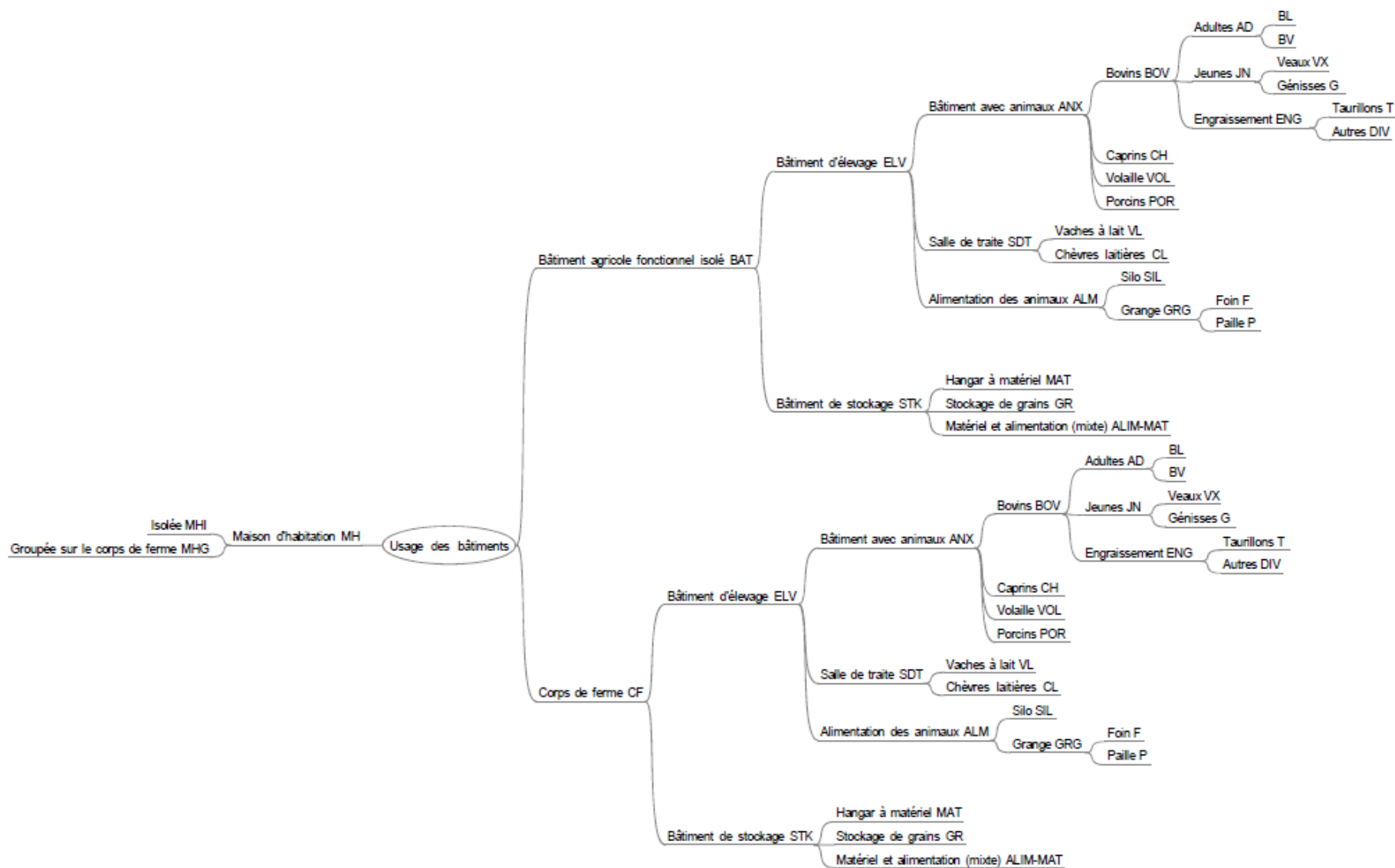


Figure 1 : Classification des bâtiments agricoles utilisée pour décrire la nature et la fonction des bâtiments inventoriés dans la plaine de Niort

Nous avons distingué des bâtiments d'élevage et des bâtiments de stockage, car notre hypothèse était que la localisation des bâtiments d'élevage détermine l'organisation spatiale des cultures fourragères (surfaces en herbe proches des salles de traite ; surfaces fauchées ou ensilées proches des bâtiments de stockage de fourrages, eux-mêmes proches des bâtiments d'élevage) ; et que la localisation des bâtiments de stockage de matériel détermine l'organisation spatiale des cultures de vente.

1.2) Objectif secondaire : identification des orientations de production des exploitations

En outre, le second objectif de l'opération était d'identifier l'orientation de production des EA (grandes cultures, élevage bovin laitier etc.), car cette information est difficilement disponible de manière spatialisée dans les bases de données (pas d'informations sur l'élevage dans le RPG ; pas d'informations spatiales dans le RGA, qui date en plus de 2000 ; etc.).

Ainsi, les résultats attendus de cette opération étaient doubles : pour les 26 communes de la plaine de Niort, nous souhaitions obtenir d'une part une couche SIG localisant tous les bâtiments agricoles et sièges d'exploitation identifiés, eux-mêmes reliés à un parcellaire d'EA du RPG 2007, et d'autre part une caractérisation des orientations de production des exploitations.

2) Démarche générale

2.1) Préparation des entretiens et des documents de travail

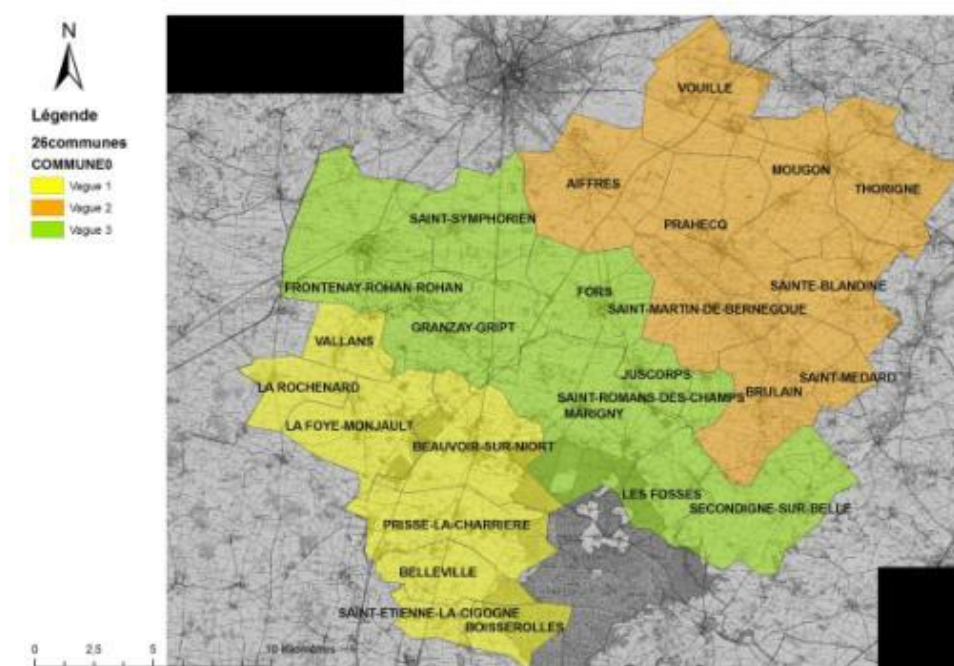


Figure 2 : Communes de la plaine de Niort ayant fait l'objet d'enquêtes communales (les communes de Prissé la Charrière, Vouillé et Thorigné n'ont pas été enquêtées)

Pour cette opération, nous avons conduit des entretiens dans 23 des 26 communes de la plaine de Niort (26 communes intersectées par la limite de la zone atelier « Plaine et Val de Sèvres », cf. Chapitre 2). Ces communes apparaissent à la Figure 2.

Nous avons contacté les mairies (par téléphone et par courrier, cf. Encadré) et sollicité un entretien avec la personne en charge des affaires agricoles. Dans les communes rurales, cet interlocuteur est le plus souvent un agriculteur (en activité ou en retraite). Ces entretiens ont été menés en trois vagues successives, comme présenté sur la Figure 2 (durée totale : environ trois semaines).

Encadré : courrier adressé aux mairies pour solliciter les entretiens

INRA Grignon, Unité SAD-APT
Bâtiment EGER, BP 01
78850 Thiverval-Grignon
01 30 81 55 95
noemie.schaller@grignon.inra.fr

Madame, Monsieur,

Dans le cadre de mon travail étudiant à l'INRA, nous effectuons une recherche sur le fonctionnement de l'agriculture locale dans la Plaine de Niort et les liens entre agriculture et environnement.

Nous cherchons à comprendre comment les agriculteurs organisent leurs territoires d'exploitations agricoles : quels sont par exemple leurs choix de cultures et de successions de cultures en fonction du contexte technico-économique. Ce contexte étant en pleine mutation (fluctuation des prix agricoles, sécheresses fréquentes et interdiction d'irriguer, réforme des politiques agro-environnementales), nous cherchons également à analyser comment les agriculteurs parviennent à s'adapter à ces changements.

Nous avons déjà réalisé plusieurs enquêtes auprès d'un échantillon d'agriculteurs de la région. Ces premières enquêtes ont mis en évidence le rôle de la localisation des bâtiments agricoles dans la répartition des cultures dans le territoire agricole (prairies près des salles de traite etc.). A ce stade, nous souhaiterions aller plus loin et comprendre comment s'organise le territoire à l'échelle de l'ensemble de la Plaine de Niort.

Notre statut d'organisme de recherche publique nous donne le droit d'utiliser les registres parcellaires graphiques qui fournissent de manière anonyme les parcellaires de l'ensemble des exploitations de la zone d'étude. Bien que d'une aide précieuse, les registres parcellaires graphiques n'indiquent pas la localisation des bâtiments agricoles. C'est cette information que nous souhaiterions compléter avec votre aide. L'idée pour nous est de maintenir l'anonymat des agriculteurs et d'éviter de les déranger une nouvelle fois car nous savons qu'ils sont très sollicités par ailleurs. D'autre part, afin d'agir en toute transparence, nous avons choisi de nous adresser directement aux mairies.

Serait-il possible de rencontrer prochainement un de vos élus, de préférence la personne responsable des affaires agricoles ou un élu agriculteur, afin d'obtenir des informations sur la nature et la localisation des sièges d'exploitations de votre commune ? Ce sont les techniciens INRA qui réaliseront les entretiens.

Nous vous remercions d'avance pour votre collaboration dans ce projet, qui sera assurément une aide précieuse pour la réussite de mon travail de thèse. Veuillez agréer, Madame, Monsieur, l'expression de nos sentiments les meilleurs.

Noémie SCHALLER

Avant les entretiens, nous avons préparé les documents suivants :

- La classification des bâtiments (Figure 1) ;
- Une carte IGN imprimée au 1:10000, sur laquelle on a superposé le RPG 2007 (cf. Figure 3). Nous l'appellerons carte IGN-RPG dans la suite. Chaque exploitation « à identifier prioritairement » était représentée par une couleur unique, les autres EA étant simplement figurées par la limite de leurs îlots PAC. Une exploitation « à identifier prioritairement » était une EA qui avait l'intégralité de sa SAU dans notre zone d'étude et qui avait plus de 2 îlots PAC dans la commune, ou une EA qui n'avait pas toute sa SAU dans notre zone d'étude mais qui avait plus de 8 îlots PAC dans la commune. Pour toutes les EA, nous avons fait apparaître l'identifiant anonyme du RPG sur chaque îlot PAC (année 2007). Nous avons construit au total 3 cartes pour les 3 vagues d'entretiens (les légendes de ces 3 cartes étaient indépendantes).

Pour chaque commune, nous avons également préparé :

- des transparents à superposer à la carte IGN-RPG, sur lesquels on localisait les bâtiments (en transparence par-dessus la carte IGN-RPG qui restait vierge) ;
- la liste des identifiants d'EA prioritaires ;
- des tableaux à remplir, de la forme suivante :

Commune de l'entretien:

Date de l'entretien:

N° feuille de notes: /

Commune du siège	num_batiment	num_PAE_ID	type_batiment	info_EA
	Code de la commune enquêtee_numéro			
Exemple : SRDC	SRDC_01	317452	CF_SDT	Exploitation laitière en GAEC

2.2) Déroulement des entretiens

Les entretiens duraient en moyenne **1h30 par commune** et se composaient de deux parties.

Dans la **première partie**, nous demandions à l' élu de la commune de nous donner des **informations générales sur l'agriculture de sa commune** (nombre d'exploitants, nombre d'EA ayant le siège dans la commune, caractérisation des EA présentes dans la commune, types de production, présence ou non d'irrigation, évolution du parcellaire agricole dans le passé, remembrement, etc.). Ces informations nous servaient pour le second objectif de l'opération.

Dans la **seconde partie**, la plus longue, nous demandions à la personne d'**identifier et de localiser, sur les transparents superposés à la carte IGN-RPG, tous les bâtiments agricoles fonctionnels** qu'il connaissait : dans sa commune, mais aussi dans la mesure du possible dans les communes aux alentours. Pour chaque bâtiment, nous lui demandions (1) impérativement de le rattacher à une EA décrite dans la première partie (il suffisait de

Ces entretiens ont été enregistrés : nous énoncions les numéros de bâtiment à haute voix en donnant également leur nature et l'EA à laquelle ils étaient rattachés. Tous ces entretiens ont été menés à deux personnes : l'une prenait des notes dans les tableaux montrés ci-dessus, l'autre posait les questions, relançait si besoin la personne interrogée et notait avec elle les bâtiments sur les transparents. Nous commençons toujours par les bâtiments que la personne connaissait le mieux, puis nous poursuivions avec ceux des EA pour lesquelles il manquait des informations. Ainsi, le remplissage du tableau se fait dans un sens décroissant de fiabilité de l'information.



...

2.3) Traitement des données recueillies

Les données générales sur l'agriculture de chaque commune ont été retranscrites dans des tableaux récapitulatifs (cf. section 3). Les données sur les bâtiments et sièges d'exploitation ont été saisies dans un fichier Excel, avec un onglet par commune. Les colonnes étaient les suivantes :

- commune_enquete : code de la commune enquêtée
- commune_siege : code de la commune du siège de l'EA
- num_bat_enquete : code du bâtiment = code commune enquêtée_numéro
- num_bat_final : code du bâtiment à utiliser dans le SIG (après recoupement des informations) = code de la commune dans lequel il est physiquement_numéro
- num_PAE_ID : identifiant de l'EA (même que RPG 2007)
- info_EA : texte sur les caractéristiques de l'EA
- code_bat : type de bâtiment (suivant la classification)
- info_bat : texte sur les caractéristiques du bâtiment
- prsce_siege : 0 ou 1 suivant si c'est un siège ou pas
- info_siege : texte sur les caractéristiques du siège d'EA
- puis nous avons ajouté une colonne par type de bâtiment, où l'on remplissait 1 si c'était ce type de bâtiment en question, et 0 sinon (BAT, CF, MH, MHI, MHG, ELV, STK, ANX, SDT, ALIM, MAT, GR, BOV, BOV_AD, BL, BV, BOV_JN, BOV_ENG, CH, VOL, POR, VL, CL, SIL, GRG, GRG_F, GRG_P).

Nous avons ensuite créé un fichier de points *shapefile* représentant ces bâtiments sous ArcGis: pour cela nous avons saisi manuellement les bâtiments localisés sur les transparents, et nous leur avons attribué l'identifiant « num_bat_final », afin de pouvoir joindre les informations contenues dans Excel.

3) Résultats obtenus

3.1) Panorama de l'agriculture de chaque commune

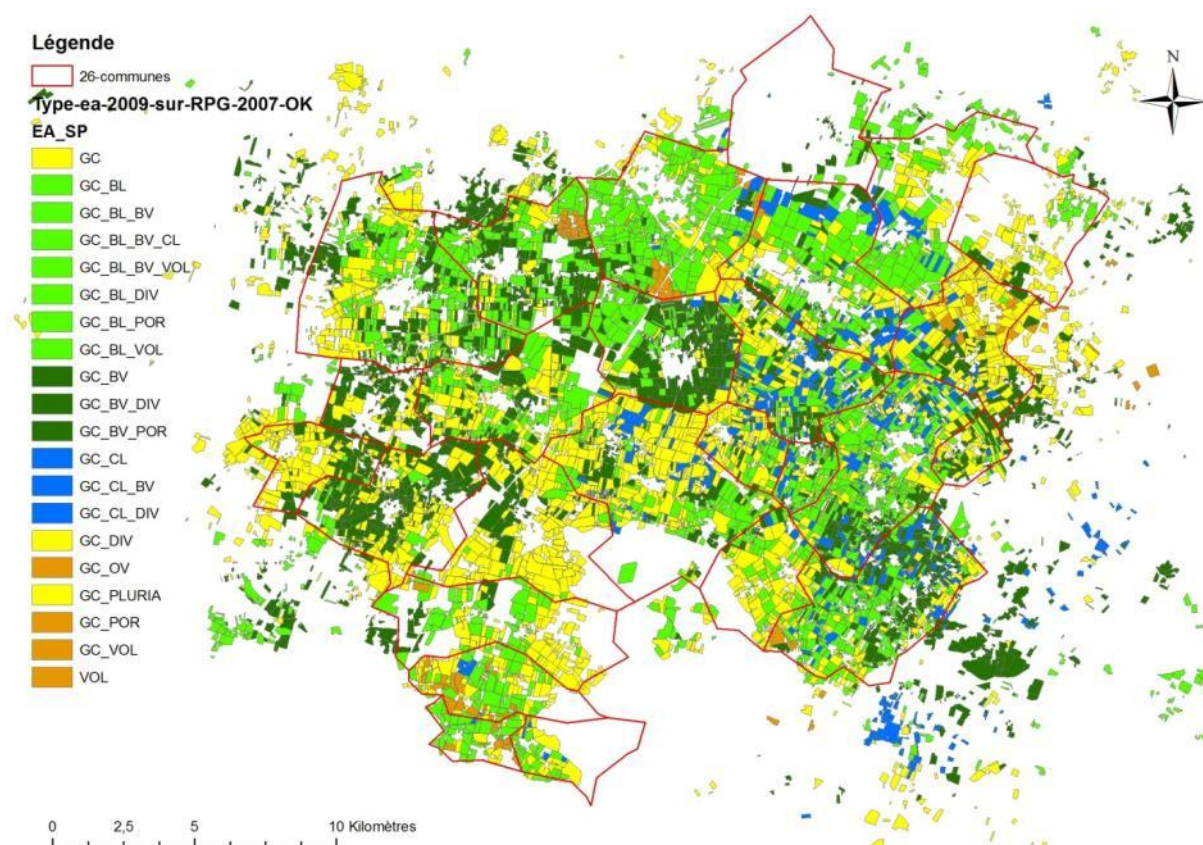
Nous avons réalisé un document de synthèse avec un tableau récapitulatif par commune, comme montré dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Exemple de tableau récapitulant les informations générales sur l'agriculture de chaque commune

Commune enquêtée	Saint Romans Des Champs
Date de l'enquête	03/11/09
Nom et fonction de l'élue rencontrée	Madame le maire. Mme G-, EA de GC et BL
	3 bourgs : SRDC, La Fragnée, La grande Brousse
Superficie de la commune	~400 ha
Nbre d'habitants	~180 hab
Nbre d'exploitations ayant un siège sur la commune	10 EA
Nbre d'exploitants faisant usage des îlots agricole de la commune	20 PAE
Caractéristiques de l'agriculture de la commune	En 2009 : 4 BL ; 2 CL ; 3 GC ; 1 BV ; 1 élevage de génisses pleines Pas d'irrigation sur la commune, pas de drainage. L'eau potable vient du forage des Fosses/Chizé, syndicat des eaux des Fosses Quasiment pas d'EA qui exploitent dans la commune mais avec leur siège à l'extérieur. C'est surtout les EA de SRDC qui envahissent Brulain et SMDB.
Tendances d'évolutions agricoles passées (et futures)	Passées : En 1990, il y avait le double d'EA. Il y a eu des regroupements d'EA et des départs en retraite (reprise des terres par les autres). Grosse vague de réorganisations et cessations fin des 80's et début 90's lors de la réforme de la PAC. Remembrement en 1963 Futures : -
Aménagements agricoles	Pas de coop, pas de CUMA mais travaux en entraide Majorité des bâtiments agricoles délocalisés hors des bourgs depuis la mise aux normes. Il reste seulement 1 bât de BL et 1 de CL dans les bourgs. Terrains : petites groies + zone bocagère le long de la Courance (plus humide)

3.2) Identification de l'orientation de production des exploitations

Nos entretiens ont permis de caractériser l'orientation de productions de **308 exploitations** agricoles, ce qui représente **36 399 ha de surface agricole déclarée en 2007** (cf. Figure 4).



GC = grandes cultures ; BL = élevage bovin lait ; BV = élevage bovin viande ; CL = élevage caprin lait ; VOL = élevage de volailles ; DIV = diversifié ; POR = élevage porcin ; OV = élevage ovin ; PLURIA = pluriactif

Manquent les communes de Prissé la Charrière, Thorigné et Vouillé

Figure 4 : Localisation des types d'exploitations identifiés par enquêtes communales en 2009 à partir du RPG 2007 (23 communes de la Plaine de Niort)

Nous pouvons constater que la majorité des surfaces sont occupées par des exploitations de polyculture-élevage (23 663 ha, 65% de la surface identifiée), dont 51% par des exploitations de bovins laitiers (12 100 ha), 36% de bovins viande (8 530 ha) et 10% de caprins laitiers (2 368 ha). Les exploitations caprines se situent surtout dans la partie Est de la plaine de Niort, dans la partie bocagère. 12 736 ha, soit 35% de la surface identifiée, sont exploités par des exploitations de grandes cultures. Ces dernières se situent surtout dans la partie Sud-Ouest de la plaine de Niort, et sur les terres rouges en bordure du plateau Mellois à l'Est de la plaine.

