Modélisation de l'organisation spatiale des systèmes agricoles et de son évolution dans des démarches d'appui au développement

Catherine C. Mignolet

▶ **To cite this version:**

Catherine C. Mignolet. Modélisation de l'organisation spatiale des systèmes agricoles et de son évolution dans des démarches d'appui au développement. Sciences du Vivant [q-bio]. AgroParisTech; Ecole Doctorale Agriculture Alimentation Biologie Environnement Santé, 2008. Français. NNT : . tel-02824275

HAL Id: tel-02824275
https://hal.inrae.fr/tel-02824275

Submitted on 6 Jun 2020

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.

N° /__/__/__/__/__/__/__/__/__/__/

THÈSE

pour obtenir le grade de

Docteur

de

l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech)

Spécialité : Agronomie

présentée et soutenue publiquement
par

Catherine MIGNOLET

le 8 décembre 2008

MODELISATION DE L'ORGANISATION SPATIALE DES SYSTEMES AGRICOLES ET DE SON EVOLUTION DANS DES DEMARCHES D'APPUI AU DEVELOPPEMENT

TOME 1

*Directeur de thèse : **Jean LOSSOUARN***

Travail réalisé : INRA, UR 055, ASTER-Mirecourt, F-88500, Mirecourt

Devant le jury :

M. Jean LOSSOUARN, Professeur, **AgroParisTech** ……..…. **Président**
M. Alain CAPILLON, Professeur, **SupAgro Montpellier** ……... **Rapporteur**
Mme Delphine LEENHARDT, Directrice de Recherche, **INRA** ……... **Rapporteur**
M. Marc BENOIT, Directeur de Recherche, **INRA** …….. **Examinateur**
M. Gilles BILLEN, Directeur de Recherche, **CNRS** ……... **Examinateur**
M. Jean-Marc MEYNARD, Directeur de Recherche, **INRA** ..……..….. **Examinateur**

L'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech) est un Grand Etablissement dépendant du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, composé de l'INA PG, de l'ENGREF et de l'ENSIA (décret n° 2006-1592 du 13 décembre 2006)

Remerciements

Au terme de ce long parcours que fut mon parcours de thèse, j'ai encore du mal à réaliser que je suis parvenue (enfin !) à aller au bout de ce projet risqué mais combien enrichissant qu'est celui de faire une thèse en tant qu'Ingénieur de Recherche de l'INRA. Ce fut un projet risqué au moins à double titre : d'une part parce qu'il est parti d'une idée de recherche assez osée (faire de l'agronomie sur de larges échelles d'espace et de temps) sur laquelle problématique et méthodologie étaient à bâtir ; d'autre part parce qu'il n'a pas toujours été compatible avec mes autres missions d'ingénieur et avec les responsabilités collectives qui m'ont été confiées dans l'Unité de Recherche ASTER-Mirecourt. Mais ce fut surtout un projet enrichissant qui m'a permis, en confrontant les travaux conduits sur deux de mes principaux terrains de recherche depuis mon arrivée à l'INRA, de développer de bout en bout une problématique et une démarche de recherche concernant l'étude des différenciations spatiales des dynamiques agricoles.

Bien entendu, bien qu'un seul nom figure en première page de la thèse, elle n'est pas le fruit d'un travail individuel mais d'un travail collectif qui a associé plusieurs personnes aux différentes étapes du parcours. Je commencerai par remercier de tout cœur ma « garde rapprochée », Marc Benoît et Céline Schott, dont la contribution à ce travail a été décisive. Marc en est tout à la fois l'initiateur, le guide lors des changements de cap, le moteur lors des moments de découragement et le soutien constant et confiant tout au long du parcours. Son encadrement laissant une large place à l'autonomie et la prise d'initiative qui lui sont chères, m'a amenée progressivement à prendre en charge la conduite du programme de recherche relaté dans ce mémoire. Céline m'a accompagnée tout au long des travaux conduits sur le bassin de la Seine en assurant les enquêtes nécessaires à la reconstitution des systèmes de culture depuis la décennie soixante-dix, en les confrontant avec des sources d'informations statistiques et en participant aux différents traitements de données. Nous avons tout trois partagé cette grande aventure que fut la mobilisation de notre petite équipe mirecurtienne par ce vaste et ambitieux programme de recherche que constitue depuis vingt ans le PIREN-Seine. Dix ans après son démarrage, cette aventure est loin d'être finie…

Au côté de ma « garde rapprochée », des collègues et étudiants m'ont activement aidée lors des différentes phases de la thèse : Elisabeth Bienaimé pour l'analyse et la représentation spatiale des informations sur les systèmes agricoles, concernant en particulier l'étude des différenciations locales des systèmes de production et l'évaluation des biais représentés par les maillages spatiaux ; Jean-François Mari dont les recherches sur les méthodes de fouille de données spatio-temporelles basées sur les modèles de Markov cachés trouvent une application originale et pertinente dans la reconnaissance des successions culturales ; Cendrine Bornerand qui m'a aidée à défricher différentes méthodes exposées dans ce mémoire au démarrage des travaux sur le bassin de la Seine et qui a mis en œuvre le protocole de cartographie à dire d'experts visant à évaluer la pertinence du maillage des Petites Régions Agricoles ; Corine Poinsot pour son appui lors des recherches bibliographiques. Deux relecteurs attentifs m'ont aidée à un moment critique de la rédaction du manuscrit à reprendre confiance en moi et à me donner envie de l'achever : Véronique Souchère et Jean-Marc Meynard ont consacré du temps pour améliorer la structuration et le contenu de ce document et je leur dois beaucoup. Enfin, dans les dernières semaines précédant le dépôt de la thèse, j'ai bénéficié de l'aide précieuse de Céline Schott (présente jusqu'au bout à mes côtés), Damien Foissy, Florence Hellec, Anne Mimet et Corine Poinsot pour la mise en forme des nombreuses cartes et figures qui jalonnent la présentation des résultats et pour la relecture et

l'impression finales. A tous j'adresse mes remerciements les plus sincères pour leur gentillesse, leurs bons conseils et leur disponibilité.

Ma thèse trouve son origine dans la sollicitation de deux groupes d'organismes concernés par le développement de l'agriculture en relation avec son insertion dans les territoires. Je tiens ainsi à remercier la Chambre départementale d'Agriculture des Vosges et la Chambre Régionale d'Agriculture de Lorraine, en particulier André Demange et Fabienne Lauer, pour les échanges que nous avons eus sur l'utilisation de la typologie des systèmes de production lorrains et sur leurs attentes en termes d'analyse des évolutions agricoles et de leur différenciation spatiale au sein du département des Vosges ou en Lorraine. Le deuxième groupe d'organismes est constitué des équipes avec lesquelles j'ai travaillé dans le cadre amical et stimulant du PIREN-Seine : l'UMR Sisyphe et tout particulièrement Gilles Billen qui est à l'origine de notre contribution dans ce programme et qui a toujours encouragé nos travaux ; le Centre de Géosciences de l'Ecole des Mines de Paris avec Emmanuel Ledoux et Pascal Viennot dont les modèles hydrogéologiques couplés au modèle de culture STICS ont efficacement « dialogué » avec la base de données « Pratiques agricoles du bassin de la Seine » ; le cabinet AScA représenté par Xavier Poux qui, à partir de l'image de base de l'agriculture du bassin de la Seine de 1970 à 2000, nous a entraînés sans complexe dans l'élaboration de scénarios prospectifs à l'horizon 2050, horizon temporel que nous n'avions jamais encore osé aborder ; enfin l'Agence de l'Eau Seine-Normandie, et notamment Gwenaëlle Joannon (qui m'a incitée à travailler à l'échelle cantonale) puis François Lamy qui ont toujours soutenu nos travaux, à tel point que le bassin de la Seine est un jour devenu trop petit et qu'ils nous ont demandé de lui adjoindre le territoire de la Basse Normandie…

Mes remerciements vont également à mon directeur de thèse et aux membres du jury pour leur disponibilité et l'attention qu'ils ont portée à mon travail. Jean Lossouarn a patiemment soutenu mes nombreuses années de thèse et mes réinscriptions successives, en me renouvelant régulièrement sa confiance dans l'issue positive de ce travail. Delphine Leenhardt et Alain Capillon ont accepté d'en être les rapporteurs et je les remercie de l'intérêt qu'ils y ont porté. Jean-Marc Meynard, Gilles Billen et Marc Benoît ont eu la gentillesse de répondre présents au terme du parcours, ce qui m'a beaucoup touchée.

J'ai une chaleureuse pensée envers tous les collègues de l'Unité de Recherche de Mirecourt qui, de près ou de loin, ont suivi les pérégrinations de mon parcours de thèse. L'ambiance conviviale et dynamique de notre collectif crée des conditions de travail et de motivation primordiales pour nos avancées collectives et individuelles. Bien évidemment, lors de ma nomination à la direction de l'unité, j'ai donné priorité à cette mission pour laquelle j'avais beaucoup à apprendre et qui demande une forte implication. Ma thèse est alors passée au second plan de mes activités mais est restée une priorité dans mon esprit (et dans mes étés…).

Enfin, je ne peux pas clore ces quelques pages sans adresser un grand MERCI à ma petite famille. Damien, Julien, Etienne et Jeanne m'ont soutenue toutes ces années et ont accepté, parfois avec un regard amusé, parfois avec un regard agacé, bien des contraintes imposées par un rythme de travail pas toujours compatible avec une vie familiale sereine. Les dernières semaines ont été particulièrement épiques avec une fin de thèse concomitante avec la préparation des élections des représentants des parents d'élèves au collège et à l'école (!)… si bien qu'en chœur, mes trois enfants m'ont assuré « qu'ils n'auraient jamais l'idée de faire une thèse ». J'espère ne pas les en avoir définitivement dissuadés.

Table des matières

Index des figures

Index des tableaux

Index des encadrés

Introduction générale 9

Chapitre 1 – Demande des partenaires et émergence des questions de recherche 13

1. Aide au conseil agricole dans la plaine du département des Vosges 13
2. Aide au conseil agri-environnemental dans le bassin versant de la Seine 15
3. Conclusion du chapitre 19

Chapitre 2 – Problématique et démarche de recherche 21

1. Question 1 : comment modéliser la diversité des systèmes agricoles à une échelle régionale ? 21
   - 1.1. Modélisation de la diversité des exploitations agricoles 21
     - 1.1.1 Typologies des unités de production agricoles 22
     - 1.1.2 Typologies de fonctionnement d'exploitation 24
   - 1.2. Modélisation de la diversité des systèmes de culture 28
     - 1.2.1 Modélisations mécanistes de la constitution des systèmes de culture 29
     - 1.2.2 Représentation stochastique ou empirique de la diversité des systèmes de culture 31
2. Question 2 : comment identifier des espaces homogènes du point de vue de la diversité des systèmes agricoles ? 35
   - 2.1. Principes généraux de régionalisation 36
   - 2.2. Méthodes de régionalisation en espaces homogènes 38
     - 2.2.1 Régionalisation agricole sur espace-support 39
     - 2.2.2 Régionalisation agricole sur espace-facteur 40
     - 2.2.3 Régionalisation floue 41
3. Question 3 : comment identifier des espaces homogènes selon la diversité des évolutions des systèmes agricoles au cours du temps ? 42
   - 3.1. Modélisation de la diversité des évolutions d'exploitations agricoles et de leur différenciation spatiale 43
     - 3.1.1 Etude de l'évolution de la diversité des exploitations par comparaison de typologies synchroniques répétées dans le temps 43
     - 3.1.2 Modélisation de la diversité des évolutions d'exploitations par construction de trajectoires 44
   - 3.2. Modélisation de la diversité des évolutions de systèmes de culture et de leur différenciation spatiale 46
     - 3.2.1 Evolution des systèmes de culture 46
     - 3.2.2 Evolution des systèmes d'utilisation du sol 47
4. Question 4 : comment évaluer la pertinence des maillages spatiaux pour représenter des différenciations agricoles ? 49
5. Démarche générale de recherche 51

Chapitre 3 – Différenciation de régions agricoles selon la diversité des systèmes de production et de leurs évolutions dans la plaine des Vosges 55

1. Matériel et méthodes 55
   - 1.1. Le modèle de représentation de la diversité des exploitations agricoles 56
   - 1.2. La source d'information : le Répertoire d'exploitations de la Chambre d'Agriculture des Vosges 58
   - 1.3. Le maillage spatial unitaire 59
   - 1.4. Les méthodes de cartographie statistique 60
2. Différenciation de régions agricoles selon la diversité instantanée des systèmes de production 64
   - 2.1. Localisation individuelle des types d'exploitations 64
   - 2.2. Régionalisation par agrégation de mailles spatiales 65

3. Différenciation de régions agricoles selon la diversité des évolutions d'exploitations 67
3.1. Analyse des évolutions d'exploitations agrégées à la maille communale : comparaison de régionalisations instantanées répétées dans le temps 67
3.2. Spatialisation des évolutions individuelles d'exploitations 68
3.2.1 Cartographie des changements de types d'exploitations 68
3.2.2 Vers la spatialisation de trajectoires d'exploitations agricoles 70
4. Conclusion du chapitre 72

Chapitre 4 – Différenciation de régions agricoles selon la diversité des systèmes de production et de leurs évolutions dans le bassin de la Seine 75

1. Matériel et méthodes 75
1.1. Le modèle de représentation de la diversité des exploitations agricoles 75
1.2. La source d'information : les Recensements Généraux Agricoles 77
1.3. Le maillage spatial unitaire 78
1.4. Les méthodes de cartographie statistique 80
1.4.1 La cartographie de synthèse 80
1.4.2 La spatialisation d'évolutions d'exploitations 81
2. Différenciation de régions agricoles selon la diversité instantanée des systèmes de production 83
2.1. Régionalisation par agrégation de mailles spatiales 83
2.1.1 Les RGA de 1970, 1979 et 1988 83
2.1.2 Le RA 2000 85
2.2. Régionalisation par recherche de discontinuités spatiales 87
2.3. Comparaison entre analyse des différenciations globales et analyse des différenciations locales 89
3. Différenciation de régions agricoles selon la diversité des évolutions des systèmes de production 90
3.1. Comparaison de régionalisations instantanées répétées dans le temps 90
3.2. Construction de typologies de trajectoires d'évolution de mailles spatiales 91
4. Conclusion du chapitre 93

Chapitre 5 – Différenciation de régions agricoles selon la diversité des systèmes de culture et de leurs évolutions 95

1. Sources d'information et méthodes 96
1.1. Les sources d'information 96
1.1.1 L'enquête Teruti 96
1.1.2 L'enquête Pratiques culturales 97
1.1.3 L'enquête à dires d'experts 97
1.2. Les méthodes 100
2. Différenciation de régions agricoles selon la diversité des systèmes de culture 102
2.1. Différenciation de régions agricoles selon la diversité des successions culturales 104
2.1.1 Caractérisation des successions de cultures d'une PRA : le cas du Saint Quentinnois et Laonnois de l'Aisne (PRA 02034) 104
2.1.2 Comparaison qualitative des successions culturales entre PRA 105
2.1.3 Construction d'une typologie des PRA selon la diversité des successions de trois cultures 106
2.2. – Différenciation de régions agricoles selon la diversité des itinéraires techniques 110
2.2.1 Mise en œuvre de l'AFCM 111
2.2.2 Définition et localisation des types d'itinéraires techniques sur blé 112
3. Différenciation de régions agricoles selon la diversité des évolutions des systèmes de culture 114
3.1. Différenciation de régions agricoles selon les évolutions de successions de cultures 115
3.1.1 Validation des évolutions de successions de cultures à dires d'experts 116
3.1.2 Différenciation de régions agricoles selon l'évolution des successions de cultures 118
3.2. – Différenciation de régions agricoles selon les évolutions d'itinéraires techniques 120
3.2.1 Exemple de l'évolution des techniques de fertilisation minérale 120
3.2.2 Validation des techniques culturales à dires d'experts 122
3.2.3 Construction d'une typologie d'évolution des itinéraires techniques : l'exemple du blé 124
4. Conclusion du chapitre 127

Chapitre 6 – Evaluation de la pertinence des maillages spatiaux 129

1. Le biais lié à la localisation des informations agricoles au siège des exploitations : analyse de la maille communale 130
   1.1. Une source d'information : les déclarations PAC 130
   1.2. Qualification de communes conquises / conquérantes 131
   1.3. Proposition d'un indicateur tenant compte des distances 133
2. L'identité agricole des maillages spatiaux : analyse de la PRA 135
   2.1. Délimitation de régions agricoles homogènes à dires d'experts 135
      2.1.1 Le protocole d'enquête 135
      2.1.2 Le traitement des cartes à dires d'experts 136
      2.1.3 Les cartes à dires d'experts produites en Marne et Seine-et-Marne 136
      2.1.4 Comparaison avec le maillage des PRA 138
   2.2. Evaluation de l'homogénéité spatiale intra-PRA par analyse à la maille cantonale 140
3. Conclusion du chapitre 141

Chapitre 7 – Discussion 143

1. Enseignements méthodologiques 143
   1.1. Prépondérance de la question initiale sur la démarche de différenciation de régions agricoles 143
      1.1.1 Caractérisation des activités agricoles d'un territoire 144
      1.1.2 Analyse des différenciations globales ou des différenciations locales 146
      1.1.3 Une nécessaire analyse des dynamiques agricoles 149
   1.2. Prise en compte des échelles de temps et d'espace dans la démarche de différenciation de régions agricoles 152
      1.2.1 Stabilité ou instabilité des référentiels typologiques 152
      1.2.2 Choix des maillages spatiaux unitaires 154
      1.2.3 Adéquation des sources d'information aux objectifs de recherche 155
2. Utilisation des connaissances et représentations produites pour aider à la structuration d'actions de développement 157
   2.1. Contribution aux analyses économiques des systèmes de production lorrains 157
   2.2. Contribution à la modélisation de la contamination des aquifères du bassin de la Seine par le nitrate 159
   2.3. Contribution à la construction de scénarios prospectifs d'évolution de l'agriculture du bassin de la Seine à l'horizon 2050 161

Conclusion générale 165

Bibliographie 167

Index des figures

Figure 1 : Cantons et Petites Régions Agricoles de la Plaine des Vosges 13

Figure 2 : Le bassin versant de la Seine et son réseau hydrographique 16

Figure 3 : Caractérisation des critères de diversité dans les typologies de Perrot (1991) et de Girard (2006) 27

Figure 4 : Typologie des successions culturales selon Castellazzi et al. (2008) 32

Figure 5 : Modélisation des successions culturales par les HMM (Le Ber et al., 2006) 33

Figure 6 : Maillage communal de la plaine des Vosges 60

Figure 7 : Répartition spatiale du type "Très Petite Référence Laitière" dans la plaine des Vosges en 1993 et 1996 62

Figure 8: Exemples de trajectoires d'exploitations entre 1993 et 1996 71

Figure 9 : Maillage des Petites Régions Agricoles du bassin de la Seine 79

Figure 10 : Trois exemples de trajectoires dans le 1er plan factoriel de l'ACP sur les % de SAU par OTEX et par PRA en 1970 82

Figure 11 : Délimitation du bassin versant de la Marne 99

Figure 12 : Interprétation d'un diagramme de Markov 102

Figure 13 : Comparaison des successions culturales de 2 PRA par les diagrammes de Markov 106

Figure 14 : Evolution comparée de la fertilisation azotée et du rendement, et évolution du nombre d'apports sur blé depuis 1970 121

Figure 15 : Evolution comparée de la fertilisation azotée et du rendement de la betterave depuis 1970 121

Figure 16 : Comparaison des valeurs de l'OCERA et des dires d'experts sur les rendements et les doses de fertilisation minérale en fonction de la période et de la culture 124

Figure 17 : Objets et descripteurs choisis sur les deux cas d'étude 144

Figure 18 : Démarches de recherche pour différencier des régions agricoles selon la diversité instantanée des exploitations agricoles 147

Figure 19 : Démarches de recherche pour différencier des régions agricoles selon la diversité des évolutions d'exploitations agricoles 150

Index des tableaux

Tableau 1: Synthèse de la demande des partenaires et des questions de recherche 20

Tableau 2 : Nombre d'exploitations par type en 1993 et 1996 dans la plaine des Vosges 65

Tableau 3 : Caractéristiques des huit types de communes en fonction des systèmes de production dominants 66

Tableau 4 : Définition et importance des OTEX retenues sur le bassin de la Seine 77

Tableau 5 : Repères sur l'évolution de l'agriculture du bassin de la Seine entre 1970 et 2000 (source : Recensements Agricoles) 78

Tableau 6 : Définition des 8 classes de PRA selon les combinaisons d'OTEX dominantes en 1970, 1979 et 1988 dans le bassin de la Seine 85

Tableau 7 : Variations moyennes des pourcentages de SAU par OTEX et par type de trajectoire dans le bassin de la Seine 92

Tableau 8 : Provenance professionnelle des experts 100

Tableau 9 : Liste des 64 triplets de cultures retenus pour l'analyse factorielle 107

Tableau 10 : Comparaison des successions culturales obtenues à dire d'experts et estimées à partir du RGA pour le Barrois de la Meuse (PRA 55314) 117

Tableau 11 : Structure du fichier source en 1998* et 2003 131

Tableau 12 : Caractéristiques des 8 types de communes issus de la CAH sur facteurs 133

Tableau 13: Place respective du temps et de l'espace dans les démarches proposées 151

Tableau 14 : Les germes de scénarios retenus dans la prospective Seine (Poux et Olive, 2003) 162

Index des encadrés

Encadré 1 : Démarche générale de recherche 54

Encadré 2 : Principe des techniques d'analyse de données 63

Encadré 3 : Principe de l'Analyse en Composantes Principales des Différenciations Locales 81

Encadré 4 : Démarche de recherche pour différencier des régions agricoles selon la diversité des systèmes de culture 103

Encadré 5 : Démarche de recherche pour différencier des régions agricoles selon la diversité des évolutions de systèmes de culture 115

Encadré 6 : Démarche de recherche pour évaluer la pertinence des maillages spatiaux 130

Encadré 7 : Indices de concordance entre PRA, formes fortes et intersection des deux 139

Introduction

Introduction générale

« Agricultures et Territoires », tel est le titre d'un traité IGAT (Information Géographique et Aménagement du Territoire) paru en avril 2005 sous la direction de C. Laurent et P. Thinon, fruit des réflexions de plusieurs disciplines (géographie, agronomie, zootechnie, économie, sociologie) sur les relations complexes qui de tout temps unissent ces deux objets. Les agricultures y sont évoquées au pluriel, car même si elles représentent un secteur bien identifié de l'économie (le « secteur agricole »), la recherche constante d'adéquation des techniques agricoles à des conditions de production singulières en chaque lieu, a conduit à l'existence d'une très grande diversité de formes d'activités agricoles. Les territoires y sont également abordés au pluriel car au-delà de la polysémie du terme, l'objet qu'il désigne – une étendue terrestre utilisée et aménagée par des sociétés humaines (Brunet, 1992) – et les représentations que les différentes disciplines scientifiques en font, peuvent être, elles aussi, très diverses. A la suite de Deffontaines (1986), les territoires y sont considérés à la fois comme supports, facteurs et produits des activités agricoles.

Ce traité témoigne du renouveau des préoccupations portées sur les liens étroits qui unissent agricultures et territoires. De toutes les activités humaines, l'agriculture[1] est certainement la plus consommatrice d'espace et la plus intimement liée à celui-ci (Piet, 2002). Pour certains auteurs comme Boussard (1987, cité par Piet, 2002), c'est cette consommation importante d'espace qui constitue l'une des spécificités majeures si ce n'est la particularité du secteur agricole, permettant de le définir par rapport à d'autres secteurs économiques : « *La terre, et donc l'espace correspondant, est à la base de cette activité humaine d'exploitation des ressources naturelles* » (Béranger, 2005). Toutefois, une autre spécificité de l'agriculture, qui la distingue aussi de bon nombre d'autres activités économiques, est d'avoir été, et d'être encore aujourd'hui, le plus souvent exercée par un tissu d'exploitations agricoles familiales (Laurent, 2005). Ces deux caractéristiques, besoin important de surfaces et unités de production familiales, confèrent historiquement à l'agriculture un rôle tout à fait spécial dans le maintien d'un tissu économique et social et dans la gestion des ressources naturelles au sein des territoires ruraux.

Pourtant, les liens entre agricultures et territoires se sont relâchés dans la période contemporaine. Au cours des Trente Glorieuses de l'après - Seconde Guerre mondiale, encouragé par les politiques agricoles conçues pour développer la production et la consommation de masse, l'objectif prioritaire assigné à l'agriculture a été d'augmenter la productivité du travail et du foncier, en adoptant des innovations techniques (mécanisation, variétés de plantes et de races animales, engrais, matières actives…) destinées à produire toujours plus en maîtrisant progressivement les contraintes des milieux

physiques (par exemple, par le biais d'aménagements tels que l'irrigation ou le drainage). D'un point de vue économique, la relation agricultures – territoires s'est distendue avec l'émergence des marchés agricoles, national, européen puis mondial, où producteurs et consommateurs sont de plus en plus éloignés. D'un point de vue agronomique, le recours croissant à des intrants de synthèse a permis d'artificialiser les milieux et de s'affranchir de leurs aptitudes naturelles de production (Blouet *et al*., 2003). L'agronomie se cantonne alors à la parcelle et à la durée des cycles culturaux, avec l'objectif prédominant d'améliorer le rendement végétal.

Dès les années 1950 et de façon plus évidente depuis les années 1970, des réflexions émergent, en particulier dans les sciences agronomiques, et s'accompagnent d'une remise en cause d'un modèle de développement agricole unique dit « productiviste » et essentiellement centré sur l'adoption de nouvelles techniques. La diffusion du progrès technique, sans prendre en compte les objectifs et les contraintes des agriculteurs, semble connaître ses limites : « *Les années 1970 voient émerger des résistances inattendues à l'adoption de nouvelles techniques, y compris celles permettant une augmentation du rendement dont l'intérêt économique semblait jusque-là synonyme de diffusion rapide*. » (Caron, 2005). Le cadre d'action spécifique de la localité est alors réintroduit comme facteur essentiel dans l'élaboration des choix de gestion de l'agriculteur, et pas seulement de ses choix d'assolement. Il est pris en considération pour penser et interpréter la diversité des situations.

L'actualité plus récente voit émerger de nouvelles préoccupations et l'expression par la société ou certaines catégories d'acteurs de nouvelles exigences, qui font porter une attention renouvelée sur les liens agricultures – territoires (Papy, 2001). La montée des préoccupations d'environnement rend nécessaires la description et la modélisation des relations entre activités agricoles (conduites sur des territoires d'exploitations discontinus) et processus écologiques (qui se déroulent sur des espaces continus et souvent plus vastes), en identifiant des objets spatiaux communs (Benoît et Papy, 1998 ; Thenail et Baudry, 2004). Les préoccupations liées à la qualité et à la sécurité des produits alimentaires, au-delà des signes de qualité basés sur les appartenances géographiques, conduisent également à réinterroger l'organisation spatiale des productions, qui contribue à déterminer la qualité des produits, au sein des bassins d'approvisionnement (Le Bail, 2000 ; Le Bail et Meynard, 2003). La localisation des productions devient alors un objet de gestion partagé entre agriculteurs et acteurs des filières concernées, dans l'objectif d'élaborer une performance de qualité globale sur un bassin, qui mette en jeu le territoire. Enfin, l'agriculture, de par ses spécificités rappelées en début d'introduction, a un rôle attendu dans la cohésion et le développement des territoires, que ce soit par la création d'emplois agricoles et la production de biens et services pouvant avoir des effets d'entraînement pour les secteurs amont et aval, ou par le maintien d'emplois ruraux grâce au développement de systèmes d'activités polyvalents (Laurent, 2005).

[1] Dans notre thèse, nous utilisons le terme au pluriel ou au singulier, ce dernier étant plus conforme à l'usage courant, même si nous restons conscients de la pluralité des activités qu'il représente.

Ainsi, alors que l'agriculture était auparavant principalement appréhendée à travers ses fonctions productives, c'est désormais la reconnaissance de sa multifonctionnalité (production, emploi, occupation du territoire…) qui est en question. Les transformations ici rapidement évoquées modifient les relations agricultures – territoires : l'importance du rôle de l'agriculture dans le développement territorial est reconnue, alors que le territoire devient un axe majeur des problématiques de développement agricole. Dès lors, un regain d'intérêt est porté sur la description et l'analyse de la place des agricultures dans les territoires, mais aussi sur l'étude et la maîtrise des effets des activités agricoles sur les territoires (état et qualité des ressources naturelles, paysages, produits et services) (Béranger, 2005).

En reprenant la proposition de J.-P. Deffontaines émise en conclusion de la séance de l'Académie d'Agriculture de France du 27 octobre 1999 consacrée à l'agriculture et l'organisation du territoire, nous retenons que les relations agricultures – territoires soulèvent trois ensembles de questions de recherche : *(i)* le premier ensemble concerne l'**organisation** des territoires liée à la gestion spatialisée, individuelle ou collective, des exploitations agricoles ; *(ii)* dans le deuxième ensemble, les questions sont posées en termes de **différenciation** des territoires et visent à localiser la diversité des productions, ou plus généralement des activités agricoles ; *(iii)* enfin, le troisième ensemble porte sur l'**intégration** des territoires, en abordant le problème de l'inscription des dynamiques territoriales dans le développement local.

Le présent travail s'inscrit dans le deuxième ensemble défini par Deffontaines. Il a pour ambition de développer des méthodes visant à rendre compte de la façon dont les activités agricoles d'un territoire sont spatialement différenciées et dont ces différenciations spatiales évoluent au cours du temps. Il est basé sur deux exemples, issus de sollicitations de partenaires concernés par le développement de l'agriculture, mettant en cause le développement d'un tissu économique agricole d'une partie d'un département d'une part et la préservation d'une ressource naturelle d'un grand bassin versant d'autre part. Il présente donc une finalité d'aide à la structuration d'actions de développement agricole qui, en plus de tenir compte de la diversité de l'agriculture, puissent tenir compte de la différenciation spatiale de cette diversité.

Le mémoire de thèse est organisé en sept chapitres :

- les deux premiers chapitres exposent les sollicitations initiales des partenaires, leur transformation en problématique et en questions de recherche, ainsi que la démarche générale de recherche adoptée.
- les résultats sont exposés au cours de quatre chapitres distingués selon les deux cas d'étude et selon les objets retenus pour décrire la diversité des activités agricoles.
- le dernier chapitre consiste en une discussion des méthodes proposées et des utilisations qui en ont découlé pour contribuer à structurer des actions de développement.

Chapitre 1

Chapitre 1 – Demande des partenaires et émergence des questions de recherche

Notre recherche trouve son origine dans la sollicitation d'un organisme de développement agricole et d'un organisme de gestion de la ressource en eau, qui ont initié les deux études de cas sur lesquelles nous nous appuyons. Au-delà de l'opportunité des sollicitations de ces deux partenaires, leur choix relève d'une volonté de comparer des résultats issus d'une même démarche méthodologique mise en œuvre à des échelles spatiales et temporelles très différentes, de manière à poser les bases d'une démarche généralisable d'étude des différenciations spatiales de dynamiques agricoles.

1. Aide au conseil agricole dans la plaine du département des Vosges

Sous cette dénomination atypique (les Vosges étant le plus souvent connues par la montagne), nous désignons la partie ouest du département des Vosges constituée de 6 Petites Régions Agricoles, 20 cantons et 365 communes, qui s'étendent sur 3800 km^2 (Figure 1).

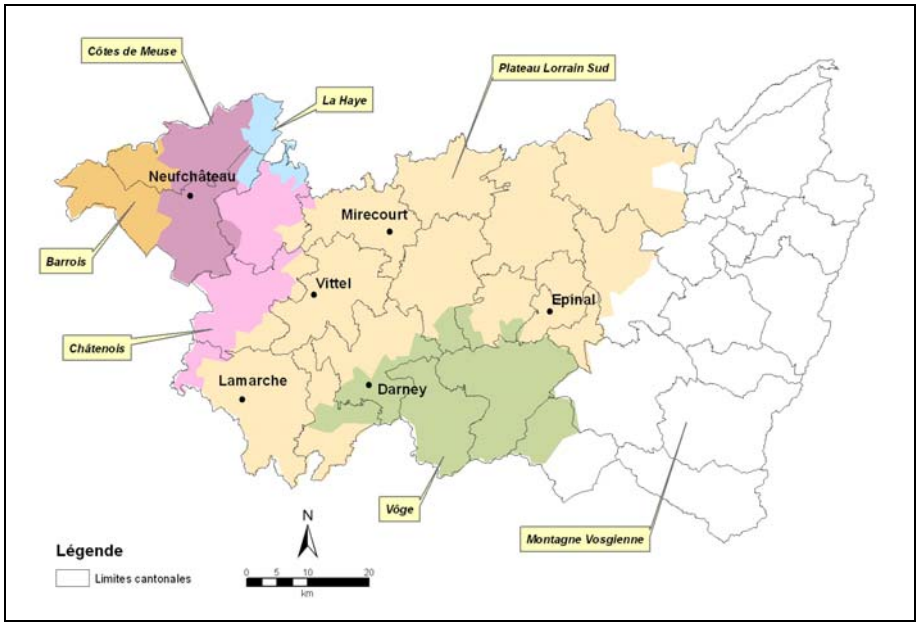


Figure 1 : Cantons et Petites Régions Agricoles de la Plaine des Vosges

Devenue région d'élevage essentiellement bovin laitier au début du XX^{ème} siècle, cette partie de la Lorraine méridionale connaît depuis le début des années 1970, un agrandissement constant des structures agricoles, accompagné d'une intensification et d'une modernisation des modes de production, ainsi que d'un développement des cultures de vente, plus ou moins marqué selon les zones (Mignolet *et al*., 1998). La diversité des exploitations y était forte au début des années 1990, lors de la réforme de la Politique Agricole Commune de 1992, ce qui a amené la Chambre départementale

d'Agriculture à s'interroger sur les formes d'évolution choisies par les exploitations suite à ce changement politique, sur cette zone qui recouvre six secteurs d'intervention de conseillers. Sa demande a ainsi porté sur une description spatialisée de la diversité des exploitations et de leurs dynamiques d'évolution, comme indicateurs de l'évolution du tissu économique agricole, sur un laps de temps court de 1993 à 1996. Cette description devait répondre à deux catégories de questions destinées à mieux cibler leurs actions de conseil et de développement :

- quels sont les modèles de production qui apparaissent les plus attractifs, et partant, dans quels types d'exploitations tendent à être réalisées les principales productions du département (lait, viande bovine et cultures annuelles de vente) ?
- où ces modèles dominants sont-ils préférentiellement localisés ? Qu'en est-il des types d'exploitations qui, à l'inverse, tendent à disparaître ?

Conformément à cette sollicitation, l'objet de description des activités agricoles qui nous intéresse est relatif à l'ensemble de l'exploitation agricole, dont on devra chercher à caractériser la diversité au sein de la zone étudiée. Dans la plaine des Vosges, la diversité des exploitations est en partie à rechercher dans leur dimension économique, les caractéristiques de main d'œuvre, la part relative des différentes productions et la modernisation des équipements et installations. Ces caractéristiques relèvent du système de production, défini en analyse macro-économique comme « *un mode de combinaison entre terre, forces et moyen de travail à des fins de production végétale et/ou animale, commun à un ensemble d'exploitations. Un système de production est caractérisé ici par la nature des productions, de la force de travail (qualification) et des moyens de travail mis en œuvre et par leurs proportions* » (Reboul, 1976). Le système de production est avant tout un outil d'analyse de l'exploitation agricole, outil privilégié puisqu'il permet de mettre en relation les processus qui relèvent des pratiques agricoles mises en œuvre et ceux qui relèvent des conditions économiques de production (Aubert *et al*., 1985). Toutefois, dans une perspective d'aide au conseil agricole, la diversité est également à rechercher dans les logiques de fonctionnement des exploitations et dans leurs systèmes techniques (Osty, 1978), tels que les modes d'alimentation des vaches laitières qui conditionnent une bonne partie de l'assolement des exploitations. Une première question de recherche apparaît ainsi : *comment décrire la diversité des exploitations de la plaine des Vosges de manière à produire des connaissances mobilisables pour le conseil agricole* ?

Par ailleurs, la demande du partenaire nous conduit à aller au-delà d'une description statique et globale de l'agriculture vosgienne : elle inclut une localisation des différents types d'exploitations recensés sur le territoire, ainsi qu'une analyse des voies d'évolution empruntées par les exploitations, qui elles aussi peuvent être spatialement différenciées. La notion de localisation recouvre deux acceptions (Piet, 2002) : elle consiste *(i)* à décrire comment se répartissent les activités agricoles au sein d'un territoire et *(ii)* à comprendre comment cette répartition est susceptible d'être modifiée sous l'influence de différents facteurs, en particulier des politiques publiques agricoles. Nous nous limitons

à la première de ces acceptions qui nous amène à poser la question de recherche suivante : *comment modéliser, sur le territoire de la plaine des Vosges, la répartition spatiale des types d'exploitations et les changements éventuels de répartition consécutifs à la réforme de la PAC de 1992, afin d'aider à la structuration d'actions de développement différenciées au sein du territoire ?*

Cette question peut être décomposée en deux sous - questions : *(i) comment modéliser l'évolution des types d'exploitations entre 1993 et 1996 ? (ii) comment mettre en évidence la différenciation spatiale des types d'exploitations et de leurs évolutions au sein de la plaine des Vosges ?* La mise en évidence de cette différenciation spatiale aura pour objectif d'identifier des zones agricoles redevables des mêmes besoins en conseil, c'est-à-dire des zones agricoles homogènes partageant des orientations de production, des logiques de fonctionnement et des évolutions proches. Entre le niveau de l'exploitation (très éclaté) et le département (très agrégé), ces zones agricoles, que Deffontaines (1987, communication personnelle) qualifie de méso-régionales, devront être d'une dimension suffisamment réduite pour y appréhender les exploitations dans leur diversité et permettre un ajustement des interventions, mais aussi suffisamment large pour repérer les grandes tendances et permettre l'identification de priorités pour ne pas éparpiller les moyens d'action.

L'analyse de cette différenciation spatiale suppose le choix d'un référentiel géographique (Grasland, 1997), c'est-à-dire : *(i)* d'un maillage spatial unitaire dont on postule l'homogénéité interne ; *(ii)* d'un mode de localisation des informations relatives aux activités agricoles sur ce maillage spatial. Une troisième sous - question porte donc sur *les unités de territoire (ou maille spatiale unitaire) qu'il est pertinent de retenir pour représenter la localisation des types d'exploitations et servir de support d'analyse à leur différenciation spatiale.*

La recherche doit produire des images spatialisées et diachroniques de l'agriculture de la plaine vosgienne. Ces images doivent être des outils de production de connaissance à destination des conseillers agricoles, qui les aident à établir des liens entre des types d'exploitations et des territoires qui leur sont familiers. Au-delà des référentiels typologiques d'exploitations auxquels certains d'entre eux sont habitués, ces images peuvent devenir des référentiels géographiques. Toutefois, nous n'abordons pas en tant que tels dans notre thèse les conditions et les processus d'appropriation de tels outils par des acteurs du développement agricole.

2. Aide au conseil agri-environnemental dans le bassin versant de la Seine

Le bassin de la Seine, auquel s'ajoutent les annexes hydrauliques figurées par les cours d'eau des bassins adjacents, constitue une vaste zone hydrographique couvrant 23 départements du nord de la France sur environ 95 000 km^2 (Figure 2). Depuis plusieurs dizaines d'années, cet hydrosystème s'est progressivement altéré du point de vue de la qualité de l'eau et de ses peuplements biologiques suite à

l'activité humaine, qu'elle soit domestique, industrielle ou agricole (Meybeck *et al*., 1998). La contamination des eaux souterraines et de surface par l'ion nitrate constitue l'une de ces altérations, qui résulte en majeure partie des pollutions diffuses issues de l'agriculture. Ainsi, l'accroissement de la pollution nitrique diffuse apparaît fortement liée à l'évolution des activités agricoles, de leur nature mais aussi de la façon dont elles s'organisent dans le territoire du bassin versant (Benoît et Mary, 1995).

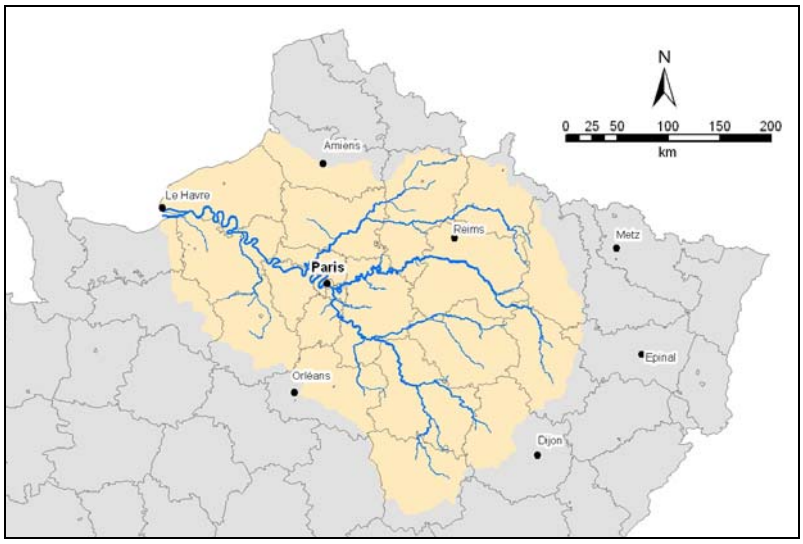


Figure 2 : Le bassin versant de la Seine et son réseau hydrographique

Face à l'accroissement des pollutions diffuses d'origine agricole, l'Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN) a sollicité le Programme Interdisciplinaire de Recherche en ENvironnement sur la Seine (PIREN-Seine), dans le but de disposer d'un outil de prévision de la qualité des eaux du bassin en fonction de scénarios agricoles. Cet outil doit permettre d'évaluer en tout point du bassin la teneur en nitrate des eaux et d'effectuer des prévisions localisées en fonction de jeux d'hypothèses sur des changements agricoles. Deux conséquences majeures découlent de ces objectifs :

- d'une part, il est nécessaire de travailler à l'échelle du bassin dans son ensemble mais de façon spatialisée au sein du bassin. La construction de l'outil doit donc concilier des investigations sur une large aire géographique et une localisation des processus la plus fine possible.
- d'autre part, en raison du temps de circulation des eaux jusqu'aux aquifères, le travail doit adopter une posture rétrospective et prendre en compte les dynamiques agricoles depuis au moins les trois dernières décennies.

En réponse à la sollicitation de l'AESN, une démarche de recherche pluridisciplinaire, regroupant des hydrogéologues (CIG, Ecole des Mines de Paris) et des agronomes (INRA Laon et Mirecourt), a été développée au cours des III^{ème} et IV^{ème} phases du PIREN-Seine (1998 – 2001 ; 2002 - 2005). Elle a associé un processus de modélisation des flux de nitrate dans le système hydrologique avec une analyse de l'agriculture du bassin, de ses dynamiques et de ses différenciations spatiales (Gomez *et al*.,

2003). Nous avons été ainsi amenés à analyser les mutations agricoles du bassin de la Seine depuis le début des années 1970 dans une double perspective : *(i)* mettre en évidence les relations entre évolutions passées des activités agricoles et hausse des teneurs en nitrate dans les eaux ; *(ii)* comprendre les évolutions passées des activités agricoles pour identifier des scénarios de changements possibles et pour aider à construire une réflexion prospective sur l'agriculture du bassin de la Seine, en relation avec le changement climatique à l'horizon 2050 (Ducharne *et al*., 2004 ; Ducharne *et al*., 2007).

Pour comprendre les relations entre évolutions des activités agricoles et contamination de l'hydrosystème par le nitrate, la démarche retenue repose sur le couplage entre une modélisation hydrogéologique des flux d'eau et de matière dans l'hydrosystème et une modélisation agronomique des flux de nitrate dans le système eau – sol – plante (Ledoux *et al.*, 2007). Cette modélisation agronomique est basée sur le modèle STICS, et en particulier sur le module qui simule les flux de nitrate à la base de la zone racinaire des plantes (Brisson *et al*., 1998). STICS a été choisi principalement en raison de son caractère générique qui permet de l'adapter aux diverses cultures présentes sur le bassin de la Seine, et de sa capacité à gérer les interactions entre l'eau et l'azote. Il fait appel à trois types d'informations : des informations sur les sols, des informations sur le climat et enfin des informations concernant la conduite des cultures. Ces dernières sont déclinées à deux niveaux :

- les successions de cultures, en tant que suites ordonnées des cultures implantées sur une même parcelle (Sebillotte, 1990), constituent, plus que l'assolement, une variable explicative des risques de pertes en nitrate, car elles incluent la période d'interculture. Le risque lié à l'interculture dépend de sa durée, de la gestion des résidus de culture et de l'apport des déjections animales (CORPEN, 1991). Il dépend aussi de la proportion de cultures de printemps et de la présence éventuelle de cultures intermédiaires (Machet et Mary, 1990).
- les itinéraires techniques représentent les suites ordonnées de techniques culturales réalisées sur un couvert végétal en vue d'en tirer une production (Sebillotte, 1974). Ne sont prises en compte dans STICS que les techniques culturales qui ont un impact sur le cycle de l'azote. Parmi elles, figurent principalement les travaux du sol, les dates de semis et de récolte, et les pratiques de fertilisation azotée minérale et organique.

Comme la plupart des modèles de culture, STICS suppose que les unités de simulation (le plus souvent la parcelle) sont homogènes du point de vue des données d'entrée : elles doivent être caractérisées par un même type de sol, un même climat et des pratiques culturales identiques, quelle que soit leur taille (Faivre *et al*., 2004). Utiliser STICS à l'échelle du bassin de la Seine nécessite donc de le « spatialiser » en recherchant des unités spatiales de simulation compatibles avec l'extension du territoire du bassin (c'est-à-dire plus grandes que la parcelle agricole) dont on supposera l'homogénéité interne au regard des trois types de données d'entrée. Notre objectif est donc de définir

au sein du bassin de la Seine des zones qui soient homogènes au regard des successions de cultures et des itinéraires techniques qui leur sont associés.

Les successions de cultures associées aux itinéraires techniques sont représentées en agronomie par le concept de système de culture (Sebillotte, 1990). Or, ce concept s'applique principalement à l'échelle de la parcelle ou du groupe de parcelles traitées de manière homogène. La question générale de recherche qui est ici posée est donc la suivante : *comment modéliser, sur le territoire du bassin de la Seine, l'évolution des systèmes de culture et de leur localisation sur une période de trente ans, pour permettre la mise en œuvre du modèle de culture STICS initialement conçu à la parcelle ?* Cette question peut elle-même être décomposée en plusieurs sous-questions : *(i) comment peut-on identifier les systèmes de culture du bassin de la Seine ? comment modéliser leur diversité ? (ii) comment modéliser les évolutions des systèmes de culture depuis le début des années 1970 ? (iii) quelle est la différenciation spatiale de ces systèmes de culture et de leurs évolutions au sein du bassin de la Seine et est-il possible d'identifier des zones homogènes ? (iv) quelle unité de territoire est-il pertinent de retenir pour représenter leur localisation et servir de support à la modélisation STICS ?* Ces questions posent des problèmes de méthodes et d'accès à l'information, rendus d'autant plus ardus par les échelles de temps et d'espace investiguées.

La seconde perspective donnée à l'analyse des mutations agricoles du bassin de la Seine vise à élaborer des scénarios de changements possibles des activités agricoles, dont l'efficacité sur les pollutions diffuses peut être testée par la chaîne de modélisation des flux de nitrate, et également aider à construire une réflexion prospective de l'agriculture du bassin à l'horizon 2050. Dans une problématique environnementale, en particulier celle qui nous intéresse ici, c'est plus l'utilisation du territoire agricole (nature des productions végétales, organisation spatiale et temporelle au sein de territoires délimitant des fonctionnements hydrologiques) qu'il importe de connaître et, le cas échéant, de modifier pour restaurer la qualité de l'eau. Toutefois, la diversité des modes d'occupation du sol au sein d'une région donnée et leurs évolutions ne peuvent se comprendre, et éventuellement être modifiées, que si elles sont resituées dans une diversité d'exploitations agricoles, qui sont elles-mêmes inscrites dans des filières différentes et adaptées à des milieux naturels et humains contrastés (Bonnamour, 1996).

La réflexion prospective, conduite par l'AsCA (Poux et Dubien, 2002), est basée sur la construction d'une image de base de l'agriculture du bassin, constituée d'une analyse de la diversité actuelle des systèmes de production, de leur répartition spatiale au sein du bassin et des tendances d'évolution passées sur un pas de temps long. Le choix du niveau d'organisation du système de production est justifié par sa mise en relation plus directe avec les variables retenues pour élaborer les scénarios prospectifs (variables géopolitiques mondiales, marchés des produits agricoles, contexte démographique et socio-économique européen, modes de régulation agriculture – société). L'analyse de la différenciation spatiale des systèmes de production du bassin de la Seine et de leurs évolutions

constitue en quelque sorte une « analyse – relais » entre des variables explicatives de changements agricoles, d'ordre macro-économique et socio-politique, et les impacts de ces changements sur la qualité des ressources en eau (Poux et Olive, 2003). L'objectif de simuler les conséquences de scénarios prospectifs sur les ressources en eau nous conduit également à orienter l'analyse des différenciations spatiales des systèmes de production vers la recherche de zones homogènes.

La question générale de recherche soulevée par cette seconde perspective est donc la suivante : *comment modéliser, sur le territoire du bassin de la Seine, l'évolution des systèmes de production et de leur localisation, sur une période de trente ans, pour produire des connaissances mobilisables dans la construction de scénarios prospectifs ?* Comme précédemment, elle peut être décomposée en plusieurs sous-questions : *(i) comment décrire la diversité des systèmes de production présents sur le bassin de la Seine ? (ii) comment modéliser les évolutions des systèmes de production depuis le début des années 1970 ? (iii) comment mettre en évidence une différenciation spatiale des systèmes de production et de leurs évolutions au sein du bassin de la Seine afin de définir des régions homogènes ? (iv) quelle unité de territoire est-il pertinent de retenir pour mettre en évidence cette différenciation spatiale et servir de support à la construction de scénarios prospectifs spatialement différenciés ?*

Enfin, le fait de travailler sur deux objets de description des activités agricoles, le système de production et le système de culture, nous amène à nous interroger sur les relations qui peuvent être mises en évidence entre les deux : la diversité des systèmes de production est-elle liée à la diversité des systèmes de culture ? Les évolutions de systèmes de production et de systèmes de culture observées sur les trente années étudiées vont-elles dans le même sens ? La différenciation spatiale des systèmes de production au sein du bassin est-elle la même que la différenciation spatiale des systèmes de culture ? Ces questions sont importantes à considérer pour analyser la cohérence des systèmes agricoles[2] du bassin de la Seine analysés à différents niveaux d'organisation.

3. Conclusion du chapitre

Les deux exemples traités dans notre thèse (Tableau 1) ont une finalité d'aide au développement agricole : l'exemple de la plaine des Vosges est guidé par des préoccupations liées à l'économie agricole du département et à la démographie des exploitations (quels sont les types d'exploitations qui concentrent les principales productions du département et où sont-ils localisés ?) ; l'exemple du bassin de la Seine réfère avant tout aux préoccupations environnementales liées aux activités agricoles (comment expliquer la hausse de teneur en nitrate observée au cours des trente dernières années dans les eaux du bassin et comment réfléchir à des scénarios prospectifs qui modifieraient l'impact de l'agriculture sur la qualité de l'eau ?). Ces préoccupations nous conduisent à retenir des entités

[2] Selon Meynard *et al.* (2006) sont désignés par « *systèmes agricoles les manières de produire, d'organiser la production ou de gérer l'espace agricole à différentes échelles. Les systèmes agricoles désignent les systèmes de culture ou d'élevage, les*

d'action, sur lesquelles le conseil agricole peut porter : exploitation agricole pour le premier ; exploitation agricole et mode d'utilisation du territoire pour le second. Malgré des échelles de temps et d'espace très différentes, elles posent des questions de recherche similaires qui réfèrent à l'analyse de la diversité des activités agricoles sur un territoire, de leurs évolutions au cours du temps et de la façon dont elles se différencient en fonction de leur localisation dans ce territoire.

Tableau 1: Synthèse de la demande des partenaires et des questions de recherche

		Plaine des Vosges	Bassin de la Seine
Le partenaire et sa demande	Demandeur	Chambre départementale d'Agriculture des Vosges	Agence de l'Eau Seine-Normandie
	Action prévue	Spatialisation du conseil	Spatialisation du conseil
	Domaine	Economie agricole / démographie agricole	Environnement (teneur en nitrate dans les eaux)
	Entité d'action	Exploitation agricole	Exploitation agricole Mode d'utilisation agricole du territoire
	Extension du territoire étudié	3800 km^2	95000 km^2
	Période étudiée	1993 - 1996	1970 - 2000
Problématique de recherche	Système agricole étudié	Système de production et fonctionnement d'exploitation	Système de production Système de culture
	Formulation des questions de recherche	comment modéliser la diversité des systèmes agricoles à un moment donné sur ces territoires ? comment segmenter ces territoires en espaces homogènes selon la diversité des systèmes agricoles ? comment modéliser l'évolution des systèmes agricoles sur les périodes considérées et identifier des espaces homogènes selon ces évolutions ? comment évaluer la pertinence des maillages spatiaux retenus ?	

Nous proposons d'articuler notre problématique autour de quatre questions :

- comment modéliser la diversité des systèmes agricoles (désignant soit des systèmes de production, soit des systèmes de culture) à une échelle régionale (de quelques centaines à plusieurs milliers de km^2) ?
- comment identifier des espaces homogènes du point de vue de la diversité des systèmes agricoles ?
- comment identifier des espaces homogènes selon la diversité des évolutions des systèmes agricoles au cours du temps ?
- comment évaluer la pertinence de maillages spatiaux pour représenter des différenciations spatiales agricoles ?

systèmes de production, mais aussi l'organisation spatiale, les interactions et les coordinations qui existent entre ces divers systèmes à l'échelle de territoires ».

Chapitre 2

Chapitre 2 – Problématique et démarche de recherche

Quelque soit le problème posé (maintien d'un tissu économique rural ou préservation de l'environnement), les objectifs portés par nos partenaires de recherche nous amènent à analyser dans une même perspective l'ensemble des exploitations agricoles présentes sur un territoire donné. Ils conduisent à des questionnements conceptuels et méthodologiques relatifs au choix des modes de représentation pour rendre compte de la diversité des exploitations et de leurs évolutions, mais aussi aux règles d'agrégation qui permettent de rendre compte de cette diversité à des niveaux d'organisation englobants (département, bassin versant). Ces questionnements participent au renouvellement des approches induites par la reconnaissance de la multifonctionnalité de l'agriculture (Laurent *et al*., 2003). Nous les abordons dans ce chapitre au travers des quatre questions de recherche précédemment identifiées.

1. Question 1 : comment modéliser la diversité des systèmes agricoles à une échelle régionale ?

Les modèles de représentation de la diversité des systèmes agricoles sont les référentiels qui conditionnent la nature des distinctions qui peuvent être faites entre les systèmes d'une région. Nos objectifs nous conduisent à explorer les modèles représentant la diversité des systèmes de production et des fonctionnements appréhendables à l'échelle de l'exploitation agricole, et ceux représentant la diversité des systèmes de culture. La littérature n'est pas aussi développée dans les deux domaines : dans le premier cas, de nombreux travaux de représentation de la diversité des exploitations agricoles sous la forme de typologies peuvent être recensés ; dans le second, les recherches apparaissent moins avancées et beaucoup plus récentes, les systèmes de culture étant peu abordés du point de vue de leur diversité. Une explication possible est très certainement liée au manque d'informations facilement accessibles pour décrire les systèmes de culture à une échelle régionale, alors que l'appareil statistique agricole (au moins en France) s'est historiquement plutôt focalisé sur la description des systèmes de production.

1.1. Modélisation de la diversité des exploitations agricoles

Les exploitations agricoles sont diverses, dans leur structure et dans leur fonctionnement, en raison des particularités régionales et d'adaptations variées aux sollicitations de l'environnement socio-économique. Depuis les années 1970, de nombreuses méthodes typologiques ont été mises au point, à la fois en agronomie, en géographie et en économie, pour ordonner l'univers des exploitations en constituant des groupes homogènes selon différents critères (Landais, 1996).

Un type d'exploitation est défini comme une combinaison particulière d'attributs multiples (Perrot, 1991). Face à l'extrême diversité des situations à décrire, les typologies ont l'ambition de « *constituer un jeu de types qui simplifie la réalité tout en respectant les particularités essentielles* » (Jollivet, 1965). Les typologies sont des méthodes comparatives : « *toute typologie se propose de classer objectivement des exploitations, de telle façon que les unités d'une même classe soient très homogènes entre elles et très hétérogènes par rapport aux exploitations des autres classes* » (Cerf *et al.*, 1987).

Le choix des attributs qui décrivent les types dépend de la spécificité des problématiques considérées, qui conditionnent notamment les échelles spatiales auxquelles les typologies sont conçues, mais procède également de conceptions différentes de l'exploitation agricole : certaines typologies privilégient l'entrée « unité de production » de l'exploitation agricole, d'autres sont issues de l'approche globale de l'exploitation agricole (Dobremez et Bousset, 1995).

Le recensement des méthodes de construction de typologies d'exploitations agricoles met en évidence la grande diversité des objectifs poursuivis par ces opérations (Cerf *et al*., 1987) : analyse exploratoire, préalable à la constitution de références techniques, mise au point d'outils à destination d'organismes de développement agricole, etc. Classiquement, deux grands ensembles sont distingués : *(i)* le premier regroupe les méthodes d'inventaire et de classification, qui aboutissent à la définition de types extraits référant le plus souvent aux unités de production agricoles ; *(ii)* le second est constitué de méthodes plus explicatives, clairement orientées dans une perspective de conseil agricole, qui aboutissent à la définition de types construits basés sur l'analyse du fonctionnement des exploitations.

1.1.1 Typologies des unités de production agricoles

Couramment utilisées sur de larges aires géographiques, ces typologies visent majoritairement à différencier les exploitations en fonction de leurs capacités de production, révélées par leur dotation en moyens de production résumée par trois composantes : terre, travail, capital. Si la dernière, trop délicate à évaluer, est rarement retenue, les deux premières et surtout le facteur terre sont le support essentiel de bon nombre de classifications (Brossier et Petit, 1977). De manière générale, les modèles typologiques s'appuient sur des descripteurs structurels de l'exploitation agricole et restent très allusifs sur son fonctionnement technique (Laurent *et al*., 2003).