3.3) Identification des bâtiments agricoles et sièges d'exploitation de la zone

Nos entretiens ont permis de repérer **1023 bâtiments agricoles**, dont 614 se trouvaient dans des corps de ferme et 157 étaient des bâtiments isolés.

Nous avons inventorié **287 sièges d'exploitations dans 261 exploitations**, ce qui signifie qu'il nous manque les sièges de 47 exploitations parmi les 308 exploitations pour lesquelles nous avons identifié leur orientation de production (section 3.2).

Nous avons également identifié 297 maisons d'habitation ; **338 bâtiments destinés à l'élevage** dont 223 contenaient des animaux, 152 des fourrages et 89 des salles de traite ; **348 bâtiments de stockage** dont 310 pour le matériel agricole. Nous avons enfin identifiés **59 forages d'irrigation**. Tous ces bâtiments sont localisés sur la Figure 5.

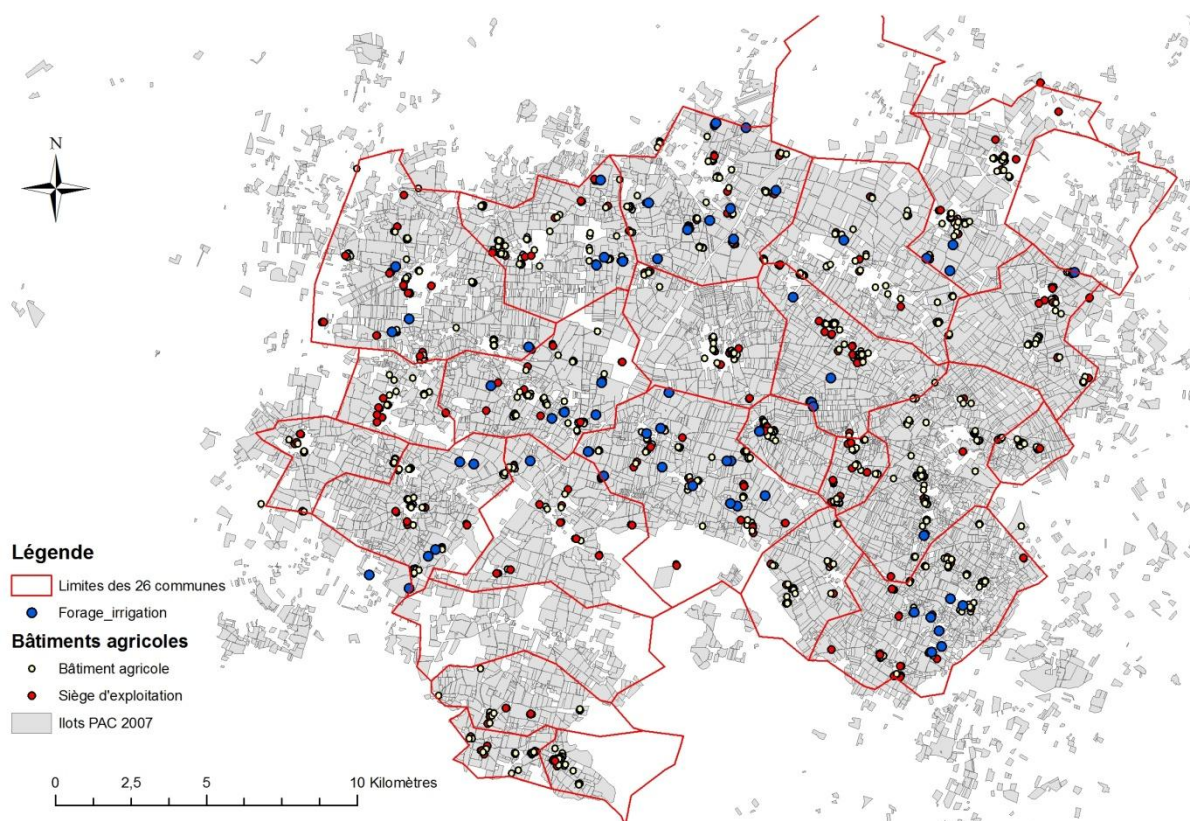


Figure 5 : Localisation des bâtiments agricoles et sièges d'exploitation identifiés lors des entretiens auprès des communes de la plaine de Niort (2009)

Annexe 4. Guides d'entretiens pour les enquêtes

Dans cette annexe, nous donnons les guides d'entretien utilisés pour les enquêtes en exploitations : tout d'abord les trois guides successifs de la première série d'enquêtes (12 exploitations), puis celui de la deuxième série (14 exploitations dans le cadre du stage de Camille Bernard).

1) Guide d'entretien utilisé pour la première série d'enquêtes (1^{ère} session, printemps 2009)

Pour la première session d'enquêtes, nous avons utilisé le même guide d'entretien pour toutes les EA.

Nom et statut de l'EA : _____

Nom, Prénom de l'exploitant : _____

_____ Numéro PAE : _____

Adresse, Commune : _____

Type d'EA : GC – BL – BV – CL

Historique de l'EA

- Installation

Date et circonstances (statut EA) : _____ SAU : _____

Quelles cultures et quelles proportions : _____ Cheptel : _____

MO (nb, temps de travail, activité sur ou hors de l'EA) : _____

- Événements majeurs d'évolution

Liés à l'évolution de la SAU/structure parcellaire : agrandissement, variation du nombre d'exploitants/ changement de statut de l'EA...

Liés à l'évolution de l'assolement : introduction/abandon de cultures ou d'atelier animaux alimentés par des fourrages produits sur l'EA, introduction/abandon de l'irrigation, contrats commerciaux/MAE...

- Situation actuelle

SAU : _____ % propriété : _____

Cheptel : _____ Quota lait (ou contrat) : _____

_____ Droits Vaches allaitantes : _____

MO (nb, temps de travail, activité sur ou hors de l'EA) : _____

Famille : _____

Principaux bâtiments/matériel/équipement/irrigation : _____

- Perspectives d'évolution/Projets pour l'EA

Liés à la SAU/structure parcellaire : agrandissement, variation du nb d'exploitants/changement statut EA

Succession assurée ?

Liés à l'assolement : intro/abandon de cultures ou d'atelier animaux alimentés par des fourrages produits sur l'EA, diversification, intro/abandon de l'irrigation, simplification du travail, contrats/MAE...

Combinaisons de production en 2009 : assolement 2009 et productions animales

Culture	Surf. (ha)		% SAU	Rendements				Destination/Valorisation			Fonction/ Priorité
	Sec	Irrig		Moy	Min	Max	Varia bilité +/-	Vente → MB/ha ?	Troupeau: foin ? ensilage ? pâture ? mixte ?	Commentaires (contrats : critère de production, localisation ?)	Source de revenu, paille, frg, succ, épandage, trésorerie...
Total SCOP											
	Surf sec	Surf irr	% SAU	Moy	Min	Max	Varia bilité	Vente MB/ha	Troupeau	Commentaires	Fonction
Jachère - industrielle - herbe -couvert envi / MAE											
Total herbager											
Total STH											
Total SAU											
Cultures dérobées ou CIPAN											

Surface en cultures de printemps (ha) : _____

Cult. Printps % SAU : _____

S. fourragère grains compris : _____

SFgrains % SAU : _____

S. fourragère hors grains : _____

SFhorsgrains % SAU : _____

SFT (total = SFP + les dérobées) (ha) : _____

SFT % SAU : _____

Existe-t-il des contraintes de production liées aux exigences des acheteurs (coopératives) qui interdisent ou limitent certaines cultures sur l'EA ? Sur quels critères de production (type de sol, irrigation, précédents, DR, ITK, fertilisation) ?

Productions animales

Atelier	Lot (âge des animaux ; âge 1 ^{ère} mise-bas)	Effectif moyen (camp. 08-09)	Taux de renouvellement (% ou nb vendu)	Niveau de production (L lait, nb bêtes)	Destination valorisation, âge de vente	Achats d'animaux (campagne 2008-2009)	DPU	Nourris par Frg produits sur l'EA ? Oui/non/en partie (%)

Existe-t-il des contraintes de production liées aux exigences des acheteurs (coopératives), en particulier sur l'affouragement des animaux, la conduite du pâturage ?

	J	F	M	A	M	Juin	Juil.	A	S	O	N	D
Affouragement	Par lot : ration, fourrages de l'EA, fourrages hors EA, concentrés. Pâturage ?											

Prix des aliments achetés à l'extérieur (au kg/à l'année) et variabilité :

	J	F	M	A	M	Juin	Juil.	A	S	O	N	D
Reproduction	Par lot : date des mises-bas											
Pic production												

Stockage des fourrages

Où stockez-vous les fourrages et jusqu'à combien de temps se conservent-ils ?

Est-ce que la capacité de stockage des fourrages limite la taille des surfaces fourragères ?

Autonomie fourragère

Êtes-vous autonome en fourrages ? Et en céréales à pailles ?

Quel est votre objectif en termes d'autonomie fourragère pour chaque atelier (en %) ?

Quelle surface minimale nécessaire en surfaces fourragères pour chaque atelier ?

Surestimez-vous cette surface pour pallier les variations de rendements ?

Si oui que faites-vous du stock excédentaire éventuel ?

Organisation du travail

Quelle durée des travaux journaliers d'astreinte (soins animaux + traite) ?

Quels pics de travail majeurs dans l'année (ateliers cultures + animaux) ?

Est-ce que l'organisation du travail due aux contraintes de l'élevage a une influence sur les choix de systèmes de culture ?

Caractéristiques du parcellaire (en lien avec la carte RPG du parcellaire 2007)

Comment définit-il son parcellaire : groupé/morcelé – proche/dispersé ?

Quelles contraintes ou atouts majeurs identifie-t-il au niveau de :

- La nature des terrains ?
- La structure spatiale (morcellement, dispersion, taille/distance des parcelles, accessibilité) ?

Sur la carte RPG : quels grands ensembles distingue-t-il au sein du parcellaire et gère-t-il de façon homogène ? (distinction au niveau de la nature des terrains, ou au niveau de leur répartition dans l'espace, distance /accessibilité, taille des parcelles...)

N° Ilot, Localisation, Nom ?	Surf îlot (ha)	Surf Parcelle (ha)	Culture 2009	Contraintes terrain	Contraintes parcellaire	Accès eau	Cultures permises ou interdites ou tolérées

[illegible]

Règles de successions de cultures

Culture	Taille de sole min/max	ZC/DR = <i>Sole max</i> <i>théorie</i>	ZC + raisons → hiérarchie des contraintes /culture	Délai de retour (DR)	Précédents autorisés ou interdits ou tolérés + préférences + raisons	Durée (min/max) et distance max t/siège ou bât.
	Min Max					
	Min Max					
	Min Max					
	Min Max					

La taille des soles est-elle limitée par un contrat/quota ou par un manque de disponibilité en MO, matériel ou terrains appropriés ?

Rotations qui en découlent : à reconstituer après enquête

Y a-t-il eu un changement de rotation en 2009 par rapport aux années précédentes ?

Planification de l'assolement 2010

A-t-il déjà décidé de l'évolution de l'assolement pour 2010 ?

Culture	Evolution 2009-2010 Décidée/ à décider ?	Raisons et quelle culture diminue au profit de quelle autre ?

Pour quelles cultures ou quelles parcelles c'est déjà décidé facilement et pourquoi ?

Sur la carte parcellaire RPG, peut-il déjà dire quelle culture occupera quelle parcelle, et pour quelle surface ? Quels **redécoupages parcellaires** cela implique-t-il et comment les choisit-il :

- Y a-t-il des îlots à OS unique qui vont devenir OS multiple ? Pourquoi ? Où allez-vous faire le découpage et pourquoi, suivant quels critères ?

- Quand un îlot est séparé en plusieurs parcelles, la limite est-elle toujours à la même place d'une année sur l'autre ?

- A partir de quelle surface un îlot peut-il être découpé ? Et suivant quels critères ?

- Dans les îlots à OS multiple, y en a-t-il qui vont devenir à OS unique ? Pourquoi ? Pourront-ils redécoupés ensuite et pourquoi ?

- Dans les îlots à OS multiple, est-ce que la limite restera la même pour 2010 ou est-ce qu'elle sera déplacée et pourquoi ? Où sera la nouvelle limite et suivant quels critères sera-t-elle tracée ?

- Est-ce que vous redécoupez vos îlots de façon à réduire les variations d'assolement dues aux différences de tailles entre parcelles ? Ou bien est-ce que vous adaptez vos successions (ex : plus souple sur les DR ou les précédents) pour garder un assolement le moins variable possible ? Ou bien est-ce que vous acceptez des variations interannuelles d'assolement (dans la gamme mini/maxi donnée plus haut) ?

Au printemps 2009, dans quelles parcelles les cultures et leur superficie ne sont pas encore choisies pour 2010 et pourquoi ? Quand (à partir de quelle information) sera-t-il possible de les choisir ?

Peut-il y avoir des ajustements, en fonction de quoi et jusqu'à quel moment ?

Quand commande-t-il les semences et autres intrants pour chaque culture ? Y a-t-il quelque chose (un délai imposé par les fournisseurs, ou des prix plus attractifs à telle date) qui le contraint à choisir en avance ses surfaces ou au contraire peut-il s'ajuster jusqu'à la date de semis ?

2) Guide d'entretien utilisé pour la première série d'enquêtes (2^{ème} session, automne 2009)

Pour la seconde session d'enquêtes, nous avons utilisé un guide d'entretien individuel par exploitation (12 guides d'entretien différents). Nous cherchions en effet à valider et approfondir des règles de décisions individuelles que les agriculteurs avaient commencé à évoquer à la première session (ces parties seront rédigées **en bleu**). Nous souhaitons aussi obtenir des informations individuelles manquantes (ces parties seront rédigées **en rouge**). Notons toutefois que certaines parties du questionnaire étaient communes à toutes les exploitations : ces parties seront rédigées en noir.

Nous donnons ici en exemple le guide d'entretien utilisé pour l'exploitation numéro 8 (cf. Chapitre 2). Nous avons choisi cette exploitation car elle présente toutes les rubriques abordées dans les autres exploitations (rubriques spécifiques à l'élevage et à l'irrigation).

Preliminaire

Quels ont été les principaux événements sur la ferme (MO, aménagement, matériel, parcellaire, productions, débouchés) ou dans le contexte général agricole (autorisation irrigation, PAC, prix, contrat commercial etc.) depuis mai 2009 ?

Est-ce que votre parcellaire est le même qu'en mai 2009 ?

Est-ce que votre atelier de production animale a été modifié depuis mai 2009 (effectif animaux, rations etc.) ?

Première partie : comparaison prévu/réalisé

- Quel est l'état actuel de votre assolement ?

Rappel de la planification en mai 2009 (reconstituée après les enquêtes du printemps)

Culture	Evolution 2009-2010	Raisons et quelle culture diminue au profit de laquelle?
Maïs	Idem 7,12 ha mêmes parcelles	Même surface, mêmes parcelles car monoculture en ZC limitée et besoins fourragers à garantir
C	En baisse : $1.8+2.15+2.33 = 6.28$	Cultivé après certains blés
BT	En baisse ? $1.06+1.3+2.45+3.37+4.55 = 12.73$ + ~4 → 17 ha	Cultivé après C ou RG + 2,75 ha ? ou en RG ?
RG	En hausse : $4.8+1.88 = 6.68$ + 2,75 ha ? ou en BT ?	En hausse : pourquoi alors que excédentaire ? Cultivé après BT et une partie en Luzerne
Luz	Stable : $1.11+1.31+1.49+1.81+3.23+4.94+2.55 = 16.44$ ha + ~5 → 21 ha	Va labourer les 3,37 + 1.88 ha qui sont des luzernes anciennes ; va en semer d'autres : 5 ha dans l'îlot de 14.60 ha. Et laisse les autres (<5A) en place

	Surf îlot	Surf Parc.	Culture 2009	Contraintes terrain	Contraintes parcellaire	Accès eau	Cultures permises ou interdites	Culture prévue	Culture 2010

	0,18		Jachère CAD		Petite	N		Jach CAD	
	0,39		M	Grosses terres	Petite	N	Monoculture M Luz interdite	M	
	0,75		Jachère CAD		Petite	N		Jach CAD	
	1,06		C			N	Pas de M	BT	
	1,11		Luzerne			N	Pas de M	L	
	1,30		C			N	Pas de M	BT	
	1,31		Luzerne			N	Pas de M	L	
	1,35		M	Grosses terres		N	Monoculture M Luz interdite	M	
	1,49		Luzerne			N	Pas de M	L	
	1,8		BT			N	Pas de M	C	
	1,81		Luzerne			N	Pas de M	L	
	2,15		BT			O		C	
	2,33		BT			O		C	
	2,45		C			O		BT	
SMDB 5 km	3,23		Luzerne			N	Pas de M	L	
SB 10 km	3,37		Luzerne			N	Pas de M	BT	
	2,75		C	Grosses terres, inondable en hiver		O	Plutôt maïs, luz interdite, reste toléré	BT ou RGI ?	
	4,55		PT-RGI			O		BT	
	4,94		Luzerne					L	
	9,23	2,55	Luzerne CAD			O		L CAD	
		4,8	B			O		RGI	
		1,88	Luzerne			O	BT ou C autorisés ici près des maisons ?	RGI	
	14,6	5,38	M	Grosses terres			Monoculture M Luz interdite	M	
		9,22	BT			O		BT 2 L	
	N	Non irrigable : 19,57 ha							
	O	Irrigable : 43 ha							
	O irr	Irriguée en 2009 : 10, 32 voire 14,87 ha si le RG est irrigué par la suite							

Comparaison de l'assolement prévu en mai et de l'assolement actuel (tableau et parcellaire)

Quels découpages de parcelles avez-vous fait ? Pourquoi ?

- Quelles sont les raisons des écarts éventuels avec la planification ? Et quand avez-vous décidé ?

Y a-t-il eu des éléments de conduite technique qui ont joué (date de semis par exemple) ?

Des prix de vente ?

Des prix des intrants ?

Des primes ?

Quels événements inhabituels ont pu modifier votre planification depuis mai 2009 ?

- Si l'assolement prévu en mai est le même que celui installé en décembre 2009, pour quelles raisons avez-vous maintenu le même assolement ?

Pas d'autres possibilités vu les contraintes de l'EA ? Ou bien pas de modification du contexte économique, des besoins fourragers, des volumes d'eau autorisés ?

Deuxième partie : validation des règles d'organisation spatiale du territoire d'EA identifiées

- Validation du zonage du parcellaire

- Terres profondes, inondées l'hiver : maïs en priorité et en monoculture, luzerne interdite. Terrains pouvant être irrigués l'été ou pas.

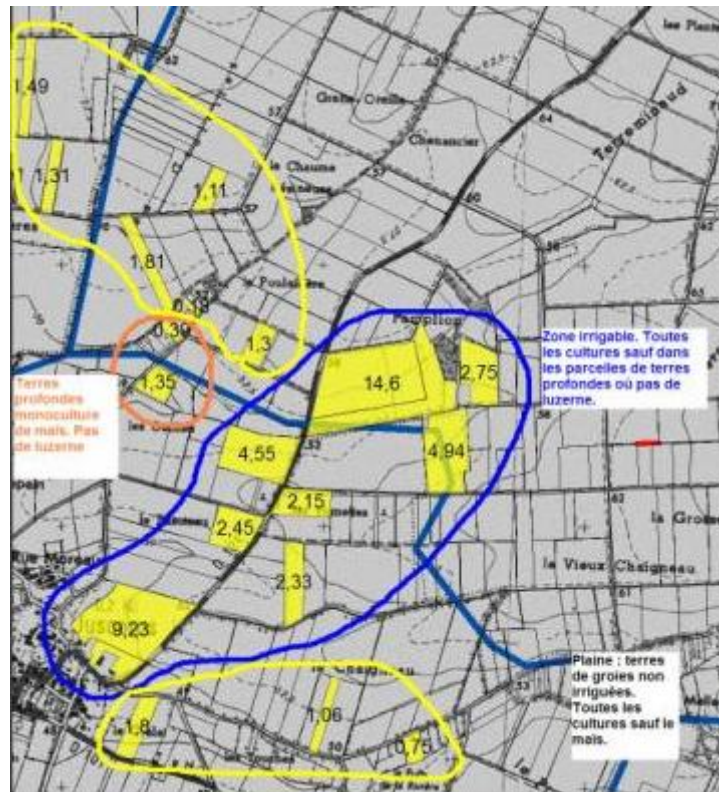
- Petites groies : sur la zone irriguée, maïs ou luzerne ; sur la zone non irriguée : tout sauf maïs, i.e. B, C, Luz, PT.

Est-ce que les zones délimitées suivantes sont correctes ? Est-ce qu'elles correspondent effectivement à des zones que vous gérez séparément pour le choix des assolements et des successions ?