La classification la plus connue et la plus utilisée est certainement celle des Orientations Technico-économique des EXploitations (OTEX), construite sur l'ensemble de l'Union Européenne et utilisée pour la présentation des statistiques agricoles européennes. Elle est fondée sur la valeur ajoutée potentielle des productions agricoles, estimée sur un critère de marge brute standard : l'OTEX d'une exploitation est déterminée par la composition de sa marge brute standard totale et par l'importance de certaines marges brutes standard partielles qui la constituent, selon un arbre de décision hiérarchisé en quatre niveaux de détail croissant (Ministère de l'Agriculture, 1997). Elle permet ainsi de replacer

chaque exploitation de l'Union Européenne dans une orientation productive (céréales, grandes cultures, bovin lait, bovin viande, etc).

La méthode typologique développée par l'Union Géographique Internationale pour comparer dans le temps et dans l'espace les différents types d'agriculture dans le monde (Bonnamour et Gillette, 1990) en est un autre exemple : basée sur vingt-huit critères synthétiques descriptifs des systèmes d'exploitation (critères sociaux, techniques, productifs et structurels, qui relèvent plus d'une approche globale des exploitations mais forcément limitée au regard de l'échelle spatiale étudiée), elle est censée constituer un référentiel universel, dans lequel toute exploitation peut être classée au moyen d'une procédure de codification préétablie.

Dans ce même ensemble figurent également les classifications statistiques par des techniques d'analyse multidimensionnelles, couplées ou non à des techniques de classification automatique. Elles constituent des outils pour réduire et structurer des ensembles complexes de données, en classant et regroupant les individus (exploitations agricoles) et les attributs qui les caractérisent suivant leur proximité dans des plans factoriels. Ce type de méthode a donné lieu à de nombreuses présentations typologiques (Lenco, 1975 ; Dobremez et Bousset, 1995 ; Köbrich *et al.*, 2003 ; Maseda *et al*., 2004 ; Riveiro *et al*., 2008). A titre d'exemple, Lenco (1975) a proposé l'une des premières typologies des exploitations agricoles françaises en fonction de 72 variables actives réparties en trois séries (culture, cheptel et main d'œuvre) et traitées par analyse factorielle des correspondances. Plus récemment, Dobremez et Bousset (1995) ont développé une démarche d'analyse basée sur des analyses factorielles et une technique de classification ascendante hiérarchique pour analyser la diversité des exploitations laitières de Haute-Loire, à partir de l'exploration conjointe de sources statistiques, comptables et technico-économiques. A la suite de la classification, ces auteurs introduisent le concept de situation - type qui est définie à partir de la caractérisation de chaque classe et de son interprétation en termes de systèmes d'exploitation (en tenant compte de critères sociaux, structurels, d'orientation du système de production et d'indicateurs de comportements techniques). Pour autant, le concept de situation – type ne prétend pas rendre compte et expliquer des logiques de fonctionnement d'exploitations. Nous approchons là la difficulté de construire des indicateurs suffisamment pertinents en termes de fonctionnement d'exploitation à partir de seules sources statistiques.

Les objectifs assignés en général à ces typologies sont résumés par Lenco (1975) : « *une classification doit constituer un outil de vulgarisation économique agricole et de présentation des résultats statistiques, ainsi qu'un instrument utile pour les projections et la prévision. Elle doit servir aux chercheurs, aux économistes, aux responsables professionnels et gouvernementaux comme outil d'analyse de l'offre et des comportements en agriculture, et doit permettre d'étudier l'impact des mesures décidées ou projetées, tant au niveau global qu'à celui d'une région ou d'une catégorie d'exploitations* ». Ces typologies peuvent être utilisées pour identifier des systèmes d'exploitation

représentatifs sur lesquels des modèles mathématiques représentant le processus de décision de l'agriculteur sont construits pour simuler l'impact de politiques agricoles (Köbrich *et al*., 2003).

1.1.2 Typologies de fonctionnement d'exploitation

A ces méthodes descriptives de classification sont opposées des méthodes plus explicatives, dont l'objectif premier est d'apporter une aide au conseil agricole. Les types d'exploitations sont construits : ce sont des modèles de fonctionnement déduits d'une position théorique, et seulement après précisés par l'observation des exploitations (Jouve, 1986 ; Capillon, 1993).

Ces typologies s'appuient toutes sur la théorie du fonctionnement de l'exploitation agricole vue comme un « système complexe piloté » (Osty, 1978). Capillon (1993) souligne qu'il existe peu, en pays développés, d'approches typologiques fondées sur une compréhension de l'exploitation et qu'il s'agit là d'un caractère original de l'école française, et tout particulièrement des unités de recherche du Département de recherche sur les Systèmes Agraires et le Développement. Pourtant, ces typologies sont considérées comme un investissement important pour le développement agricole local ou régional (Cristofini, 1985). La difficulté majeure pour l'élaboration des typologies de fonctionnement est qu'elle dépend d'une analyse fine des exploitations qui impose le recueil d'une information adaptée, basée sur des investigations par voie d'enquête souvent incompatibles avec des grands territoires.

Les différences entre les méthodes proposées tiennent essentiellement à la nature des informations recueillies pendant l'enquête (qui dépendent du modèle de fonctionnement préétabli), à la manière dont elles sont traitées pour formaliser la typologie et au rôle assigné à la typologie dans les actions de conseil et de développement.

Choix des critères de diversité

Les typologies de fonctionnement sont élaborées selon deux grands ensembles de critères de diversité. Les premiers ont pour objectif de représenter la diversité des projets ou des stratégies des agriculteurs à plus ou moins long terme, qui dépendent de la perception qu'ils ont de leur situation en termes d'atouts ou de contraintes (INRA – ENSSAA, 1973 ; Capillon, 1985 ; Capillon, 1993 ; Fairweather et Keating, 1994 ; Daskalopoulou et Petrou, 2002 ; Tefera *et al*., 2004 ; Beyene *et al*., 2006). L'hypothèse sous-jacente est que le projet des agriculteurs « *donne sa cohérence à l'ensemble des décisions prises par l'agriculteur quant à la modification de son appareil de production (investissement, financement, etc) et au choix des techniques de production* » (Brossier et Petit, 1977).

D'autres auteurs mettent en évidence la difficulté de comprendre le fonctionnement global de l'exploitation qui suppose l'objectivation souvent délicate du projet des agriculteurs. Les stratégies des agriculteurs restent le plus souvent inconnues parce qu'elles ne peuvent pas être déduites à partir des informations statistiques disponibles et qu'il existe peu de connaissances expertes à leur sujet (Girard *et al*., 2008). Ils s'appuient sur le concept de « stratégie réalisée » représentant la cohérence expliquée

a posteriori des pratiques agricoles d'une année donnée. Ainsi, à l'issue d'un premier travail en Castagniccia (Cristofini *et al*., 1978), Cristofini (1985) choisit de décrire des « *systèmes de pratiques* », vus comme des combinaisons cohérentes de pratiques élémentaires[3]. Le fonctionnement réfère ici à la logique d'organisation des interventions humaines, représentée par des descripteurs centrés non seulement sur les modalités de combinaisons de pratiques mises en œuvre, mais aussi sur les régulations qui permettent de maintenir ces combinaisons dans un environnement fluctuant.

En reprenant les postulats de cette démarche (s'intéresser aux combinaisons de pratiques, révélatrices de logiques de fonctionnement), Girard *et al*. (2001 et 2008) ont choisi de caractériser des pratiques d'agriculteurs en associant leur description qualitative à leur justification explicitée par les agriculteurs. La diversité d'une pratique est ainsi représentée par un attribut prenant la forme d'un axe dichotomique opposant deux modalités extrêmes de la pratique et permettant une évaluation de ses modalités intermédiaires. Le choix et la formalisation des attributs sont réalisés conjointement par les chercheurs et les agents de développement concernés par le problème initial, selon un processus d'apprentissage collectif, à partir de l'analyse d'entretiens semi-directifs conduits auprès d'agriculteurs (Girard, 2006).

Une dernière méthode, mise au point par Perrot (1990 et 1991), permet de s'affranchir de la lourdeur des dispositifs d'enquête directe, exigeants en temps et en main d'œuvre, en se fondant sur des interviews d'experts qui, de par leurs fonctions professionnelles, sont amenés à observer quotidiennement le fonctionnement d'exploitations. De cette observation, ils parviennent à définir un certain nombre de logiques de fonctionnement repérées à partir d'invariants qu'ils perçoivent dans les manières de produire des agriculteurs. L'hypothèse qui sous-tend cette méthode est que ces experts « *ont déjà implicitement effectué l'essentiel du travail typologique : observation des exploitations et regroupements sur la base de leurs caractéristiques essentielles. A la différence près que l'informateur a réalisé ses observations dans la durée et qu'il est donc plus à même de privilégier les variables de fonctionnement* » (Perrot, 1990). Ce n'est donc plus l'expert typologue qui choisit ses variables descriptives du fonctionnement de l'exploitation lors de l'élaboration du questionnaire, puis qui choisit parmi celles-ci les indicateurs typologiques en fonction de leur pouvoir discriminant : « *le choix des variables pertinentes pour structurer la diversité des exploitations est laissé à leur appréciation (celle des experts) et constitue la partie essentielle de l'expertise* ». Les limites de cette méthode sont déterminées par la capacité des experts à avoir une vision globale et juste de la réalité, mais aussi par la capacité du typologue à transcrire correctement le savoir des experts.

[3] Le concept de « pratique » est défini par Landais et Deffontaines (1988) : étroitement liée à la technique qui relève de la connaissance, la pratique relève de l'action. Il s'agit « *des manières concrètes d'agir des agriculteurs* » (Milleville, 1987), spécifiques à un contexte particulier situé dans l'espace et le temps.

Méthodes de définition des types

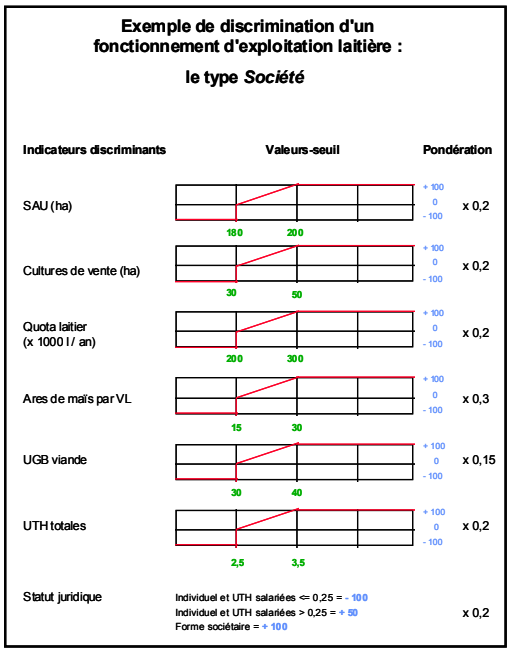
Comme les méthodes d'inventaire et de classification, la plupart de ces méthodes typologiques procèdent d'une logique de segmentation dans laquelle on cherche à définir des seuils pour différencier les types de fonctionnement. Toutefois, de telles méthodes reposant sur des données d'enquêtes présentent souvent une limite importante concernant « *l'heuristique de la construction des typologies à partir des enquêtes de terrain [qui] n'est que partiellement formalisée et donc difficilement transmissible* » (Landais, 1996). C'est le cas par exemple du travail de Cristofini (1985) qui, après avoir détecté les fonctionnements des exploitations, les positionne empiriquement les uns par rapport aux autres et les restitue dans un « *tableau typologique* ». La lecture globale de ce tableau avec ses proximités entre cases, mais aussi ses éventuelles continuités et discontinuités, donne une image de l'agriculture de la région étudiée.

Une autre logique de définition des types consiste à catégoriser les exploitations sous forme de prototypes. La théorie du « prototype » développée en sciences cognitives vise à construire des types qui soient des pôles ou catégories, auxquels comparer chaque exploitation, et non des cases cloisonnées (Girard, 2006). Cette théorie présente deux intérêts en agronomie :

- les pôles / catégories sont caractérisés par leur logique propre et non par leurs frontières. Ils sont donc définis indépendamment les uns des autres, ce qui facilite la mise à jour du modèle, et ils permettent une représentation de la diversité des exploitations sous la forme d'un continuum autour de quelques grandes logiques de fonctionnement.
- aux classiques décisions de classement qualitatives (en « oui ou non ») se substitue une évaluation quantitative nuancée de la ressemblance ou de la similarité de chaque exploitation avec chacun des pôles / catégories. Une exploitation peut ainsi être décrite comme la combinaison de plusieurs catégories.

Cette procédure de formalisation des types est développée par Girard *et al.* (2001 et 2008) et par Perrot (1990 et 1991), même s'ils ne font pas appel aux mêmes cadres théoriques ni aux mêmes outils (grilles – répertoires pour Girard, système – expert pour Perrot). Dans le cas de Girard, chaque type est décrit de manière littéraire et peu quantifiée et associé à des pratiques jugées caractéristiques et des pratiques qualifiées d'indifférentes. Dans le cas de Perrot, les pôles d'agrégation sont décrits par une combinaison spécifique d'indicateurs discriminants le plus souvent quantitatifs (Figure 3). Des opérateurs flous, rassemblés dans une clé et appelés coefficients de ressemblance, sont utilisés pour quantifier la similarité des exploitations avec les pôles[4].

[4] A la suite de ce calcul, il est possible de reconstruire un espace de représentation commun à l'ensemble de la population des exploitations étudiées, en effectuant une analyse factorielle sur la matrice des coefficients de ressemblance des exploitations et des pôles d'agrégation. Contrairement aux méthodes typologiques exposées dans le chapitre précédent, l'analyse multivariée ne porte pas sur les variables descriptives de départ : elle n'est pas utilisée pour construire la typologie mais pour en fournir une représentation.



D'après Perrot (1991)

Girard (2006)

Figure 3 : Caractérisation des critères de diversité dans les typologies de Perrot (1991) et de Girard (2006)

Apport de la typologie pour le conseil agricole

Tout en étant différentes, tant par le choix des critères de discrimination des types que par celui des méthodes de traitement des informations, l'ensemble des typologies de fonctionnement a en commun un objectif d'aide au conseil agricole. De façon générale, la finesse requise pour décrire les types et le mode d'acquisition des observations par enquête directe ou suivi d'exploitations – types, les cantonnent à des zones géographiques restreintes, au maximum de l'ordre de la Petite Région Agricole (moins de 1000 km^2 et moins de 1000 exploitations). Seule la méthode de Perrot, grâce au mode indirect d'acquisition des informations basé sur les dires d'experts, peut être rapide dans sa mise en œuvre et donc spécifiquement adaptée pour décrire la diversité des exploitations directement à un niveau départemental ou régional.

Dans la plupart des cas, la compréhension de la diversité des fonctionnements et des pratiques actuels est considérée comme un pré - requis pour accroître la connaissance du contexte agricole par les acteurs et ainsi concevoir des actions de développement plus adaptées (Daskalopoulou et Petrou, 2002 ; Tefera *et al*., 2004). Le point de vue adopté est celui des « *recommandation domains* » (Williams, 1994) qui consistent à identifier les agriculteurs qui pourront adopter une technique ou être sensibles à un message technique dans une perspective de diffusion. Le conseil s'appuie là sur un processus de transfert essentiellement linéaire, depuis la recherche qui produit le savoir et l'innovation technique jusqu'aux agriculteurs censés les appliquer (Girard *et al*., 2007). La démarche proposée par

Perrot fait évoluer ce processus en impliquant dès l'origine les acteurs du développement en tant qu'experts porteurs de connaissances, avec l'idée que l'appropriation par ces mêmes acteurs de l'outil typologique final en sera favorisée.

Par distinction, la démarche de Girard (2006) considère la typologie comme un moyen de redéfinir, par un processus d'apprentissage collectif[5], le problème initialement posé, en amont de toute forme d'aide ou de conseil aux agriculteurs. La typologie n'a pas vocation à devenir un outil utilisable par les agents de développement, puisqu'une fois le problème reformulé, ce sont d'autres actions qui s'engagent : c'est donc tout à la fois une typologie « située », spécifique à un problème donné dans un territoire donné, et une typologie « éphémère ».

Implications sur les choix de thèse

Les typologies d'exploitations sont des modèles de représentation de la diversité des exploitations qui peuvent considérablement varier selon les objectifs, le modèle d'exploitation considéré, les attributs retenus pour caractériser la diversité et les méthodes de formalisation des types. Dans notre thèse, nous prenons le parti de ne pas construire de nouvelles typologies d'exploitations mais de mobiliser des typologies existantes. Compte tenu des questions posées dans les deux cas d'étude, nous sommes amenés à choisir deux modèles typologiques différents, qui ont toutefois en commun la nécessité d'être utilisables sur de larges échelles de territoire : *(i)* sur la plaine des Vosges, nous portons notre choix sur la typologie à dire d'experts de C. Perrot, qui prend en compte les orientations productives et les tailles d'exploitations ainsi que des indicateurs de fonctionnement majoritairement quantitatifs, ce qui est compatible avec l'échelle d'étude ; *(ii)* sur le bassin de la Seine, nous mobilisons la typologie des OTEX qui représente la diversité des systèmes de production permettant ainsi de mettre en perspective la dynamique productive des exploitations avec des facteurs socio-économiques et politiques globaux mobilisés dans la construction de scénarios prospectifs[6].

1.2. Modélisation de la diversité des systèmes de culture

Le choix des systèmes de culture sur une exploitation dépend de nombreux facteurs (Castellazzi *et al.*, 2008) : les conditions de milieu physique dans lesquelles l'exploitation se situe (climat, topographie, type de sol), son contexte agronomique (présence de maladies, d'adventices ou de ravageurs, technologies et variétés de cultures disponibles) mais aussi son contexte socio-économique

[5] Les agents de développement sont mobilisés pour participer à la construction d'une représentation partagée de la diversité des pratiques d'agriculteurs. A la différence de Perrot, ils ne sont pas choisis pour leurs connaissances expertes mais pour leur intérêt vis-à-vis du problème posé.
[6] Le choix de ces modèles typologiques est justifié plus en détail dans les chapitres suivants.

(marchés agricoles, mesures de politique agricole, contrats). Tenant compte de ces facteurs exogènes qui varient en fonction de la localisation de l'exploitation, la constitution des systèmes de culture résulte de décisions d'organisation des processus productifs dans l'exploitation, par lesquelles l'agriculteur mobilise et combine les ressources productives dont il dispose (foncier, équipement, main d'œuvre…) sur un pas de temps annuel voire pluri-annuel (Aubry et Michel-Dounias, 2006). Comme les exploitations agricoles sont elles-mêmes diverses dans leur structure et leur fonctionnement, on observe donc dans une région donnée et à un moment donné, une grande variabilité des décisions techniques entre agriculteurs, qui aboutissent à une grande diversité des systèmes de culture.

Toutefois, l'analyse des systèmes de culture en termes de diversité au sein d'un territoire donné est assez peu développée en agronomie, car les échelles d'analyse privilégiées sont celles de la parcelle et de l'exploitation, au moins dans les pays développés (Jouve, 2006). A une échelle régionale, l'identification des systèmes de culture est le plus souvent très approximative et se limite fréquemment aux espèces cultivées. De surcroît, les travaux associant une analyse de la diversité des deux composantes du système de culture (succession culturale et itinéraire technique) sont encore plus rares. Nous retenons deux types d'approches principaux dont les objectifs peuvent s'en approcher : le premier regroupe des approches mécanistes visant à simuler le processus de décision de l'agriculteur qui aboutit à la constitution des systèmes de culture ; le second rassemble des approches empiriques ou stochastiques visant plus explicitement à représenter leur diversité.

1.2.1 Modélisations mécanistes de la constitution des systèmes de culture

La plupart des modèles mécanistes décrits dans la littérature sont des modèles de culture qui représentent le système sol – plante – atmosphère sous la forme d'équations mathématiques (Faivre *et al*., 2004). Ils calculent la croissance de la plante et le rendement ainsi que des bilans hydriques et de matière, en fonction des conditions environnementales et des pratiques de conduite des cultures. Ces dernières constituent des paramètres d'entrée des modèles et sont la plupart du temps établies indépendamment des successions de cultures et des itinéraires techniques successifs dans lesquels les cultures prennent place. L'hypothèse sous-jacente est que les agriculteurs gèrent leurs cultures successives sur une parcelle assez indépendamment les unes des autres. Seuls certains modèles tels que CropSyst (Stöckle *et al*., 2003) différencient les itinéraires techniques en fonction des rotations culturales, qui sont choisies initialement par l'utilisateur parmi une liste prédéfinie.

A l'inverse, quelques modèles tentent de prendre explicitement en compte la cohérence des systèmes de culture en se focalisant sur la représentation des rotations culturales. Ils sont basés sur l'hypothèse que le potentiel de rendement d'une culture ainsi que la quantité et le type d'intrants qui lui sont apportés (engrais, produits phytosanitaires) dépendent non seulement de la conduite de la culture en place mais aussi des effets à long terme induit par les rotations culturales sur la fertilité des sols (Dogliotti *et al*., 2003). Ces effets sont principalement déterminés par la combinaison des cultures,

la fréquence de chaque culture, leur succession et les activités réalisées pendant les périodes d'interculture. Ces modèles visent à générer ou à optimiser (par des méthodes de programmation linéaire) des successions de cultures en fonction de différentes hypothèses, pour répondre à deux grandes catégories d'objectifs : *(i)* contribuer à concevoir de nouveaux systèmes de culture (Dogliotti *et al*., 2003) et à les évaluer d'un point de vue agronomique et environnemental (Bachinger et Zander, 2007) ; *(ii)* contribuer à modéliser l'usage des terres par l'agriculture à différents niveaux d'organisation (exploitation agricole, bassin versant, région) pour en évaluer les effets (Rounsevell *et al*., 2003 ; Klöching *et al*., 2003) ou aider à planifier la production agricole (Haneveld et Stegeman, 2005).

Ces modèles procèdent de choix différents de représentation des systèmes de culture, en identifiant des contraintes, le plus souvent issues de connaissances expertes, qui orientent leur constitution : elles peuvent être relatives à la conduite des cultures, aux conditions permettant à deux cultures de se suivre ou aux caractéristiques des exploitations agricoles voire de leur environnement physique ou socio-économique. A titre d'exemples, le modèle ROTAT (Dogliotti *et al*., 2003) génère des rotations culturales *a priori* à partir d'une liste de cultures prédéfinies, en utilisant des « filtres » agronomiques qui en limitent le nombre. Ces filtres considèrent trois types de contraintes : *(i)* des contraintes de temps (dates de semis et de récolte cohérentes avec les périodes de croissance des cultures, période d'interculture minimale) ; *(ii)* des contraintes sur des fréquences ou des séquences de cultures indésirables (successions non autorisées, fréquence maximale de chaque culture dans la rotation, fréquence maximale de cultures aux caractéristiques proches et délai de retour minimal de chaque culture) ; *(iii)* des contraintes liées à la complexité du système d'exploitation (longueur maximale des rotations, nombre maximum de cultures différentes par rotation, nombre maximal de cultures principales et de cultures secondaires par rotation). Ces contraintes sont fixées par l'utilisateur du modèle en fonction de son expertise. Le modèle ROTOR (Bachinger et Zander, 2007) élaboré pour concevoir et évaluer des rotations culturales biologiques, génère des rotations de 3 à 8 ans en fonction d'itinéraires techniques culturaux définis à dire d'experts selon les précédents culturaux et les contraintes liées aux systèmes de production et au type de sol. Les rotations présentant des apports d'azote trop limitants ou des risques d'infestation par des adventices trop élevés sont éliminées. Un autre générateur de rotations conçu par Klöching *et al*. (2003) est basé sur la définition d'un schéma de rotations virtuelles sur une période de 40 ans en fonction des caractéristiques des plantes et de contraintes agronomiques (en particulier contrôle des maladies et des ravageurs).

En plus d'un objectif de définition de rotations culturales, certains auteurs ajoutent un objectif d'optimisation des rotations le plus souvent fondée sur l'hypothèse de maximisation du profit de l'agriculteur, en employant différentes techniques de programmation linéaire. C'est le cas de Rounsevell *et al.* (2003) qui optimisent les rotations en affectant aux cultures des pénalités de rendement en fonction du précédent cultural et de retards dans les opérations culturales (semis tardif

par exemple) ; de Haneveld et Stegeman (2005) qui traduisent en contraintes linéaires des séquences de cultures non autorisées ; ou encore de Detlefsen et Jensen (2007) qui déterminent les rotations ayant les marges brutes les plus élevées à partir de données standard caractérisant les couples de cultures « précédent – suivant » (rendement, besoin en azote et prix de vente).

Ces modèles mathématiques simplifient, avec des choix différents, le processus de décision de l'agriculteur qui aboutit à la constitution des systèmes de culture sur son exploitation. En se référant au « modèle de l'agriculteur pour l'action » ou « modèle d'action » (Sebillotte et Soler, 1990), Aubry *et al.* (1998) et Papy (2001) ont détaillé ce processus de manière conceptuelle en région de grandes cultures. Ils ont montré que la constitution des systèmes de culture est le résultat de processus décisionnels emboîtés concernant l'attribution de la ressource en terre de l'exploitation et l'organisation du travail. Ils définissent ainsi un niveau d'organisation de l'agriculteur qui est celui du bloc de cultures, « *ensemble de parcelles de l'exploitation sur lesquelles est pratiquée une même rotation – cadre, c'est-à-dire un ensemble de successions de cultures très proches les unes des autres car construites autour des mêmes cultures – pivots* » (Maxime *et al*., 1995). Les rotations – cadres sont fondées sur les cultures prioritaires pour l'agriculteur, d'autres étant interchangeables dans la succession. Elles dépendent de quatre variables décisionnelles principales et interdépendantes : la zone cultivable considérée par l'agriculteur comme favorable à une culture donnée, le délai de retour fondé sur la notion de risques (surtout phytosanitaires), les précédents culturaux possibles et la taille de la sole de la culture. Nous retrouvons ici un raisonnement assez proche de celui mis en œuvre dans le modèle ROTAT précédemment évoqué.

De manière générale, ces différents travaux de modélisation visent à expliquer, optimiser ou prédire des systèmes de culture, essentiellement dans leur composante successions de cultures ou rotations (les itinéraires techniques restent peu abordés en tant que tels). Les successions culturales sont construites à partir d'une position théorique traduite par des jeux d'hypothèses. Mais elles restent virtuelles et ne sont pas précisées ensuite par l'observation. Il n'y a pas non plus d'objectif explicite de construction de typologies de systèmes de culture car les modèles ne permettent pas de les comparer ni de les classer. Toutefois, ils aboutissent à des représentations d'ensembles de successions de cultures possibles dans des contextes agricoles donnés.

1.2.2 Représentation stochastique ou empirique de la diversité des systèmes de culture

Les successions culturales

Les processus stochastiques (ou aléatoires) permettent de modéliser des systèmes dont le comportement n'est que partiellement prévisible. Appliqués à la modélisation des successions culturales, ils facilitent la prise en compte de l'incertitude dans les séquences de cultures en associant une probabilité d'occurrence à chaque culture. Ils sont ainsi particulièrement indiqués pour des objectifs de simulation des successions culturales sur le long terme dépendant de changements

difficilement prévisibles tels que le changement climatique ou l'évolution des marchés des produits agricoles (Castellazzi *et al*., 2008).

Deux familles récentes de travaux ont été relevées dans la littérature sur ce sujet, qui partent d'un point de vue différent sur la place des connaissances expertes dans le processus de modélisation. Castellazzi *et al*. (2008) définissent *a priori* de façon empirique quatre types de successions culturales en fonction de la flexibilité de leur structure (Figure 4) : la succession fixe, cyclique et de longueur fixe, équivalente à la rotation ; la succession flexible (une culture peut être suivie de plusieurs autres au choix), cyclique et de longueur fixe ; la succession flexible, cyclique et de longueur variée ; et enfin la succession flexible, non cyclique et de longueur variée, qui est la moins structurée. Partant de cette typologie et en posant l'hypothèse que l'allocation d'une culture dans une parcelle une année donnée ne dépend que de la culture de l'année précédente, les auteurs montrent que les successions de cultures peuvent être considérées comme des chaînes de Markov et être représentées mathématiquement par des matrices de transition contenant les probabilités qu'une culture succède à une autre. L'utilisation de ces matrices peut être complétée par des règles visant à restreindre les possibilités de successions entre cultures (délai de retour d'une culture, successions de cultures non autorisées, nombre acceptable de répétitions d'une culture, etc). Dans cette démarche, les connaissances expertes sur les types de successions culturales et leurs dynamiques internes sont mobilisées pour créer les matrices de transition adaptées à un contexte agricole donné, c'est-à-dire pour estimer les probabilités de transition d'une culture à une autre.

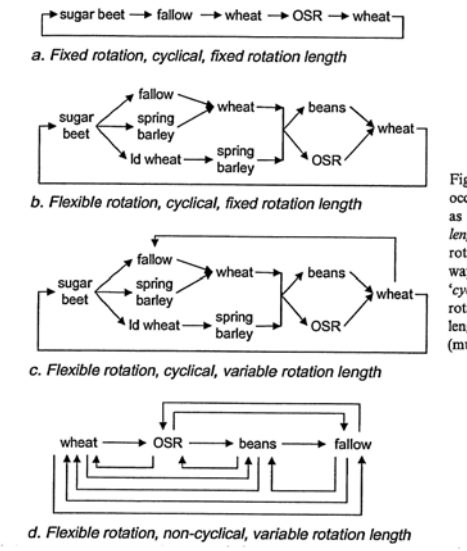


Fig. 1. Examples of classified rotations. (a) The rotation is '*fixed*'. The two occurrences of wheat are defined differently according to when they occur, as 'wheat 1' or 'wheat 2'. The rotation is '*cyclical*' with a '*fixed rotation length*' of 5 years. OSR represents oilseed rape. (b) This more typical rotation (Orson, personal communication) is '*flexible*' (i.e. multi-pathways). The two occurrences of spring barley are labelled accordingly. It is '*cyclical*', again with a length of 5 years. Ld indicates late-drilled. (c) This rotation is again flexible (i.e. multi-pathway), and cyclical but the rotation length is not fixed. (d) This rotation is less-structured with great flexibility (multi-pathway), and cyclical but with a highly variable rotation length.

Figure 4 : Typologie des successions culturales selon Castellazzi et al. (2008)

Un autre point de vue consiste à considérer que cette connaissance n'existe pas et que la recherche doit porter sur l'extraction des régularités qui donnent naissance aux successions de cultures. Ce point de vue émane d'un courant de recherche en informatique fondé sur la fouille de données (data mining) définie comme l'utilisation d'algorithmes mathématiques pour extraire de l'information et des

régularités à partir de grandes bases de données. C'est celui qu'ont adopté Mari et Le Ber (2003) et Le Ber *et al*. (2006) pour modéliser la forme supposée inconnue de successions de cultures. Ils ont pour cela utilisé des algorithmes numériques basés sur des modèles de Markov cachés de second ordre (second order Hidden Markov Model ou HMM2) adaptés à l'extraction de régularités spatiales ou temporelles. Ces algorithmes sont des algorithmes d'apprentissage non supervisé qui permettent d'estimer les paramètres d'un modèle selon un processus itératif, à partir d'un corpus d'observations et d'un modèle initial. Le modèle obtenu est capable de segmenter chaque séquence de cultures en parties stationnaires et en parties de transition puis de construire une classification de ces données avec des probabilités calculées *a posteriori*. Trois différences principales peuvent ainsi être notées par rapport à la démarche de Castellazzi *et al*. (2008) :

- le modèle de Markov caché représente un double processus stochastique, alors que la chaîne de Markov n'en spécifie qu'un seul : *(i)* le premier processus est défini sur un ensemble d'états cachés pour un observateur, chaque état représentant une distribution de cultures. C'est une chaîne de Markov d'ordre un ou deux ; *(ii)* le second processus est qualifié de visible. Il émet une observation à chaque pas de temps en fonction des densités de probabilité définies sur chacun des états par le processus caché. Chaque année, la chaîne de Markov produit une occupation du sol en fonction des transitions autorisées et de la densité de probabilité des cultures de l'état visité.
- l'expertise de l'utilisateur est mobilisée dans la définition du modèle initial[7] qui génère, suite au processus d'apprentissage, le modèle final adapté aux séquences de cultures observées (Figure 5). Ce n'est pas l'utilisateur qui définit *a priori* les probabilités de transition entre cultures : elles sont calculées *a posteriori* par le modèle. L'interprétation des résultats peut ensuite amener l'expert à suggérer un autre modèle. L'ensemble de ces actions constitue les éléments d'un processus de production de connaissances (Mari et le Ber, 2003).

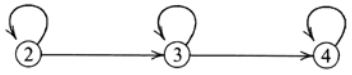


Fig. 2. Model 1: the HMM2 performs a data segmentation in three periods in which the observations are supposed stationary. This model is defined in Table 2.

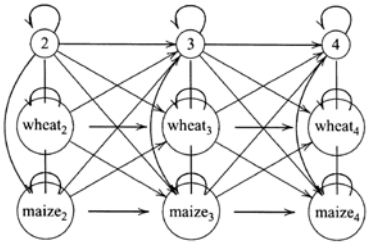


Fig. 4. Model 2: the states denoted 2, 3 and 4 are associated to a distribution of land-use categories, as opposite to the states denoted with a specific land-use category. The number of columns determines the number of time intervals (periods). A connection without arrow means a two directional connection.

Figure 5 : Modélisation des successions culturales par les HMM (Le Ber et al., 2006)

- le processus d'apprentissage est basé sur un corpus d'observations de séquences de cultures passées et actuelles, alors que Castellazzi *et al.* (2008) ne confrontent pas leurs modèles à des

[7] Ce modèle initial considère en général des probabilités de transition entre cultures équiprobables et une distribution des cultures uniforme dans chaque état (*cf* chapitre 5).

données réelles. Une limite à cette démarche tient donc à la disponibilité de bases de données annuelles sur les occupations agricoles du territoire.

Les itinéraires techniques culturaux

La modélisation de la diversité des itinéraires techniques culturaux est rendue d'autant plus ardue à une échelle régionale qu'elle nécessite une connaissance fine des pratiques des agriculteurs souvent incompatible avec l'extension des territoires étudiés (Biarnès *et al*., 2004). Le mode d'acquisition des informations sur ces pratiques est ainsi un élément clé des travaux conduits sur ce sujet.

Plusieurs démarches peuvent être identifiées dans la bibliographie. La première consiste à réaliser des enquêtes en exploitations agricoles : *(i)* elle peuvent privilégier l'exhaustivité des agriculteurs du territoire et être conduites par voie postale (Maton *et al.*, 2008). Ces dernières sont toutefois soumises à des retours de courrier incertains et la formulation du questionnaire, en général fermé, ne permet pas d'aborder les cohérences des itinéraires techniques ni les raisons des choix des agriculteurs ; *(ii)* elles peuvent être réalisées sous la forme d'entretiens plus ou moins directifs auprès d'un échantillon d'agriculteurs. De tels entretiens à entrée agronomique permettent d'appréhender les raisons des choix des agriculteurs qui peuvent par exemple être relatives à leur perception des ressources de leur territoire (Beyene *et al*., 2006) ou à leur conception du rôle de l'azote dans les pratiques de fertilisation (Nesme *et al*., 2006). Leurs limites tiennent d'une part à leur représentativité et d'autre part aux inexactitudes que peuvent contenir les réponses des agriculteurs (Nesme *et al*., 2006).

Une deuxième démarche consiste à conduire des enquêtes de manière indirecte auprès des organismes professionnels agricoles qui ont des périmètres d'action régionaux (chambres d'agriculture, organismes d'approvisionnement et de stockage, etc). Ces organismes disposent d'une certaine connaissance et d'informations sur leurs adhérents ou leurs clients (par exemple des enregistrements de pratiques à la parcelle pour des productions sous contrat). Toutefois, ils indiquent le plus souvent des pratiques moyennes ou des pratiques marginales mais bien identifiées car correspondant à une stratégie particulière (Maton *et al*., 2008). Les pratiques qu'ils recommandent peuvent être également assez différentes des pratiques réellement mises en œuvre par les agriculteurs (Darré, 1994).

Une troisième démarche fait appel à la télédétection pour estimer la variabilité spatiale de certaines opérations culturales, telles que les dates de semis (Launay et Guérif, 2005) ou l'utilisation de couverts intermédiaires ou permanents (Pena-Barragan *et al*., 2007). Mais de nombreuses opérations culturales ne peuvent pas être détectées par de telles techniques et elles ne fournissent des informations que sur des pratiques passées.

Enfin, une dernière démarche vise à estimer la diversité des pratiques agricoles à partir de facteurs jugés déterminants plus facilement accessibles à l'échelle régionale, parce qu'ils sont renseignés dans des bases de données administratives (recensements agricoles par exemple) ou parce qu'ils sont géo-

référencés et utilisables sous SIG (bases de données météo par exemple). Ces facteurs peuvent être relatifs aux caractéristiques des parcelles, des systèmes d'exploitation ou de leur environnement physique ou socio-économique (Biarnès *et al*., 2004 ; Maton *et al*., 2005 ; Maton *et al*., 2007). L'estimation de la diversité des pratiques est associée à une estimation de leur variabilité spatiale au sein de la région étudiée. Ces travaux peuvent ainsi aboutir à l'élaboration de modèles probabilistes de distribution spatiale de pratiques agricoles qui peuvent entrer dans une démarche de construction de scénarios de changement.

Un autre constat porte sur les composantes de l'itinéraire technique cultural dont la diversité est étudiée. En général, les recherches ne portent que sur certaines d'entre elles choisies au regard de la thématique considérée et n'ont pas l'ambition d'analyser la cohérence de l'ensemble de l'itinéraire : pratiques de semis et choix de précocité dans les variétés de maïs pour estimer des besoins en eau d'irrigation (Maton *et al*., 2007), pratique de contrôle des adventices pour évaluer la pollution diffuse phytosanitaire en bassin versant (Biarnès *et al*., 2004), pratiques de fertilisation azotée et d'irrigation en vergers, déterminantes pour la production de pommes et la pollution de l'eau souterraine (Nesme *et al.*, 2006). La modélisation de la diversité des modalités de ces pratiques est le plus souvent basée sur des techniques d'analyses multifactorielles.

Implications sur les choix de thèse

Contrairement aux travaux conduits à l'échelle des systèmes de production, les systèmes de culture ont jusqu'à présent été peu abordés du point de vue de leur diversité au sein d'un territoire donné. Dans notre thèse, nous sommes donc amenés à élaborer un modèle de représentation de la diversité des systèmes de culture pratiqués sur le bassin de la Seine. Compte tenu de l'objectif du PIREN-Seine qui vise à simuler la contamination par le nitrate des ressources en eau du bassin en tenant compte de la réalité des pratiques agricoles, nous choisissons d'élaborer ce modèle en partant de corpus d'observations de terrain rassemblées dans différentes sources d'informations. A partir de ces corpus, nous chercherons à extraire des régularités (pour les successions culturales) et à identifier des cohérences (pour les itinéraires techniques) au moyen de méthodes stochastiques basées sur les chaînes de Markov et de techniques d'analyse multifactorielles.

2. Question 2 : comment identifier des espaces homogènes du point de vue de la diversité des systèmes agricoles ?

De façon générale, les modèles de la diversité des systèmes agricoles, en particulier ceux relatifs à la diversité des exploitations, restent des modèles a-spatiaux de l'agriculture locale ou régionale. Les types d'exploitations sont décrits indépendamment de leur localisation au sein des zones d'étude, sans

prise en compte des logiques de proximité ou des effets de voisinage qui peuvent exister. Or, Deffontaines (1979) souligne que les multiples interactions des exploitations avec leur environnement proche, fréquemment sous-estimées, sont souvent déterminantes sur leur fonctionnement et leur évolution. Il préconise ainsi de compléter la recherche de types d'exploitations par la recherche de types d'espaces correspondant à des groupes d'exploitations situés dans le voisinage les unes des autres et qualifiables d'un point de vue agricole. A plus petite échelle géographique, Bonnamour (1995) affirme que les dynamiques agricoles ne sont abordées de façon valable sans le souci permanent de leur localisation dans l'espace : « *la production agricole reste dépendante des conditions naturelles qui requièrent des techniques et des investissements différents selon les lieux, et des conditions structurelles de production, elles aussi inscrites dans le territoire* ».

Notre hypothèse stipule que la localisation géographique des exploitations agricoles induit des systèmes de production et des systèmes de culture d'une certaine nature car elle résume un ensemble de caractéristiques qui interviennent sur les choix des agriculteurs. Ceci revient à dire que la combinaison de systèmes agricoles en un lieu et à un moment donnés n'est pas aléatoire. Elle constitue le produit d'une histoire particulière en chaque lieu, au cours de laquelle le contexte pédo-climatique, les rapports socio-économiques, les gestions politiques locales, les mouvements urbains ou encore les stratégies familiales ont imprégné la vie et le devenir des exploitations agricoles (Perrot, 1991). Elle résulte de l'évolution d'exploitations interdépendantes dans un contexte en partie commun.

Etudier la localisation des activités agricoles, et en identifier les raisons, renvoient à de nombreux travaux, essentiellement développés par les géographes et les économistes ruraux (les agronomes s'étant jusqu'à présent assez peu dirigés dans cette voie aux échelles qui nous intéressent). Ces travaux présupposent qu'il existe des différenciations spatiales des formes d'agriculture, qu'ils cherchent à mettre en évidence et à expliquer. Pour mettre en évidence ces différenciations spatiales, les auteurs sont amenés à rechercher des espaces suffisamment particularisés pour qu'on leur reconnaisse une homogénéité d'un point de vue agricole, ce qui les conduit à « régionaliser » leurs zones d'étude.

2.1. Principes généraux de régionalisation

La définition d'une régionalisation est en soi une question difficile et controversée qui renvoie à celle, plus générale, de l'agrégation d'unités individuelles (les lieux). Thisse (1997) relève deux caractéristiques importantes des travaux sur la définition de régions : « *d'une part, on y retrouve toujours l'idée que les lieux constitutifs d'une même région sont, d'une façon ou d'une autre, suffisamment « similaires » pour pouvoir être regroupés au sein d'une même entité spatiale ; d'autre part, quelle que soit la définition retenue, un sentiment d'insatisfaction apparaît à la lecture des travaux correspondants, sentiment souvent partagé, voire exprimé par les auteurs eux-mêmes* ».

La similarité des lieux peut être appréciée selon deux principes. Le premier est un principe d'homogénéité qui met l'accent sur la ressemblance des lieux et qui préside au XIX^{ème} siècle à

l'émergence du concept de région naturelle (Claval, 1983). Ce concept repose sur l'idée simple que certains lieux possèdent des caractéristiques physiques identiques. Plus tard, cette conception s'est élargie pour intégrer d'autres particularités liées au contexte humain puis économique : « *La région est alors conçue comme un territoire où les caractéristiques physiques, humaines et économiques sont (plus ou moins) similaires […] La région appelée alors plus communément homogène, est par construction celle qui minimise la dispersion des caractéristiques retenues* » (Thisse, 1997).

Le second principe est un principe de fonctionnalité qui privilégie certaines relations entre les diverses composantes d'une région. Il préside à l'émergence du concept de région économique, tel qu'il est conçu initialement par Lösch (1938, cité par Thisse, 1997) et développé plus tard en analyse régionale tant par les géographes que par les économistes. A la différence des géographes de l'école des régions naturelles, Lösch ne cherche pas à rendre compte des détails de la réalité mais à découvrir les principes qui sous-tendent l'organisation économique d'un espace. La région au sens de Lösch est ainsi formée par les individus s'approvisionnant auprès d'un centre unique. La région « polarisée » est un cas particulier de la région économique dans laquelle le centre est donné par un pôle de croissance.

Historiquement, la définition et la délimitation de régions agricoles se sont basées sur le principe d'homogénéité. D'après Nicolas-Obadia (1971), c'est un agronome anglais, William Marshall (1745 – 1818), qui s'est intéressé le premier à ce sujet en développant une théorie qui a souvent été implicitement reprise par d'autres auteurs dans des travaux ultérieurs. Il met en évidence *(i)* le fait que l'agriculture n'est pas entièrement déterminée par le milieu naturel et *(ii)* l'importance de l'évolution historique dans la formation des systèmes agricoles : « *a natural district is marked by a uniformity or a similarity of soil and surface and an agricultural district is discriminated by a uniformity or similarity of practice* ». Il propose ainsi de délimiter les régions agricoles caractérisées par un système agricole dominant, par des limites naturelles fondées sur la nature des sols et les variations climatiques. Il démontre enfin qu'une région agricole est caractérisée par un système agricole dominant à l'état pur en son centre, mais que ce dernier « s'altère » en allant vers la périphérie, en relation notamment avec les changements progressifs du milieu naturel. A la limite, ce système disparaît pour être remplacé par un autre qui définit à son tour un nouveau « noyau » de région agricole. Les limites d'une région agricole apparaissent donc à la fois indécises et composites.

Demangeon (1905, cité par Nicolas-Obadia, 1977) reprend cette interprétation probabiliste du noyau régional en la replaçant dans une problématique plus générale : « *une région géographique, c'est la superposition sur le même territoire, d'un certain nombre de phénomènes dominants dont la réunion crée une physionomie originale* ». Entre ces territoires, il définit « *des aires de transition dans lesquelles les « vies rurales » s'opposent presque subitement ou s'entremêlent avant de se séparer* ».

2.2. Méthodes de régionalisation en espaces homogènes

Nous retenons qu'une entité spatiale (ou un espace) dite « homogène » est théoriquement celle qui minimise la dispersion des critères retenus pour la décrire (Thisse, 1997). Toutefois, il n'existe pas un découpage unique en espaces agricoles homogènes, mais plusieurs peuvent être mis en évidence en fonction des problématiques considérées qui conditionnent les objets et les critères retenus pour décrire ces espaces. Selon les problématiques abordées, il peut être utile de combiner plusieurs approches qui identifient des espaces complémentaires. La question posée est celle d'une segmentation d'un espace de référence (« l'extension » de la zone d'étude) par regroupement d'entités spatiales élémentaires données *a priori* (le « grain ») dans la perspective de réaliser un découpage pertinent pour la connaissance et/ou l'action (Triboulet, 2001).

La recherche d'espaces homogènes peut faire appel à des méthodes de cartographie statistique, qui littéralement correspondent à des « opérations de traitement cartographique d'une information statistique ». Ces méthodes couplent deux catégories de données : *(i)* des données spatiales qui intègrent une représentation graphique de l'information, telle que le contour des communes ; *(ii)* des données localisées qui associent à une information numérique une localisation géographique. Cette information numérique peut être une valeur relative à une seule variable (par exemple une SAU, un nombre d'exploitations) ou une valeur de synthèse issue d'un traitement statistique entre plusieurs variables (par exemple un type de commune défini selon une combinaison de types d'exploitations). L'association des statistiques et de la cartographie pallie certaines limites liées à leur utilisation séparée : les statistiques permettent de combiner de nombreuses informations, alors que la cartographie permet de visualiser comment se structurent des ressemblances ou différences entre lieux.

Le but de la cartographie statistique, ou de synthèse, est de rassembler en une seule carte les valeurs relatives à plusieurs variables dans une optique d'analyse des ressemblances entre lieux. Elle est basée sur l'usage de techniques d'analyses quantitatives, mobilisées pour identifier des régions homogènes au regard des systèmes agricoles qui y sont situés, selon deux démarches possibles (Dumolard, 1975) : *(i)* une démarche inductive qui consiste à grouper en classes (appelées régions) les mailles spatiales unitaires qui présentent des caractéristiques agricoles similaires ; *(ii)* une démarche déductive qui consiste à l'inverse à diviser l'ensemble de la zone d'étude en parties.

Par rapport aux démarches de régionalisation empiriques et basées sur un nombre limité de variables, qui ont longtemps prévalu en géographie (Rey, 1973 ; Bonin, 1977 ; Muller, 1977), les méthodes quantitatives présentent deux types d'avantages. Elles permettent d'une part de prendre en compte une quantité d'informations importante et variée, et elles obligent d'autre part à expliciter les procédures choisies en fonction d'un but déterminé (choix des variables, des mailles spatiales, des métriques et des algorithmes d'agrégation), rendant ainsi théoriquement possible la vérification des résultats (Rey, 1983 ; Marcelpoil, 2001). Elles présentent toutefois certaines limites, inhérentes à l'application de techniques classiques d'analyses de données à des individus statistiques qui sont des

objets géographiques, par définition modifiables et arbitraires (Sanders, 1996). Le choix des mailles spatiales unitaires est donc d'autant plus important que les techniques quantitatives ne sont pas appliquées dans leur cadre habituel, sur des unités fixes et indivisibles (Openshaw, 1981). De ce choix dépend la pertinence des résultats de l'étude des systèmes agricoles spatialement agrégés (*cf* question 4).

Les régionalisations agricoles peuvent faire appel à diverses démarches et techniques d'analyse de données, qui procèdent de conceptions différentes de l'espace sur lequel elles prennent place : espace support, espace facteur ou espace flou.

2.2.1 Régionalisation agricole sur espace-support

Cette démarche consiste à construire une typologie de mailles spatiales à partir d'un classement, basé sur des analyses factorielles classiques, de leur « profil agricole » une année donnée. Le « profil agricole » est défini par les critères retenus pour caractériser les activités agricoles au sein des mailles spatiales, comme par exemple la combinaison des types d'exploitations ayant leur siège dans une maille spatiale donnée. Cette typologie est ensuite représentée sur une carte, sur laquelle peuvent être visuellement recherchées des zones homogènes correspondant à un ensemble de mailles spatiales contiguës appartenant à un même type (Auriac et Rey, 1998). L'espace n'est alors qu'un support, puisqu'il n'intervient pas de façon active dans l'analyse et qu'il n'est reconstitué qu'*a posteriori* lors de la cartographie des typologies obtenues.

Depuis 25 ans, de nombreux travaux de géographes et d'économistes se sont appuyés sur cette démarche pour construire des cartographies agricoles afin d'analyser des différenciations spatiales selon des critères de diversité et des objectifs variés (Dumolard, 1973 ; Maurel, 1976 ; Barré et Dion, 1978 ; Van Hecke, 1982 ; Brion, 1983 ; SEGESA, 1992 ; Maillard *et al*., 2000). A titre d'exemples, Brion (1983) a produit au moyen d'une classification ascendante hiérarchique une typologie des Petites Régions Agricoles (PRA) puis des cantons français selon le pourcentage d'exploitations par OTEX et par PRA ou canton d'après les résultats du Recensement Général de l'Agriculture de 1979. La carte des types de PRA ou des types de cantons, qu'il nomme « carte des systèmes de production » lui permet d'effectuer visuellement des regroupements géographiques qui peuvent conduire à définir des zonages utiles pour un certain nombre d'objectifs (aménagement, plan de sondage, etc). Maillard *et al*. (2000) ont quant à eux cherché à définir un découpage de l'Union européenne en bassins de production homogènes (niveau géographique intermédiaire entre la région et l'Etat) dans le but d'analyser la localisation des productions agricoles et leur concentration géographique. Pour cela, ils construisent par analyse en composantes principales une typologie des régions européennes au sens du RICA[8], en fonction de seize variables relatives à la part de la production brute de la viande bovine, du lait et des céréales dans la production brute totale, aux surfaces agricoles, à la répartition des

[8] Réseau d'Informations Comptables Agricoles

exploitations par OTEX et à la structure économique des exploitations. Ils regroupent ensuite en bassins de production les régions qui présentent des caractéristiques proches en respectant trois contraintes : *(i)* un effectif minimum d'exploitations dans chaque bassin ; *(ii)* la continuité spatiale (les régions regroupées sont limitrophes) ; *(iii)* l'unité nationale (seules les régions d'un même Etat membre sont regroupées).

Dans la plupart de ces travaux, le repérage des espaces homogènes est réalisé visuellement à la lecture des cartes représentant les typologies des mailles spatiales unitaires. Triboulet *et al*. (1996) proposent de formaliser ce repérage en travaillant sur les contrastes de texture interprétés en référence à différents modèles spatiaux (zone homogène mais aussi pôle, axe et mosaïque). Lardon *et al*. (1999) notent que cette démarche composée en deux phases successives d'une analyse statistique puis d'une analyse spatiale, permet de bénéficier de méthodes pertinentes pour chacune d'elles : analyses multivariées pour la première ; segmentation de texture visuelle ou par adaptation des techniques d'analyse d'images aux cartographies[9] pour la seconde.

2.2.2 Régionalisation agricole sur espace-facteur

D'autres techniques d'analyses de données permettent de prendre en compte le voisinage des unités spatiales, rendant ainsi possible l'introduction de la notion de proximité géographique, dont on peut faire l'hypothèse qu'elle constitue un facteur explicatif de la répartition spatiale des systèmes de production et des systèmes de culture.

Rio (1997) expose un principe de classification d'unités spatiales qui vise à atteindre un compromis entre homogénéité des types d'unités spatiales et connexité de ces unités spatiales pour éviter un effet de « mosaïque ». Ce principe cherche à regrouper les profils typologiques des unités spatiales les plus homogènes sous une contrainte croissante de connexité, en partant de l'idée que l'affectation typologique d'une unité spatiale ne saurait être très éloignée de celle des unités spatiales qui lui sont voisines. La contrainte croissante de connexité est obtenue de deux manières : *(i)* en paramétrant un coefficient de pénalisation de la distance d'une unité spatiale à son profil de référence connaissant les caractéristiques des unités voisines ; *(ii)* en étendant progressivement la définition de la zone d'appartenance de l'unité spatiale des voisins immédiats (d'ordre 1) à l'ensemble des voisins d'ordre supérieur. L'auteur illustre la démarche sur un millier de communes du Languedoc-Roussillon en vue de délimiter des zones homogènes permettant d'ajuster au mieux des instruments de politique agricole destinés à accompagner l'adaptation des exploitations viticoles aux nouvelles règles du marché.

Une autre démarche consiste non plus à repérer directement des espaces homogènes mais à mettre en évidence des « discontinuités spatiales » (Grasland, 1997), c'est-à-dire des ruptures qui apparaissent le long des limites d'un maillage spatial et qui séparent des espaces jugés non homogènes. Analyse statistique et analyse spatiale sont là regroupées en une seule étape, et ne sont plus appliquées aux

[9] Les spécificités viennent du fait que l'information est disponible sur un support hétérogène et non par pixel.

mailles en elles-mêmes mais aux limites entre mailles. Elles visent à dégager successivement des facteurs de différenciation globaux concernant l'ensemble des paires de mailles spatiales, et des facteurs de différenciation locaux caractérisant les paires de mailles spatiales contiguës, ces derniers contribuant à identifier des discontinuités (Benali et Escofier, 1990). Tout comme dans les autres approches, le choix du maillage spatial unitaire est déterminant, car cette démarche suppose l'homogénéité interne des mailles, et d'un point de vue cartographique, ne permet de mettre en évidence des discontinuités qu'aux limites entre deux mailles contiguës.

2.2.3 Régionalisation floue

Dès les premières réflexions conduites sur la délimitation d'espaces agricoles homogènes sont apparues les limites de la recherche de frontières précises. Quelles que soient les méthodes employées, les études aboutissent à des partitions des zones d'étude mais laissent subsister un écart entre les régionalisations obtenues et les disparités géographiques observées (Ponsard et Tranqui, 1984). C'est ce qui conduit certains auteurs à parler de « noyaux » agricoles plutôt que de « régions » agricoles (Nicolas-Obadia, 1977) : il existe des espaces dont l'appartenance à un noyau ne fait pas de doute car ils sont marqués par des caractères nets ; entre eux s'intercalent des zones tampons plus difficiles à classer car présentant des traits qui les rapprochent de plusieurs noyaux à la fois. Le problème de l'agrégation d'unités spatiales élémentaires en régions homogènes reste donc délicat.

A partir de 1975, les recherches sur les sous-ensembles flous conduites en mathématiques économiques permettent de décrire selon une démarche rigoureuse des régions « floues » définies par des caractéristiques imprécises et des limites qui ne sont pas des frontières nettes (Deloche, 1977). La théorie des sous-ensembles flous permet d'exprimer qu'une unité spatiale élémentaire, c'est-à-dire une surface pour laquelle des observations numériques sont disponibles, possède « plus ou moins » une caractéristique donnée (Ponsard et Tranqui, 1984). Pour tout couple d'unités spatiales, elle définit une relation binaire floue de ressemblance, qui signifie qu'elles présentent à des degrés divers les mêmes caractéristiques. Plusieurs subdivisions de l'espace deviennent ainsi possibles, selon le niveau d'approximation souhaité. Ces subdivisions peuvent être disjointes ou au contraire présenter des recouvrements. Les auteurs ont notamment appliqué cette démarche de régionalisation floue à la définition de régions économiques dans la Communauté européenne en fonction de 40 variables relatives à la population, l'emploi et les conditions de vie.

Les géographes reprennent la théorie des sous-ensembles flous en s'appuyant sur le concept d'espace géographique flou. Cette théorie est en effet basée sur des notions intuitives admises en géographie qui reconnaissent l'existence de franges spatiales, c'est-à-dire d'espaces limites difficilement attribuables à une entité spatiale donnée (Rolland-May, 1987). La démarche de régionalisation floue permet de respecter l'imprécision spatiale inhérente aux phénomènes décrits et de mettre en évidence des cœurs – dont les composantes n'appartiennent qu'à un seul espace

géographique – et des franges spatiales d'imprécision – dont les composantes peuvent appartenir à plusieurs espaces géographiques flous -. Elle paraît particulièrement adaptée aux problématiques de segmentation régionale appliquées à l'agriculture, pour lesquelles l'une des difficultés principales réside dans la mise en correspondance d'un territoire continu avec des parcellaires d'exploitation discontinus.

Malgré ses avantages, et hormis les travaux de géographes portant sur les noyaux régionaux agricoles qui s'en rapprochent, nous n'avons pas trouvé de travaux visant à utiliser la théorie des sous-ensembles flous dans la définition et la délimitation d'espaces plus ou moins homogènes du point de vue des systèmes agricoles qui y sont situés.

Implications sur les choix de thèse

Sur la plaine des Vosges, l'objectif d'identifier des territoires au sein desquels les exploitations agricoles soient redevables de besoins proches en termes de conseil, nous conduit à privilégier la recherche d'espaces homogènes précis, par opposition aux espaces flous, qui permette une organisation plus facile des conseillers. Il en est de même sur le bassin de la Seine où l'objectif de simulation de la contamination des ressources en eau nécessite une délimitation d'espaces homogènes précise pour constituer les unités de simulation du modèle STICS.

A la suite de Grasland (1997), nous employons le terme région pour désigner ces espaces homogènes. Ce terme, qui par ailleurs revêt plusieurs significations (telles que la Région politique ou administrative), réfère dans notre thèse à un niveau d'organisation (c'est-à-dire présentant un certain degré d'homogénéité interne) de gabarit supérieur à celui des mailles spatiales unitaires et inférieur à celui des systèmes géographiques de référence (la plaine des Vosges et le bassin de la Seine).

3. Question 3 : comment identifier des espaces homogènes selon la diversité des évolutions des systèmes agricoles au cours du temps ?