Est-ce que ces zones correspondent à des potentiels de production différents pour les mêmes cultures ? En conséquence, est-ce que ces zones correspondent à des conduites techniques différentes pour les cultures ?

Est-ce que du coup, si le cours d'une culture augmente, elle pourrait être cultivée dans une zone de moindre potentiel, ou au contraire si le cours chute être cultivée seulement dans la zone de fort potentiel ?

Quand la surface d'une culture diminue ou augmente, dans quelle zone est-ce fait de préférence ?



Est-ce que vous essayez de regrouper les mêmes cultures au même endroit ? Est-ce que parfois deux parcelles de petite taille placées l'une à côté de l'autre sont gérées ensemble (même culture, même opération culturale etc.) ?

Est-ce qu'il a une taille minimale de parcelle pour faire du C ou de la luzerne ? Et cultive-t-il du C ou du M dans des parcelles entourées de haies ? Peut-il préciser où sont les haies fixes ou les clôtures autour du siège ?

Est-ce que vos cultures (les BT notamment) sont conduites partout pareil dans toutes les parcelles ?

Est-ce que le RG peut être cultivé dans les parcelles non irrigables ?

Se donne-t-il une distance maximale par rapport aux lieux de stockage des fourrages pour cultiver le M, la luzerne et les PT ?

- Validation des règles énoncées ou interprétées en termes de choix de cultures, localisation, surfaces et découpages

- BT : vendu à la CAPSUD. Culture importante pour les pailles pour le troupeau et le revenu. Est-ce que c'est une culture qui apporte un revenu de sécurité ? Sur les rendements ou sur les prix ?

Est-ce que les pailles sont toujours enlevées quelle que soit la culture suivante ? Quel rendement /ha ?

Quelle capacité de stockage ? Quelle stratégie de stockage/vente ?

- Maïs G : 1,74 ha secs et 5,38 ha irrigués. Autoconsommation en grains par les CL : est-ce que tout est consommé ou est-ce que vous en vendez parfois ? Si oui à quel moment ? Si le prix de maïs montait est-ce qu'il voudrait en faire plus pour en vendre plus ?

Le nombre d'ha de maïs peut varier d'une année à l'autre en fonction de la surface qu'ils peuvent semer au mois de mai (variable en fonction des conditions climatiques). Si vous ne pouvez pas semer assez de maïs en mai, que mettez-vous sur ces surfaces ?

Si les conditions étaient optimales, quelle serait la surface de la sole de maïs ?

- Colza ACE, vendu Capsud : tête d'assolement et revenu. Quels avantages et quels risques à cultiver du C ?

Contrat annuel à reconduire ou contrat long terme ? Est-ce la contrainte d'une distance mini par rapport aux autres parcelles de colza non ACE l'empêche de le cultiver sur certaines parcelles ?

Quel avenir du colza avec l'arrêt des primes ACE ? Va être réduit dans son EA ou pas ?

Par quelle autre culture tête d'assolement il pourrait le remplacer ?

- Jachère herbe fixe : CAD de 5 ans de 2005 à 2009 = Opportunité réglementaire, valorisation de petites parcelles. Pourquoi un CAD dans ces parcelles relativement proches ? Quel cahier des charges ?

Quel avenir pour ces parcelles : maintien de la jachère ou pas ? Qu'est-ce qui pourrait vous faire les remettre en culture ? Où allez-vous mettre le couvert environnemental à l'avenir ?

Où a-t-il vu des nids d'outardes ? Ça a conditionné son choix de CAD mais est-ce que ça modifie aussi ses choix de cultures (localisation des luzernes, dates de fauche, sens de fauche etc.) ?

- Luzerne : 14,2 ha secs + 2,55 ha secs CAD + 4,94 ha irrigués = 16,75 sec, 21,69 total. Foin pour le troupeau = culture la plus importante. Que foin de luzerne ? Comment fait-il si les conditions climatiques sont humides au moment des foins ?

Pourquoi un CAD dans ce grand îlot ? Quel cahier des charges ?

Pourrait-il irriguer plus de surfaces en luzerne ? Pourquoi ?

Il ne veut pas faire plus de 25 ha luzerne, même s'il avait des surfaces supplémentaires appropriées, car il aurait ensuite un problème d'organisation du travail au niveau des chantiers de foin. Les fenêtres de travail étant assez étroites au printemps en raison des journées de pluie, il ne veut pas risquer d'avoir trop de surface à récolter en foin en période humide, et donc d'obtenir du foin de mauvaise qualité. Il préfère assurer en achetant une partie à un voisin qui a arrêté les vaches allaitantes et qui continue à faire du foin pour la vente.

La limite de 25 ha est calculée à partir du nombre moyen de jours utiles nombre d'ha que vous pouvez faucher par jour en fonction de votre MO et matériel disponible ?

- PT=RG (1an). 1^{ère} coupe en enrubannage, 2^{ème} coupe en foin sauf si pluie, 3^{ème} coupe parfois en foin. Autoconsommation par les CL. Est-ce que le RG est parfois irrigué ?

Est-ce que le nombre de coupes de foin varie en fonction de l'âge de la PT ? Et en fonction de l'âge de la luzerne ?

- Si vous aviez des ha supplémentaires disponibles, de quelle culture vous augmenteriez la surface ?

- Pas d'OH ni fourragère ni de brasserie ?

Pas de BD ?

Pas de T ?

Pas de P ?

Productions animales

Comment en sont-ils arrivés à vouloir augmenter le troupeau pour une SAU constante ? Quelle stratégie d'affouragement pour un troupeau de 400 CL ? Vous allez augmenter le troupeau d'un tiers (de 300 à 400), est-ce que vous allez augmenter les surfaces fourragères d'un tiers aussi ?

Augmentation surtout de la surface en luzerne car ils sont déjà déficitaires chaque année. Augmentation du maïs aussi pour l'autoconsommation (combien ?). Diminution des céréales en contre partie. RG à peu près constant car avec 4-5 ha ils sont autonomes voire excédentaires pour le troupeau actuel, donc ils espèrent l'être aussi pour 400 CL.

Est-ce que vous pouvez valider les besoins fourragers calculés (sachant que je n'ai pas compté de pourcentage de pertes, il faudrait majorer de 10%) ?

- Pour les 315 CL pour 300 jours

160 t foin luzerne, 57 t enrubannage, 19 t pailles, 38 t de maïs G (à 0,4 kg/j et CL)

= 18 ha luzerne (9 t/ha), 4,75 ha RG (12t/ha), 5 ha céréales (3,75 t pailles/ha), 4,5 ha maïs (8,5t/ha)

- Pour les 315 CL pour 60 jours tarissement :

32 t foin luzerne, 11 t enrubannage, 4 t pailles, 3 t de maïs G

= 3,6 ha luzerne, 1 ha RG, 1 ha céréales, 0,3 ha maïs G

- Pour les 135 chevrettes pendant 2 mois avant mise-bas

14 t foin luzerne, 5 t enrubannage, 1,6 t pailles, 3,2 t de maïs G (à 0,4 kg/j et CL)

= 1,5 ha luzerne (9 t/ha), 0,4 ha RG (12t/ha), 0,4 ha céréales (3,75 t pailles/ha), 0,4 ha maïs (8,5t/ha)

TOTAL calculé

206 t foin luzerne, 73 t enrubannage, 24,6 t pailles, 44,2 t de maïs G

23,1 ha luzerne (9 t/ha), 6,15 ha RG (12t/ha), 6,4 ha céréales (3,75 t pailles/ha), 5,2 ha maïs (8,5t/ha)

Combien de boucs ? Quelle stratégie de reproduction ? Quelle ration ?

Quels sont les besoins en pailles pour l'affouragement et pour le paillage ?

Production laitière annuelle ? Font leur quota ? Souhaitent l'augmenter ?

- Pas autonomes en foin de luzerne : en 2009, achat de 30 t, soit environ 100 bottes. Il faudrait une 3^{ème} coupe chaque année ou bien avoir plus de surface en luzerne. **Combien d'ha en plus ?**

A qui achetez-vous le foin manquant ? A quel moment ? Est-ce que son prix fluctue d'une année à l'autre et est-ce que ça modifie votre stratégie d'affouragement les années où le prix est élevé ?

20 ha céréales pour la paille, mais 25-30 ha seraient mieux. Combien de t de pailles achetez-vous chaque année ? Souhaiteriez-vous augmenter votre autonomie en pailles ou pas ?

Découpages de parcelles

Il y a deux niveaux de découpages.

1) les découpages fixes : soit les limites des îlots, soit des limites de parcelles fixes (haies, barbelés...). **Où sont les haies ou les limites fixes ?**

2) les découpages annuels : ils ont lieu dans des îlots de plus de 9 ha. Ils sont surtout liés à la présence de cultures pluriannuelles (PT et luzerne) implantées à des dates différentes et donc déplacées au fur et à mesure, ce qui génère des découpages annuels différents d'une année à l'autre.

Les découpages sont faits : pour faciliter l'accès à la parcelle, limiter les décrochements dans la parcelle (avoir la parcelle la plus rectangulaire possible), pour ajuster les surfaces de chaque culture aux besoins d'assolement de l'année (surtout pour les cultures fourragères) tout en respectant les DR et les précédents culturaux.

Si une limite disparaît une année donnée et réapparaît l'année suivante, il essaie de la mettre au même endroit pour ne pas à recalculer les surfaces pour les déclarations PAC.

Il redécoupe pour garantir les soles mini des cultures fourragères principales (surtout luzerne) ou pour éviter de trop grandes variations d'assolement d'une année à l'autre. Mais pas à l'ha près : seulement **pour rester dans les gammes mini-maxi** qu'il a données.

Un découpage dans un îlot à OS multiple va être modifié : celui de 14,21 ha qui a une partie en monoculture de M et une autre parcelle en rotation (haie fixe). Cette parcelle de 9,22 ha va être découpée en 2, derrière le blé de 2009 : une partie en 2^{ème} BT et une partie en luzerne. But : ajuster la taille de la sole de luzerne sans avoir à modifier les règles de successions : ZC et DR. La zone irrigable est en effet réduite, et il ne veut pas diminuer le DR de la luzerne en raison de problème de cuscute dans le sol (il ne peut donc pas la mettre ailleurs et mettre tout le champ ferait trop de luzerne). **Pourquoi un 2^{ème} BT dans cette demi-parcelle ? Pourquoi découpage dans ce sens, car l'accès est facilité et car c'est la plus grande longueur ?**

Est-ce qu'il redécoupe aussi en fonction du « sens » d'irrigation ? D'une largeur multiple du pulvé ? D'autres critères ?

Est-ce que s'il avait de très grands îlots éloignés il le redécouperait ?

- Hiérarchie des cultures

Culture	Atout/ contrainte rendements	Atout/ contrainte débouchés	Atout/ contrainte rotation	Atout/ contrainte pailles et/ou fourrages	Atout/ contrainte épandage effluents	Atout/ contrainte réglementaire
BT						
BD						
M						
OH						
OP						
P						
C						
T						

PT						
Luz						
Jach						

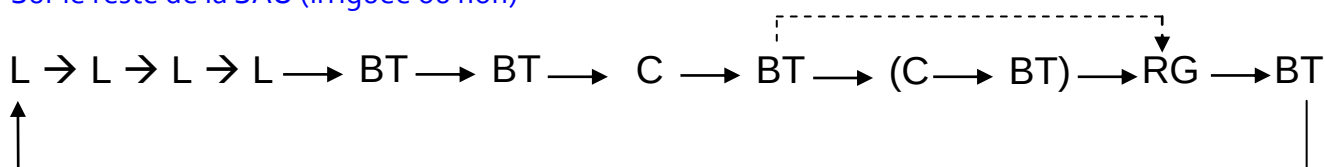
Est-ce que vous pratiquez des échanges pailles / fumier avec d'autres exploitations ?

Quelle est votre production d'effluents (fumier ou lisier) par an et où l'épandez-vous ? Êtes-vous excédentaire ou déficitaire ? Est-ce que l'épandage est réglementé dans la région (zone de protection de captage ou autre) ?

- **Validation des successions associées à chaque zone**

- Sur les terres profondes : Monoculture de maïs

- Sur le reste de la SAU (irriguée ou non)



Présence de petites parcelles. Et 2 parcelles excentrées. Mais la SAU est petite donc il faut quand même tourner les cultures partout (sauf sur les zones de monoculture de maïs), **il n'a pas de limite de distance.**

Est-ce que les successions reconstituées sont exactes ? Est-ce que d'autres cultures seraient possibles à certains moments ? **Quelle est la place du RG dans la succession ?**

Est-ce qu'il n'y a pas des sous-zones dans la zone sèche ou la zone irrigable, qui correspondrait à des zones de successions différentes ? Quelle est notamment la place des PT et de la luzerne dans la succession et est-ce que ça ne définit pas d'autres successions ?

Est-ce que vous décidez d'abord là où vous placez les M, PT et luzerne irrigués, puis les autres cultures dans la zone irrigable, et enfin toutes les autres dans la zone sèche ? Ou à l'inverse, vous décidez d'abord pour les parcelles en sec, puis vous estimez le nombre d'ha nécessaire à mettre dans la zone irrigable pour avoir une surface de chaque culture qui correspond à vos besoins ?

Comment décidez-vous du nombre d'ha irrigués en M, luzerne et PT ?

Qu'est-ce qui pourrait faire évoluer ces successions ? Prix de vente ? Disponibilité en eau ? Modification de l'atelier d'élevage ? Résultats de rendements et de prix de l'année précédente ? Autre raison ?

Troisième partie : validation des règles de dynamiques temporelles de constitution des assolements (modèle commun à tous)

- **Pouvez-vous expliquer comment vous décidez de votre assolement au cours de l'année ?**

Les parcelles en maïs restent en monoculture de maïs : irriguées ou non. Les luzernes de moins de 5 ans restent en luzerne. Les C passent généralement en BT. Les BT peuvent passer en C, RG, Luz ou même 2^{ème} BT.

Il décide de l'allocation des cultures aux parcelles en fonction des surfaces souhaitées pour chaque culture. Ces surfaces ne varient pas d'une année à l'autre en raison des besoins fourragers minimums annuels à assurer. Il essaie donc de garder constants au max : M, Luz et RG.

Il décide rapidement des surfaces à semer en été et automne (colza, Luz, RG, BT) en raison du plan de fumure à anticiper et des commandes d'engrais à réaliser bien avant les semis.

Assolement 2010 final : choisi **en fonction du stock de foin estimé en fonction de la 1^{ère} coupe de foin 2009**, aux alentours de mai 2009.

Par exemple pour l'assolement 2010, quand avez-vous commencé à choisir les cultures, les surfaces et les parcelles dans lesquelles vous alliez les mettre ? Pour quelles cultures ? Quelles parcelles ? A quel moment ? En fonction de quelle information ?

Quand commande-t-il les semences et autres intrants pour chaque culture ? Y a-t-il quelque chose (un délai imposé par les fournisseurs, ou des prix plus attractifs à telle date) qui le contraint à choisir en avance ses surfaces ou au contraire peut-il s'ajuster jusqu'à la date de semis ?

Au fur et à mesure de l'année, à quel moment et en fonction de quelle information ou quel événement avez-vous décidé des cultures, des surfaces, des parcelles dans lesquelles vous alliez les mettre ?

→ Quand et à partir de quoi avez-vous pu estimer de façon précise les stocks fourragers disponibles pour le troupeau en 2010 ? A partir de combien de tonnes (en moins ou en plus par rapport aux besoins minimums) cela modifie-t-il votre choix de surface fourragère ? De combien d'ha ?

→ Idem pour la paille

Irrigation : 43 ha irrigables, mais seulement 10 ha irrigués environ chaque année au même endroit. C'est dû aux restrictions en eau mais aussi à un choix car irriguer 40 ha demanderait trop de travail. Et ça poserait problème de manipuler les tuyaux sur 40 ha au lieu des 10 ha actuellement irrigués.

Quel système d'irrigation ? Les 10 ha irrigués sont-ils en monoculture ? S'ils avaient plus de volume en eau, jusqu'à combien d'ha pourraient-ils irriguer ?

→ Quand avez-vous eu/ou aurez-vous connaissance des volumes d'eau autorisés pour 2010 ? Qui décide de ces volumes ? En quoi cela peut modifier vos choix de cultures et de surfaces irriguées ? Donner des seuils (tant de volume d'eau, tant d'ha de telle culture).

Irrigation prioritairement pour l'alimentation du troupeau : maïs (été), luzerne (été) et éventuellement RG.

	Maïs	Pois	PT	Luzerne
Irrigation systématique ou si besoin ? Selon quelle règle déclenchez-vous l'irrigation ?				
Quantité d'eau moyenne par ha ?				
Quelle répartition des volumes dans l'année ? Quelles dates ?				
Quelle culture irriguée en priorité ?				
Qté d'eau mini par ha (si < vous arrêtez la culture)				
Correspond à quel rdt mini exigé en irrigué ?				
Quantité d'eau idéale par ha				

En quoi les restrictions d'irrigation sont-elles pénalisantes ? A cause du volume ou à cause de période d'irrigation interdite ?

S'il augmente la surface en luzerne, est-ce que ça posera des problèmes d'irrigation ? Quelle surface irriguera-t-il en priorité ? Selon quel critère ?

Si l'eau était disponible à volonté pour l'irrigation, quel assolement auriez-vous ?

Combien de m³ avait-il lors de la mise en place de l'irrigation ? Aucune limite ? Peut-il estimer combien de m³ il consommait par an et combien d'ha il irriguait au début de l'irrigation ?

Si les restrictions sont croissantes, quels volumes allez-vous mettre sur quelles cultures et combien d'ha de chaque culture allez-vous cultiver ?

A partir de quelle surface de parcelle peut-il commencer à irriguer la parcelle ?

Quelle est la règle de décision pour faire une bande tampon le long d'une parcelle irriguée ?

Et si plus d'irrigation du tout ? Vous augmenteriez la surface en maïs grains ?

Quelle est sa règle : combien de surface de luzerne irriguée au mini ? au maxi ?

Idem pour le maïs : combien de surface irriguée maxi ? mini ?

→ Quand avez-vous eu des informations économiques suffisantes pour décider des surfaces de chaque culture (prix de vente, prix des intrants, primes...) ? En quoi cela peut-il modifier vos choix de surfaces ?

Est-ce que les résultats de l'année précédente peuvent influencer les choix d'assolement de l'année en cours ? Par exemple si une culture a bien réussi (en rendements ou en prix de vente), est-ce que ça vous incite à en faire plus l'année suivante ? A l'inverse si vous avez des difficultés de trésorerie une année donnée, est-ce que ça vous incite à choisir des cultures qui induisent moins de charges opérationnelles, ou qui les mobilisent moins longtemps (ex : T) ?

Qu'est-ce que vous décidez prioritairement et qu'est-ce qui en découle ensuite de façon ajustable ou « bouche trou » ?

Entre la mise en place des cultures d'automne et la fin de la mise en place des cultures de printemps, à quel moment et en fonction de quelle information ou quel événement décidez-vous des cultures, des surfaces, des parcelles dans lesquelles vous allez les mettre ?

- Validation du modèle commun construit à partir de toutes les EA sur la dynamique temporelle de choix des assolements.

Est-ce que la description de l'évolution dans le temps du choix d'assolement vous semble correctement s'appliquer à votre exploitation ?

1) Le choix des cultures est fait à long terme pour certaines parcelles qui ne changent jamais ni d'occupation du sol, ni de découpage : soit en jachère herbe fixe, soit en PP, soit en monoculture.

2) Sur les parcelles restantes (zones du parcellaire où il existe une rotation) : vous décidez d'abord de la culture de toutes les parcelles pour lesquelles il n'y a pas le choix dans la succession précédent – suivant. Ex : C – BT ou bien Luz 1 – Luz 2 etc.

3) Vous choisissez les parcelles où vous mettrez les cultures prioritaires pour garantir une surface minimum pour ces cultures. Vous choisissez en respectant les zones cultivables de chaque culture, ses précédents autorisés et son délai de retour maximum. Ex : BT pour le revenu de sécurité ; M irrigué pour la marge etc. **Vous essayiez aussi de répartir globalement les cultures les plus importantes en termes de surface.**

4) Vous ajustez plus tard les autres cultures sur les autres parcelles et découpez les parcelles si besoin pour ajuster la surface de chaque culture au mieux à vos objectifs. Ce choix se fait aussi en respectant ces mêmes règles (zone cultivable, précédents, DR) mais elles peuvent être assouplies pour ces cultures.

Sur les parcelles qui actuellement ne changent pas d'occupation du sol ni de découpage, qu'est-ce qui pourrait entraîner un changement ? Ex : monoculture de maïs, PP, jachère longue durée...

Quatrième partie : planifications 2010-2011

Qu'est-ce qui reste à mettre en place pour les cultures de printemps 2010 ? Quelle culture dans quelle parcelle ? Qu'est-ce qui est décidé et qu'est-ce qui n'est pas encore décidé ?

Assolement 2011 : qu'est-ce qui est déjà prévu et qu'est-ce qui reste à décider et en fonction de quoi ?

3) Guide d'entretien utilisé pour la première série d'enquêtes (3^{ème} session, printemps 2010)

Pour la troisième et dernière session d'enquêtes, nous avons également utilisé un guide d'entretien individuel par exploitation. Nous cherchions comme précédemment à compléter, valider et approfondir les informations individuelles des précédentes sessions. D'autres parties du questionnaire étaient en revanche communes à toutes les exploitations. Nous poursuivons avec l'exemple de l'exploitation numéro 8 (cf. Chapitre 2).