La définition d'espaces agricoles à un instant donné n'est qu'une étape dans l'analyse des différenciations spatiales agricoles. En effet, la localisation des activités agricoles est en constante évolution, sous l'effet de facteurs multiples liés en particulier ces dernières décennies aux réformes de politiques agricoles, à l'implantation ou au retrait des industries agro-alimentaires, aux progrès techniques et agronomiques (mécanisation, sélection génétique animale et végétale, alimentation animale, engrais, protection des végétaux…). L'hypothèse que nous formulons ici est que les espaces présentant une homogénéité agricole à un instant donné sont amenés à changer, et que ces

changements peuvent être plus ou moins importants selon la période de temps considérée. Les questions de recherche qui se posent en corollaire de cette hypothèse sont les suivantes : *comment peut-on modéliser des évolutions de systèmes agricoles, systèmes de production ou systèmes de culture, sur des pas de temps plus ou moins longs ? quels sont les impacts de ces évolutions sur la délimitation d'espaces agricoles homogènes ?* ou selon une autre formulation, *comment suivre les changements de localisation des systèmes agricoles ?*

3.1. Modélisation de la diversité des évolutions d'exploitations agricoles et de leur différenciation spatiale

Rendre compte de la diversité des exploitations à un moment donné peut ne pas être suffisant pour caractériser une agriculture régionale, car cette diversité évolue au cours du temps. Pour conserver leur pertinence, en particulier dans les périodes de mutation rapide telles que celle que traverse l'agriculture française depuis quelques décennies, les typologies d'exploitations doivent tenir compte des dynamiques d'évolution des exploitations agricoles (Perrot *et al*., 1995). L'analyse de ces dynamiques vise à mettre en évidence les voies d'évolution empruntées par les exploitations, leur origine et leur succession dans le temps. Elle peut aussi contribuer à mieux comprendre la situation actuelle des exploitations, liée à leur passé par des liaisons spécifiques aux exploitations (équipements, bâtiments, parcellaire, investissement antérieurs, etc) et aux familles (formation, histoire socio-culturelle, mémoire, âge, nombre d'enfants, etc) (Ruffio, 1984).

Deux grandes catégories de travaux portant sur l'évolution des exploitations en relation avec leur diversité peuvent être distinguées. La plupart du temps, les études d'évolution portent sur des ensembles d'exploitations, dont la situation fait l'objet de bilans à des dates successives, qui sont ensuite comparés de façon globale sans se préoccuper des dynamiques individuelles (Aubert *et al*., 1985 ; Barkaoui *et al*., 1993). Or, pour certaines problématiques en particulier liées au conseil agricole, ces dynamiques individuelles interprétées relativement à une situation initiale au sein d'une certaine diversité, sont importantes à appréhender (Capillon et Manichon, 1979).

3.1.1 Etude de l'évolution de la diversité des exploitations par comparaison de typologies synchroniques répétées dans le temps

L'évolution de la diversité des exploitations est le plus souvent étudiée en comparant les effectifs d'exploitations affectées à chaque type d'exploitation à des dates successives. Pour affiner ces comparaisons, des matrices de passage peuvent être calculées pour quantifier, selon les types d'exploitations initiaux, les changements de types intervenus entre deux dates. C'est de cette manière que classiquement, le SCEES diffuse les changements d'affectation des exploitations au sein de la grille des OTEX entre deux Recensements Agricoles ou deux enquêtes Structures (Ministère de l'Agriculture, 2001). C'est également de cette manière que Lenco (1975) propose de suivre l'évolution

des exploitations classées dans des groupes issus d'une analyse factorielle. En prolongement de cette démarche, on peut suivre l'évolution des espaces homogènes du point de vue des types d'exploitations en comparant les typologies de mailles spatiales obtenues à des dates successives (Bertin et Brion, 1984).

Tout en apportant des indications sur des tendances d'évolution globales, ce type de démarche présente deux principales limites :

- pour refléter des évolutions réelles, il est nécessaire que le référentiel typologique, c'est-à-dire la définition des types, soit stable dans le temps. Or, ce référentiel est construit une année donnée, en fonction des caractéristiques des exploitations à ce moment-là, et il risque de ne plus être pertinent pour représenter la diversité des exploitations quelques années après. A titre d'exemple, pour pallier ce risque qui augmente avec la durée de la période étudiée, les textes communautaires prévoient une actualisation bisannuelle simplifiée des définitions des marges brutes standards permettant le calcul des OTEX, ainsi qu'une actualisation complète tous les dix ans (Agreste, 1997). Mais, il devient alors difficile d'analyser des évolutions, quand bougent à la fois les exploitations et le référentiel typologique.
- le suivi des changements de types des exploitations sur plus de deux dates successives s'avère très délicat, puisqu'ils sont globalisés.

3.1.2 Modélisation de la diversité des évolutions d'exploitations par construction de trajectoires

A une échelle régionale, l'analyse des évolutions d'exploitations dépend le plus souvent de sources d'informations statistiques qui conduit à représenter l'évolution des exploitations comme une succession d'états plutôt que comme un processus continu. Sur ce parti pris, Bourgeois et Sebillotte (1978) ont développé le concept de « *trajectoire d'évolution* » définie par « *les phases successives de l'évolution d'une exploitation dans un espace à n dimensions* ». Ils identifient ainsi des types de trajectoires d'évolution autour de deux dimensions privilégiées : le temps et une combinaison de variables exprimant le potentiel de production et d'investissement du système de production. Capillon et Manichon (1979) définissent la trajectoire d'évolution comme « *l'ensemble des étapes parcourues par une exploitation, chaque étape correspondant à des décisions stratégiques* ». Le passage d'une étape à une autre intervient lorsqu'il y a changement dans les choix stratégiques, soit du fait d'un changement dans l'environnement de l'exploitation, soit du fait d'un changement des objectifs de l'exploitant.

Ce concept de trajectoire est repris par les auteurs de typologies de fonctionnement d'exploitations pour introduire le temps dans leurs analyses, selon deux démarches principales :

- la première consiste à intégrer dès la procédure de construction des types, des critères relatifs à la situation actuelle des exploitations mais aussi à leur situation passée. Les « trajectoires d'évolution » font partie de la construction typologique.
- la seconde consiste à reconstituer les évolutions d'exploitations en analysant les changements de type suivis par les exploitations au cours du temps. Les « filières d'évolution » (Cristofini, 1985) ou les « trajectoires d'exploitation » (Perrot *et al*., 1995) sont dans ce cas construites *a posteriori*.

L'exemple le plus illustratif de la première démarche est la méthode typologique développée par le groupe de recherche de l'INA-PG (Capillon et Manichon, 1979 ; Capillon, 1993). Les types d'exploitations ici définis procèdent de trajectoires d'évolution, qui retracent l'histoire et la logique de leur différenciation au cours des dernières décennies. Ils sont replacés sur un arbre phylogénétique (Landais, 1996), qui reconstitue à partir d'enquêtes rétrospectives les filiations et les parentés entre types. Chaque exploitation enquêtée est ainsi située sur une trajectoire : certaines, à la fin des trajectoires, correspondent à la phase extrême de l'évolution actuelle, alors que d'autres se trouvent sur la partie antérieure de la ligne évolutrice qui reflète leurs dynamiques potentielles d'évolution futures.

La construction *a posteriori* des trajectoires d'évolution des exploitations est une démarche plus courante. C'est celle que Cristofini (1985) privilégie : à partir de la définition de types de systèmes de pratiques instantanés, il définit le concept de « filières d'évolution » représentées par les proximités entre types dans le tableau typologique. En exprimant les principales logiques d'évolution des exploitations, la signification de ces filières est très proche de celle des trajectoires de Capillon. Perrot (1990) fait de même lorsqu'il représente graphiquement les parentés entre pôles dans le plan factoriel issu de l'analyse en composantes principales sur les coefficients de ressemblance globale : l'analyse des distances et des intersections entre les différents pôles révèle des proximités et des oppositions, qui suggèrent statistiquement plusieurs filiations entre types de fonctionnement[10].

L'ensemble de ces représentations traduit des tendances d'évolution linéaires à plus ou moins long terme. Or, si l'hypothèse d'une certaine continuité de l'évolution des exploitations, même entre générations, était acceptable par le passé, il n'en est plus de même pour l'avenir (Landais, 1996) : les transmissions d'exploitations, les regroupements, ou encore les cessations d'activité provoquent aujourd'hui des transformations d'une ampleur croissante dans les structures et les fonctionnements d'exploitations, qui font qu'elles ne suivent pas forcément les trajectoires d'évolution *a priori* les plus logiques. Pour affiner l'étude des dynamiques d'évolution d'exploitations, Perrot *et al.* (1995) proposent une méthode de construction de trajectoires individuelles des exploitations dans l'espace multifactoriel représentant le champ typologique. L'analyse des trajectoires individuelles est également utilisée pour réactualiser le modèle typologique initial au bout de quelques années : les

[10] Le plan factoriel est bien adapté pour étudier les distances entre pôles, puisqu'il s'appuie sur l'étude des corrélations entre les coefficients de ressemblance.

auteurs sont ainsi conduits à créer de nouveaux pôles, à en faire disparaître certains ou à ajuster leur définition en fonction d'évolutions structurelles et techniques des exploitations.

Pour reconstituer l'évolution des exploitations sur le long terme, Moulin *et al*. (2008) et Mottet (2005) proposent de relier, à partir d'une enquête rétrospective, le processus de changement représentant les trajectoires d'exploitation et les transformations de l'environnement (milieu naturel et environnement socio-économique). Si les changements n'affectent pas la cohérence de l'exploitation, ils sont qualifiés de « modifications progressives » ; s'ils aboutissent à la mise en place d'une nouvelle cohérence, les auteurs parlent de « transformations ». La démarche s'attache à mettre en évidence des invariants définis comme « des objets ou processus techniques qui ne varient pas » parce qu'ils sont centraux dans la cohérence de l'exploitation (dimension technico-économique) ou parce qu'ils sont jugés centraux dans les conceptions techniques d'un groupe professionnel agricole (dimension sociologique).

Implications sur les choix de thèse

Sur la plaine des Vosges, l'objectif de structurer des actions de développement en fonction de la différenciation spatiale des évolutions d'exploitations sur le court terme (de 1993 à 1996) nous conduit à privilégier la démarche de construction de trajectoires d'exploitation telle que proposée par Perrot *et al.* (1995) puis à analyser la localisation des types de trajectoires obtenus. Sur le bassin de la Seine, les questions posées et l'étendue du territoire ne nécessitent pas une analyse individuelle de l'évolution des exploitations agricoles du bassin : nous choisissons d'adapter le concept de trajectoire tel qu'il est défini au niveau de l'exploitation pour proposer le concept de trajectoire portant sur des unités de territoire (les mailles spatiales) vues comme des ensembles d'exploitations agrégées.

3.2. Modélisation de la diversité des évolutions de systèmes de culture et de leur différenciation spatiale

3.2.1 Evolution des systèmes de culture

Très peu de travaux ont été relevés dans la littérature concernant la représentation des évolutions des systèmes de culture d'une région, *a fortiori* sur le long terme. Parmi les démarches visant à modéliser les successions culturales (*cf* supra 1.2), nous pouvons noter que les méthodes stochastiques proposées par Castellazzi *et al*. (2008) et par Le Ber *et al*. (2006) trouvent des applications dans l'analyse des changements temporels des rotations :

- en se servant des propriétés des matrices de transition, les premiers montrent qu'il est possible d'une part de calculer la proportion sur le long terme des cultures de chaque rotation, et d'autre

part de représenter l'évolution temporelle d'une rotation à une autre sous l'effet d'une variable exogène (en réponse par exemple à l'évolution des marchés ou du climat).

- les modèles développés par les seconds représentent les évolutions des successions de cultures de deux façons : *(i)* en identifiant au sein d'une période donnée un certain nombre de « segments temporels » caractérisés par une distribution des cultures stationnaire (le nombre des segments est fixé par l'utilisateur en fonction de la longueur de la période) ; *(ii)* en calculant sur toute la période ou sur chacun des segments temporels les probabilités de transition entre cultures puis en analysant leur évolution.

3.2.2 Evolution des systèmes d'utilisation du sol

Si l'évolution des systèmes de culture apparaît peu étudiée en tant que telle, la description plus globale des changements de l'occupation et de l'utilisation du sol est au contraire très étudiée chez les géographes, à des échelles locales, régionales ou supra (nation, continent). L'occupation du sol (« land cover ») est par définition une notion biophysique qui réfère à la couverture des surfaces terrestres. L'utilisation du sol (« land use ») relie l'occupation du sol aux activités humaines qui transforment le paysage (Geist et Lambin, 2002). Selon Lambin *et al.* (2003), les changements d'utilisation du sol peuvent conduire à deux types de changement d'occupation du sol : les modifications (« *changement subtil qui affecte le caractère du couvert sans changer sa classification générale* ») et les conversions (« *remplacement complet d'un type de couvert par un autre* »).

En fonction des échelles spatiales et temporelles investiguées, les changements d'occupation et d'utilisation du sol peuvent être appréhendés avec une résolution spatiale assez fine à partir de données de télédétection (photographies aériennes, images satellitaires) et de données d'origine diverse (cartes, plans, cadastres, séries de données statistiques…). Ces données permettent de délimiter des types d'utilisation du sol dans des polygones homogènes ou des classifications de pixels (Verburg *et al*., 2002). La description des systèmes d'utilisation du sol est ainsi très dépendante des données disponibles et de leur qualité (Veldkamp et Verburg, 2004).

Depuis quelques années, un courant de recherche important[11] vise à concevoir des modèles de changement d'utilisation du sol à des échelles régionales avec trois objectifs (Veldkamp et Lambin, 2001) : *(i)* comprendre les dynamiques des systèmes d'utilisation du sol ; *(ii)* tester la sensibilité des utilisations du sol vis-à-vis d'une modification de certains facteurs jugés explicatifs appelés « forces motrices » (« driving forces ») et simuler des trajectoires de changement d'utilisation ; *(iii)* évaluer l'impact des changements d'utilisation du sol sur les processus écologiques.

Les travaux développés dans ce courant de recherche présentent des caractéristiques communes. En premier lieu, l'analyse des déterminants de l'utilisation du sol est le plus souvent réalisée par des

[11] Ce courant de recherche désigne la communauté LUCC (Land Use and Cover Change, http://www.geo.ucl.ac.be/LUCC), devenue la communauté LAND.

méthodes empiriques (basées par exemple sur des techniques d'analyses statistiques multivariées, telles que la régression linéaire multiple). Elles ont pour but de quantifier l'importance relative des facteurs socio-économiques et biogéophysiques et leurs relations à différentes échelles spatiales. Cependant elles ne permettent pas de garantir les liens de causalité entre ces facteurs et les changements d'utilisation du sol (de Koning *et al*., 1999 ; Verburg et Veldkamp, 2001). Lambin *et al*. (2003) classent les causes de changement d'utilisation du sol en deux grands types : directes (« proximate ») et sous-jacentes (« underlying ») : « *Les causes directes regroupent les activités humaines et les actions immédiates […] Elles agissent généralement au niveau local (exploitations agricoles ou communauté villageoise), alors que les causes sous-jacentes peuvent provenir du niveau régional (le district, la province ou le pays) ou même du niveau mondial, avec des interactions complexes entre les différents niveaux d'organisation* ». Les causes sous-jacentes regroupent les facteurs climatiques, géomorphologiques mais aussi macro-économiques et démographiques qui interviennent aux échelles régionales. La quantification des relations entre utilisations du sol et forces motrices peut également être basée sur des connaissances expertes (Verburg *et al*., 2004).

En second lieu, la description des utilisations du sol reste le plus souvent assez grossière. Elle peut être limitée *a minima* aux occupations du sol (terres cultivées, forêts, prairies, zones construites…) ou bien détailler des grands groupes de cultures (cultures annuelles *versus* cultures permanentes), voire des cultures individualisées (Verburg et Veldkamp, 2001). Les mailles spatiales sur lesquelles sont analysés les changements d'utilisation du sol sont ainsi caractérisées par des pourcentages de surface occupée par chaque culture ou groupe de cultures une année donnée.

Enfin, l'analyse des changements d'utilisation du sol vise non seulement à quantifier ces changements et leur progression, mais aussi de plus en plus à les localiser dans l'espace. La localisation de ces changements est le plus souvent réalisée en fonction de déterminants spatiaux (types de sol, topographie, routes) qui ne sont pas forcément les mêmes que ceux qui influencent le niveau de changement global. Des règles de décision peuvent également être spécifiées d'après l'expertise de l'utilisateur : le concept « d'élasticité » exprimant la probabilité de changement d'un mode d'utilisation du sol[12] est ainsi utilisé pour contraindre la localisation des changements (Verburg *et al*., 2004).

La plupart des travaux conduits dans ce courant de recherche ont pour objet d'étude les conversions entre de grandes catégories d'occupation du sol (déforestation, urbanisation, etc). Par rapport à notre objectif de représentation des évolutions des systèmes de culture à une échelle régionale, ces démarches présentent des limites importantes liées à leur entrée géographique et non agronomique :

- la description des utilisations du sol ne permet pas d'appréhender la complexité et la logique des systèmes de culture : une transition d'une culture à une autre entre deux années successives est

[12] Par exemple, une zone urbanisée n'aura qu'une très faible probabilité d'être reconvertie pour l'agriculture.

considérée comme une modification, même si cette transition entre dans le cadre agronomique normal d'une rotation culturale.

- les démarches de localisation des changements ne prennent le plus souvent pas en compte des déterminants liés au fonctionnement des exploitations et à leur dynamique propre, qui sont finalement considérées comme des boîtes noires.

Certains auteurs se sont toutefois interrogés sur la capacité de tels modèles à représenter et prévoir les changements d'utilisation du sol par l'agriculture, notamment au travers de l'intensification (Lambin *et al*., 2000). Ils ont conclu à la nécessité de développer des théories plus compréhensives sur les raisons des changements, qui tiennent compte des processus de décision des agriculteurs influencés à la fois par des facteurs propres à leur exploitation (taille de l'exploitation, composition du ménage, stratégies de conduite des cultures, etc), par des facteurs socio-culturels et politiques mais aussi par des préoccupations économiques. Ils ont également noté que de tels modèles nécessiteraient de nombreuses données d'entrée spatialisées concernant les stratégies de conduite des surfaces agricoles (rotations, intrants utilisés, etc) difficilement accessibles à des échelles régionales.

Implications sur les choix de thèse

Sur le bassin de la Seine, l'objectif de reconstituer de manière spatialisée l'évolution des systèmes de culture (du point de vue des successions culturales et des itinéraires techniques) depuis le début des années 1970, nous conduit à privilégier une approche empirique par enquête rétrospective, pour *(i)* identifier au sein des trente années étudiées des périodes supposées homogènes au regard des systèmes de culture pratiqués puis *(ii)* définir, pour chacune des périodes, les systèmes de culture majoritaires dans chaque maille spatiale du bassin.

4. Question 4 : comment évaluer la pertinence des maillages spatiaux pour représenter des différenciations agricoles ?

La localisation des systèmes agricoles suppose le choix d'un référentiel géographique, c'est-à-dire : *(i)* d'un maillage spatial unitaire dont on postule l'homogénéité interne ; *(ii)* d'un mode de localisation des informations relatives aux systèmes agricoles sur ce maillage spatial (agrégation des informations dans la maille spatiale où sont situés les sièges d'exploitation, localisation des informations dans les mailles spatiales où elles se déroulent réellement…). Notre dernière hypothèse pose que la différenciation spatiale des systèmes agricoles peut être appréciée à différents degrés de précision selon le maillage spatial unitaire (le grain de l'étude) et le mode de localisation des informations retenus. Tout comme le choix des modèles de description de la diversité des systèmes agricoles, le

choix du référentiel géographique, qui dépend là encore de la problématique, peut conduire à identifier des espaces agricoles différents.

Deux principaux types de maillages spatiaux peuvent être utilisés : *(i)* les premiers sont des grilles régulières constituées de pixels générés automatiquement sur SIG ; *(ii)* les seconds renvoient à des entités spatiales qui correspondent à des objets du monde réel tels que les mailles administratives (Triboulet, 2001). Les premiers sont utilisés dans les travaux basés sur des méthodes de télédétection ; les seconds sont mobilisés dans les démarches de cartographie statistique pour des raisons de disponibilité des informations statistiques et de relative stabilité dans le temps, qui autorise des comparaisons sur des séries temporelles longues (Reynard, 1995).

A l'échelle régionale, les maillages administratifs classiquement utilisés pour agréger des informations agricoles sont les communes, les cantons ou des unités territoriales spécifiques comme les Petites Régions Agricoles (PRA). La commune, maillage de saisie de l'information statistique, offre une finesse d'observation sans égale sur 36500 unités élémentaires de construction cartographique en France, dont un peu plus de 31000 sont qualifiées de rurales. Du point de vue agricole, c'est traditionnellement l'échelle à laquelle des relations privilégiées de voisinage et de travail se nouaient entre agriculteurs, en particulier en région d'habitat groupé. Toutefois, en raison de l'agrandissement continu des structures d'exploitation, la signification de l'aire communale et sa pertinence en tant qu'unité d'agrégation de données agricoles, paraît de moins en moins évidente : d'une part, ce n'est plus le lieu privilégié de contacts entre agriculteurs, ces derniers se côtoyant de plus en plus dans des structures inter-communales (CUMA, cercles d'entraide, cercles de machines, etc) ; d'autre part, sa finesse d'analyse spatiale ne peut pas toujours être conservée à cause du secret statistique qui cache les faibles effectifs, et du biais croissant lié à l'exploitation de parcelles agricoles en dehors des communes des sièges d'exploitation, alors que très souvent, l'ensemble de la SAU est statistiquement allouée à la commune des sièges (Josselin et Laurent, 1998).

Le canton est également une unité territoriale controversée en termes de représentation des diversités agricoles. Il s'avère en effet très marqué par le pouvoir politique des conseillers généraux, sans que ceci n'ait beaucoup à voir avec des problématiques agricoles voire rurales (Marcelpoil, 2001). Toutefois, des études menées en particulier dans les Alpes du Nord (Cristofini *et al*., 1994) ont montré que l'évolution des exploitations d'un canton apparaissait assez fortement influencée par le développement général du canton. Les études de la SEGESA (1992) sont aussi basées sur l'échelle cantonale pour des raisons techniques (finesse et régularité de la trame cantonale, compatibilité avec plusieurs sources statistiques) mais aussi parce qu'elle constitue une grille de lecture neutre des réalités territoriales. Près de 2000 cantons sur les 3000 cantons français font partie d'une seule Petite Région Agricole : le choix du canton apporte donc des précisions supplémentaires par rapport à la PRA. Reste enfin que le canton est souvent l'unité de base mobilisée dans les organismes de développement agricole pour découper les départements en secteurs d'intervention de leurs conseillers,

et qu'il est également l'unité de base de l'organisation du syndicalisme agricole français. Il représente donc un maillage d'action à ne pas négliger.

Enfin, la PRA est le seul découpage qui ait été spécifiquement dédié à l'analyse spatiale de l'agriculture. Construit il y a plus de 50 ans, sur des critères d'homogénéité du milieu physique et des systèmes de production agricoles de l'après-guerre (Klatzmann, 1955), le maillage en PRA est longtemps resté le maillage de référence du SCEES pour diffuser ses statistiques agricoles. C'est actuellement moins vrai, puisque les résultats du dernier RGA conduit en 2000, ne sont plus présentés à ce niveau d'agrégation. Au vu de l'ampleur des mutations agricoles des trente dernières années (relocalisation de certaines productions agricoles, impact des entreprises agro-alimentaires), il paraît en effet légitime de s'interroger sur leur identité actuelle.

Implications sur les choix de thèse

L'une des principales difficultés pour mettre en évidence des différenciations spatiales entre systèmes agricoles consiste à trouver un maillage pertinent pour mettre en correspondance le territoire continu de la zone d'étude et un ensemble d'exploitations aux parcellaires discontinus (Landais, 1996). Or, le choix de la maille unitaire est particulièrement important, car de ce choix dépendent les résultats de l'étude des systèmes de production ou des systèmes de culture spatialement agrégés. Il constitue un compromis entre la qualité des données disponibles, la précision spatiale de la maille au regard de la zone d'étude, et sa signification par rapport aux phénomènes décrits. On en est donc souvent réduit à choisir "la moins mauvaise" des échelles d'agrégation.

Dans un objectif d'aide à la structuration d'actions de développement, nous choisissons d'utiliser des maillages administratifs courants, qui ne seront pas les mêmes dans nos deux zones d'étude, vu leur différence d'extension. Toutefois, nous proposerons des méthodes pour évaluer les biais qu'ils peuvent introduire dans la délimitation de régions homogènes.

5. Démarche générale de recherche

L'objectif principal de notre thèse est de développer des méthodes qui permettent d'identifier des régions agricoles homogènes du point de vue des critères retenus pour modéliser la diversité des systèmes agricoles et de leurs évolutions en vue de spatialiser des actions de développement. Le dispositif de recherche que nous mobilisons est constitué de deux systèmes géographiques de référence d'extension très différente (d'une partie d'un département à vingt-trois départements), dont l'agriculture est étudiée sur des pas de temps contrastés (de trois années à trois décennies), dans le

cadre de problématiques qui nous conduisent à travailler sur des systèmes agricoles différents : le système de production sur la plaine des Vosges ; le système de production et le système de culture sur le bassin de la Seine.

Nous proposons de mobiliser ce dispositif pour répondre aux quatre catégories de questions de recherche énoncées, selon une démarche en trois parties (Encadré 1) :

Première partie : Différenciation de régions selon la diversité des systèmes de production et de leurs évolutions

Cette première partie est construite autour du niveau de l'exploitation agricole vue au travers de son système de production, avec l'objectif de délimiter des régions dont l'homogénéité est fonction soit de la diversité des systèmes de production décrite une année donnée, soit de la diversité des évolutions de systèmes de production décrite sur une période de temps donnée. A la suite du choix de modèles typologiques d'exploitations existants, elle propose et compare différentes méthodes de régionalisation basées sur des techniques de cartographie statistique. L'hypothèse que nous testons est la suivante : *la combinaison de systèmes de production en un lieu et à un moment donnés, ou la combinaison des évolutions de systèmes de production en un lieu et au cours d'une période de temps donnés, ne sont pas aléatoires. Il existe donc des régions caractérisables par des combinaisons similaires de systèmes de production ou d'évolutions de systèmes de production*. Cette première partie est développée successivement sur la plaine des Vosges (chapitre 3) et sur le bassin de la Seine (chapitre 4).

Deuxième partie : Différenciation de régions selon la diversité des systèmes de culture et de leurs évolutions

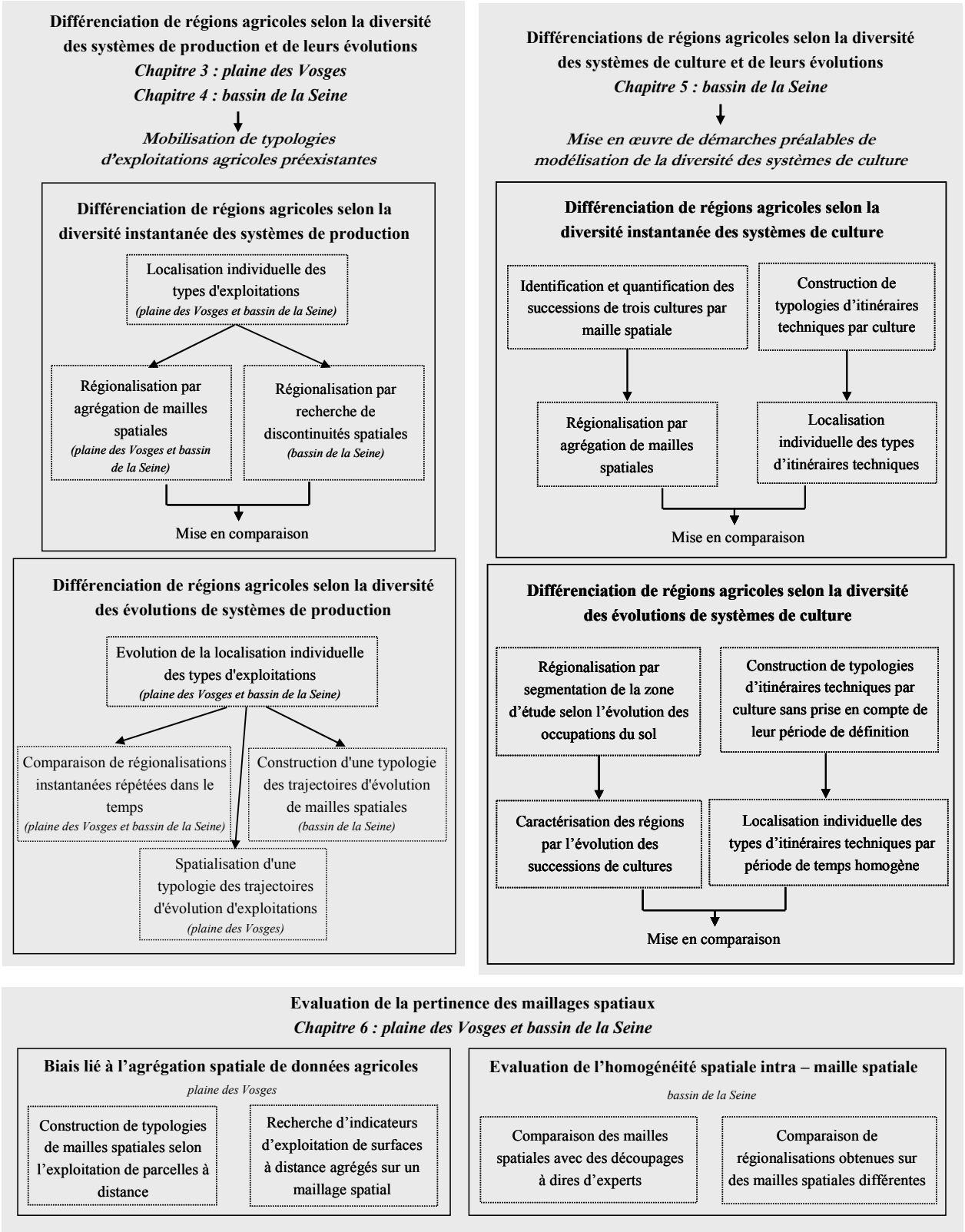
La deuxième partie est dédiée à l'analyse de la localisation des systèmes de culture, là encore selon une double dimension : identification de régions selon la diversité des systèmes de culture représentée à un moment donné puis identification de régions selon la diversité de leurs évolutions. Ne disposant pas de modèle typologique des systèmes de culture, nous présentons une démarche préalable de modélisation de la diversité des systèmes de culture et de leurs évolutions indépendamment de leur localisation géographique. L'hypothèse testée est identique à celle de la partie précédente mais envisagée au niveau d'organisation des systèmes de culture : *la combinaison de systèmes de culture en un lieu et à un moment donnés, ou la combinaison des évolutions de systèmes de culture en un lieu et au cours d'une période de temps donnés, ne sont pas aléatoires. Il existe donc des régions caractérisables par des combinaisons similaires de systèmes de culture ou d'évolutions de systèmes de culture*. Cette partie ne concerne que le bassin de la Seine (chapitre 5).

Troisième partie : Evaluation de la pertinence des maillages spatiaux

La troisième partie (chapitre 6) vise à apporter des éléments d'évaluation de la pertinence des maillages spatiaux et des modes de localisation des informations choisis pour rendre compte des

différenciations spatiales agricoles décrites à l'échelle du système de production et du système de culture. Nous examinons deux principaux biais : le premier correspond à l'erreur commise en affectant l'ensemble des informations agricoles, en particulier celles relatives aux surfaces, à l'intérieur des mailles spatiales où les sièges d'exploitation sont situés ; le second correspond à l'erreur commise en supposant l'homogénéité spatiale interne des mailles. L'hypothèse est que *la différenciation spatiale des activités agricoles peut être appréciée à différents degrés de précision selon le maillage spatial unitaire et le mode de localisation des informations retenus*. Cette partie s'appuie à nouveau sur nos deux études de cas.

Encadré 1 : Démarche générale de recherche



Chapitre 3

Chapitre 3 – Différenciation de régions agricoles selon la diversité des systèmes de production et de leurs évolutions dans la plaine des Vosges

Ce chapitre a pour objectif de développer des méthodes pour rendre compte et analyser la localisation des activités agricoles au travers de la diversité des systèmes de production agricoles et de leurs évolutions en vue d'aider à la prévision et à l'organisation d'actions de développement agricole dans la plaine des Vosges. Il est basé sur l'hypothèse que la localisation des exploitations agricoles explique en partie les choix des systèmes de production et la façon dont ils évoluent, parce qu'elle résume un ensemble de caractéristiques liées tout à la fois au territoire (type de sol, climat…), au contexte socio-économique ou encore à l'histoire particulière en chaque lieu. Le corollaire de cette hypothèse est qu'il existe des espaces caractérisables par des combinaisons similaires de types d'exploitations ou de types d'évolutions d'exploitations, que nous allons chercher à différencier.

Après la présentation du matériel et des méthodes utilisés, nous exposons les deux étapes de la démarche telles qu'elles ont été introduites dans le chapitre 2 :

- différenciation de régions agricoles selon la diversité instantanée des systèmes de production,
- différenciation de régions agricoles selon la diversité des évolutions de systèmes de production.

1. Matériel et méthodes

La revue bibliographique nous a montré que de nombreux modèles de représentation de la diversité des exploitations agricoles existent, qui conditionnent la nature des distinctions qui peuvent être faites entre les exploitations d'une région. Le choix de ces modèles typologiques d'exploitations est fortement dépendant du choix des échelles spatiales et temporelles investiguées et, dans une moindre mesure, de la précision des maillages spatiaux unitaires, qui sont eux-mêmes conditionnés par la problématique considérée. L'ensemble de ces paramètres délimite le champ des modèles typologiques disponibles et adéquats. Nous détaillons dans cette partie le modèle typologique retenu sur la plaine des Vosges, la source d'informations utilisée pour le renseigner, le maillage spatial unitaire choisi pour localiser les informations agricoles et les méthodes de cartographie statistique développées pour différencier des régions agricoles.

1.1. Le modèle de représentation de la diversité des exploitations agricoles

Les organismes professionnels agricoles de la région Lorraine disposent d'une typologie d'exploitations construite à dire d'experts[13] en Haute-Marne et sur la Montagne vosgienne au début des années 1990 (Perrot, 1991), puis réactualisée et étendue aux quatre départements lorrains lors de la mise en place d'un observatoire régional des systèmes d'exploitations en 1996 (Hanriot, 1996). Depuis lors, cette typologie constitue le référentiel régional utilisé par les Chambres départementales d'Agriculture et les Centres d'Economie Rurale pour évaluer le poids des différents types d'exploitations et analyser leurs résultats économiques et comptables.

Par rapport aux objectifs assignés à notre travail dans la plaine des Vosges, plusieurs arguments justifient le choix de cette typologie :

- c'est une typologie spécifiquement dédiée à la description de l'agriculture lorraine qui de surcroît, est connue et utilisée par une partie des conseillers agricoles de la région. Cette connaissance doit faciliter la compréhension puis l'appropriation éventuelle par ces mêmes conseillers des cartes construites pour représenter la répartition spatiale des types d'exploitations et de leurs évolutions.
- la définition des types va au-delà de la dimension économique et des productions agricoles réalisées sur les exploitations, et permet d'étudier des distinctions de systèmes techniques qualifiés par de grandes catégories de pratiques.
- la réactualisation de la typologie en 1996 coïncide avec la période de temps étudiée. La définition des pôles d'agrégation représente la diversité des exploitations agricoles lorraines telles que les experts la percevaient en 1996. Les valeurs-seuils associées aux indicateurs discriminants sont donc fortement reliées aux dimensions structurelles des exploitations cette année-là. Nous pouvons par contre prévoir que le filtre de la typologie de 1996 déforme légèrement l'image de l'agriculture vosgienne de 1993 : il est ainsi possible que les exploitations qui étaient parmi les plus grandes, modernisées et intensives en 1993 soient classées dans des types définis en 1996 comme représentant des structures plus moyennes et à modernisation plus limitée. Ce décalage de trois années ne doit toutefois pas présenter de biais trop important.

La diversité des exploitations agricoles lorraines est représentée par vingt-six types d'exploitations répartis en onze types laitiers et quinze types non laitiers (***Tableaux 1a et 1b***). Les types laitiers sont structurés en trois systèmes en fonction de l'importance des terres labourées dans l'assolement :

- les systèmes herbagers regroupent trois types d'exploitations (*Très Petite Référence Laitière*, *Petite Structure Lait Herbe* et *Lait Modernisé Herbe*) qui ont la plus grande partie de leur assolement en herbe (peu de cultures de vente, pas de maïs fourrager). La diversification viande, quand elle existe, prend la forme d'un atelier d'engraissement de bœufs à l'herbe ou d'élevage de

[13] Le principe et la méthode de construction de cette typologie ont été détaillés dans le chapitre 2.

vaches allaitantes. Les trois types diffèrent principalement par leur dimension économique et par le niveau de modernisation des installations et équipements (logement des animaux, installation de traite, etc).

- les systèmes laitiers à dominante élevage avec culture du maïs comprennent quatre types : les types *Quota Limité Spécialisé* et *Quota Limité Viande* présentent une référence laitière moyenne pour la région (de 100 000 à 150 000 litres) accompagnée pour l'un d'une production de viande qui peut être très diversifiée (bœufs, taurillons ou vaches allaitantes). Les types *Lait Modernisé Maïs Spécialisé* et *Lait Modernisé Maïs Viande* sont d'une dimension économique supérieure (plus de 80 ha de SAU, de 200 000 à 400 000 litres de quota laitier) qui nécessite une main d'œuvre plus abondante (souvent deux personnes à temps plein).
- les systèmes laitiers en polyculture élevage comprennent quatre types dans lesquels coexistent un atelier de grandes cultures conséquent et un ou plusieurs ateliers d'élevage (*Quota Limité Céréales*, *Lait Céréales*, *Lait Céréales Viande* et *Société*). Dans tous les cas, le maïs fourrage y est à la base des rations au moins hivernales des vaches laitières. Là encore, une progression de la dimension économique est marquée, du type *Quota Limité Céréales* qui représente des structures individuelles de taille moyenne (de 100 000 à 150 000 litres de quota laitier) au type *Société* qui regroupe les grosses entreprises agricoles ayant plus de trois unités de main d'œuvre et une taille importante (plus de 200 ha de SAU, plus de 300 000 litres de quota laitier et plus de 40 UGB viande).

Les types d'exploitations non laitiers sont structurés en quatre systèmes :

- les systèmes céréaliers spécialisés sont répartis en trois types : *Céréales Grande Dimension par UTH*, *Céréales Moyenne Dimension par UTH* et *Céréales Petite Dimension*. Comme leur nom l'indique, ils diffèrent principalement par la quantité de terres labourables par unité de main d'œuvre, qui est supérieure à 170 ha pour le type *Céréales Grande Dimension par UTH* et qui n'excède pas 60 ha pour le type *Céréales Petite Dimension*.
- quatre types d'exploitations appartiennent aux systèmes céréales – viande bovine. Dans le type *Céréales Viande Engraissement*, l'atelier d'élevage prend la forme d'un atelier d'engraissement de taurillons de taille relativement conséquente (plus de 20 taurillons vendus par an). Dans les trois autres types (*Céréales Viande Céréales*, *Céréales Viande Viande* et *Céréales Viande Grande Structure*), l'élevage bovin est présent sous la forme d'un troupeau de vaches allaitantes qui tient une importance plus ou moins grande par rapport aux surfaces en cultures de vente.
- les systèmes herbagers – viande bovine comprennent également quatre types (*Herbager Extensif Viande*, *Herbager Intensif Viande*, *Petite Structure Viande Céréales* et *Petite Structure Viande Herbe*) distingués principalement selon la présence de maïs et la taille des exploitations.

- les systèmes ovins sont divisés en trois types d'exploitations : *Céréales Viande Ovins*, *Herbager Ovins* et *Petit Troupeau Ovin*. Là encore, ce sont la taille de la troupe de brebis et l'importance des surfaces en cultures de vente qui discriminent en grande partie ces types.
- un dernier type, appelé *Très Petite Dimension*, regroupe les toutes petites exploitations agricoles fréquemment dirigées par un double actif.

Dans les Organisations Professionnelles Agricoles lorraines, la typologie présentée est qualifiée de typologie de fonctionnement d'exploitations. Or, la présentation des vingt-six types peut apparaître très structurelle et laisser peu de place aux fonctionnements techniques sous-jacents. Lors de l'extension du modèle typologique à l'ensemble de la région Lorraine en 1996, les indicateurs discriminants ont été simplifiés par rapport à la version initiale, et ceux qui étaient représentatifs d'un fonctionnement (par exemple, la ration hivernale des vaches laitières, le logement des vaches laitières, le type d'installation de traite) ont été supprimés. Les experts ont fait ce choix en grande partie pour faciliter l'application de la typologie aux banques de données statistiques régionales, en général limitées à des informations de structure. Toutefois, ils maintiennent l'hypothèse selon laquelle chaque type d'exploitation, même structurellement défini, réfère à une voire à un petit nombre de logiques de fonctionnement technique bien différenciées (Hanriot, 1996).

1.2. La source d'information : le Répertoire d'exploitations de la Chambre d'Agriculture des Vosges

Certains organismes de développement agricole départementaux tiennent à jour un répertoire exhaustif des exploitations dont les objectifs, la forme et le contenu peuvent être très variables d'un département à un autre. C'est le cas de la Chambre d'Agriculture des Vosges, qui a créé ce type de répertoire en 1993 puis réactualisé en 1996, dans le but de mieux connaître la diversité des exploitations du département pour mieux cibler ses actions de développement. Les informations contenues dans ce répertoire sont assez proches de celles contenues dans les recensements agricoles, tout en étant plus spécifiquement adaptées à l'agriculture du département : caractéristiques de main d'œuvre (nombre d'associés, âge du chef d'exploitation, présence d'un successeur, rémunération extérieure à l'exploitation, …), assolement (SAU, surfaces en céréales, colza, maïs, herbe et jachère), caractéristiques de l'atelier de production de lait (nombre de vaches laitières, installation de traite, types de bâtiments, ration hivernale des vaches laitières), autres productions (viande bovine ou ovine, élevage hors-sol, etc). Les renseignements sont collectés par les conseillers de secteur auprès d'un ou de plusieurs informateurs privilégiés de l'activité agricole de chaque commune.

Lors de sa sollicitation, la Chambre d'Agriculture a mis ce répertoire à notre disposition. Sur la plaine des Vosges, il répertorie 2221 exploitations en 1993 (1688 en systèmes laitiers et 533 en systèmes céréales et/ou viande) et 2041 exploitations en 1996 (1541 en systèmes laitiers et 500 en systèmes céréales et/ou viande). Sur le laps de temps de trois ans, des exploitations ont disparu et

d'autres ont été créées : l'échantillon constant du répertoire est constitué de 1908 exploitations présentes en 1993 et 1996.

Le répertoire contient les variables nécessaires au calcul des coefficients de ressemblance permettant de typer chaque exploitation dans la typologie lorraine à dire d'experts. En outre, nous disposons d'informations par exploitation, qui nous autorisent à analyser les évolutions entre 1993 et 1996 de manière individuelle. Enfin, la localisation communale des sièges d'exploitations est précisée. Le répertoire présente toutefois un biais, puisque la totalité de la SAU des exploitations est allouée à la commune du siège.

1.3. Le maillage spatial unitaire

Dans l'objectif d'une meilleure connaissance de la diversité des exploitations de la plaine vosgienne et de leurs évolutions pour aider au conseil agricole, le choix du maillage spatial doit tenir compte de trois principales contraintes : *(i)* le maillage doit être *a priori* porteur de sens pour décrire une diversité d'exploitations au sein du système de référence puis révéler d'éventuelles différenciations spatiales ; *(ii)* la localisation des types d'exploitations doit se référer à des échelles d'action pertinentes pour les conseillers agricoles ; *(iii)* les sources d'informations disponibles sur ce maillage doivent être de bonne qualité. En réponse à ces trois contraintes, il nous semble que la commune représente la maille spatiale la plus justifiée (Figure 6) :

- nous posons l'hypothèse que la commune constitue un référentiel géographique usuel et commode pour les conseillers agricoles. Chacun d'eux a en charge l'animation d'un secteur constitué de quelques dizaines de communes réparties sur trois à quatre cantons. Ils repèrent classiquement les exploitations sur lesquelles ils interviennent par leur localisation communale, et pour mettre à jour le répertoire d'exploitations de la Chambre d'agriculture, ils sont périodiquement amenés à collecter des informations exhaustives sur les exploitations de chaque commune.
- la Lorraine est traditionnellement une région d'habitat groupé. Les bâtiments d'exploitations, hormis ceux qui ont été construits suite à la mise aux normes des bâtiments d'élevage, sont en général regroupés dans les villages, ce qui privilégie des relations de voisinage voire des relations de travail entre agriculteurs d'un même village. De plus, nous sommes ici dans une région de polyculture - élevage laitier, où la localisation des bâtiments, et en particulier de la stabulation affectée aux vaches laitières et de la salle de traite, conditionne l'organisation d'ensemble des exploitations, et notamment de leur parcellaire (Deffontaines, 1990 ; Benoît, 1990 ; Benoît *et al*., 2005 ; Capitaine, 2005). Ainsi, même si corrélativement à l'agrandissement des exploitations, les agriculteurs sont de plus en plus amenés à se côtoyer dans des structures inter-communales, il nous semble que la commune vosgienne garde encore aujourd'hui un sens pour décrire des activités agricoles et révéler des diversités d'un lieu à un autre.

- 365 communes couvrent la zone étudiée, d'une superficie extrêmement variable selon un gradient croissant du nord vers le sud. Cette précision peut paraître excessive par rapport au nombre d'exploitations représentées par commune, et nous pouvons craindre en effet qu'il soit difficile de caractériser des communes où il ne reste qu'une ou deux exploitations, puis de les comparer à des communes comptant encore dix voire vingt exploitations. En l'absence d'un maillage intermédiaire entre la commune et le canton, qui à l'inverse apparaît trop grossier, la commune nous semble quand même présenter la meilleure solution.
- enfin, à l'échelle de la plaine des Vosges, la caractérisation de la diversité des exploitations agricoles repose sur des banques de données statistiques au moins départementales, qui ne sont disponibles que sur des maillages administratifs. Nous avons évoqué dans le chapitre précédent les biais relatifs aux données statistiques agrégées sur une maille communale (secret statistique, SAU allouée à la commune des sièges d'exploitation). Nous exposerons un travail spécifique d'évaluation de ces biais sur le département des Vosges dans le chapitre 6.

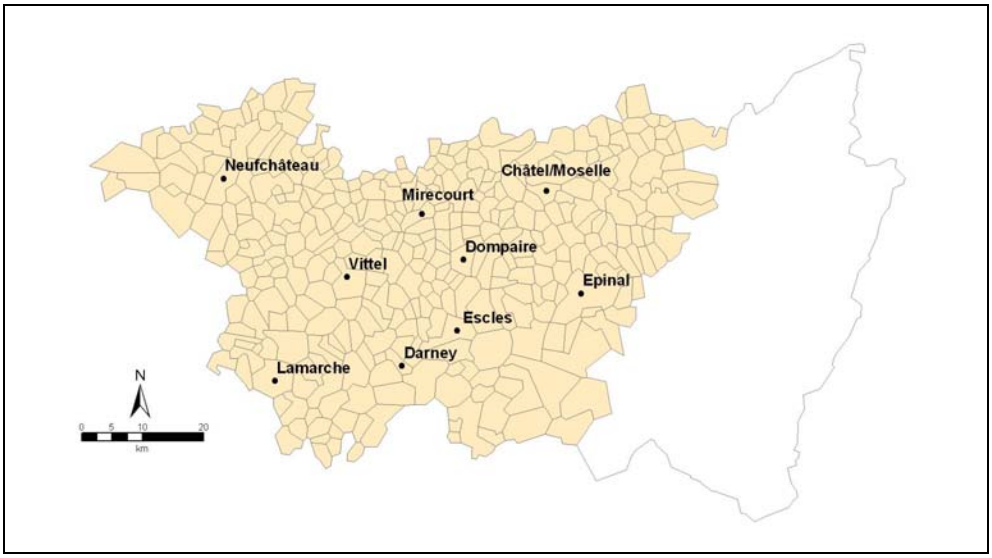


Figure 6 : Maillage communal de la plaine des Vosges

Ces quatre arguments nous conduisent à privilégier la maille communale, tout en étant conscients de ses limites quant à la qualité des données statistiques disponibles et au nombre sans cesse décroissant d'exploitations qui y sont situées. Le maillage cantonal et celui des PRA ne sont pas retenus, principalement en raison d'une résolution trop grossière par rapport au système géographique de référence : la plaine des Vosges ne s'étend que sur vingt cantons et six PRA qui, pour ces dernières, représentent un découpage spatial très déséquilibré (Figure 1).

1.4. Les méthodes de cartographie statistique

Les méthodes utilisées dans ce chapitre et les deux suivants visent à la fois à analyser les différenciations spatiales et les dynamiques temporelles de grandes populations d'individus

statistiques (tantôt des exploitations agricoles, tantôt des objets géographiques que sont les mailles spatiales porteuses d'informations agrégées). Pour identifier des régions agricoles homogènes selon différents critères, nous choisissons de faire appel à certaines méthodes de cartographie statistique, que nous avons détaillées dans la revue bibliographique. Rappelons que ces méthodes couplent deux catégories de données : *(i)* des données spatiales qui intègrent une représentation graphique de l'information, telle que le contour des communes, des cantons ou des PRA ; *(ii)* des données localisées qui associent à une information numérique une localisation géographique. Cette information numérique peut être une valeur relative à une seule variable (par exemple, le nombre d'exploitations d'un type dans une commune) ou une valeur de synthèse issue d'un traitement statistique entre plusieurs variables (par exemple, un type de communes selon la combinaison des types d'exploitations qui y sont situés).

L'objectif de rendre compte des dynamiques spatiales agricoles au cours du temps introduit un niveau de complexité supérieur dans les méthodes de cartographie statistique. Là encore, plusieurs démarches sont envisageables, qui combinent analyse individuelle de la dynamique spatiale de chaque type d'exploitation, et analyse synthétique sur l'ensemble des types d'exploitations. Pour cette dernière, le choix des méthodes est bien souvent dicté par la nature des données descriptives initiales (individuelles par exploitation ou agrégées sur un maillage spatial).

1.4.1. – La cartographie monovariée ou bivariée

Bien que porteuses d'une information limitée à une variable, les cartes monovariées constituent un passage nécessaire dans une problématique de régionalisation agricole, qui permet de visualiser la localisation de chaque critère (type d'exploitation), et le cas échéant d'identifier des zones de localisation préférentielle. Une carte monovariée permet par exemple de quantifier par des jeux de symboles adaptés le poids d'un type d'exploitation en termes de nombre d'exploitations ou de surface agricole utilisée par commune (Figure 7).

Les cartes bivariées sont couramment utilisées par les géographes, comme en témoignent les Atlas agricoles et ruraux, pour caractériser la dynamique spatiale d'un critère. Si la première variable exprime des valeurs absolues en étant représentée par un symbole de surface proportionnelle à ces valeurs (par exemple un nombre d'exploitations par type et par commune), la seconde exprime par des jeux de couleur, les taux de variation de la première au cours de la période de temps étudiée.

Figure 7 : Répartition spatiale du type "Très Petite Référence Laitière" dans la plaine des Vosges en 1993 et 1996

1.4.2 – La cartographie de synthèse

L'examen de cartes monovariées ou bivariées s'avère fréquemment riche d'informations mais il est vite rendu difficile par la multiplication du nombre de cartes. Le but de la cartographie de synthèse est de rassembler en une seule carte les valeurs relatives à plusieurs variables, grâce à des techniques d'analyse quantitatives. Sur la plaine des Vosges, nous choisissons de mettre en œuvre une démarche par agrégation, qui consiste à grouper en types les mailles communales qui présentent des combinaisons proches de types d'exploitations ou d'évolutions de types d'exploitations. Sont qualifiés de régions les groupes de mailles communales contiguës qui appartiennent à un même type. Dans cette démarche, l'espace n'est qu'un support, puisqu'il n'intervient pas de façon active dans l'analyse et qu'il n'est reconstitué qu'*a posteriori* lors de la cartographie des typologies obtenues. Les techniques d'analyse mobilisées sont l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH), appliquées sur les individus statistiques que sont les communes (Encadré 2).

Compte tenu de la courte durée de la période étudiée, nous choisissons de construire une typologie de communes unique pour les deux années, chaque commune étant représentée dans l'analyse statistique par son profil agricole en 1993 et son profil agricole en 1996. Les profils agricoles communaux représentent la répartition des exploitations de chaque commune dans les huit systèmes de production distingués en Lorraine et non dans les vingt-six types d'exploitations. En effet, distinguer vingt-six types d'exploitations et les rapporter à l'échelle des communes, qui comptent en moyenne moins de dix exploitations, semble trop détaillé : le tableau sur lequel serait réalisé l'analyse statistique serait constitué d'une majorité de zéro et de profils agricoles très disparates selon les communes, qui pourraient réduire la robustesse de l'analyse. La typologie est construite par ACPC sur les pourcentages d'exploitations par système de production, par commune et par année, suivie d'une CAH selon la méthode du minimum de variance de Ward sur les premiers facteurs de l'ACPC. Les types de communes obtenus sont cartographiés séparément pour chacune des deux années.

Encadré 2 : Principe des techniques d'analyse de données

Principe de l'Analyse en Composantes Principales

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) s'applique à des tableaux à deux dimensions croisant *n* individus statistiques en lignes dont on connaît les valeurs sur *p* variables quantitatives en colonnes. Un tableau est considéré comme un nuage de *n* points-individus dans un espace de dimension *p*. Si *p*>3, ce nuage n'est pas visualisable mais existe mathématiquement. Nous pouvons notamment y définir une distance entre points (la métrique).

L'objectif général de l'ACP est exploratoire dans deux directions principales :

- elle permet d'établir un bilan des ressemblances entre individus : quels sont ceux qui se ressemblent ou qui sont différents ? existe-t-il des groupes homogènes d'individus ?

- elle permet d'établir un bilan des liaisons entre variables : quelles sont celles qui sont liées positivement entre elles ? quelles sont celles qui s'opposent ? existe-t-il des groupes de variables corrélées entre elles ? L'étude des liaisons entre variables consiste à résumer l'ensemble des variables initiales par un petit nombre de variables synthétiques appelées composantes principales. Ces composantes principales sont des combinaisons linéaires des variables initiales, hiérarchisées et indépendantes les unes des autres.

L'ACP convient à la mise en ordre et la contraction de l'information contenue dans les tableaux d'information géographique que nous manipulons. Nous utilisons une ACP centrée (ACPC) pour analyser les ressemblances entre mailles spatiales en fonction des combinaisons de types d'exploitations qui y sont situés une année donnée. Les tableaux initiaux renseignent les pourcentages d'exploitations ou de surfaces affectés à chaque type d'exploitation (travailler sur les pourcentages permet de nous affranchir d'un effet taille lié à la dimension des mailles spatiales).

Principe de la Classification Ascendante Hiérarchique

La Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) part, tout comme l'ACP, d'un tableau de *n* individus statistiques dont on connaît les valeurs sur *p* variables. Ce tableau peut soit être un tableau de variables initiales, soit plus usuellement un tableau de coordonnées factorielles à la suite d'une analyse factorielle. En plus de la définition d'une métrique pour mesurer une distance entre les points du nuage, la CAH suppose la définition d'une distance entre groupes de points (la stratégie de classification). Elle procède par agrégation successive en classe des individus les plus proches en terme de distance mesurée par la métrique choisie.

Il existe de nombreux algorithmes de classification hiérarchique, qui diffèrent par le critère de regroupement des classes. Nous avons choisi d'utiliser la technique du minimum de variance de Ward, qui fait partie des plus usuelles : la distance entre deux classes est la somme par ANOVA des carrés des écarts entre les deux classes additionnés pour les *p* variables. A chaque génération, la somme des carrés est minimisée parmi toutes les partitions possibles, en rassemblant deux classes de la génération précédente.

Nous sommes amenés à utiliser une CAH après chaque ACP, pour construire les typologies de mailles spatiales en fonction de leurs coordonnées factorielles constituant les *p* variables.

1.4.3 – La spatialisation d'évolutions d'exploitations

La seconde partie des analyses vise à introduire la dimension temporelle dans les exercices de régionalisation. Les régions que nous cherchons ici à identifier ne sont plus fonction d'une diversité d'exploitations à un moment donné, mais d'une diversité d'évolutions d'exploitations sur le pas de temps étudié de trois années.

Les informations du Répertoire de la Chambre d'Agriculture des Vosges nous permettent d'analyser les évolutions d'exploitations soit de façon agrégée à la maille communale, soit individuellement. Dans le premier cas, l'analyse de la différenciation spatiale des systèmes de production précède l'analyse temporelle de leurs évolutions. La méthode employée consiste à comparer les régionalisations de la plaine des Vosges obtenues en 1993 et 1996 en calculant et cartographiant la matrice des changements de types qu'ont connus les communes entre les deux années.

Dans le second cas, l'analyse temporelle des évolutions d'exploitations précède l'analyse de leur différenciation spatiale. Nous proposons de mettre en œuvre deux méthodes de représentation de la diversité des évolutions individuelles d'exploitations, qui seront présentées uniquement sur les systèmes laitiers[14]. La première consiste à analyser les changements de types d'exploitations intervenus entre 1993 et 1996 puis à cartographier leur localisation à la maille communale. La seconde méthode, largement inspirée de Perrot *et al*. (1995), vise à exploiter les fonctionnalités de la typologie à dire d'experts pour modéliser l'évolution des exploitations sous la forme de trajectoires individuelles multifactorielles. En effectuant une ACP sur la matrice des coefficients de ressemblance de chaque exploitation de la plaine des Vosges avec chaque pôle en 1993, nous obtenons un premier plan factoriel dans lequel les images des exploitations révèlent le pôle auquel elles sont agrégées. Les images des exploitations en 1996 prises comme individus supplémentaires sont ensuite projetées sur ce plan factoriel puis reliées à celles des exploitations en 1993 (qui sont individus actifs). La variation des coefficients de ressemblance entre les deux années, due à une variation des valeurs des indicateurs discriminants, entraîne un « déplacement » de l'image des exploitations dans le plan factoriel, qu'elles aient ou non changé de type. La longueur des vecteurs qui représentent les trajectoires est d'autant plus grande que les variations de coefficients de ressemblance, et donc les évolutions structurelles et techniques des exploitations, ont été plus importantes.

Nous présentons à la fin de ce chapitre les premiers résultats relatifs à la construction des trajectoires d'exploitations et nous évoquons des pistes de travail pour permettre leur spatialisation.