1) Fin de la mise en place de l'assolement 2010

	Surf îlot	Surf Parc.	Bloc	Culture en mai 2009	Culture prévue en mai 2009 pour 2010	Culture en déc. 2009 et prévue 2010	Culture finale juin 2010
	0,18			Jach CAD	Jach CAD	Jach CAD	
	0,39			M	M	M	
	0,75			Jach CAD	Jach CAD	Jach CAD	
	1,06			C	BT	BT	
	1,11			Luzerne	L	L	
	1,30			C	BT	BT	
	1,31			Luzerne	L	L	
	1,35			M	M	M	
	1,49			Luzerne	L	L	
	1,8			BT	C	BT	
	1,81			Luzerne	L	L	
	2,15			BT	C	C	
	2,33			BT	C	C	
	2,45			C	BT	BT	
SMDB 5 km	3,23			Luzerne	L	L	
SB 10 km	3,37			Luzerne	BT	BT	
	2,75			C	BT ou RG ?	BT	
	4,55			PT-RGI	BT	C	
	4,94			Luzerne	L	L irr	
	9,23	2,55		L CAD	L CAD	L CAD	
		4,8		B	RGI	6,68 ha : BT	
		1,88		Luzerne	RGI		
	14,6	5,38		M	M	M irr	
		9,22		BT	BT : 2 ha	4,21 ha : Mél LUZ graminées	
					L	5 ha : Moutarde	

						puis T + LUZ	

Quels sont les écarts par rapport à la planification de décembre 2009 ? Quelles en sont les raisons ? À quel moment avez-vous changé d'avis et à cause de quel événement ?

Pour ce qui n'était pas encore décidé en décembre 2009 : quand avez-vous choisi les cultures dans les parcelles concernées ? Et qu'est-ce qui a permis de finaliser la décision ?

Pourquoi n'était-ce pas possible de décider plus tôt et est-ce ce « calendrier » de décisions est le même chaque année ?

2) Prévision de l'assolement 2011 et comparaison avec la planification de déc. 2009

	Surf îlot	Surf Parc.	Bloc	Culture en mai 2009	Culture prévue en mai 2009 pour 2010	Culture en déc. 2009 et prévue 2010	Culture prévue en déc. 2010 pour 2011	Culture prévue en mai 2010 pour 2011
	0,18			Jach CAD	Jach CAD	Jach CAD	?	
	0,39			M	M	M	M	
	0,75			Jach CAD	Jach CAD	Jach CAD	Fétuque ? ou culture ?	
	1,06			C	BT	BT	?	
	1,11			Luzerne	L	L	L	
	1,30			C	BT	BT	C ?	
	1,31			Luzerne	L	L	L	
	1,35			M	M	M	M	
	1,49			Luzerne	L	L	L	
	1,8			BT	C	BT	3 ^{ème} BT ?	
	1,81			Luzerne	L	L	L	
	2,15			BT	C	C	BT	
	2,33			BT	C	C	BT	
	2,45			C	BT	BT	T ?	
SMDB 5 km	3,23			Luzerne	L	L	L ou BT ?	
SB 10 km	3,37			Luzerne	BT	BT	C	
	2,75			C	BT ou RG ?	BT	C	
	4,55			PT-RGI	BT	C	BT	
	4,94			Luzerne	L	L irr	L ou BT ?	
	9,23	2,55		L CAD	L CAD	L CAD	BT: combien d'ha ? PT RG près maisons ?	
		4,8		B	RGI	6,68 ha : BT		
		1,88		Luzerne	RGI			
	14,6	5,38		M	M	M irr	M	
		9,22		BT	BT : 2 ha	4,21 ha : Mél LUZ graminées	Mélange Luz Graminées	
					L	5 ha :	LUZ	

						Moutarde puis T + LUZ		

Quels sont les écarts par rapport à la planification de décembre 2009 pour l'assolement 2011 ? Quelles en sont les raisons ? À quel moment avez-vous changé d'avis et à cause de quel événement ?

Pour ce qui n'était pas encore décidé en décembre 2009 pour l'assolement 2011 : quand avez-vous choisi les cultures dans les parcelles concernées ? Et qu'est-ce qui a permis de finaliser la décision ? Pourquoi n'était-ce pas possible de décider plus tôt et est-ce ce « calendrier » de décisions est le même chaque année ?

Pour ce qui n'est pas encore décidé en mai 2010 pour l'assolement 2011 : qu'est-ce qui vous manque comme information pour pouvoir finir de décider de votre assolement 2011 ? Quand et en fonction de quoi serez-vous en mesure de décider ? Est-ce ce « calendrier » de décisions est le même chaque année ?

Assolement global prévisionnel pour 2011

Culture	Prévision déc. 2009 pour 2011		Prévision mai 2010 pour 2011	
M	7.13			
BT	16 ou plus			
C	7.42			
T	0			
Luzerne	23.1 (ou moins)	27.85 au plus		
PT	~4 ha ?			
Fétuque ?	0.75 ?			
J	0			
?	1.24			

Stabilité du BT finalement ou réduction au profit de la luzerne et des PT ? Pourquoi ? Quand l'avez-vous décidé ?

Quelle évolution prévue pour le C ? Pourquoi ? Quand l'avez-vous décidé ?

3) Validation des trois schémas et questions spécifiques

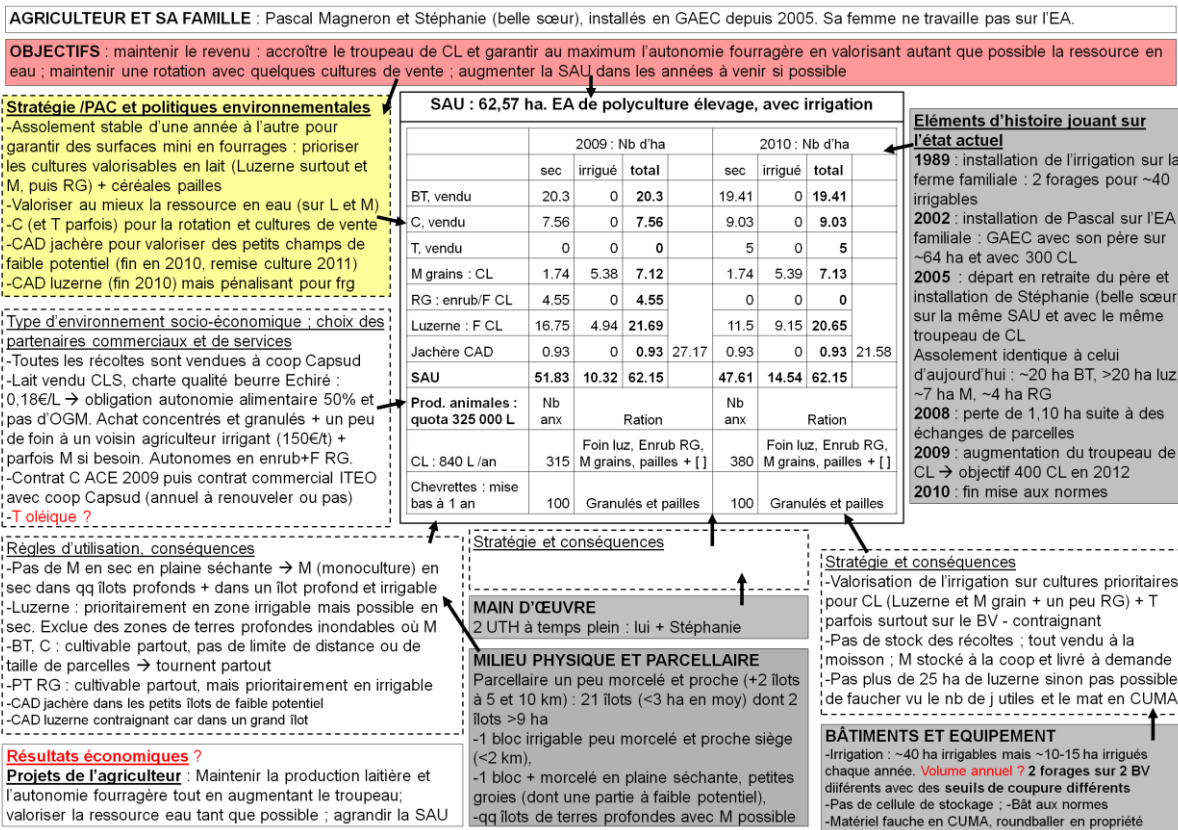
Schéma 1. *Explication de la combinaison des productions en fonction de la hiérarchie des cultures et des surfaces de sole souhaitées par culture ou catégorie de culture*

Objectifs et stratégie

Maintenir le revenu : accroître le troupeau de CL et garantir au maximum l'autonomie fourragère en valorisant autant que possible la ressource en eau ; maintenir une rotation avec quelques cultures de vente ; augmenter la SAU dans les années à venir si possible

-Augmentation de SAU : si vous aviez des ha supplémentaires disponibles, quelle culture vous augmenteriez ?

SCHEMA ASPATIAL DE COMBINAISON DES PRODUCTIONS DANS L'EXPLOITATION



Productions animales

Evolution de l'effectif : 315 CL en mai 2009 et 380 CL en 2010 ?

Avez-vous augmenté l'effectif par achat ou non vente des jeunes chevrettes ?

Quota de 325 000 L encore en 2010 ? 840 L/an par CL ?

Ressources

MO : 2 UTH pour 60 ha et un atelier élevage → est-ce que la disponibilité en MO détermine certains choix de cultures ?

Irrigation : quel volume de référence ? Quel volume 2010 autorisé ?

Combien de m³ avait-il lors de la mise en place de l'irrigation ? ... m³ /an ? Combien d'ha irrigués avait-il lorsque les volumes étaient non limitant ? Quel assolement aviez-vous alors ?

Avec le volume actuel, pourrait-il irriguer plus de surfaces en luzerne ? Pourquoi ? S'il augmente la surface en luzerne à l'avenir, est-ce qu'il augmentera la proportion de luzerne irriguée ?

Est-ce que le RG est parfois irrigué ? Suivant quelle règle ?

Combien faut-il de m³ /ha de maïs au minimum pour que l'irrigation soit utile (rendement >80 q/ha) ?

Si les restrictions sont croissantes, à quelle culture allez-vous donner la priorité pour l'irrigation ? Quels volumes allez-vous mettre sur quelles cultures et combien d'ha de chaque culture allez-vous cultiver ?

Et si plus d'irrigation du tout ? Vous augmenteriez la surface en maïs grains pour compenser les baisses de rendements ?

Catégorie de cultures

-Cultures obligatoires et prioritaires = cultures destinées à l'alimentation des CL + pailles : M, luzerne et RG + BT. Les autres cultures sont nécessaires à la rotation mais ne sont pas prioritaires : C (et T).

-T : Quel seuil de prix pour son introduction ? A-t-il un contrat oléique ?

-Culture de base (importance dans la rotation, sécurité des rendements et pailles) : BT
Est-ce que le BT garantit un revenu mini grâce à la stabilité des rendements et des débouchés ?

-Cultures de tête d'assolement pour allonger les rotations et diversifier les sources de revenus: C (ITK exigeant mais rentable), T (culture bouche trou).

-Cultures exclues : cultures à haute valeur commerciale mais risquée techniquement (BD, orge de brasserie, BT semence etc.) car SAU trop restreinte pour ces cultures non prioritaires.

Schéma 2. Explication du découpage parcellaire et des successions de cultures

ZC : Pas de limite de distance ou taille de parcelle : toutes les cultures tournent partout (sauf M et L qui ont des contraintes particulières). La luzerne est prioritaire dans la zone irrigable, mais est cultivée partout où ce n'est pas inondable (là où M possible).

Dans quelle mesure peut-il faire du M en zone irrigable hors zone de monoculture ? Quelle est alors la succession ?

Blocs de culture avec rotation-cadre associée : valide ?

-S'il était sûr, dans l'avenir, de pouvoir acheter du foin de qualité à un voisin, il aurait presque intérêt à ne cultiver sa luzerne que sur les surfaces irrigables, et à faire une rotation sans luzerne en sec sur les îlots de plaine (avec seulement C, BT, RG ?). A quelles conditions pourrait-il le faire ?

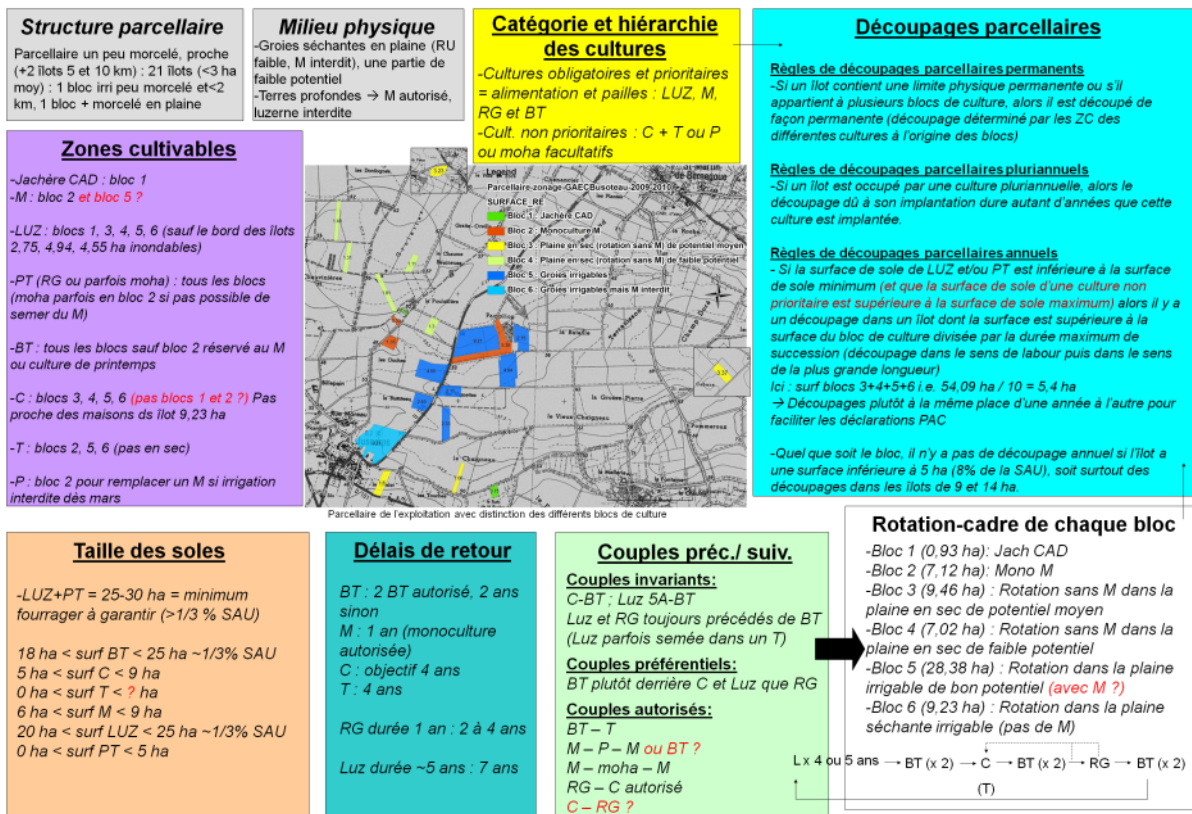
-Le forage sur le BV du Lambon est moins sujet aux restrictions d'irrigation que celui sur BV Courance. Quels sont les îlots relevant du BV du Lambon et du BV de la Courance ?

Est-ce qu'il distingue 2 zones irrigables : une à risque (Courance) et une moins risquée (Lambon) et dans lesquelles il n'a pas les mêmes règles d'organisation pour les cultures (ex : luzerne en priorité dans la zone moins risquée) ?

DR : T 4 ans ?

C objectif 4 ans : mais combien d'années en pratique ?

SCHEMA DE L'ORGANISATION SPATIALE DES CULTURES DANS L'EXPLOITATION



Tailles de soles

-18 ha < surf BT < 25 ha, soit 1/3 de la SAU : à quoi correspondent ce seuil ? À un minimum pour le revenu ou pour les pailles ou pour la durée de rotation ?

-5 ha < surf C < 9 ha, soit environ 10% de la SAU et entre 25 et 30% de la surface en cultures de vente (BT+C). Est-ce que ce seuil correspond à un délai de retour de 3 à 4 ans ?

-0 ha < surf T < ... ha ? A quoi correspond la limite maximale ? Lorsqu'il est introduit, est-ce au détriment du C ou au détriment d'autre chose (BT ou herbe) ?

- 6 ha < surf M < 9 ha : est-ce que ça correspond à une gamme de 48 à 72 t /an de M produits (pour un rendement moyen de 80 q/ha) ? Quelle est la quantité minimale de M nécessaire pour les CL ? Et dans l'avenir pour 400 CL ?

A quelles conditions pourrait-il réduire ou supprimer ses surfaces en maïs et à nouveau acheter du maïs à l'extérieur ?

-20 ha < surf LUZ < 25 ha, soit ~1/3% SAU. Est-ce que ça correspond à une gamme de 180 à 225 t /an de foin de luzerne (rendement moyen de 9 t/ha) ? Quelle est la quantité minimale de M nécessaire pour les CL ? Et dans l'avenir pour 400 CL ?

-0 ha < surf PT < 5 ha : est-ce que ça correspond à entre 0 et 60 t /an d'enrubannage (rendement maxi de 12 t/ha) ? Quelle est la quantité minimale de M nécessaire pour les CL ? Et dans l'avenir pour 400 CL ?

-LUZ+PT = 25-30 ha = minimum fourrager à garantir (40 à 50 % SAU)

Quelle taille de sole pour les fourrages avec un troupeau de 400 CL dans l'avenir ?

Y a-t-il une surface mini/maxi en 2nd blé chaque année ?

Surfaces irriguées : combien de surface de luzerne irriguée au mini / au maxi ?

Idem pour le maïs : combien de surface irriguée mini / maxi ?

Quelle production annuelle de fumier ? Quelle est la stratégie d'épandage du fumier sur les différentes cultures (et comment va-t-elle évoluer avec l'obligation de couvert hivernal) ?

A quel moment décide-t-il de son plan de fumure et est-ce que ça détermine son assolement : si oui et à quel moment (ex : culture décidé maxi à telle date car ensuite épandage de fumier) ?

Y a-t-il certaines cultures qui sont là uniquement pour permettre l'épandage du fumier ou uniquement car elles valorisent bien le fumier ? Y a-t-il des cultures pour lesquelles la surface est déterminée par la quantité de fumier à épandre (ex : minimum x1 ha sinon pas assez de surface où épandre, ou maximum x2 ha sinon pas assez de fumier pour bien fumer toute la sole) ?

Précédents/suivants

Si vous cultivez un T, quand et comment décidez-vous de faire un T pur suivi de BT ou un T avec luzerne dedans ?

Est-ce que les anciennes luzernes passent parfois en moha ou c'est toujours en BT ? Est-ce que le moha peut intervenir pour éviter de retourner l'intégralité d'une parcelle de luzerne et éviter un découpage ?

Si vous faites une année donnée un P au lieu d'un M (car interdiction d'irriguer par exemple), quelle culture faites-vous l'année suivante ? Un M à nouveau ou un BT ?

Et si vous faites une année donnée un moha au lieu d'un M (car interdiction d'irriguer ou parcelle inaccessible), quelle culture faites-vous l'année suivante ? Un M à nouveau ?

Evolution des blocs de cultures

- Bloc 1 en jachère CAD : 0,18 + 0,75 ha → à remettre en culture dans quelle zone après le CAD ? Est-ce que le C serait cultivable dans ces îlots ? Et L ? RG ? M ? BT ?

Est-ce que la surface en M pourrait augmenter ? Pourquoi ? Quel serait le facteur déclenchant ? Où pourrait-il être cultivé en plus des 3 îlots actuels en monoculture ?

Où allez-vous mettre le couvert environnemental à l'avenir ?

Découpages

*Règles de découpages parcellaires permanents

Si un îlot contient une limite physique permanente ou s'il appartient à plusieurs blocs de culture, alors il est découpé de façon permanente (découpage déterminé par les ZC des différentes cultures à l'origine des blocs).

*Règles de découpages parcellaires annuels

- Si la surface de sole de LUZ et/ou PT est inférieure à la surface de sole minimum (et que la surface de sole d'une culture non prioritaire est supérieure à la surface de sole maximum), alors il y a un découpage dans un îlot dont la surface est supérieure à la surface du bloc de culture divisée par la durée maximum de succession (découpage dans le sens de labour puis dans le sens de la plus grande longueur). Ici : surf blocs 3+4+5+6 i.e. 54,09 ha / 10 = 5,4 ha

→ Découpages plutôt à la même place d'une année à l'autre pour faciliter les déclarations PAC.

- Quel que soit le bloc, il n'y a pas de découpage annuel si l'îlot a une surface inférieure à 5 ha (8% de la SAU), soit surtout des découpages dans les îlots de 9 et 14 ha. Découpage que si luzerne ou PT : jamais pour des cultures de vente.

-A partir de quelle surface un îlot serait-il forcément redécoupé ? Si 20 ha dans la plaine : serait redécoupé systématiquement ou pas ?

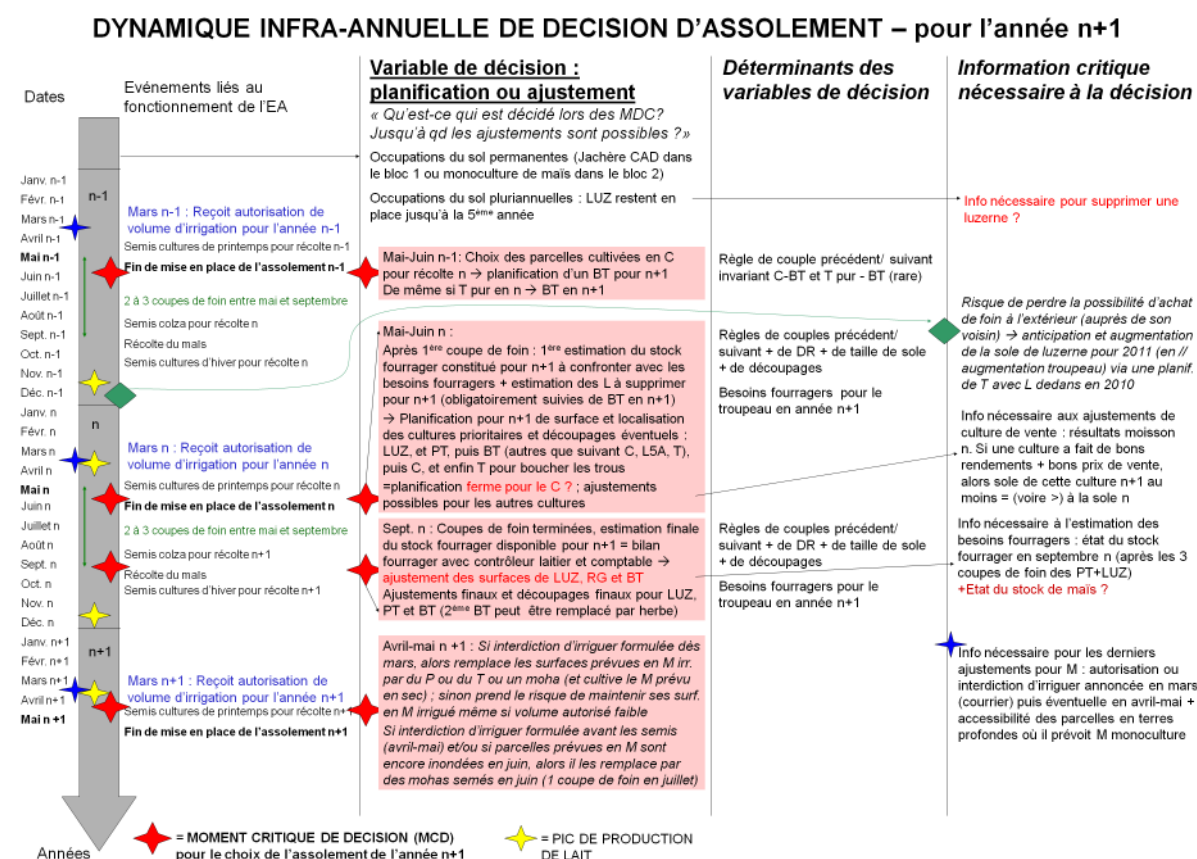
Schéma 3. Explication de la dynamique temporelle des décisions d'assolement

*Décisions pour les OS permanentes et pluriannuelles dès les années antérieures. Puis 1^{ères} décisions liées aux couples précédent/suivant obligatoires dès l'année n-1 (C-BT), puis 2^{ndes} décisions en mai juin n avec ajustements possibles jusqu' septembre pour PT+LUZ et BT, puis mai pour le M : est-ce le calendrier exact ?

Jusqu'à quand peut-il y avoir des ajustements pour le C (achat semences/fumier ou jusqu'aux semis...) ? En fonction de quoi ?

Jusqu'à quand peut-il y avoir des ajustements pour le BT (achat semences/fumier/semis...) ?

Jusqu'à quand peut-il y avoir des ajustements pour luzerne/RG (achat semences/fumier...) ?



*L'ordre dans lequel les surfaces et localisations (et découpages associés) sont choisis est-il bien : 1) M monoculture, 2) LUZ et RG, 3) BT, 4) C, 5) T et cultures d'ajustements.

*Quel événement exceptionnel peut vous faire faire des ajustements tard dans l'année ?

*Si vous décidez de cultiver du M dans d'autres îlots que les 3 actuellement en monoculture, quand et en fonction de quoi le décidez-vous ? Dépend du stock de maïs de l'année n ?

Quand et comment décidez-vous de supprimer une PT ou une luzerne ? Est-ce un critère de nombre d'années fixe ou un critère de production ou de salissement ? Est-ce le même critère en sec et en irrigué ? Ex : îlot de 3,37 ha entre 2009 et 2010

Quand commande-t-il les semences et intrants pour chaque culture ? Y a-t-il quelque chose (un délai imposé par les fournisseurs, ou des prix plus attractifs à telle date) qui le contraint à choisir en avance ses surfaces ou au contraire peut-il s'ajuster jusqu'à la date de semis ?

En quoi la diminution de volume par rapport à l'année n peut modifier vos choix de cultures pour l'année n+1 ? Donner des seuils (tant de volume d'eau, tant d'ha de telle culture).

Quand avez-vous eu des informations économiques suffisantes (moisson n ?) pour décider des surfaces de chaque culture (prix de vente, prix des intrants, primes...) ? En quoi cela peut-il modifier vos choix de surfaces ?

* Couvert de moutarde suivi de T + luzerne : avez-vous tout décidé ensemble ou le couvert puis le T puis la luzerne dedans ? Quand l'avez-vous décidé ? Est-ce que vous aviez déjà cultivé du T auparavant ? Est-ce que c'est cette décision de cultiver un T + luzerne qui vous a incité à supprimer le RG pur pour 2010 ?

* Puisqu'il avait mis 6,68 ha de BT en plus par rapport aux prévisions, et puisqu'il voulait ne pas réduire la sole de C (par rapport à 2009) au profit du BT, il a choisi de faire le C dans l'îlot de 4,55 ha et un 2nd BT dans celui de 1,8 ha, de façon à équilibrer les surfaces (alors que l'inverse était prévu en mai 2009 : quand l'avez-vous décidé ?

Quel est le critère (et à quel moment) pour décider d'acheter du maïs à l'extérieur ? Combien de tonnes achète-t-il ?

A qui achetez-vous le foin manquant ? A quel moment ? Est-ce que son prix fluctue d'une année à l'autre et est-ce que ça modifie votre stratégie d'affouragement les années où le prix est élevé ?

4) Rétrospective des assolements précédents

Pouvez-vous décrire l'évolution du parcellaire d'EA (et la SAU) sur les 10 dernières années ? Quels îlots appartenaient à l'EA en quelle année et quelle surface avaient-ils ?

4) Guide d'entretien utilisé pour la deuxième série d'enquêtes (printemps 2010). Tiré de Bernard (2010)

Pour la deuxième série d'enquêtes réalisée par Camille Bernard, nous avons utilisé un guide d'entretien unique pour les 14 exploitations, à l'exception de la partie rétrospective des assolements, qui mobilisait un graphique individualisé.

1) Structure et trajectoire d'EA

Nom(s) Prénom(s) Age

Statut (raison sociale) EA :

Nom de la structure :

Adresse :

.....

Commune : Code Postal :

Tel fixe : Portable :

SAU (ha) :

Statut foncier (% propriété, location (« certaine ? ») etc.) :

Distance siège EA / bâtiments :

Distance (temps/km) siège EA, parcelles éloignées :

Productions

Productions présentes sur l'EA selon les ordres de priorité (revenu ou autres)

P 1	P 2	P 3	P 4	P 5

Caractériser ces productions

Expliciter les raisons de cet ordre de priorité

Trajectoire d'EA et Ressources actuelles

Quand vous êtes vous installé ? Dans quelles conditions ? A la succession de qui ?

Quelle était la SAU au départ ?

Principales évolutions depuis l'installation :

Les surfaces ont-elles évoluées ? (date et mode d'acquisition) : (noter sur le parcellaire)

Evolution de la MO

Evolution de l'élevage et de la conduite (bâtiment, pâturage etc. ; laitier, allaitant etc.) et raisons (augmentation/diminution d'effectifs, intro/abandon atelier) :

Evolution des cultures et raisons (augmentation/diminution surfaces, intro/abandon cultures, au profit/détriment desquelles ?) :

Principaux équipements et rapide évolution des bâtiments (acquisition, investissements, fonctions : élevage, stockage ...) et irrigation (quel volume ? Combien d'ha irrigables avec accès aux tuyaux / avec le volume d'eau disponible) :

Avez-vous souscrit à un contrat MAE, CAD ? Depuis quand ? (CTE avant ?)

Avez-vous des responsabilités au sein d'un organisme ? Depuis quand ? Toujours le même ?

Avec quels organismes agricoles travaillez-vous ?

→ A qui vendez vous vos produits ? (coop., négociants, etc.)

→ Travaillez-vous en CUMA ? Sur quelles opérations, et avec quels matériels ?

→ Avec quels organismes de conseil êtes-vous en relation ? (Chambre Agri, Coopérative, UPRA, vétérinaire, etc.)

Quels sont les futurs projets pour votre EA ? Mise aux normes, Agrandissement, Diversification, Abandon d'une production, Investissements (emprunts, aides pour quel type d'investissement), (Durabilité et capacité d'investissement) ??

Caractérisation du territoire d'ensemble par l'agriculteur

Support : photo aérienne des 2 communes

Quels types de sols rencontrez-vous dans les communes ?

Quels sont les cours d'eau de la commune ? Traversent-ils l'EA ? (si oui, réglementation bande tampon de 10m ?)

Pouvez-vous localiser et donner les caractéristiques de zones à bons/mauvais potentiels agronomiques par rapport aux cultures (céréales, maïs, prairies, etc.) ?

Y-a-t-il eu des pertes de SAU dans les communes au cours des dernières années ? (extension du village par construction maison, arrêt d'EA, donc vente de terrains constructibles etc.).

A l'inverse : y-a-t-il eu un « marché » des surfaces agricoles à reprendre ? Quelle a été votre stratégie face à ces terres disponibles ?

Où y-a-t-il eu des échanges de parcelles dans le passé (à quelle date/ combien d'ha et d'EA concernées) ? Où y-en-aura-t-il dans l'avenir ? Où y-en-aurait-il besoin ?

Pouvez-vous identifier les zones irrigables ou non ?

Structure du parcellaire

Support : carte du parcellaire préalablement réalisée sur la base de 2008, à valider pour 2010

Définition du parcellaire : *groupé/morcelé ?*
proche/dispersé ?

Contraintes et/ou atouts majeurs (morcellement, dispersion, taille/distance des parcelles, accessibilité) *de la nature des terrains :*

de l'organisation spatiale :

de l'accessibilité (routes à traverser, chemins d'accès ...)

Quels sont les types de sols rencontrés sur l'EA (nom vernaculaire et/ou scientifique) ? (les localiser sur la carte du parcellaire), atouts et contraintes (pierrosité, humidité etc.).

Types de terrain (sols, RU etc.)	Localisation	Aménagements / Caractéristiques	Surfaces	% SAU	Cultures préférables	Problèmes rencontrés

→ Permet d'identifier les grands ensembles au sein du parcellaire, gérés de façon homogène (différence de terrains, de répartition dans l'espace, de distance/accessibilité, de taille des parcelles) → valider avec l'exploitant ce que l'on a compris, et les ensembles facilement identifiables de suite.

N° îlots / Nom	Localisation/ Distance EA	Surf parcelles	Grand ensemble ?	Contraintes du terrain (type de sol etc.)	Contraintes du parcellaire (distance, taille, forme)	Cultures 2010	Cultures prévues 2011	Cultures possibles/im possibles	Accès à l'eau (tuyaux, point d'eau animaux)	Accès possible pour animaux (route à traverser, clôtures etc.)

Les productions animales

Atelier	Race	Effectifs	Niveau de production (litre de lait etc.)	Quotas	Vente (à qui? Sous quelle forme?)	Alimentation (produite sur l'EA : MS, UF)

A quelle période sont les pics de travail liés à la reproduction ? Mise bas, mise à la reproduction ?

Quand sont les pics de production de lait ? Les périodes de vente des animaux ?

Fourrages			J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Lots	Ration EA	Ration hors EA												
Concentrés			J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Lots	Ration EA	Ration hors EA												
Pâturage / lot			J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D

→ Permet de calculer les besoins fourragers et les surfaces minimum requises en cultures fourragères.

Cultures entrant dans l'alimentation hors prairies (cultures et surfaces en sec et irrigué, puis totales, rendement et récolte) ?

Combien de tonnes de chaque aliment par an → Consommées ? Récoltées ? Achetées ?

Autonomie fourragère / culture et en général : oui non

- Objectif en termes d'autonomie fourragère pour chaque atelier (en %) ?
- Quelle surface minimale nécessaire en surfaces fourragères pour chaque atelier ?
(À calculer en traitement données aussi, et à comparer avec réponse de l'exploitant)
- Y-a-t-il une surestimation de cette surface pour pallier les variations de rendements ?
- Sur quoi joue-t-on pour tenir compte d'éventuelles variations de rendement interannuelles ?
- Si oui, comment est géré le stock excédentaire éventuel ?
- Et en céréales à pailles ? autonome ou pas ? échanges pailles/ fumier ?

Contraintes de production liées aux exigences des acheteurs (cahier des charges, charte qualité), en particulier sur l'affouragement des animaux, la conduite du pâturage, mais aussi quotas ?

Les productions végétales

Cultures	Surfaces		% SAU	Destination		Fonction / Rôle (avantages, inconvénients)
	sec	irrigué		Vente (contrat, contraintes), quelle coop, stockage?	Troupeau	

Remarques :

Quelles sont les cultures à meilleur rendement ? Et à moins bon rendement ?

Y-a-t-il des variations fortes de rendement d'une année à l'autre ? Pourquoi ?

Dérobés	Surface		% SAU	Place dans la succession	Destination	Fonction
	sec	irrigué				

Remarques :

Jachères	Surface	% SAU	Type de couvert (herbe, couvert envi., éléments topo)	Localisation	Fonction

Remarques :

1% de la SAU devra être consacrée à des éléments fixes du paysage (haies, bandes tampons, bordures de champs etc. en 2010 (3% en 2011 et 5% en 2012).

Donc pour 2010 : où ces éléments se trouveront-ils dans votre parcellaire ?

Cette mesure aura ou non des conséquences sur vos choix de cultures (et si oui lesquelles ? et pourquoi ?) au cours des années suivantes avec 3% et 5% ?

Hiérarchie des cultures :

Quelles sont les cultures prioritaires, les cultures les plus importantes pour le bon fonctionnement de l'EA ? (par rapport à un objectif donné : alimentation troupeau, revenu, tête de rotation etc.) ?

Quelles sont les cultures les plus rémunératrices, les plus sûres, les plus stables, les plus risquées (chacune en termes de rendements, de revenus, de surfaces etc.) ? Reposent-elles sur la stabilité des rendements ou la stabilité des prix de vente... ?

Quelles sont les cultures les plus exigeantes (en travail, type de sol (fertilité, RU etc.)) ? Pourquoi ? (compétition entre les cultures ?)

Les cultures les moins exigeantes ? Pourquoi ? (et qui font un peu bouche-trou ?)

Variabilité d'une année sur l'autre ? (même culture prioritaire chaque année ?)

Quelles sont les cultures interchangeables : qui jouent le même rôle et dont l'une peut remplacer l'autre ? Pourquoi ?

Quelles sont vos « catégories » de culture, ensembles de cultures qui ont les mêmes caractéristiques, ou qui ont les mêmes zones cultivables etc. ?

Y-a-t-il concurrence entre les cultures (problèmes pour réaliser l'ensemble des travaux à un instant t), pourquoi ? Même époque chaque année ?

Est-ce que la sole maxi de certaines cultures est dictée par des contraintes sur l'organisation du travail (ex : pas possible de faire plus de 10ha de tournesol, car le mois de mai est le plus chargé) ?

Découpages :

Y-a-t-il des découpages au sein des îlots ? Si oui, pourquoi ?

Quels sont les îlots qui peuvent être découpés (en plus de ceux découpés en 2010) ? A partir de quelle surface ?

Ce découpage est-il fixe chaque année ? Si oui : pourquoi ? (haie au milieu îlot etc.) Sinon : de quoi dépend le découpage des îlots une année donnée ?

Quand un îlot est séparé en plusieurs parcelles, où est fait le découpage et pourquoi, suivant quels critères ? (sens de labour, sens de la route, accessibilité etc...)

Demander confirmation :

Le découpage des îlots permet-il de réduire les variations d'assolement dues aux différences de tailles entre parcelles ?

Où est-ce que les successions sont adaptées pour garder un assolement le moins variable possible (plus souple sur les DR et les précédents)?

Où est-ce que vous acceptez des variations interannuelles d'assolement ?

Relations entre SC et SE

→ *Transfert de matière (résidus de culture, fumure...)*

Production d'effluents (fumier, lisier) par an ? Lieu d'épandage ? Excédent, ou déficit ?

Existe-t-il une réglementation à l'épandage dans la région (zone de protection de captage ou autre) ?

Echange paille/fumier avec d'autres EA ?

Organisation du travail

Identification des pointes de travail et des périodes de sous-emploi :

Points de blocage pour réalisation des travaux (équipement, MO...) :

Durée des travaux journaliers d'astreinte (soins animaux + traite) ?

Est-ce que l'organisation du travail due aux contraintes de l'élevage a une influence sur les choix de systèmes de culture ? Si oui, lesquels ?

La MO disponible justifie-t-elle la présence de certaines productions et/ou mode de conduite ? si plus de MO, mêmes productions ? et si moins ?

Filières → validation et/ou complément de ce qu'on aura évoqué précédemment

Vente des produits : culture/élevage, à qui ? Localisation ? Depuis quand ? Qui avant ?

De quelle nature est l'engagement réciproque ? (quantité, surface, fréquence, qualité, prix,... CDC ?)

Comment sont fixés les prix ? (sont-ils fixés avant la saison de récolte, en fonction de quoi ?

Sont-ils identiques entre structures de la même région ? Si non, pourquoi ?

Existe-t-il une prime liée à la date de vente ou à la qualité de production ? Un prix supplémentaire en fonction du respect du CDC ?

Fournisseurs (nom et localisation), et depuis quand ? Et si changement depuis installation ?

2) Systèmes de culture / Successions de cultures → Règles actuelles

Zone cultivable

Où chacune des cultures peut / ne peut pas être cultivée ? Pourquoi ?

Y-a-t-il des localisations préférentielles pour certaines cultures et pourquoi ? (varie au cours du temps : d'une année à l'autre ?).

Répondre à ces questions en faisant un récapitulatif des données récoltées au début de l'entretien (entre autres) sur :

Idem : évoqué auparavant, permet juste de refaire un point, pas forcément nécessaire

- Caractérisation du terrain : permanentes (profondeur, RU, stabilité structurale, pierrosité) / évolutives (adventices, parasites etc.)
- Caractéristiques parcellaires : taille, forme, accessibilité, compatibilité avec l'équipement utilisé
- Localisation géographique relative (eau, bâtiments, siège distance, surveillance)
- Règlements (protection de zones de captage)

Précédents

Quels sont les précédents/suivants possibles, préférentiels, interdits ? Et donc quelles sont les successions les plus favorables ? Est-il possible de toujours respecter ces règles ? Si non, pourquoi ?

Y-a-t-il des incompatibilités des cycles de production ?

Quels sont les effets recherchés ou évités des précédents/suivants ?

Existe-t-il des contraintes externes qui influencent le choix du précédent/suivant ?

Est-il toujours possible de suivre ces règles ? Si non, pourquoi (facteurs de variation) ? qu'est-il fait à la place ?

Délai retour

Combien de temps minimum attendez-vous pour remettre la même culture au même endroit ?

Pour chaque culture, combien de cycles successifs (NCS), sur la même parcelle acceptez-vous de faire chaque année ? Pourquoi pas plus ? (climat, demande du marché, parasites, construction des successions avec les cultures de cycle différents etc.)

Y-a-t-il des limites (condition climatique, vent, eau, insectes etc.) pour certaines cultures ? Pourquoi ?

Intégrez-vous la jachère à vos successions de cultures ? Sur combien de temps ?

Taille de la sole min et max

Quelle surface min et max par culture faites-vous chaque année ? Pourquoi ?

Y-a-t-il des contraintes internes liées à l'équipement, les surfaces disponibles pour cette culture, la MO, la destination des produits, qui limitent cette sole ?

Y-a-t-il des contraintes externes liées aux quotas, droits de plantation, gels de culture etc. qui limitent cette sole ?