2. Différenciation de régions agricoles selon la diversité instantanée des systèmes de production

2.1. Localisation individuelle des types d'exploitations

Globalement, la répartition des exploitations dans les systèmes de production apparaît relativement stable entre les deux années (Tableau 2) : près des trois quarts des exploitations sont classées dans les systèmes laitiers, un peu plus de 20% des exploitations sont en systèmes céréales et/ou viande, tandis qu'environ 5% restent non typées car ne ressemblent pas suffisamment à un type pour y être rattachées.

Parmi les systèmes laitiers largement majoritaires sur la plaine des Vosges, ce sont les types mixtes *Lait Modernisé Maïs Viande* et *Quota Limité Viande* qui sont les plus représentés : ils regroupent à eux deux le quart des exploitations (proportion en augmentation sur les deux années), réparties sur toute la Plaine hormis dans les Côtes de Meuse (***Figures 1a à 1h***). Les types de polyculture-élevage laitier (*Société*, *Lait Céréales Viande*, *Lait Céréales* et *Quota Limité Céréales*) sont également en

[14] La typologie à dire d'experts est accompagnée de deux clés typologiques, qui sont des programmes informatiques

augmentation et rassemblent près de 10% des exploitations en 1996. Ils apparaissent moins ubiquistes que les deux types précédents et sont concentrés dans les zones de la plaine les plus aptes à la culture. A l'inverse, les petites structures laitières spécialisées appartenant aux types *Petite Structure Lait Herbe* et *Très Petite Référence Laitière,* surtout localisées au sud du département (Bassigny et Vôge), sont en nette diminution sur la période, passant de 18,4% des exploitations en 1993 à 14,7% en 1996.

Tableau 2 : Nombre d'exploitations par type en 1993 et 1996 dans la plaine des Vosges

	Systèmes	Types d'exploitations	% d'EA en 1993	% d'EA en 1996
Les systèmes laitiers	Herbagers	Très Petite Référence Laitière	8.9	7.2
		Petite Structure Lait Herbe	9.5	7.5
		Lait Modernisé Herbe	6.8	7.6
	À dominante élevage avec culture de maïs	Quota Limité Spécialisé	8.4	7.6
		Quota Limité Viande	12.4	12.6
		Lait Modernisé Maïs Spécialisé	7.0	7.6
		Lait Modernisé Maïs Viande	13.4	14.5
	En polyculture-élevage	Quota Limité Céréales	0.9	0.8
		Lait Céréales	1.0	1.0
		Lait Céréales Viande	3.9	5.2
		Société	1.7	2.6
Les systèmes non laitiers	Spécialisés grandes cultures	Céréales Grande Dimension par UTH	0	0.1
		Céréales Moyenne Dimension par UTH	0.3	0.4
		Céréales Petite Dimension	0.7	0.4
	Céréales – viande bovine	Céréales Viande Céréales	0.4	0.4
		Céréales Viande Viande	0.5	0.7
		Céréales Viande Grande Structure	0.2	0.3
		Céréales Viande Engraissement	0.0	0.0
	Herbagers – viande bovine	Herbager Extensif Viande	1.3	1.6
		Herbager Intensif Viande	0.8	1.2
		Petite Structure Viande Céréales	1.1	0.8
		Petite Structure Viande Herbe	6.4	6.5
	Ovins	Céréales Viande Ovins	0.1	0.2
		Herbager Ovin	1.1	1.1
		Petit troupeau Ovin	2.3	2.3
	Très petite dimension	Très Petite Dimension	5.0	5.7
Les non – typés	Non typé	Non Typé	5.7	4.1

La quasi-totalité des types d'exploitations non laitiers est faiblement représentée dans la Plaine vosgienne, sauf les types *Petite Structure Viande Herbe* et *Très Petite Dimension* qui a eux deux regroupent plus de 10% des exploitations.

2.2. Régionalisation par agrégation de mailles spatiales

Les trois premières composantes principales de l'ACPC sur les pourcentages d'exploitations par commune et par système de production en 1993 et 1996 représentent 80% de l'inertie totale du nuage de points (***Figure 2***). La première composante (46% de l'inertie) oppose les communes caractérisées par des systèmes laitiers à dominante élevage avec maïs aux communes à dominante de systèmes laitiers herbagers. La deuxième différencie les communes caractérisées par des combinaisons de systèmes laitiers en polyculture-élevage et de systèmes herbagers viande bovine, aux communes dans

permettant de classer les exploitations : l'une concerne les systèmes laitiers et l'autre les systèmes non laitiers.

lesquelles sont situés des systèmes laitiers à dominante élevage, herbagers ou avec maïs. Enfin, la troisième composante distingue les communes laitières des communes non laitières (avec pour ces dernières, dominance de systèmes herbagers viande bovine et d'exploitations du type *Très Petite Dimension*).

La CAH, réalisée sur les quatre premiers facteurs de l'ACPC, aboutit à la définition de huit types de communes définis par une combinaison de systèmes de production dominants (Tableau 3). En 1993, la cartographie des huit types de communes montre qu'il existe des régions contrastées au sein du territoire vosgien, constituées de quelques communes qui se différencient selon un gradient d'intensification et de « céréalisation » des exploitations d'élevage (***Figure 3***). Les systèmes laitiers avec maïs, à dominante élevage ou en polyculture-élevage, apparaissent principalement localisés au nord du département, à proximité des principaux pôles urbains (plateaux de Neufchâteau, triangle Mirecourt-Vittel-Escles, nord du canton de Châtel-sur-Moselle, Epinal). Ils sont peu présents dans la partie sud, qui semble toutefois caractérisée par un gradient d'intensification laitière d'ouest en est : la région de Lamarche, au sud-ouest, située sur des terrains lourds, est dominée par des systèmes laitiers herbagers, alors que la petite région de la Vôge, au sud-est, située sur des terres plus faciles à travailler qui autorisent la culture de maïs, présente des systèmes laitiers plus intensifs, qui ont introduit le maïs dans leur système fourrager.

Tableau 3 : Caractéristiques des huit types de communes en fonction des systèmes de production dominants

Types de communes	Nombre de communes en 1993	Nombre de communes en 1996	Systèmes de production dominants (en % d'EA dans les communes)
Polyculture-élevage laitier / Lait Maïs	51	71	44% systèmes laitiers en polyculture-élevage 20% systèmes laitiers à dominante élevage avec maïs 11% systèmes laitiers herbagers
Lait Maïs / Polyculture-élevage laitier	46	44	68% systèmes laitiers à dominante élevage avec maïs 12% systèmes laitiers en polyculture-élevage
Lait Maïs	42	49	99% systèmes laitiers à dominante élevage avec maïs
Lait Maïs / Lait Herbe	78	77	55% systèmes laitiers à dominante élevage avec maïs 28% systèmes laitiers herbagers
Lait Herbe / Lait Maïs	73	53	54% systèmes laitiers herbagers 25% systèmes laitiers à dominante élevage avec maïs 11% systèmes herbagers viande bovine
Lait Herbe	8	12	100% systèmes laitiers herbagers
Viande bovine herbe / Lait Maïs	27	29	44% systèmes herbagers viande bovine 36% systèmes laitiers à dominante élevage avec maïs
Très Petite Dimension / Divers	31	30	26% Très Petite Dimension 20% systèmes laitiers à dominante élevage avec maïs 15% systèmes ovins 14% systèmes laitiers herbagers

En 1996, les parties nord et sud de la plaine vosgienne apparaissent toujours contrastées, mais semblent avoir suivi un même mouvement d'intensification fourragère et de « céréalisation » : au nord, les systèmes de polyculture-élevage ou d'élevage laitier avec maïs ont progressé autour des zones déjà identifiées en 1993 mais aussi dans le nord du Châtenois et dans les cantons de Dompaire et

de Châtel-sur-Moselle ; au sud, le contraste entre les parties est et ouest semble s'être estompé *via* un développement généralisé de la culture du maïs fourrager, et également des cultures de vente dans le sud de la petite région Saône Lorraine.

3. Différenciation de régions agricoles selon la diversité des évolutions d'exploitations

3.1. Analyse des évolutions d'exploitations agrégées à la maille communale : comparaison de régionalisations instantanées répétées dans le temps

Pour comparer les cartes obtenues en 1993 et en 1996 de manière plus fine qu'une comparaison visuelle, la matrice de transition des communes entre types entre les deux années est calculée et les changements de types de communes sont cartographiés (***Figure 4***).

Près des deux tiers des communes ne changent pas de type entre les deux années, mais les évolutions apparaissent plus ou moins importantes selon le type initial. C'est ainsi le type *Polyculture-élevage laitier / Lait-Maïs* (13,9% des communes en 1993) qui progresse le plus : il rassemble vingt communes supplémentaires en 1996 par rapport à 1993 (soit une augmentation de 5,4%), la plupart d'entre elles provenant des types *Lait-Maïs / Polyculture-élevage laitier* et *Lait-Herbe / Lait-Maïs*. Cette progression reflète une évolution de systèmes laitiers à dominante élevage vers des systèmes laitiers en polyculture-élevage. Elle est également due à la disparition de petites exploitations laitières herbagères ou d'exploitations lait-maïs de taille limitée. Les communes qui rejoignent ce type en 1996 sont principalement localisées au nord-ouest de la plaine des Vosges (PRA du Barrois, des Côtes de Meuse et du Châtenois) et dans le centre (entre les communes de Vittel, Mirecourt et Dompaire).

Le type *Lait-Maïs* (11,4% des communes en 1993) est également en progression sur les trois années étudiées, mais de manière moins marquée. Il regroupe sept communes de plus en 1996 qu'en 1993 (soit une progression de 2%), mais ce seul chiffre cache des mouvements plus importants :

- 71% des communes affectées à ce type en 1993 le sont encore en 1996. Les 30% restants vont majoritairement dans les types *Lait-Maïs / Polyculture-élevage laitier* et *Polyculture-élevage laitier / Lait-Maïs*, ce qui reflète là encore une progression des cultures de vente par rapport aux activités d'élevage.
- 61% des communes de ce type en 1996 appartiennent déjà à ce type en 1993. 40% viennent donc d'autres types (en majorité les types *Lait-Maïs / Lait-Herbe* et *Lait-Maïs / Polyculture-élevage laitier*), témoignant ainsi de trois principales évolutions : *(i)* disparition de petites structures d'exploitations herbagères ; *(ii)* progression du maïs dans des exploitations laitières initialement herbagères ; *(iii)* évolution de systèmes en polyculture-élevage vers des systèmes à dominante élevage. Ces communes sont principalement localisées au nord de la Plaine vosgienne.

Contrairement à ces deux types de communes, le type *Lait-Herbe / Lait-Maïs* subit la plus forte régression. Représentant près de 20% des communes de la plaine des Vosges en 1993, il n'en rassemble plus que 14,4% en 1996 (soit une diminution de 20 communes). Près de la moitié des communes qui y sont rattachées en 1993 n'y sont plus en 1996 : cette évolution révèle de nombreuses disparitions d'exploitations accompagnées *(i)* d'une progression du maïs dans des exploitations laitières à base d'herbe, qui fait passer 20% de ces communes dans le type *Lait-Maïs / Lait-Herbe*, ou *(ii)* d'une progression des cultures de vente dans des systèmes laitiers à dominante maïs, qui fait passer 10% de ces communes dans le type *Polyculture-élevage laitier / Lait-Maïs*. Les communes qui suivent ces évolutions sont principalement localisées dans le Châtenois, le Bassigny et le sud-ouest du Plateau lorrain. Par contre, les trois quarts des communes qui appartiennent à ce type en 1996 lui sont déjà affectées en 1993. Le quart restant, surtout localisé dans la moitié sud de la plaine des Vosges, provient pour moitié des communes du type *Lait-Maïs / Lait-Herbe*.

Les autres types de communes restent stables en effectifs, mais leur composition peut avoir plus ou moins varié entre les deux années. Le type *Petite Dimension / Divers*, peu représenté sur la plaine des Vosges mais très dispersé (sauf dans la Vôge), présente peu de variations : près des trois quarts des communes affectées à ce type en 1993 le sont encore en 1996. Les variations sont un peu plus importantes pour le type *Lait-Maïs / Lait-Herbe* (21% des communes en 1993 et 1996), car plus d'un tiers des communes qui lui sont rattachées en 1993 changent de type en 1996 : elles rejoignent majoritairement les types *Lait-Maïs / Polyculture-élevage laitier* et *Lait-Herbe / Lait-Maïs*. Les communes nouvellement affectées à ce type en 1996 proviennent en majorité du type *Lait-Herbe / Lait-Maïs* en forte régression.

Malgré une stabilité des effectifs de communes, la composition des types de communes *Lait-Maïs / Polyculture-élevage laitier* et *Viande-Herbe / Lait-Maïs* montre de fortes variations : moins de la moitié des communes qui les composent en 1993 y sont restées en 1996. Concernant le premier, les changements se font essentiellement vers les types *Polyculture-élevage laitier / Lait-Maïs* et *Lait-Maïs*, alors que pour le second, c'est le type *Lait-Maïs / Lait-Herbe* qui accueille la majeure partie des communes ayant changé de type (changement dû à la disparition de petites exploitations productrices de viande à l'herbe).

Enfin, les deux tiers des communes du type *Lait-Herbe*, très peu représenté, restent dans ce type en 1996. Les autres rejoignent majoritairement le type *Lait-Herbe / Lait-Maïs*.

3.2. Spatialisation des évolutions individuelles d'exploitations

3.2.1 Cartographie des changements de types d'exploitations

28% des exploitations agricoles de l'échantillon constant du Répertoire de la Chambre d'Agriculture des Vosges (soit 534 exploitations) ont changé de type entre 1993 et 1996 (***Tableau 2***).

Ce pourcentage varie de 19% pour le type *Très Petite Référence Laitière* à 35% pour le type *Lait Céréales Viande*[15]. Dans une partie des cas, ce changement de type d'exploitation ne correspond pas à un changement de système de production :

- près de la moitié des exploitations *Lait Modernisé Maïs Viande* en 1993 sont affectées aux types *Quota Limité Viande* et *Lait Modernisé Maïs Spécialisé* en 1996, tandis que plus de la moitié des exploitations *Lait Modernisé Maïs Spécialisé* qui changent de type sont affectées au type *Lait Modernisé Maïs Viande* : tout en évoluant par la taille de l'atelier viande ou la dimension économique de l'exploitation, elles restent dans les systèmes à dominante élevage avec maïs. De même, la majorité des exploitations *Quota Limité Viande* et *Quota Limité Spécialisé* en 1993 qui changent de type, restent dans le même système de production.
- les exploitations de polyculture-élevage laitier restent également majoritairement dans des types d'exploitations associant cultures et élevage : les changements se font surtout entre les types *Société*, *Lait Céréales Viande* et *Lait Céréales*.
- enfin, une partie importante des exploitations herbagères *Petite Structure Lait Herbe* et *Très Petite Référence Laitière* conservent un système laitier herbager tout en changeant de type.

Dans une autre partie des cas, le changement de type d'exploitation correspond également à un changement de système de production et peut donc refléter une évolution plus importante des structures et/ou des fonctionnements d'exploitations. A titre d'exemple, c'est le cas de 13% des exploitations *Lait Modernisé Maïs Viande* en 1993 qui sont affectées dans les types *Société* et *Lait Céréales Viande* en 1996, de 11% des exploitations *Lait Céréales Viande* en 1993 qui suivent l'évolution inverse et sont affectées au type *Lait Modernisé Maïs Viande* en 1996, ou encore de 13% des exploitations herbagères *Lait Modernisé Herbe* qui passent dans un système avec maïs (types *Lait Modernisé Maïs Viande* et *Quota Limité Viande*).

La cartographie des changements de types par type d'exploitation initial permet de localiser ces changements au sein de la plaine des Vosges (***Figures 5a à 5g***). Il apparaît globalement difficile de repérer des différenciations spatiales dans les changements de types, notamment pour ceux qui sont peu fréquents : ils sont pour la plupart répartis sur l'ensemble de la plaine des Vosges sans que des logiques spatiales apparaissent nettement. Seuls certains d'entre eux, parmi les plus fréquents, semblent présenter une localisation préférentielle :

- les changements du type *Lait Modernisé Maïs Viande* vers le type *Lait Céréales Viande* apparaissent surtout localisés dans la moitié ouest de la plaine des Vosges, alors que les changements vers le type *Lait Modernisé Maïs Spécialisé* sont surtout présents dans la moitié Est et que le passage dans le type *Société* n'est observé que dans les Côtes de Meuse et le Châtenois.

[15] Plus de la moitié des exploitations *Quota Limité Céréales* ont changé de type mais elles sont très peu nombreuses sur la plaine des Vosges (16 exploitations en 1993).

- les exploitations *Quota Limité Spécialisé* semblent évoluer vers le type *Lait Modernisé Maïs Spécialisé* quand elles sont situées à l'est de la plaine, vers le type *Lait Modernisé Herbe* quand elles sont au Sud (Bassigny, Vôge) ou vers le type *Lait Modernisé Maïs Viande* quand elles sont au Nord.

3.2.2 Vers la spatialisation de trajectoires d'exploitations agricoles

Cette dernière partie du chapitre expose les bases d'une méthode de spatialisation des trajectoires d'exploitations visant à exploiter au mieux les fonctionnalités de la typologie à dire d'experts pour modéliser les évolutions individuelles des exploitations agricoles et analyser leurs différenciations spatiales. Contrairement à la méthode précédente qui sépare les exploitations en deux ensembles distincts (celles qui ont changé de type et celles qui n'en ont pas changé, qui sont réputées ne pas avoir évolué), cette méthode consiste à analyser finement l'évolution des systèmes de production en caractérisant des trajectoires individuelles à partir d'un ensemble de variables (les coefficients de ressemblance des exploitations avec les pôles d'agrégation qui dépendent des valeurs prises par les exploitations pour les indicateurs discriminants).

La construction des trajectoires d'exploitations laitières est réalisée en deux étapes. La première consiste à réaliser l'ACPC sur les coefficients de ressemblance des 1688 exploitations laitières recensées en 1993 avec chacun des pôles laitiers identifiés par les experts. Le premier plan factoriel de cette analyse (***Figure 6***) montre que les pôles d'agrégation forment un continuum représentant un gradient de dimension, de modernisation et d'intensification croissantes des systèmes laitiers, en partant des petites exploitations laitières herbagères traditionnelles situées à gauche du graphique (types *Très Petite Référence Laitière* et *Petite Structure Lait Herbe*) et en allant vers les grandes structures laitières diversifiées vers les grandes cultures et la viande bovine à droite (types *Société* et *Lait Céréales Viande*).

Dans une deuxième étape, la projection sur ce plan de l'image des exploitations trois ans plus tard permet, en reliant cette image à celle des exploitations en 1993, de tracer un vecteur qui représente l'évolution des exploitations sur la période. La Figure 8 montre ainsi deux exemples de trajectoires d'exploitations, l'un obtenu pour le type *Lait Modernisé Maïs Viande*, l'autre pour le type *Petite Structure Lait Herbe*. Graphiquement, il apparaît que même en ne changeant pas de type, les exploitations « bougent » dans le plan, ce qui montre qu'elles ne sont pas figées mais qu'elles sont au contraire en constante évolution. Les changements de type illustrent deux grandes tendances d'évolution :

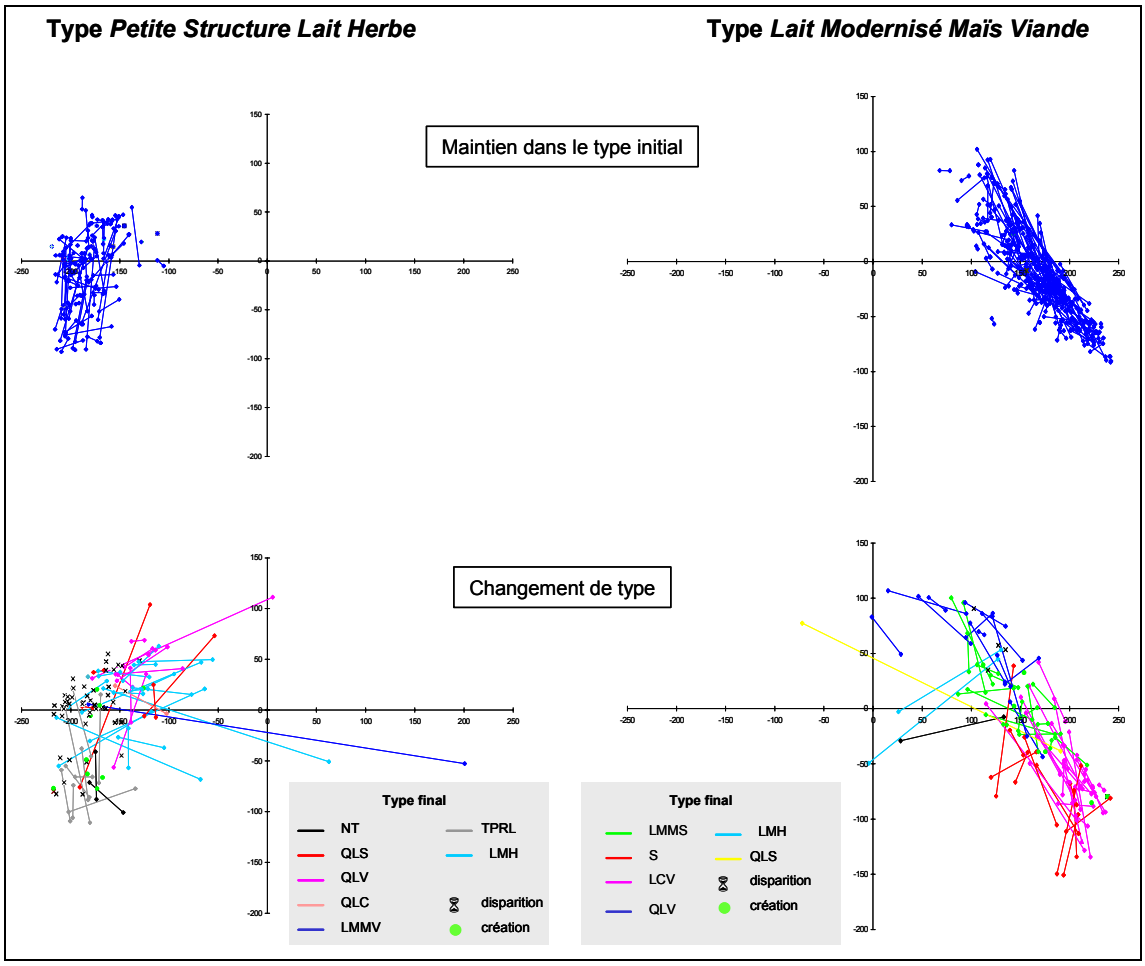


Figure 8: Exemples de trajectoires d'exploitations entre 1993 et 1996

- soit un agrandissement des structures d'exploitation avec reprise de surfaces, *(i)* en grandes cultures pour le type *Lait Modernisé Maïs Viande* qui se traduit par le passage dans les types *Lait Céréales Viande* et *Société*, ou *(ii)* en herbe (associée à des quotas) pour le type *Petite Structure Lait Herbe* qui se traduit par le passage dans les types *Lait Modernisé Herbe*, *Quota Limité Spécialisé* et *Quota Limité Viande* quand l'agrandissement s'accompagne d'une diversification des productions vers la viande,
- soit une diminution de la dimension économique des exploitations, avec pour le type *Lait Modernisé Maïs Viande* un arrêt de la production de viande (passage en *Lait Modernisé Maïs Spécialisé*) ou une diminution de la référence laitière (passage en *Quota Limité Viande*), et pour le type *Petite Structure Lait Herbe*, une diminution globale de la taille des exploitations avec passage en *Très Petite Référence Laitière*, souvent synonyme d'une cessation prochaine d'activité. A noter le nombre important de disparitions d'exploitations, symbolisées sur la figure par des croix noires, pour ce dernier type.

L'ensemble des trajectoires d'exploitations concernant les onze types laitiers est présenté type par type en ***Figure 8***. Les trajectoires des exploitations qui ont changé de type entre 1993 et 1996 sont synthétisées sur la ***Figure 7***. Elles mettent en évidence la diversité des évolutions suivies par les

exploitations, même sur une courte période de trois ans. Ces évolutions correspondent aux grandes tendances évoquées sur les deux exemples précédents, mais interviennent sur des situations initiales d'exploitations différentes.

La diversité des trajectoires d'exploitations, qu'elles aient ou non changé de type, peut être modélisée sous la forme d'une typologie en s'appuyant sur les propriétés du plan factoriel qui constitue un repère mathématique. Ainsi, nous proposons dans une étape ultérieure de construire une typologie des trajectoires selon : *(i)* la position initiale des exploitations dans le plan factoriel, repérée par leurs coordonnées ; *(ii)* la longueur des vecteurs représentant les trajectoires (les trajectoires conduisant à un changement de type sont normalement plus longues que les trajectoires intra-type) ; *(iii)* la direction des vecteurs qui peut être interprétée à l'aide de leur projection sur les axes factoriels et par rapport aux contours des pôles. Les types de trajectoires d'exploitations pourront ensuite être spatialisés en utilisant les méthodes de cartographie statistique exposées précédemment : localisation individuelle des types de trajectoires à la maille communale puis construction d'une typologie de communes selon les types de trajectoires dominants.

4. Conclusion du chapitre

L'hypothèse formulée en début de ce chapitre est partiellement validée. Certains systèmes de production de la plaine des Vosges apparaissent spatialement différenciés, mais d'autres sont beaucoup plus ubiquistes. Ainsi, même si nous avons pu mettre en évidence des régions différentes au sein de la plaine (qui pour certaines correspondent aux PRA comme les Côtes de Meuse), nous ne pouvons toutefois pas vraiment parler de régions homogènes car elles restent constituées d'une mosaïque de types de communes différents. Malgré l'étendue de la plaine des Vosges (3800 km^2), les conditions pédoclimatiques et le contexte socio-économique (notamment la structuration des filières) ne sont pas suffisamment contrastés pour justifier une forte différenciation spatiale des systèmes de production. Nous pouvons d'ailleurs noter que la majeure partie de la plaine des Vosges correspond à la PRA Plateau Lorrain Sud qui se prolonge dans les départements de Meurthe-et-Moselle et de Moselle et dont les contours ont été définis plus par la définition des PRA voisines que par son homogénéité agricole.

De même, l'analyse de l'évolution des systèmes de production n'a pas permis, sauf pour deux types d'exploitations, de dégager des tendances spatialement différenciées. Elle a par contre mis en évidence l'importance des changements intervenus dans les exploitations vosgiennes au cours des trois années consécutives à la Réforme de la PAC de 1992. Les primes à l'hectare instaurées pour les surfaces en céréales et oléo protéagineux (très supérieures à la prime à l'herbe octroyée pour les élevages à faibles chargements) ont favorisé le développement de ces cultures de vente et du maïs ensilage, entraînant une évolution des systèmes à dominante élevage vers des systèmes de polyculture-élevage et une intensification des systèmes fourragers. Cette « céréalisation » et cette intensification des exploitations

s'est accompagnée d'un agrandissement constant des structures d'exploitations également favorisé par les primes compensatoires.

D'un point de vue méthodologique, nous avons utilisé trois démarches dont les différences portaient *(i)* sur l'objet analysé (l'exploitation agricole ou la commune vue comme un ensemble d'exploitations agricoles) et *(ii)* sur le mode de prise en compte de l'espace et du temps (analyse de la différenciation spatiale des systèmes de production une année donnée puis analyse temporelle des évolutions *versus* analyse temporelle des évolutions des systèmes de production puis analyse de la différenciation spatiale des évolutions). Ces démarches apparaissent très sensibles aux changements intervenus dans les exploitations, ce qui peut s'expliquer par au moins deux arguments :

- compte tenu de la procédure de classement des exploitations dans la typologie à dire d'experts, une exploitation qui présente des coefficients de ressemblance proches vis-à-vis de deux pôles d'agrégation, peut être affectée à l'un ou l'autre pôle sans que cela représente forcément un changement important dans sa structure ou son fonctionnement.
- les profils agricoles des communes, même s'ils sont relatifs aux huit systèmes de production et non aux vingt-six types d'exploitations, restent très hétérogènes, en particulier parce que le nombre d'exploitations par commune varie beaucoup en relation avec les différences de taille des communes[16]. L'utilisation des pourcentages ne permet pas totalement de s'affranchir de cet effet « taille ». L'analyse statistique peut ainsi être sensible à un petit nombre d'évolutions d'exploitations qui peut entraîner un changement de type des communes. Nous touchons là aux limites de la maille communale, déjà identifiées en début de chapitre, liées à l'hétérogénéité de sa superficie et au nombre sans cesse décroissant de sièges d'exploitations qui y sont situés.

[16] Des chiffres issus des déclarations PAC des agriculteurs, détaillés dans le chapitre 6, font état de 1 à 78 sièges d'exploitations par commune en 1998 dans les Vosges (y compris la Montagne).

Chapitre 4

Chapitre 4 – Différenciation de régions agricoles selon la diversité des systèmes de production et de leurs évolutions dans le bassin de la Seine

Dans ce chapitre, nous présentons les méthodes et résultats concernant la localisation des activités agricoles décrites par la diversité des systèmes de production et de leurs évolutions sur le bassin de la Seine. Nous partons de la même hypothèse que dans le chapitre précédent, à savoir que la localisation des exploitations agricoles explique en partie les choix de systèmes de production et leurs évolutions, et qu'il existe donc au sein du bassin des espaces caractérisables par des combinaisons similaires de systèmes de production, que nous allons chercher à différencier.

Le plan de ce chapitre est identique au précédent. Il débute par une présentation du matériel et des méthodes employés, qui diffèrent de l'exemple de la plaine des Vosges en raison des différences d'échelles de temps et d'espace investiguées. Nous abordons ensuite les deux étapes de la démarche :

- différenciation de régions agricoles selon la diversité instantanée des systèmes de production,
- différenciation de régions agricoles selon la diversité des évolutions des systèmes de production.