Cultures	Sole (ha)		Zone cultivable (raisons, contraintes/culture)	Délai retour	ZC/DR = Sole max (théorie)	Précédents possibles/ impossibles / tolérés (raisons)	Distance min/max siège (raisons)
	Min	Max					

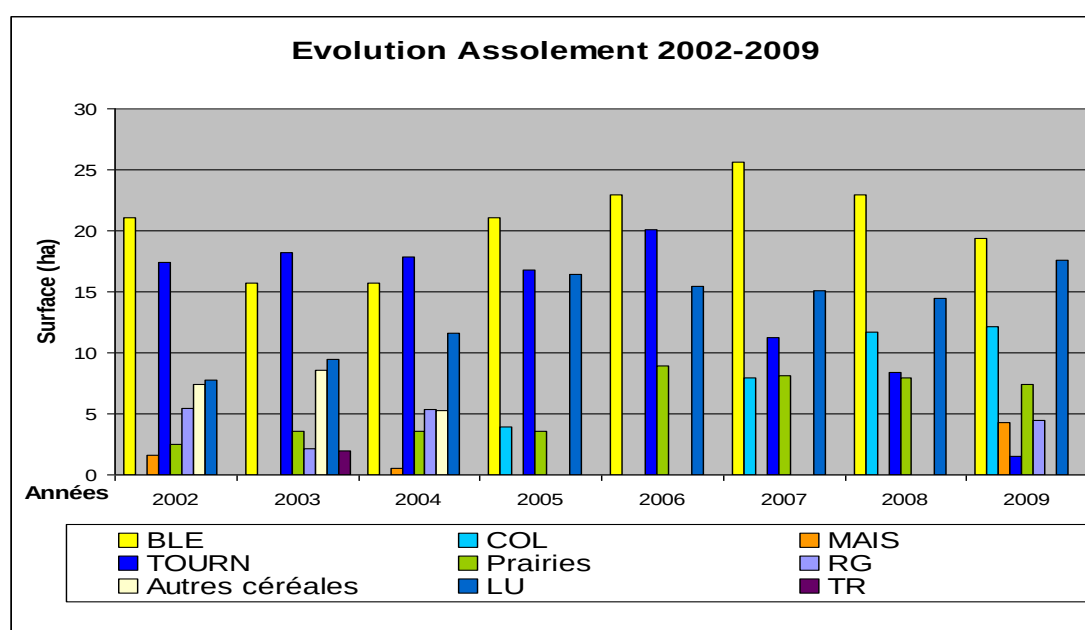
Déterminer les blocs de culture et les rotations cadres à la suite de l'entretien

Déterminer le modèle d'action actuel : règles d'organisation spatiale des cultures et de successions de cultures → Validation assolement 2010

3) Rétrospective des assolements 2002 à 2009 et frise historique du contexte

(Explication des raisons des stabilités / modifications d'assolement au cours des années)

Vérification du parcellaire sur les 10 dernières années (augmentation/diminution)



Pour chaque année :

Contraintes imposées par les acheteurs ?

Cahier Des Charges modifiés ?

Raisons des modifications d'assolement / stabilités par rapport à l'année (ou aux années) précédente(s) ?

Déterminants marquants des décisions ?

Annexe 5. Précisions sur les décisions d'ajustements infra-annuels de planification d'assolement (règles de décisions identifiées par enquêtes en exploitations)

Nous donnons ici les règles de décisions d'ajustements de la planification d'assolement identifiées par enquêtes. Ces règles de décisions ont été soit utilisées par les agriculteurs au cours de la campagne agricole 2009-2010, soit énoncées comme ajustements possibles (ajustements planifiés), mais pas nécessairement mises en œuvre cette année-là.

Nous avons regroupé ces règles par « moment fixe » d'ajustements, i.e. environ tous les deux mois. Ces ajustements ont pour but de répondre à des aléas (=déterminants) auxquels l'agriculteur est soumis. Pour mettre en œuvre les règles de décisions d'ajustements, les agriculteurs ont besoin d'informations : si la structure des règles de décisions est le plus souvent partagée entre agriculteurs, ces règles sont déclenchées en fonction de seuils qui sont propres à chaque agriculteur. Ce **seuil** sera rédigé en rouge dans les paragraphes suivants.

Juillet n

Types d'aléa	Informations nécessaires	Règles de décisions
Economique	Prix de vente de la culture à la moisson n (et écart de prix entre cultures)	Si l'agriculteur a planifié de cultiver des cultures complémentaires (interchangeables), alors il peut choisir la proportion de chacune des cultures (et l'allocation des cultures complémentaires aux parcelles fixes) en fonction de leurs prix de vente respectifs à la moisson n : la taille de sole de la culture la plus rémunératrice sera la plus grande. L'ajustement risque d'être d'autant plus important que l'écart de prix entre cultures sera grand. <u>L'ajustement porte sur les proportions de surfaces de cultures complémentaires dans un ensemble de parcelles qui reste inchangé.</u>
Technique	Qualité des récoltes des cultures n Etat des cultures n encore sur pied	Si l'agriculteur constate une infestation d'adventices ou des dégâts importants dus à des ravageurs (ex : dégâts de lapins et pigeons sur tournesol) dans des parcelles où les cultures sont sur pied ou bien un niveau important d'adventices dans certaines parcelles récoltées en juillet n, alors il peut décider d'échanger l'allocation de cultures des parcelles concernées avec d'autres parcelles (à

		condition que les cultures échangées aient les mêmes zones cultivables annuelles). <u>L'ajustement porte sur la localisation des cultures dans leur zone cultivable annuelle.</u>
Climatique et organisationnel	Conditions de récolte Organisation du travail Pluviométrie après la récolte	Si l'agriculteur parvient à récolter et à s'occuper des pailles assez tôt dans les parcelles d'orge en juillet n, et/ou si les conditions de préparation de semis sont favorables après la récolte, alors il peut décider d'allouer du colza à ces parcelles (à la place d'une autre culture prévue ou parmi plusieurs cultures d'un groupe complémentaire). <u>L'ajustement porte sur le remplacement d'une culture par une autre, ou sur le choix des cultures complémentaires parmi un groupe dans un ensemble de parcelles inchangé.</u>

Septembre n

Types d'aléa	Informations nécessaires	Règles de décisions
Climatique	Rendement fourrager des prairies en année n (après toutes les coupes de l'année n)	Si le stock fourrager escompté est déficitaire en septembre n, alors l'agriculteur peut décider d'augmenter les tailles de sole de certaines cultures fourragères (PT ou luzerne implantées dès l'automne), au détriment de cultures complémentaires ayant une autre fonction et prévues pour être implantées au printemps (ex : tournesol, pois). <u>L'ajustement porte sur le remplacement d'une culture complémentaire par une culture prioritaire et donc sur la taille de sole d'une culture prioritaire (en hausse) et d'une culture complémentaire (en baisse).</u>
Acteur externe à l'exploitation	Surface autorisée en blé tendre semence par la coopérative de semences partenaire de l'exploitation	Si un agriculteur planifie de cultiver une culture dont la taille de sole est déterminée par un partenaire commercial (ex : coopérative de semences), alors il doit pouvoir ajuster sa planification au moment où le partenaire commercial lui donnera l'information sur la taille de sole précisément autorisée. A ce moment là, l'agriculteur optimise l'allocation de la culture aux parcelles pour s'approcher le plus de la taille de sole autorisée. <u>L'ajustement porte à la fois sur la taille de sole (à diminuer ou augmenter) et sur l'allocation de la culture aux parcelles (trouver une culture pour remplacer celle qui était prévue).</u>

Réglementaire et économique	Obligations réglementaires pour n+1 Opportunités de primes pour n+1	En septembre n, l'agriculteur fait le bilan des obligations réglementaires et des opportunités de primes, contrats ou de débouchés pour n+1. S'il identifie un changement (nouvelle prime ou débouché, engagement MAEt, annonce tardive d'une mesure obligatoire, ou annulation d'une mesure initialement prévue comme obligatoire...), alors l'agriculteur peut réaliser quelques <u>ajustements non planifiés</u> : modification de la hiérarchie des cultures pour les cultures à fonction « obligation » d'où modification de la taille de sole associée ; modification du choix des pourcentages de cultures complémentaires ; redécoupage éventuel des parcelles pour ajuster les tailles de sole, toujours au profit des cultures prioritaires et au détriment des autres.
Economique	Prix de vente des cultures en septembre n et tendance d'évolution du prix de vente depuis juillet n	Si l'agriculteur a planifié de cultiver des cultures complémentaires (interchangeables), alors il peut modifier la proportion de chacune des cultures (et l'allocation des cultures complémentaires aux parcelles fixes) en fonction de leurs prix de vente respectifs en septembre n (et de la tendance d'évolution du prix depuis juillet n) : la taille de sole de la culture la plus rémunératrice sera la plus grande. L'ajustement risque d'être d'autant plus important que l'écart de prix entre cultures sera grand. <u>L'ajustement porte sur les proportions de surfaces de cultures complémentaires dans un ensemble de parcelles qui reste inchangé.</u>
Technique ou organisationnel ou climatique	Conditions de semis du colza	Si les conditions de semis du colza sont défavorables (pas assez de pluviométrie, problème de matériel ou d'organisation du travail...), et si le colza n'est pas une culture prioritaire, alors l'agriculteur peut remplacer la sole de colza prévue (ou une partie de la sole) par une culture complémentaire à semer plus tard (ex : tournesol). <u>L'ajustement porte sur le remplacement d'une sole (ou partie de sole) par une autre dans un ensemble de parcelles fixes.</u>

Septembre correspond à la période où les agriculteurs achètent généralement les semences et les intrants pour les cultures d'hiver. Pour estimer leurs besoins en semences et intrants, les agriculteurs ont besoin de connaître les tailles de sole des cultures et leur allocation aux parcelles. La planification d'allocation des cultures d'hiver ne fait donc plus beaucoup l'objet d'ajustements après septembre.

Novembre n

Types d'aléa	Informations nécessaires	Règles de décisions
Réglementaire et économique	Obligations réglementaires pour n+1 Opportunités de primes pour n+1	Idem qu'en septembre n (mais plus d'ajustement possibles concernant le colza).
Technique ou organisationnel ou climatique	Conditions de semis des cultures d'hiver	Si les conditions de semis des cultures d'hiver sont défavorables (pas assez ou trop de pluviométrie, problème d'accessibilité aux parcelles, problème de matériel ou d'organisation du travail...), alors l'agriculteur peut remplacer les soles de cultures d'hiver prévues (ou partie de sole) par une culture de printemps. Cette culture n'aura pas nécessairement la même fonction ce qui peut poser problème par rapport aux tailles de sole visées. <u>L'ajustement porte sur le remplacement d'une sole (ou partie de sole) par une autre dans un ensemble de parcelles fixes.</u>

Janvier n+1

Types d'aléa	Informations nécessaires	Règles de décisions
Economique	Prix de vente des cultures en janvier n+1 et tendance d'évolution du prix de vente depuis juillet n	Si l'agriculteur a planifié de cultiver des cultures de printemps complémentaires (interchangeables), alors il peut modifier la proportion de chacune des cultures (et l'allocation des cultures complémentaires aux parcelles fixes) en fonction de leurs prix de vente respectifs en janvier n+1 (et de la tendance d'évolution du prix depuis juillet n) : la taille de sole de la culture la plus rémunératrice sera la plus grande. L'ajustement risque d'être d'autant plus important que l'écart de prix entre cultures sera grand. <u>L'ajustement porte sur les proportions de surfaces de cultures de printemps complémentaires dans un ensemble de parcelles qui reste inchangé.</u>

Climatique ou technique	Gel ou dégâts des cultures d'hiver	Si l'agriculteur est confronté à un dégât important sur une culture d'hiver implantée (ex : gel du colza), alors il peut remplacer les surfaces gâtées par une culture de printemps (ex : tournesol). <u>L'ajustement porte sur le remplacement d'une sole implantée (ou partie de sole implantée) par une autre dans un ensemble de parcelles fixes.</u>
Réglementaire et économique	Obligations réglementaires pour n+1 Opportunités de primes pour n+1	Idem qu'en novembre n+1 mais en ne pouvant ajuster que l'allocation des cultures de printemps

Le mois de janvier correspond à la période où les agriculteurs achètent généralement les semences et les intrants pour les cultures de printemps. Pour estimer leurs besoins en semences et intrants, les agriculteurs ont besoin de connaître les tailles de sole des cultures et leur allocation aux parcelles. La planification d'allocation des cultures de printemps ne fait donc plus beaucoup l'objet d'ajustements après janvier (sauf réactions à des imprévus).

Mars n+1

Types d'aléa	Informations nécessaires	Règles de décisions
Technique	Salissement des prairies (en particulier des luzernes)	Si l'agriculteur a planifié de maintenir une prairie pluriannuelle un an de plus en n+1, alors il peut attendre le printemps n+1 (mars) pour obtenir des informations sur le salissement de la parcelle. S'il juge que le salissement risque de trop réduire la productivité de la prairie, alors il peut décider d'implanter une culture de printemps pour l'assolement n+1 à la place de la prairie. <u>L'ajustement porte sur la durée de la prairie et l'allocation d'une autre culture dans une parcelle donnée : cela peut déterminer l'implantation d'une prairie dans une autre parcelle.</u>
Acteur externe à l'exploitation	Autorisation du volume d'eau d'irrigation pour la campagne n+1	Si un agriculteur est irrigant, alors <i>il doit pouvoir éventuellement ajuster sa planification à des restrictions d'irrigation imposées au niveau local (décisions préfectorales dans la zone de Niort)</i> . Si la restriction intervient dès le mois de mars avant l'implantation des cultures, alors l'agriculteur peut modifier sa planification d'allocation pour les cultures de printemps. <u>L'ajustement porte sur la taille de sole des cultures de printemps et éventuellement sur le remplacement d'une culture</u>

		de printemps par une autre (n'ayant pas nécessairement la même fonction mais ayant un risque moindre de réduction de potentiel de production du fait de la restriction d'irrigation). Si la restriction intervient après l'implantation des cultures par contre, alors l'agriculteur ne peut <u>ajuster que l'usage ou la fonction des cultures</u> (ensilage / grain ; vendu / autoconsommé...).

Mai n+1

Types d'aléa	Informations nécessaires	Règles de décisions
Climatique et technique	Salissement des prairies Rendements fourragers à la 1 ^{ère} coupe	Si l'agriculteur a planifié de maintenir une prairie pluriannuelle un an de plus en n+1, alors il peut attendre mai n+1 pour obtenir des informations sur le salissement de la parcelle et/ou sur le rendement de la 1^{ère} coupe. S'il juge que le salissement risque de trop réduire la productivité de la prairie, ou que le rendement est trop faible en raison de l'âge de la prairie, alors il peut décider d'implanter une culture de printemps pour l'assolement n+1 à la place de la prairie. <u>L'ajustement porte sur la durée de la prairie et l'allocation d'une autre culture dans une parcelle donnée : cela peut déterminer l'implantation d'une prairie dans une autre parcelle.</u> Si l'agriculteur avait alloué un ray-grass dans une parcelle et qu'il constate un rendement jugé trop faible par rapport à la moyenne à la première coupe (en raison d'un déficit de pluviométrie), alors il peut décider de laisser le ray-grass en place pour toute la campagne (pour pouvoir faire d'autres coupes) plutôt que d'implanter une culture de printemps comme initialement prévu (ex : tournesol). <u>L'ajustement porte à la fois sur la durée d'une culture et l'allocation d'une autre culture dans un ensemble de parcelles donné.</u> Si l'agriculteur constate des rendements fourragers jugés trop faibles par rapport à la moyenne à la première coupe (en raison d'un déficit de pluviométrie), alors il peut décider d'étendre la sole de cultures fourragères en remplaçant les parcelles prévues en cultures complémentaires (de

		printemps) par des cultures fourragères (prioritaires). <u>L'ajustement porte sur le remplacement d'une culture complémentaire par une culture prioritaire et donc sur la taille de sole d'une culture prioritaire (en hausse) et d'une culture complémentaire (en baisse).</u> Si l'agriculteur a déjà implanté des cultures dans toutes les parcelles et qu'il constate un rendement fourrager trop faible par rapport à ses besoins, alors il peut décider de modifier la fonction qu'il avait allouée initialement à certaines cultures dans certaines parcelles (ex : blé vendu vs. blé ensilage). <u>L'ajustement porte uniquement sur les fonctions des cultures (post-semis).</u>
Technique ou organisationnel ou climatique	Conditions de semis des cultures de printemps	Si les conditions de semis des cultures de printemps sont défavorables (pas assez / trop de pluviométrie, problème d'accessibilité aux parcelles, problème d'organisation du travail ou de matériel ...), alors l'agriculteur peut remplacer les soles de culture de printemps prévues (ou partie de sole) par une culture à cycle court (maïs remplacé par moha). Cette culture n'aura pas nécessairement la même fonction ce qui peut poser problème par rapport aux tailles de sole visées. <u>L'ajustement porte sur le remplacement d'une sole (ou partie de sole) par une autre dans un ensemble de parcelles fixes.</u>

Remarque 1. La fonction des cultures allouées pour $n+1$ (essentiellement choix entre vente et affouragement) pourra n'être déterminée qu'en fin d'année $n+1$, éventuellement après récolte : maïs ensilage ou grain décidé au moment des récoltes $n+1$ (aléa climatique, aléa acteur) / blé grain vendu ou autoconsommé (décidé après les récoltes $n+1$, éventuellement en année $n+2$ si la récolte est stockée) / orge et blé vendus ou autoconsommés (en fonction des informations sur prix de vente dans le courant de $n+2$ si récolte stockée).

Remarque 2. Les ajustements peuvent aussi consister à intercaler une culture entre deux allocations annuelles n et $n+1$ (ce qui n'est pas intégrable actuellement dans le modèle DYSPALLOCC puisqu'il n'y a qu'une allocation de culture par an). Ex : si, au printemps d'une année n , un agriculteur constate une baisse de rendement des cultures fourragères par rapport à la moyenne (en raison d'un déficit de pluviométrie), alors il peut décider d'implanter un moha juste après les récoltes de cultures d'hiver (juillet n), afin de faire une coupe d'herbe avant les semis des cultures d'hiver pour l'assolement $n+1$.

Annexe 6. Compléments d'informations sur la calibration et la validation du modèle DYSPALLOC à l'échelle de l'exploitation agricole

Dans cette annexe, nous donnons des compléments d'informations concernant la calibration et la validation du modèle DYSPALLOC (cf. Chapitre 5). Nous exposons tout d'abord les résultats de planification d'allocation spatiale des cultures simulés par DYSPALLOC pour chacune des quatre exploitations agricoles (EA) ayant servi à la construction/calibration du modèle. Puis, nous donnons des compléments d'informations concernant la validation des concepts de parcelles fixes et parcelles temporaires, qui a été exposée au Chapitre 5. Nous revenons en particulier sur le paramétrage des simulations réalisées sous APILandSFACTS.

1) Réussite du modèle DYSPALLOC pour les exploitations ayant servi à la construction et calibration du modèle

De la même façon que pour les cinq EA présentées dans le chapitre 5, nous avons simulé avec DYSPALLOC l'assolement planifié en mai 2009 pour l'année 2010, et comparé le résultat du modèle avec l'assolement planifié en mai 2009 pour 2010 réel de l'agriculteur, identifié par enquête. Nous avons fait cette comparaison pour les quatre EA ayant servi à la calibration du modèle (EA numéros 3, 7, 11 et 12).

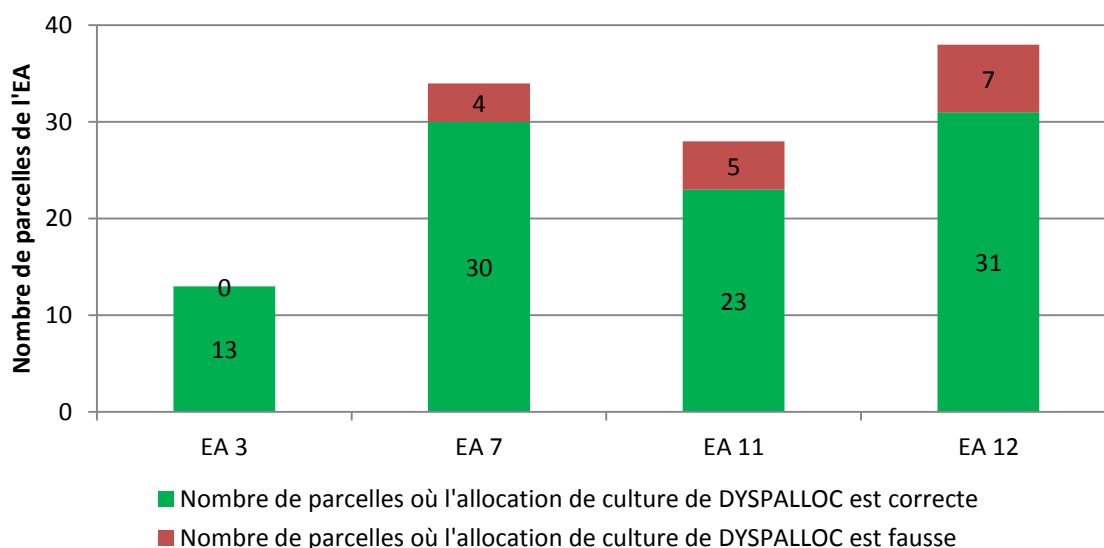


Figure 6 : Résultats des simulations de planification d'allocation des cultures aux parcelles par DYSPALLOC. Nombre de parcelles de l'EA où l'allocation est correcte vs. fausse (pour les quatre EA de la plaine de Niort ayant servi à la construction du modèle DYSPALLOC)

La Figure 6 présente les résultats de planification d'allocation spatiale des cultures simulés par DYSPALLOC pour chacune des quatre EA : elle montre le nombre de parcelles où l'allocation est correcte (vs. fausse). Ceci se traduit par un **pourcentage de réussite** du

modèle de 82 à 100% en nombre de parcelles (88% en moyenne), ce qui est supérieur au pourcentage de réussite des EA ayant servi à la validation (83% en moyenne).

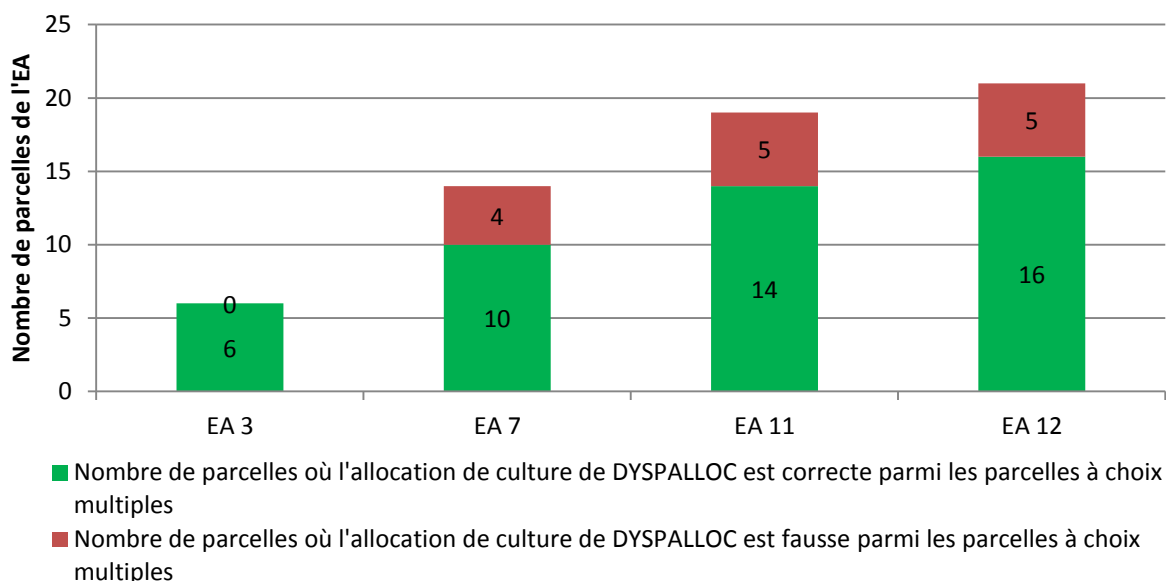


Figure 7 : Résultats des simulations de planification d'allocation des cultures aux parcelles par DYSPALLOC. Nombre de parcelles de l'EA où l'allocation est correcte vs. fautive, parmi les parcelles « à choix multiples » (pour les quatre EA de la plaine de Niort ayant servi à la construction du modèle DYSPALLOC)

La Figure 7 représente, pour chaque EA ayant servi à la calibration du modèle, le nombre de parcelles dans lesquelles DYSPALLOC a correctement alloué une culture (ou un groupe de cultures) parmi les parcelles « à choix multiples ». Ceci se traduit par des pourcentages de réussite du modèle variant de 71% (pour l'EA 7) à 100% pour l'EA 3. **Dans les parcelles « à choix multiples », DYSPALLOC a donc alloué en moyenne une culture ou un groupe de culture correct dans 80% des parcelles, ce qui est très satisfaisant** (et également supérieur au pourcentage de réussite dans les parcelles « à choix multiples » des EA ayant servi à la validation, qui était de 71% en moyenne).

2) Compléments d'informations sur l'expérimentation virtuelle menée avec APILandSFACTS (chapitre 5)

2.1) Rappel des entrées et sorties de LandSFACTS et comparaison à DYSPALLOC

Les entrées nécessaires à LandSFACTS¹ sont les suivantes :

- Un fichier de formes en vecteurs (fichier *shape*) pour le parcellaire de chaque exploitation (une parcelle = un polygone) ;
- La liste de toutes les cultures ;

¹ Tout ce paragraphe est tiré de la thèse de Céline Ronfort (2010) et de la page Internet suivante : <http://www.macauley.ac.uk/LandSFACTS/>

- La définition des rotations culturales, et la définition des cultures et rotations possibles par parcelle ;
- La définition de la situation initiale (culture initiale dans chaque parcelle) ;
- Des contraintes temporelles (délai de retour, nombre maximal de répétition d'une culture dans une parcelle, séquences de cultures interdites) et spatiales (distances de séparation entre cultures). **Ces contraintes sont optionnelles ;**
- Des proportions annuelles de surfaces de cultures minimum et maximum (**contraintes optionnelles également**) ;
- Des paramètres de simulation (nombre d'années de simulation etc.) et d'itération.

Les principales sorties de LandSFACTS sont les suivantes :

- un fichier texte sur la réussite de la simulation ;
- un fichier texte par simulation donnant une culture par parcelle pour chaque année de simulation ;
- un fichier d'export vers un système d'information géographique.

LandSFACTS présente donc des similitudes avec DYSPALLOCC : les règles de successions de cultures des agriculteurs sont considérées comme des données d'entrée (matrice de transition, délai de retour...) ; une culture est allouée dans chaque parcelle, etc. Toutefois, au-delà du fait que DYSPALLOCC simule une planification d'assolement et LandSFACTS un assolement finalisé, **ces modèles diffèrent par deux points majeurs** :

- 1) LandSFACTS ne donne pas une seule solution d'assolement pour une année donnée, il cherche au contraire autant de possibles que l'utilisateur lui en demande (exploration de scénarios d'allocations possibles). Il ne fonctionne pas avec des critères de préférence (ex : minimisation des distances entre cultures) pour réduire le nombre de solutions. Il peut arriver qu'il ne trouve pas de solution si les contraintes données en entrée sont trop fortes ;
- 2) LandSFACTS utilise toujours le même parcellaire, donné en entrées, et il ne prend pas en compte les éventuelles découpages ou réunions de parcelles au cours du temps. Les limites de parcelles, renseignées en entrées, sont inchangées pour toutes les années de simulation.

2.2) Traduction des données d'entrée de DYSPALLOCC pour LandSFACTS

Les données d'entrée de DYSPALLOCC ont été traduites de la façon suivante pour construire les données d'entrée nécessaires pour LandSFACTS :

- Les **cultures** possibles sur l'exploitation (variable [CROP]) sont directement transcrites dans LandSFACTS (dans *crop bank table*).
- Le **parcellaire** de l'exploitation, sous forme d'entités spatiales les plus grandes dans DYSPALLOCC [CAP ISLETS], est introduit sous forme d'entités spatiales les plus petites dans LandSFACTS. Ces petites entités sont alors regroupées *via* l'option

groups of fields, et le parcellaire utilisé en premier dans APILandSFACTS correspond aux découpages d'îlots élémentaires. Notons que la notion de [GROUP OF CAP ISLETS] dans DYSPALLOC peut être représentée dans LandSFACTS *via* l'option *linked fields*.

- Les données d'entrée de DYSPALLOC concernant les règles de **successions de cultures** sont déclinées à plusieurs endroits dans LandSFACTS.

La matrice de transition entre cultures [CROP TRANSITION MATRIX] de DYSPALLOC est décomposée en autant de matrices de transition qu'il y a de rotations identifiées sur l'exploitation (*crop transitions*). Les quatre classes de transition (obligatoire, interdite, possible, à éviter) doivent être traduites en nombres dans LandSFACTS, la somme des probabilités sur une ligne devant faire 1. Les rotations sont ensuite allouées à un ensemble de parcelles qui correspondent à des blocs de cultures suivant la définition d'Aubry et al. (1998b) et Maxime et al. (1995), *via assign rotations to fields*.

Les autres règles de successions de cultures sont introduites dans LandSFACTS dans la rubrique « contraintes temporelles » : la variable délai de retour [MINIMUM CROP RETURN TIME] est introduite comme contrainte de *return period* ; les variables [MINI and MAXI CROP IMPLANTATION LENGTH] et [MAXI SUCCESSIVE CYCLE NUMBER] sont introduites comme contrainte de *consecutive years min* et *consecutive years max* dans LandSFACTS.

Enfin, les règles concernant les tailles de sole [CROP AREA] sont introduites *via* la contrainte *yearly crop proportion*. Notons que LandSFACTS exige de renseigner des tailles de sole minimum et maximum, et qu'il n'est pas possible de renseigner une taille de sole optimum. Si l'on souhaite appliquer une contrainte de taille de sole à un groupe de cultures et pas à une culture unique, on peut le faire en créant des *groups of crops* dans LandSFACTS.

- L'**assolement** n [PREVIOUS CROPPING PLAN] dans DYSPALLOC est renseigné dans LandSFACTS dans la rubrique *initial crops* qui permet de définir quelle culture est allouée dans quelle parcelle en année n (plus petite entité spatiale) ; la première année simulée par LandSFACTS étant n+1.

Un grand nombre de variables d'entrée demandées dans DYSPALLOC servent à simuler des éléments qui sont directement donnés en entrée pour LandSFACTS. Ces variables ne sont donc pas demandées en entrée pour LandSFACTS. C'est le cas des :

- variables [PHYSICAL LIMIT], [POINTED CAP ISLET], [SOIL TYPE HOMOGENEITY], [CAP ISLET IRRIGATION ACCESS] qui servent à identifier les limites d'îlots élémentaires dans DYSPALLOC. Dans APILandSFACTS, les limites d'îlots

élémentaires sont données en entrée dans le premier parcellaire du plan de découpage ;

- variables [MAX DISTANCE BETWEEN CROP AND FARMSTEAD], [MIN DISTANCE BETWEEN CROP AND FOREST], [IRRIGATION REQUIREMENT], [CAP ISLET AREA], [DISTANCE BETWEEN CAP ISLET AND FARMSTEAD], [DISTANCE BETWEEN CAP ISLET AND FOREST], [SOIL TYPE], [MULTIPLE POINTED CAP ISLET], qui servent dans DYSPALLOC à définir les zones cultivables des cultures. Dans LandSFACTS, les zones cultivables sont connues *via* l'option *assign rotation to fields* qui restreint la liste des cultures possibles par parcelle de l'EA.

Les variables d'entrée servant à déterminer la hiérarchie des cultures [FUNCTION] et [ADJUST] ne sont pas utilisées dans LandSFACTS, de même que la variable [DISTANCE BETWEEN CAP ISLETS], car ce modèle ne rend pas compte des logiques « fonctionnelles » que peuvent avoir les agriculteurs concernant leurs choix de cultures, ni des logiques de minimisation des distances entre cultures pour leurs choix d'allocation spatiale des cultures aux parcelles.

2.3) Création des données d'entrée pour APILand : les plans de découpage

Le test des différents parcellaires dans APILandSFACTS nécessite de définir des « plans de découpage ». Ces **plans de découpage définissent à la fois : (i) l'ordre dans lequel les parcellaires sont successivement appelés par APILand pour chaque année de simulation, et (ii) les limites de parcelles présentes dans chaque parcellaire**. Un exemple est donné à la Figure 8 ci-dessous.

Remarque : APILandSFACTS fonctionne en fait avec une logique inverse par rapport à DYSPALLOC, dans le sens où DYSPALLOC utilise comme données d'entrée les entités spatiales les plus grandes (les îlots PAC), qui sont ensuite découpées en îlots élémentaires, parcelles fixes et parcelles temporaires (sur la base des limites de parcelles de l'année précédente). A l'inverse, APILandSFACTS utilise comme données d'entrée les entités spatiales les plus petites (les parcelles dites « élémentaires ») qui peuvent ensuite être regroupées en entités spatiales plus grandes (groupes de parcelles, à condition que ces dernières soient contigües), le regroupement de ces entités étant défini par l'utilisateur *via* les plans de découpage.

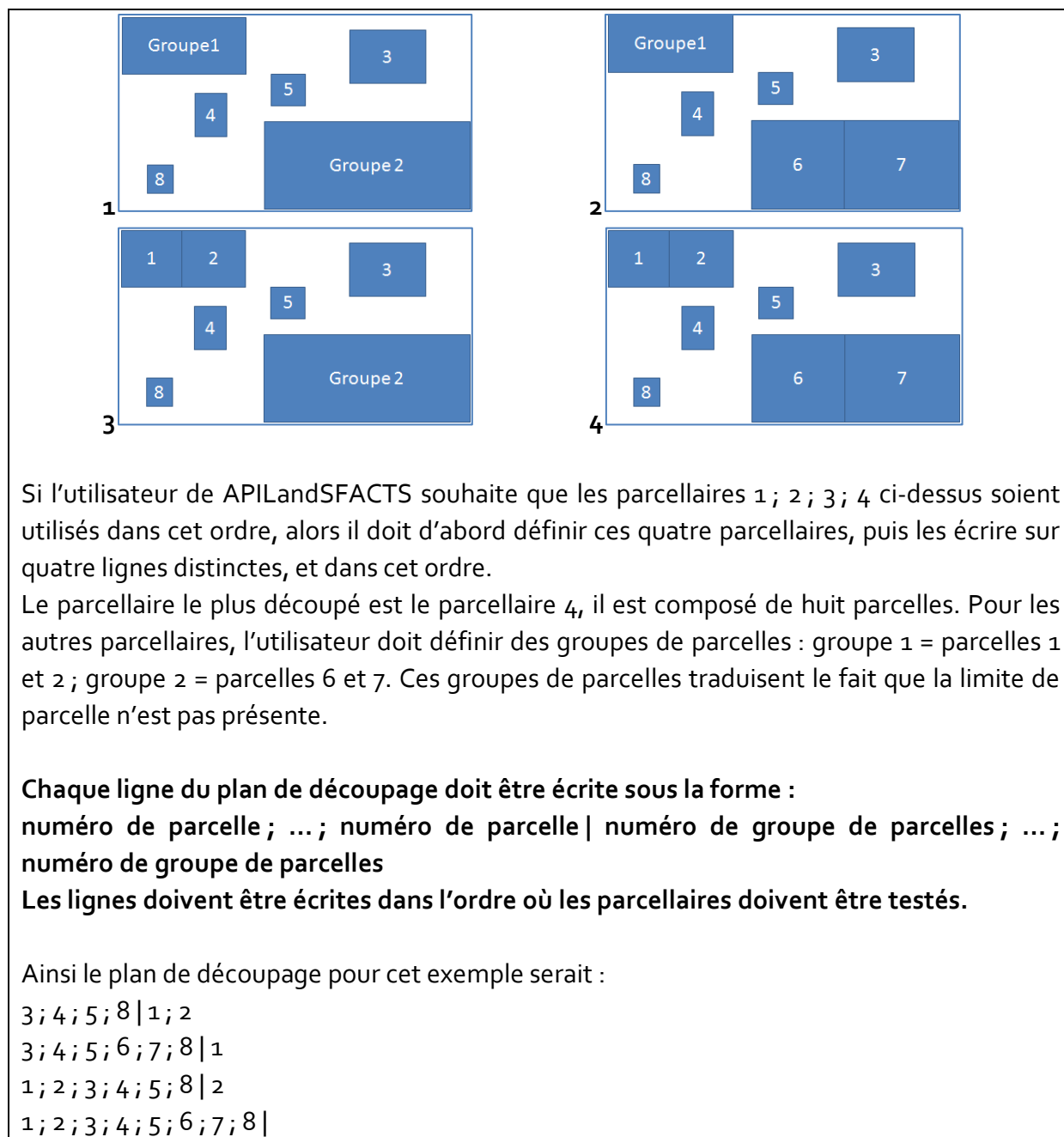
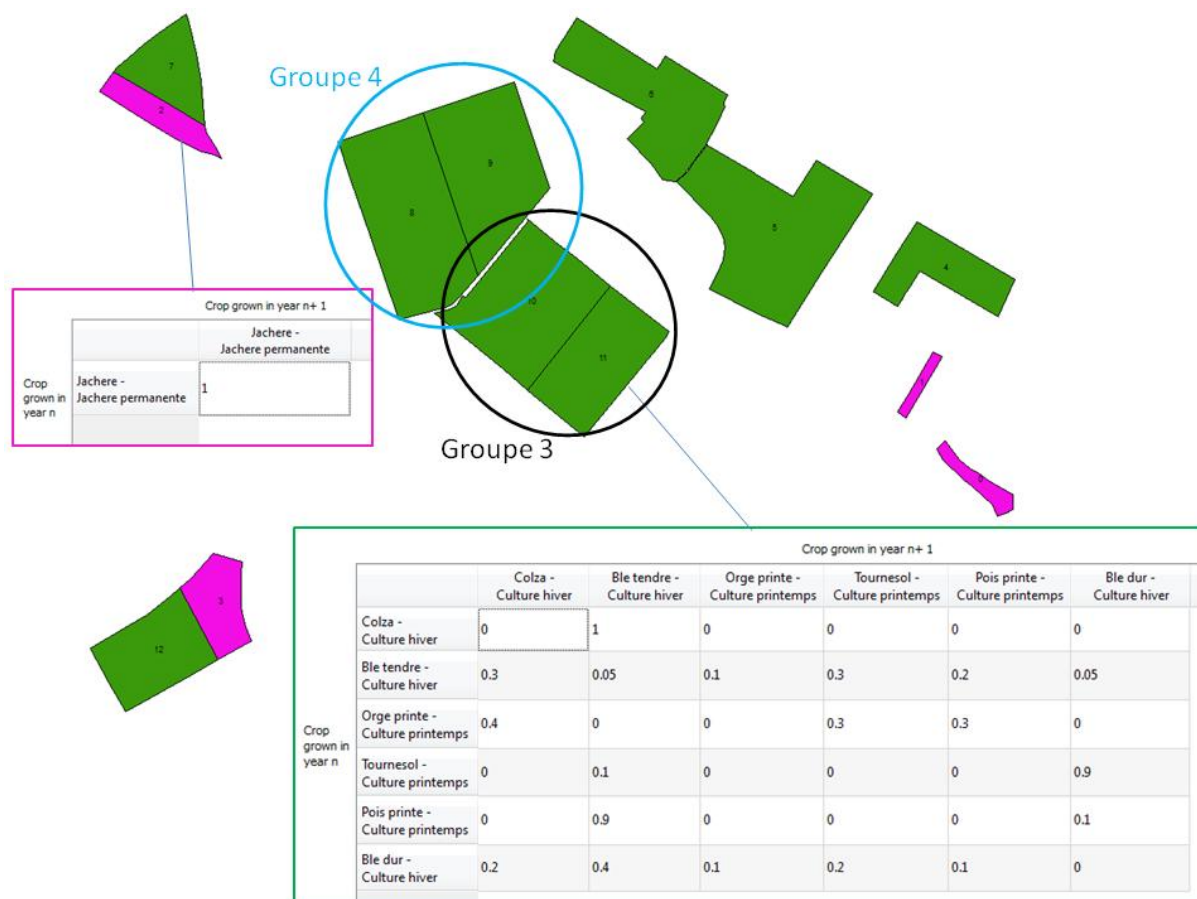


Figure 8 : Exemple de définition d'un plan de découpage pour APILandSFACTS

2.4) Paramétrage des simulations sous APILandSFACTS pour l'EA 3 (grandes cultures)

Le parcellaire de l'EA 3 apparaît ci-dessous, ainsi que les matrices de transition utilisées et les groupes de parcelles considérés :



La matrice de transition encadrée en vert s'applique sur les parcelles vertes (succession de cultures avec colza, tournesol, pois de printemps, blé tendre, blé dur, orge de printemps), et la matrice de transition encadrée en rose s'applique sur les parcelles roses (jachère permanente).

Nous avons utilisé deux plans de découpage différents, avec comme groupe de parcelles : groupe 3 = 10 ; 11 et groupe 4 = 8 ; 9 (cf. ci-dessus).

Plan de découpage 1

0;1;2;3;4;5;6;7;12|3;4
 0;1;2;3;4;5;6;7;10;11;12|4
 0;1;2;3;4;5;6;7;8;9;12|3
 0;1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;11;12|

Plan de découpage 2

0;1;2;3;4;5;6;7;12|3;4
 0;1;2;3;4;5;6;7;8;9;12|3
 0;1;2;3;4;5;6;7;10;11;12|4
 0;1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;11;12|

Enfin, les contraintes temporelles de délai de retour et nombres de cycles successifs sont les suivantes :

Contraintes temporelles	<i>Return period</i>	<i>Consecutive years min</i>	<i>Consecutive years max</i>
Blé tendre	1	1	1
Blé dur	2	1	1
Colza	3	1	1
Tournesol	3	1	1
Orge printemps	4	1	1
Pois	3	1	1
Jachère	1	-	-

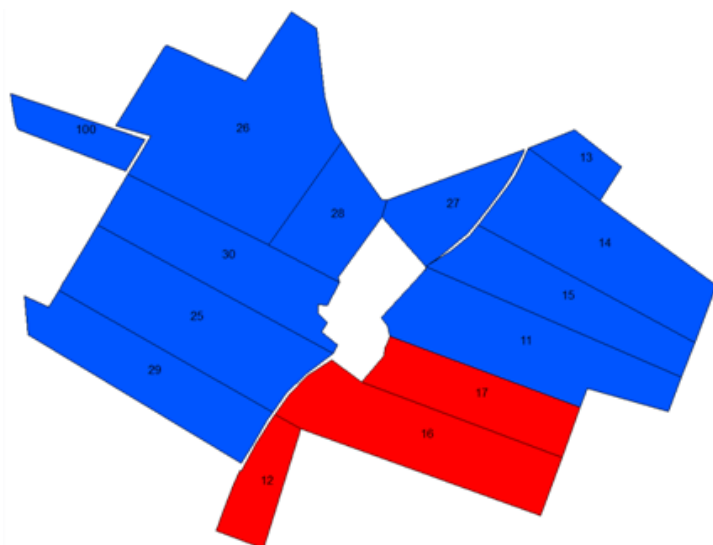
2.4) Paramétrage des simulations sous APILandSFACTS pour l'EA 1 (polyculture-élevage)

Le parcellaire de l'EA 1 est donné à la page suivante, ainsi que les matrices de transition utilisées. Le parcellaire n'est pas représenté à l'échelle, de façon à pouvoir faire apparaître toutes les parcelles sur la même page.

La matrice de transition encadrée en bleue s'applique sur les parcelles bleues (succession de cultures avec colza, maïs grain irrigué, maïs ensilage irrigué, blé tendre, blé tendre semence, blé dur, orge d'hiver); et la matrice de transition encadrée en rouge s'applique sur les parcelles rouges (succession de cultures avec colza, maïs grain irrigué, maïs ensilage irrigué, blé tendre, orge d'hiver et prairie temporaire); la matrice de transition jaune s'applique sur les parcelles jaunes (succession de culture avec blé tendre, orge d'hiver, colza et tournesol); la matrice orange s'applique sur la parcelle orange (monoculture de maïs en sec); la matrice verte s'applique sur les parcelles vertes (prairie permanente).

Les contraintes temporelles sont les suivantes :

Contraintes temporelles	<i>Return period</i>	<i>Consecutive years min</i>	<i>Consecutive years max</i>
Blé tendre	2	1	1
Blé tendre semence	2	1	1
Blé dur	3	1	1
Orge d'hiver	3	1	1
Colza	3	1	1
Tournesol	3	1	1
Maïs ensilage irrigué	2	1	1
Maïs grain irrigué	2	1	1
Maïs ensilage sec	1	1	-
Prairie temporaire	3	4	5
Prairie permanente	1	1	-



Crop grown in year n+ 1		
Crop grown in year n	PP - Culture permanente	
	PP - Culture permanente	1



Crop grown in year n+ 1		
Crop grown in year n	M sec Ens - Culture printemps	
	M sec Ens - Culture printemps	1

		Crop grown in year n+ 1						
		BT - Culture hiver	BT sem - Culture hiver	BD - Culture hiver	OH - Culture hiver	Colza - Culture hiver	M irr Ens - Culture printemps	M irr G - Culture printemps
Crop grown in year n	BT - Culture hiver	0	0	0.25	0.25	0.1	0.2	0.2
	BT sem - Culture hiver	0	0	0.25	0.25	0.1	0.2	0.2
	BD - Culture hiver	0	0	0	0.3	0.2	0.25	0.25
	OH - Culture hiver	0	0	0	0	0.5	0.25	0.25
	Colza - Culture hiver	0.2	0.8	0	0	0	0	0
	M irr Ens - Culture printemps	0.1	0.7	0.2	0	0	0	0
	M irr G - Culture printemps	0.1	0.7	0.2	0	0	0	0

		Crop grown in year n+ 1					
		BT - Culture hiver	M irr Ens - Culture printemps	M irr G - Culture printemps	PT - Culture hiver	OH - Culture hiver	Colza - Culture hiver
Crop grown in year n	BT - Culture hiver	0	0	0	0.5	0.4	0.1
	M irr Ens - Culture printemps	1	0	0	0	0	0
	M irr G - Culture printemps	1	0	0	0	0	0
	PT - Culture hiver	0	0.45	0.45	0.1	0	0
	OH - Culture hiver	0	0	0	1	0	0
	Colza - Culture hiver	1	0	0	0	0	0

		Crop grown in year n+ 1			
		BT - Culture hiver	OH - Culture hiver	Colza - Culture hiver	Tournesol - Culture printemps
Crop grown in year n	BT - Culture hiver	0	0.5	0.25	0.25
	OH - Culture hiver	0	0	0.5	0.5
	Colza - Culture hiver	1	0	0	0
	Tournesol - Culture printemps	1	0	0	0

Nous avons utilisé un seul plan de découpage pour cette exploitation, très complexe en raison du nombre de découpages possibles. Les groupes de parcelles sont les suivants : groupe 1 = 25; 26; 27; 28; 29; 30 ; groupe 2 = 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17 ; groupe 3 = 26; 27; 28 ; groupe 4 = 25; 29; 30 ; groupe 5 = 11; 13; 14; 15 ; groupe 6 = 12; 16; 17 ; groupe 7 = 26; 28 ; groupe 8 = 13; 14 ; groupe 9 = 11; 15 ; groupe 10 = 12; 16 ; groupe 11 = 25; 29.

Plan de découpage

1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;18;19;20;21;22;23;24;100|1;2
 1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;18;19;20;21;22;23;24;100|2;3;4
 1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;18;19;20;21;22;23;24;100|1;5;6
 1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;18;19;20;21;22;23;24;100|3;4;5;6
 1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;18;19;20;21;22;23;24;27;100|4;5;6;7
 1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;18;19;20;21;22;23;24;100|3;4;6;8;9
 1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;18;19;20;21;22;23;24;27;100|4;6;7;8;9
 1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;18;19;20;21;22;23;24;26;27;28;100|4;6;8;9
 1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;17;18;19;20;21;22;23;24;27;100|4;7;8;9;10
 1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;17;18;19;20;21;22;23;24;26;27;28;100|4;8;9;10
 1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;17;18;19;20;21;22;23;24;26;27;28;30;100|8;9;10;11
 1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;12;16;17;18;19;20;21;22;23;24;26;27;28;100|4;8;9
 1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;12;16;17;18;19;20;21;22;23;24;26;27;28;30;100|8;9;11
 1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;11;12;15;16;17;18;19;20;21;22;23;24;26;27;28;30;100|8;11
 1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;12;13;14;16;17;18;19;20;21;22;23;24;26;27;28;30;100|9;11
 1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;12;16;17;18;19;20;21;22;23;24;25;26;27;28;29;30;100|8;9
 1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;11;12;13;14;15;16;17;18;19;20;21;22;23;24;26;27;28;30;100|11
 1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;11;12;13;14;15;16;17;18;19;20;21;22;23;24;25;26;27;28;29;30;100|

Remarque : Pour toutes les simulations sous LandSFACTS, les paramètres de simulation utilisés étaient les suivants : Rdmx=1000 ; Allrdmx=10 000 ; Annealing option=20.

Annexe 7. Paramétrages des simulations d'allocation des cultures aux parcelles réalisées dans le chapitre 6 (logiciel LandSFACTS)

Dans cette annexe, nous donnons le détail des paramétrages des simulations réalisées sous LandSFACTS pour quatre exploitations, et pour quatre scénarios par exploitation.

7.1) Paramétrage pour les EA de grandes cultures : exploitations C et E

Les parcellaires donnés en entrée de LandSFACTS sont représentés à la Figure 9 pour l'EA C et à la Figure 10 pour l'EA E.

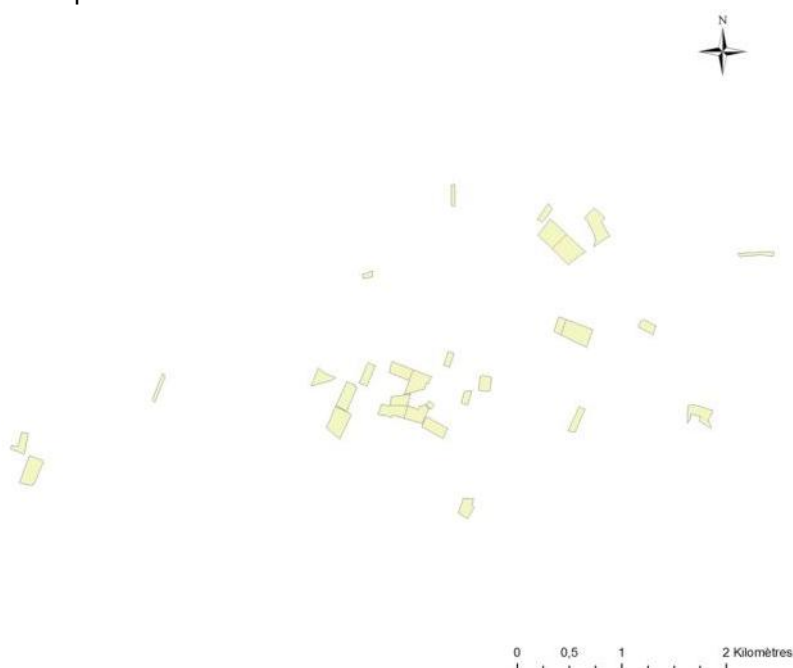


Figure 9 : Parcellaire donné en entrée de LandSFACTS pour l'exploitation C

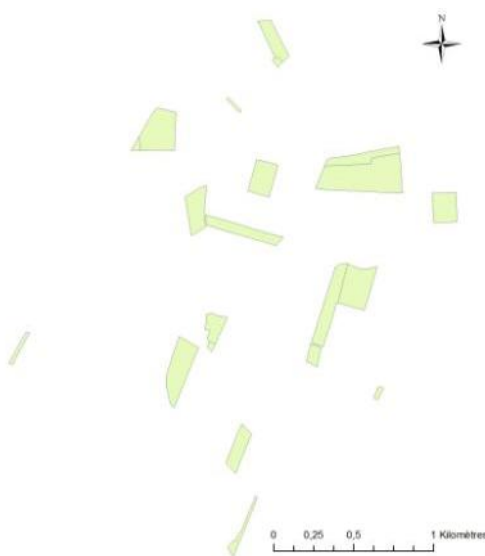


Figure 10 : Parcellaire donné en entrée de LandSFACTS pour l'exploitation E

Pour tous les scénarios, les cultures à allouer aux parcelles sont les suivantes : blé tendre (BT), blé dur (BD), orge (OH), maïs (M), colza (C), tournesol (T), pois (P), et jachère (J).

Pour les scénarios « *random+prop* » et « *random+prop+transition* », les contraintes de taille de sole utilisées ont été les suivantes :

	Exploitation C		Exploitation E	
	Minimum (%)	Maximum (%)	Minimum (%)	Maximum (%)
Blé tendre	25	53	25	50
Blé dur	0	20	0	20
Orge	0	10	0	18
Maïs	5	15	0	15
Colza	10	25	12	25
Tournesol	10	25	12	25
Pois	0	15	0	15
Jachère	2	15	2	12

Nous avons parfois dû adapter les contraintes de taille de sole des EA aux tailles de sole réelles des EA en année initiale : en effet, si les tailles de sole réelles de l'EA en année initiale ne respectent pas les contraintes demandées, alors LandSFACTS ne peut pas fonctionner.

Pour les scénarios « *random+transition* » et « *random+prop+transition* », la matrice de transition utilisée a été la suivante :

		Crop grown in year n+ 1							
		BT - Prioritaire	BD - Complementaire	OH - Complementaire	M - Prioritaire	C - Prioritaire	T - Complementaire	P - Complementaire	J - Prioritaire
Crop grown in year n	BT - Prioritaire	0	0.1	0.25	0	0.2	0.25	0.2	0
	BU - Complementaire	0.25	0	0.1	0	0.25	0.2	0.2	0
	UH - Complementaire	0	0	0	0	0.6	0.2	0.2	0
	IM - Prioritaire	0	0	0	1	0	0	0	0
	C - Prioritaire	0.9	0.1	0	0	0	0	0	0
	I - Complementaire	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0
	P - Complementaire	0.75	0.25	0	0	0	0	0	0
	J - Prioritaire	0	0	0	0	0	0	0	1

7.2) Paramétrage pour les EA de polyculture-élevage : exploitations H et J

Les parcellaires donnés en entrée de LandSFACTS sont représentés à la Figure 11 pour l'EA H et à la Figure 12 pour l'EA J.

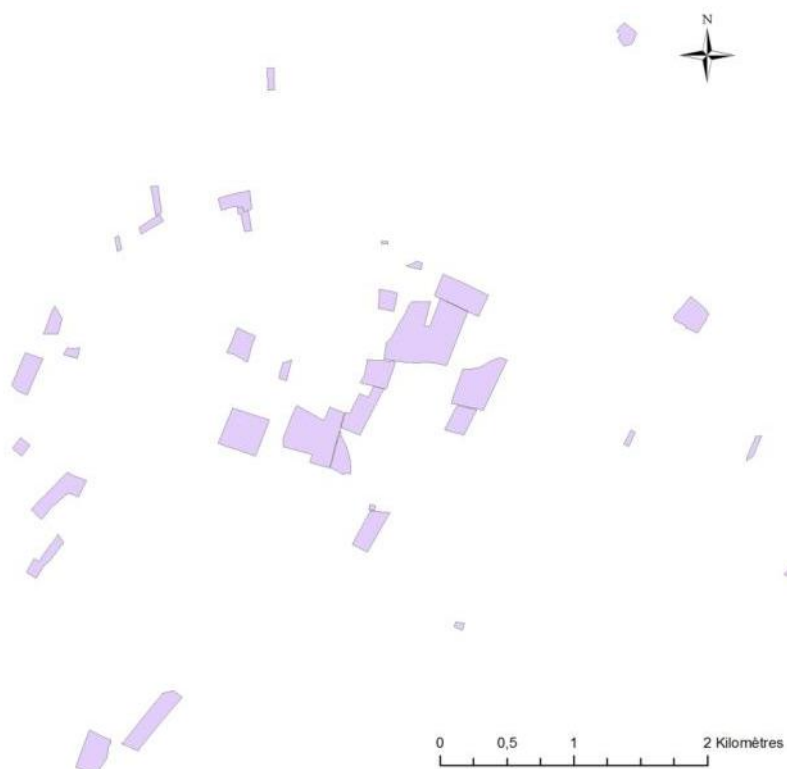


Figure 11 : Parcellaire donné en entrée de LandSFACTS pour l'exploitation H

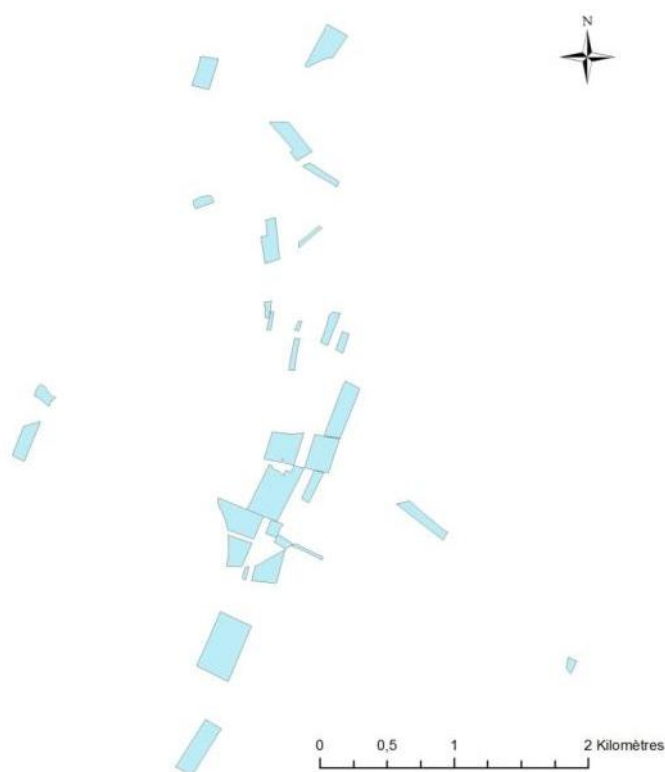


Figure 12 : Parcellaire donné en entrée de LandSFACTS pour l'exploitation J

Pour tous les scénarios, les cultures à allouer aux parcelles sont les suivantes : blé tendre (BT), orge (OH), maïs (M), colza (C), tournesol (T), prairie temporaire (PT) et prairie permanente (PP).

Pour les scénarios « *random+prop* » et « *random+prop+transition* », les contraintes de taille de sole utilisées ont été les suivantes :

	Exploitation H		Exploitation J	
	Minimum (%)	Maximum (%)	Minimum (%)	Maximum (%)
Blé tendre	20	40	20	45
Maïs	5	15	2	15
Prairie temporaire	10	30	10	35
Prairie permanente	2	12	0	12
Orge	5	20	0	20
Colza	5	20	0	20
Tournesol	5	20	5	20

De même que précédemment, nous avons parfois dû adapter les contraintes de taille de sole des EA aux tailles de sole réelles des EA en année initiale : en effet, si les tailles de sole réelles de l'EA en année initiale ne respectent pas les contraintes demandées, alors LandSFACTS ne peut pas fonctionner.

Pour les scénarios « *random+transition* » et « *random+prop+transition* », la matrice de transition utilisée a été la suivante :

		Crop grown in year n+ 1						
		BT - Prioritaire	OH - Complémentaire	M - Prioritaire	C - Complémentaire	T - Complémentaire	PT - Prioritaire	PP - Prioritaire
Crop grown in year n	BT - Prioritaire	0	0.25	0.1	0.2	0.2	0.25	0
	OH - Complémentaire	0	0	0	0.5	0.4	0.1	0
	M - Prioritaire	0.1	0	0.8	0	0.1	0	0
	C - Complémentaire	1	0	0	0	0	0	0
	T - Complémentaire	0.9	0	0	0	0	0.1	0
	PT - Prioritaire	0.7	0	0.1	0	0.1	0.1	0
	PP - Prioritaire	0	0	0	0	0	0	1

Résumé - Face aux enjeux de conciliation entre production agricole et protection des écosystèmes, l'organisation spatiale et temporelle des cultures à l'échelle des paysages peut être un levier d'action privilégié. Les décisions d'assolement que prennent les agriculteurs au niveau de leurs exploitations individuelles sont un des moteurs de cette organisation. L'objectif général de cette thèse était d'étudier en quoi la modélisation des décisions d'assolement dans leurs dimensions spatiale et temporelle au niveau de l'exploitation permet de rendre compte de l'organisation spatiale des cultures au niveau du paysage. Dans la plaine de Niort (Poitou-Charentes), nous avons tout d'abord identifié (i) des régularités d'organisation des cultures au niveau paysage et (ii) des règles de décisions d'agriculteurs au niveau exploitation. La comparaison de ces deux éléments a confirmé que les régularités d'organisation spatiale et temporelle des cultures pouvaient relever de décisions qui étaient communes entre agriculteurs. A partir d'enquêtes dans 12 exploitations, nous avons ensuite construit le modèle DYSPALLOCC. Ce modèle conceptuel permet de simuler l'organisation spatiale des cultures d'une année à l'autre à l'échelle de l'exploitation, *via* la représentation spatiale et temporelle des décisions de planification d'assolement. Applicable aux exploitations de grandes cultures et de polyculture-élevage, ce modèle a en outre permis d'explicitier les règles de délimitation des parcelles au sein des EA. Nous avons défini trois types de parcelles en fonction de leurs limites : îlots élémentaires, parcelles fixes et parcelles temporaires. L'évaluation du modèle a montré que l'allocation des cultures simulée était correcte dans 83% des parcelles. Une expérimentation virtuelle a de plus permis de valider les concepts de parcelles fixes et parcelles temporaires. Enfin, nous avons utilisé le modèle à l'échelle d'un paysage composé d'exploitations, avec des données d'entrée construites à partir de bases de données spatialisées. Nous avons montré que l'organisation spatiale des cultures simulée à partir de la prise en compte des décisions d'assolement était plus proche de l'organisation réelle observée, que ne l'était l'organisation simulée aléatoirement, même en intégrant des contraintes agronomiques. Ce travail pourrait donc contribuer à favoriser la coordination des décisions d'assolement individuelles des agriculteurs pour générer des organisations spatiales de cultures favorables au fonctionnement des écosystèmes à l'échelle des paysages agricoles.

Mots clés : agronomie des territoires ; décisions ; assolement ; exploitation ; paysage ; modèle conceptuel ; parcelles ; îlots PAC ; polyculture-élevage ; bases de données spatialisées

Abstract - In order to conciliate agricultural production and ecosystem protection, managing the spatial and temporal organization of crops at the landscape level could be an interesting option. Decisions farmers make for their cropping plan at the farm level are among the underlying controlling factors of this organization. The main aim of this thesis was to analyze how the modelling of farmer cropping plan decisions in their spatial and temporal dimensions could explain the spatial crop organization at the landscape level. In the *Niort plain* (Poitou-Charentes region), we first identified (i) landscape regularities in crop organization and (ii) farmer decision rules at the farm level. The comparison of these two elements confirmed that regularities in spatial and temporal crop organization could be explained by generic farmer decisions. Based on 12 on-farm surveys, we then built the DYSPALLOCC model. This conceptual model can simulate the spatial crop organization from one year to another at the farm level, through the spatial and temporal representation of the farmer cropping plan decision process. This model, suitable for both arable and mixed crop-livestock farms, gave the possibility to specify the rules for defining plot limits inside the farming territory. We defined three types of plots based on their boundaries: elementary islets, permanent plots and temporary plots. The evaluation of the model showed an 83% rate of success in the crop allocation to plots. A virtual experimentation also validated the concepts of permanent and temporary plots. We finally used the model at the level of a landscape composed of several farms, using input data built on the basis of spatial data-bases. We demonstrated that the spatial crop organization was closer to the real one when simulated taking farmer cropping plan decisions into account than when simulated randomly, even when introducing agronomic constraints. This work could thus support the coordination of individual farmer cropping plan decisions at the landscape level for building spatial crop organization favourable to ecosystem services.

Key-words: landscape agronomy; decisions; cropping plan; farm; landscape; conceptual model; plots; CAP islets; mixed crop-livestock farming; spatial data-bases