1. Matériel et méthodes

1.1. Le modèle de représentation de la diversité des exploitations agricoles

Dans ce second système géographique de référence, les échelles de temps et d'espace restreignent fortement le choix du modèle de représentation de la diversité des systèmes de production. Ce modèle doit en effet répondre à une double contrainte : *(i)* il doit caractériser la diversité des systèmes de production de sept régions administratives ; *(ii)* il doit constituer un référentiel à peu près stable sur les trente années étudiées, de manière à permettre l'analyse des évolutions d'exploitations. Par rapport à notre objectif d'étude des grandes formes d'agriculture repérées par les systèmes de production dans un cadre macro-régional, le modèle peut se limiter à la représentation des dimensions économiques et des productions agricoles des exploitations.

Compte-tenu de ces éléments, nous choisissons d'utiliser la classification européenne des OTEX en 21 postes en 1973 et en 17 postes depuis 1978, qui différencie les exploitations selon la contribution des différentes spéculations à la constitution d'une marge brute standard. Cette classification distingue cinq pôles principaux de regroupement des spéculations (*Tableau 3*) : grandes cultures, horticulture (légumes et fleurs), cultures permanentes (vignes, arbres fruitiers), herbivores (bovins, ovins, caprins)

et granivores (porcs, volailles). A ces cinq pôles s'ajoutent trois pôles mixtes, qui représentent des exploitations dont la MBS totale ne provient pas à plus de ⅔ d'une même spéculation : association de productions végétales, association de productions animales et association de productions animales et végétales.

Même si le calcul des MBS est régionalisé, cette classification constitue un référentiel commun à l'ensemble des exploitations françaises, facilement mobilisable sur le bassin de la Seine. En revanche, la question de la stabilité de ce référentiel au cours du temps soulève plus de problème : pour suivre au plus près l'évolution des exploitations, les textes communautaires prévoient une actualisation périodique simplifiée des coefficients de calcul des MBS tous les deux ans et un nouveau calcul complet au minimum tous les dix ans (Ministère de l'Agriculture, 1997). Les conséquences de ces actualisations sont assez difficiles à maîtriser, mais nous ne pouvons pas exclure qu'une exploitation de structures fixes peut voir son OTEX modifiée par des variations relatives de la conjoncture affectant les spéculations qu'elle pratique.

Plus gênant encore pour l'analyse des évolutions des systèmes de production, des modifications sont également intervenues sur la définition même des OTEX. La plus importante, réalisée en 1996, a fait disparaître la distinction entre les exploitations affectées à l'OTEX *Céréales* et les exploitations *Céréales et autres grandes cultures*. Désormais, sont distinguées les exploitations spécialisées en *céréales et oléoprotéagineux* et les exploitations à *culture générale* qui pratiquent la culture de plantes sarclées, de légumes frais de plein champ, de tabac et d'autres combinaisons de grandes cultures. Sur les trente années qui nous intéressent, nous pouvons également noter une simplification progressive de la grille des OTEX qui est passée de 21 postes au début des années 1970 à 17 postes dès la fin de cette même décennie.

Ces constatations importantes ne remettent pas en cause l'utilisation de la classification des OTEX pour analyser la localisation des systèmes de production agricoles du bassin de la Seine et leurs évolutions. Elles nous amèneront toutefois à prendre des précautions dans l'interprétation de certains résultats.

Le Tableau 4 présente la définition des catégories d'OTEX que nous avons retenues sur le bassin de la Seine (certaines regroupent plusieurs OTEX) ainsi que leur importance en termes de SAU dans le bassin. En 2000, l'agriculture du bassin de la Seine apparaît dominée par les exploitations spécialisées en céréales et oléaprotéagineux (43%), suivies des exploitations en cultures générales (19%) et grandes cultures et herbivores (17%). Les exploitations d'élevage bovin spécialisées dans la production de lait ou de viande arrivent loin derrière (6% chacune).

Tableau 4 : Définition et importance des OTEX retenues sur le bassin de la Seine (source : Recensements Agricoles)

Dénomination de 1970 à 1988	Code et libellé OTEX 17 postes (avant 1996)	% de SAU en 1970	% de SAU en 1979	% de SAU en 1988	Dénomination en 2000	Code et libellé OTEX 17 postes (depuis 1996)	% de SAU en 2000
Céréales	11 - Céréales	23,7	27,9	19,7	Céréales et oléoprotéagineux	13 – Céréales, oléagineux, protéagineux	48,7
Grandes cultures	12 – Céréales et autres grandes cultures	24	26,5	42,6	Culture générale	14 – Cultures générales	15
Maraîchage	28 – Maraîchage 29 – Fleurs et horticulture diverse	0,2	0,1	0,2	Maraîchage	28 – Maraîchage 29 – Fleurs et horticulture diverse	1,2
Viticulture	37 – Vins de qualité 38 – Autre viticulture	0,7	0,9	1	Viticulture	37 – Vins de qualité 38 – Autre viticulture	1,1
Fruits	39 – Fruits et autres cultures permanentes	0,4	0,3	0,3	Fruits	39 – Fruits et autres cultures permanentes	0,6
Bovins Lait	41 – Bovins lait	8,9	8,5	5,9	Bovins lait	41 – Bovins lait	5,7
Bovins Viande	42 – Bovins élevage et viande	4,2	5,2	5,6	Bovins Viande	42 – Bovins élevage et viande	5,4
Bovins Lait-Viande	43 – Bovins lait et élevage viande	5,3	4,9	3,5	Bovins Lait-Viande	43 – Bovins lait et élevage viande	2,7
Ovins	44 – Ovins, caprins et autres herbivores	2,6	2,5	2,2	Ovins	44 – Ovins, caprins et autres herbivores	2
Granivores	50 – Granivores 72 – Polyélevage à orientation granivores	0,2	0,3	0,2	Granivores	50 – Granivores 72 – Polyélevage à orientation granivores	0,1
Polyculture	60 - Polyculture	2,7	2,4	2,2	Polyculture	60 - Polyculture	1,7
Polyculture-élevage	81 – Grandes cultures et herbivores 71 – Polyélevage à orientation herbivores	26,7	19,7	16	Grandes cultures et herbivores	81 – Grandes cultures et herbivores 71 – Polyélevage à orientation herbivores	15,3
Autres	82 – Autres combinaisons cultures-élevage	0,3	0,5	0,6	Autres combinaisons	82 – Autres combinaisons cultures-élevage	0,5

1.2. La source d'information : les Recensements Généraux Agricoles

Depuis 1970, les Recensements Agricoles sont réalisés selon une périodicité quasi stable de l'ordre de la décennie[17] : les quatre derniers ont ainsi été conduits en 1970, 1979, 1988 et 2000. En tant que recensement national obligatoire, la totalité des exploitations françaises de superficie au moins égale ou équivalente à un hectare y sont répertoriées. La fiche d'enquête aborde les caractéristiques structurelles des exploitations, qui sont décrites par de nombreuses variables : gestion des terres (assolement, équipements hydrauliques), cheptel, équipements (bâtiments, matériel agricole), main d'œuvre (âge des exploitants, composition des familles, formation, etc). A partir de ces variables, le SCEES effectue le calcul des MBS permettant de déterminer l'OTEX de chaque exploitation recensée. Les informations sont disponibles, dans les limites du secret statistique, sur tous les maillages administratifs (de la commune à la région administrative) et sur le maillage des PRA traditionnellement dédié à la diffusion des statistiques agricoles.

[17] Deux RGA ont été conduits avant cette date, en 1929 et en 1955. Ils ne sont toutefois pas informatisés et donnent lieu à peu d'études à notre connaissance.

Les caractéristiques des RGA correspondent aux exigences de description et de spatialisation de la diversité des systèmes de production et de leurs évolutions sur le bassin de la Seine : les quatre derniers RGA couvrent les trois décennies qui nous intéressent, ils renseignent les variables nécessaires au calcul des OTEX, référentiel typologique que nous avons choisi sur cette zone, et ils autorisent une localisation de ces OTEX sur les maillages unitaires que nous avons sélectionnés pour nos besoins de spatialisation. Toutefois, nous ne disposons pas d'informations individuelles sur les exploitations, et les évolutions de systèmes de production ne pourront être appréciées que de manière agrégée sur ces maillages.

Le RA 2000 a dénombré 100 000 exploitations agricoles sur le bassin de la Seine, en diminution de 40% depuis 1970 (Tableau 5). La SAU du bassin est cependant restée relativement constante, mais a connu d'importantes variations des occupations du sol : les surfaces en blé ont progressé de 50% en trente ans, alors que les prairies permanentes ont fortement régressé (- 25%) en parallèle à la diminution du cheptel bovin.

Tableau 5 : Repères sur l'évolution de l'agriculture du bassin de la Seine entre 1970 et 2000 (source : Recensements Agricoles)

	1970	1979	1988	2000	% de l'agriculture française en 2000
Nombre d'exploitations	175 000	145 000	125 000	100 000	15%
SAU	7,2 M ha	7,2 M ha	7 M ha	7 M ha	25%
Surfaces en blé	1,4 M ha	1,8 M ha	2 M ha	2,2 M ha	45%
Surfaces en betterave	310 000 ha	430 000 ha	340 000 ha	325 000 ha	80%
Surfaces en prairies permanentes	1,9 M ha	1,7 M ha	1,4 M ha	1,4 M ha	17%
Cheptel bovin	3,8 M têtes	3,6 M têtes	3 M têtes		

1.3. Le maillage spatial unitaire

Concernant la problématique agriculture et pollution nitrique des eaux du PIREN-Seine, le maillage spatial doit là encore répondre à trois exigences principales : *(i)* il doit avoir *a priori* une signification pour décrire des dynamiques agricoles représentées par des évolutions de systèmes de production et de systèmes de culture, qui seront par la suite mobilisées dans une réflexion prospective ; *(ii)* la précision spatiale de la maille doit être suffisante pour que la localisation des données relatives aux pratiques agricoles soit compatible avec la mise en œuvre du modèle de culture et du modèle hydrogéologique chargés de simuler les flux de nitrates dans l'hydrosystème ; *(iii)* les sources d'informations disponibles sur ce maillage doivent être de bonne qualité. Par rapport à ces exigences, le maillage des PRA nous paraît constituer le meilleur compromis (Figure 9) :

- nous posons l'hypothèse que, de par la méthode qui a présidé leur délimitation au début des années cinquante, les PRA ont *a priori* un sens pour décrire des dynamiques agricoles. Bien que variables d'un département à un autre, les critères de délimitation portaient principalement sur les conditions de sol et de climat et sur la nature des activités agricoles. Sur les trente années qui nous intéressent, malgré les progrès techniques et agronomiques sans précédent qui ont accompagné de

profondes mutations agricoles, la production agricole est restée en partie dépendante des conditions pédo-climatiques. De ce fait, les PRA nous paraissent pertinentes pour constituer le cadre spatial de description de ces mutations passées. Toutefois, la perspective d'intégrer ultérieurement ce travail rétrospectif dans une réflexion prospective nous amènera à nous interroger plus avant sur leur pertinence actuelle, en proposant une méthode de validation de leur délimitation.

- la précision spatiale des mailles PRA, qui sont au nombre de 147 sur le bassin, est relativement bonne au regard des 95 000 km^2 couverts par le bassin de la Seine. La superficie moyenne des PRA du bassin s'élève ainsi à 425 km^2, mais elle cache une importante variabilité qui s'étend de 50 km^2 pour les Buttes de Dammartin en Seine-et-Marne à 3600 km^2 dans la Champagne crayeuse de la Marne. Pour évaluer si cette précision est suffisante dans le cadre du processus de modélisation des flux de nitrates, nous pouvons la comparer avec la précision des autres maillages spatiaux qui sont porteurs des informations relatives aux conditions de sol et de climat : à défaut de référentiel pédologique sur l'ensemble du bassin de la Seine, les sols sont décrits au moyen de la carte des sols de France au 1/1 000 000ème (King *et al.*, 1995), alors que les données météorologiques sont agrégées sur une maille très fine au pas de 8 km^2. Les PRA constituent donc un maillage intermédiaire, qui offre de plus un atout important au regard de la modélisation hydrogéologique : elles présentent une bonne concordance avec les grands ensembles géologiques des aquifères du bassin. Cette concordance s'avère particulièrement nette entre le Morvan et le socle granitique, la Champagne crayeuse et les couches du Crétacé supérieur, la Champagne humide et les couches du Crétacé inférieur, et enfin pour le Barrois, les plateaux de Langres et de Bourgogne et les couches du Jurassique.

Figure 9 : Maillage des Petites Régions Agricoles du bassin de la Seine

- enfin, en tant qu'unique découpage spécifiquement dédié à l'analyse spatiale de l'agriculture par les services nationaux de statistique agricole, il constitue un maillage de référence de nombreuses enquêtes nationales que nous serons amenés à utiliser.

Les ***Figures 9a à 9f*** illustrent la localisation, à la maille PRA, de sept OTEX en 1970 ainsi que l'évolution qu'a suivie cette localisation entre 1970 et 1988.

Les maillages communal et départemental ont été d'emblée éliminés. Le premier ne permet pas une utilisation optimale des statistiques agricoles nationales, et en particulier des RGA, en raison du secret statistique mais également du biais croissant lié à l'exploitation de parcelles agricoles en dehors des communes où sont localisés les sièges d'exploitations, deux raisons dont nous pouvons supposer qu'elles sont particulièrement prégnantes dans les zones de grandes cultures du Bassin parisien : la précision spatiale de la commune, au demeurant certainement excessive au regard du système géographique de référence et injustifiée au regard de la problématique, est ainsi affectée par l'imprécision des données qui y sont disponibles. Le second maillage apparaît à l'inverse trop grossier : 23 départements couvrent le bassin de la Seine, qui masquent d'importantes hétérogénéités internes.

Enfin, le maillage cantonal mérite que nous lui accordions une attention particulière. En tant que maillage administratif au sens strict, il apparaît assez peu pertinent pour décrire des dynamiques agricoles dans le cadre d'une problématique liant agriculture et qualité des eaux[18]. Toutefois, il présente une meilleure résolution spatiale que la PRA – 707 cantons couvrent le bassin de la Seine – qui peut être utile pour révéler d'éventuelles différenciations spatiales agricoles intra-PRA, et qui peut nous aider à discuter ce maillage. Nous serons donc amenés à utiliser le maillage cantonal pour évaluer la pertinence actuelle du maillage des PRA.

1.4. Les méthodes de cartographie statistique

1.4.1 La cartographie de synthèse

Pour différencier des régions selon la diversité des systèmes de production à un moment donné, nous choisissons de tester deux méthodes de régionalisation. La première est identique à celle du chapitre précédent : elle consiste à grouper en types les PRA qui présentent des caractéristiques similaires en termes de types de systèmes de production. Sont qualifiés de régions les groupes de PRA contiguës qui appartiennent à un même type.

La seconde méthode consiste à mettre en évidence au sein du bassin de la Seine des discontinuités entre PRA voisines, qui révèlent des dissemblances en termes de types de systèmes de production. Elle vise ainsi à diviser l'ensemble de la zone d'étude en parties. Contrairement à la méthode précédente dans laquelle les mailles spatiales sont comparées les unes aux autres indépendamment de leur

[18] Pourtant, l'AESN privilégie ce maillage pour l'analyse technico-économique de l'agriculture du territoire Seine – Normandie.

localisation géographique, mettant ainsi en évidence des différenciations globales, elle ne compare entre elles que les mailles spatiales contiguës et se focalise sur l'analyse des différenciations locales. La technique d'analyse mobilisée est l'Analyse en Composantes Principales des Différenciations Locales, appliquée sur les individus statistiques que sont les limites entre mailles (Encadré 3).

Encadré 3 : Principe de l'Analyse en Composantes Principales des Différenciations Locales

La technique présentée ici a été en particulier développée par Grasland (1997). L'analyse en composantes principales peut être détournée de son usage habituel et appliquée à l'étude des différences, non pas entre un ensemble de mailles spatiales, mais entre un ensemble de limites de mailles spatiales. Chaque paire de mailles spatiales contiguës est décrite par les différences de pourcentage sur chacune des variables qui les caractérisent (dans notre cas, les types d'exploitations), en conservant le signe de la différence. Cela revient à dire que chaque couple de mailles spatiales intervient deux fois dans l'analyse, mais avec des profils de différenciation ayant des signes opposés.

Les limites de mailles spatiales correspondant à de faibles discontinuités, c'est-à-dire à de faibles différences de combinaisons de types d'exploitations, ont des coordonnées faibles ou nulles sur les différents axes factoriels, tandis que les fortes discontinuités se traduisent par des coordonnées élevées sur un ou plusieurs axes factoriels. Chaque composante principale révèle donc un type précis de différenciation locale, c'est-à-dire une combinaison récurrente de différences de poids de types d'exploitation entre les mailles spatiales voisines. L'orientation des axes factoriels permet en outre de préciser le sens des différences. La cartographie des limites de mailles spatiales présentant les coordonnées les plus élevées sur les axes factoriels permet de visualiser des discontinuités spatiales au sein des zones étudiées.

Ce type d'analyse apporte des informations complémentaires à une ACP classique : en se focalisant sur les différences entre mailles contiguës, et non plus entre mailles quelconques, elles peuvent contribuer à mettre en évidence des facteurs de différenciation locaux non dégagés dans une analyse classique, qui ne permet de mettre en évidence que des facteurs de différenciation globaux sur l'ensemble des mailles étudiées.

1.4.2 La spatialisation d'évolutions d'exploitations

Comme le chapitre précédent, nous présentons deux méthodes pour identifier des régions caractérisées par des combinaisons similaires de formes d'évolutions d'exploitations. Sur le bassin de la Seine, compte tenu de la modification de la définition des OTEX intervenue en 1996, ces méthodes n'ont été mises en œuvre qu'à partir des RGA de 1970, 1979 et 1988.

La première méthode consiste à comparer les régionalisations effectuées aux trois dates de recensement, en calculant et spatialisant les matrices de passage des PRA entre types. La seconde méthode repose sur le concept de trajectoire appliqué non plus aux exploitations agricoles mais aux mailles spatiales considérées comme des ensembles d'exploitations en évolution. Elle ne nécessite pas la disponibilité d'informations individuelles à l'exploitation qui, comme nous l'avons vu, s'avère assez rare aux échelles régionales, car les informations sont le plus souvent agrégées sur un maillage spatial. Elle vise à modéliser les trajectoires des PRA du bassin de la Seine en fonction de l'évolution des combinaisons de types d'exploitations qui y sont situés, puis à en construire une typologie qui est ensuite cartographiée.

Cette méthode est très proche de celle présentée sur la plaine des Vosges, puisque ne diffère que la nature du tableau initial. L'ACP est ici réalisée sur le tableau croisé des pourcentages d'exploitations

ou de SAU[19] par type d'exploitation et par maille spatiale sur la première année de la période étudiée. Les images des mailles spatiales relatives aux autres années sont projetées sur le premier plan factoriel en tant qu'individus supplémentaires puis reliées entre elles de façon à constituer les trajectoires. La variation du poids des types d'exploitations dans les mailles au cours de la période entraîne un « déplacement » de leur image dans le plan factoriel. La longueur des vecteurs qui composent les trajectoires est d'autant plus grande que les variations de types d'exploitations ont été importantes.

Les trajectoires d'évolution des PRA, constituées de deux vecteurs, sont comparées visuellement selon trois principaux critères, de manière à en construire une typologie (Figure 10) : *(i)* la position initiale des PRA dans le plan factoriel, qui distingue les PRA de culture, de polyculture-élevage ou d'élevage en 1970 ; *(ii)* l'orientation des vecteurs par rapport aux deux axes factoriels, qui peut traduire une évolution régulière (les deux vecteurs qui forment la trajectoire vont dans la même direction) ou un changement d'orientation (les deux vecteurs d'une trajectoire forment un angle aigu) ; *(iii)* la longueur de la trajectoire qui reflète l'ampleur de l'évolution.

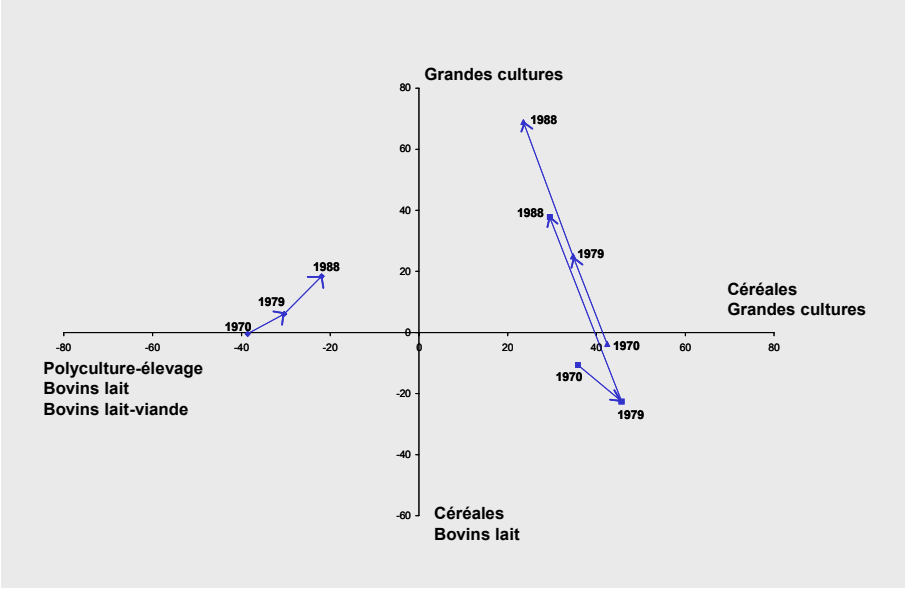


Figure 10 : Trois exemples de trajectoires dans le 1er plan factoriel de l'ACP sur les % de SAU par OTEX et par PRA en 1970

[19] Nous verrons que selon les problématiques considérées, il peut être intéressant de ne pas seulement évaluer le poids d'un type d'exploitation en termes de nombre d'exploitations.

2. Différenciation de régions agricoles selon la diversité instantanée des systèmes de production

2.1. Régionalisation par agrégation de mailles spatiales

2.1.1 Les RGA de 1970, 1979 et 1988

Comme pour la plaine des Vosges, la typologie des PRA du bassin de la Seine selon leur profil agricole une année donnée est obtenue par ACPC sur le tableau croisé des pourcentages de SAU par OTEX et par PRA, puis par CAH selon la méthode du minimum de variance de Ward sur les quatre premiers facteurs issus de l'ACPC (mais contrairement à l'exemple précédent, à chaque année de recensement correspond une ACPC). Pour cette analyse, nous avons choisi de considérer le poids des OTEX par PRA non plus en termes de nombre d'unités économiques mais en termes d'emprise sur le territoire, car cela nous paraissait avoir plus de signification dans le cadre d'une problématique visant à rapprocher agriculture et pollutions diffuses de la ressource en eau.

Concernant ces trois années, les trois premières composantes principales résument entre 86 et 89% de l'information contenue dans les tableaux initiaux (***Figure 10***). Les plans factoriels obtenus en 1970 et 1979 apparaissent très proches :

- l'axe 1, le plus informatif (près de 50% de l'inertie), traduit une opposition entre les OTEX *Céréales* et *Grandes cultures* d'une part et les OTEX *Polyculture-élevage*, *Bovins lait* et *Bovins viande* d'autre part,
- l'axe 2 (environ un quart de l'inertie) différencie l'OTEX *Grandes cultures* de l'OTEX *Céréales* qui est associée à l'OTEX *Bovins lait*,
- enfin, l'axe 3 distingue l'OTEX *Polyculture –élevage* des OTEX *Bovins lait* et *Bovins lait-viande*.

La signification des axes factoriels est légèrement modifiée en 1988, reflétant ainsi des transformations certainement plus importantes des systèmes de production agricoles sur la décennie quatre-vingts. Si l'axe 1 oppose toujours des OTEX de cultures à des OTEX d'élevage, ce sont maintenant les OTEX *Grandes cultures* et *Polyculture-élevage* qui contribuent le plus à sa formation, respectivement dans ses parties positive et négative. L'axe 2 distingue encore l'OTEX *Grandes cultures* de l'OTEX *Céréales*, mais la contribution de l'OTEX *Bovins lait* diminue alors que celle de l'OTEX *Polyculture-élevage* augmente au côté des *Grandes cultures*. Enfin, les différences les plus importantes concernent l'axe 3, expliqué dans sa partie positive par l'OTEX *Bovins viande*, et dans sa partie négative par l'OTEX *Polyculture-élevage* puis seulement par les OTEX *Bovins lait* et *Bovins lait-viande*. Ces modifications traduisent une diminution du nombre de PRA spécialisées dans la production laitière (avec ou sans production de viande jointe), qui se sont diversifiées vers les cultures de vente, certainement suite à l'instauration du contingentement laitier en 1984. Par contre, ce

mouvement de déspécialisation et de céréalisation n'a pas concerné les PRA spécialisées dans la production de viande bovine, qui deviennent ainsi très particulières au sein du bassin de la Seine.

A la suite de ces ACPC, nous distinguons par CAH huit types de PRA définis par une combinaison d'OTEX dominantes (Tableau 6). Cinq sont communs aux trois années, même si les pourcentages moyens de SAU par OTEX peuvent légèrement varier d'une année à l'autre. La cartographie de ces types de PRA permet de segmenter le bassin de la Seine en régions homogènes qui correspondent à des groupes de PRA contiguës appartenant à un même type.

Ainsi, en 1970, le bassin de la Seine apparaît constitué de cinq régions agricoles principales (***Figure 11***). Au centre se trouvent les PRA à dominante *Céréales - Grandes cultures* autour de la Beauce et dans le sud Seine-et-Marne, ou à dominante *Grandes cultures - Céréales* au nord de Paris (Plateau picard, Soissonnais, St Quentinnois et Laonnois) et à l'est (Champagne crayeuse). Sur les bordures ouest et est, sont localisées les PRA orientées vers des activités d'élevage : polyculture-élevage bovin lait en Normandie (Pays de Caux, Vallée de Seine, Pays d'Ouche, Perche), en Lorraine (Barrois, Argonne) et dans le Barrois haut-marnais ; dominance de l'élevage bovin laitier spécialisé dans les Ardennes (Ardenne, Thiérache), le Bassigny et quelques PRA normandes et picardes (Lieuvin, Pays de Bray) ; dominance de l'élevage bovin viande dans le Morvan et le Nivernais central. Enfin, entre les PRA du centre et celles de la bordure est, apparaît une zone de transition, au niveau des départements de l'Yonne et du Loiret, constituée de PRA mixtes orientées vers la polyculture-élevage et les céréales (Bries laitière et champenoise, Gâtinais, Orléanais, Plateau de Bourgogne et Plateau langrois).

En 1979, les PRA du centre du bassin versant ont globalement conservé les mêmes orientations : céréales au sud-ouest de Paris, grandes cultures au nord-est. Quatre groupes de PRA en bordure du bassin maintiennent également leur orientation vers des activités d'élevage associées à de la polyculture : Normandie, Ardennes – nord Meuse et Haute-Marne pour l'élevage laitier, Nièvre pour l'élevage viande. Quant à la zone de transition, elle semble progressivement s'étendre vers l'est du bassin : une partie bascule vers une plus forte proportion des OTEX *Céréales* et *Grandes cultures*, tandis que l'autre plus à l'est (correspondant au Barrois meusien et haut-marnais et au Plateau langrois) passe d'une dominance *Polyculture-élevage – Elevage bovin lait* en 1970 à une dominance *Polyculture-élevage – Céréales – Grandes cultures*.

Enfin, la carte obtenue en 1988 offre une image très différente de la partie centrale du bassin de la Seine. Un nouveau type de PRA, presque entièrement spécialisées dans les grandes cultures (en moyenne 82% de la SAU dans l'OTEX 12), est présent dans les départements de l'Aisne, de la Marne et de l'Aube (Goëlle et Multien, Soissonnais, St Quentinnois et Laonnois, Champagne crayeuse). La région à dominante *Grandes cultures*, jusqu'alors cantonnée au nord du bassin, gagne vers le sud et l'est, et confine au sud-ouest de Paris la zone à dominante *Céréales*, dans les PRA de la Beauce, du

Drouais, du Plateau d'Evreux St André, de l'Hurepoix et de la forêt de Fontainebleau. Par contre, les quatre régions d'élevage identifiées en 1979 semblent se maintenir, avec pour le type *Elevage bovin lait/viande – Polyculture-élevage* une progression de l'OTEX *Grandes cultures* (12% de la SAU des PRA en moyenne).

Tableau 6 : Définition des 8 classes de PRA selon les combinaisons d'OTEX dominantes en 1970, 1979 et 1988 dans le bassin de la Seine

	1970	1979	1988
Grandes cultures			82% grandes cultures (12) 9% céréales (11)
Grandes cultures – Céréales	54% grandes cultures (12) 21% céréales (11) 13% polyculture-élevage (82)	63% grandes cultures (12) 22% céréales (11) 7% polyculture-élevage (82)	56% grandes cultures (12) 28% céréales (11) 9% polyculture-élevage (82)
Céréales – Grandes cultures	67% céréales (11) 21% grandes cultures (12) 7% polyculture-élevage (82)	74% céréales (11) 16% grandes cultures (12) 5% polyculture-élevage (82)	57% céréales (11) 27% grandes cultures (12)
Céréales – Grandes cultures – Polyculture-élevage		37% céréales (11) 21% grandes cultures (12) 20% polyculture-élevage (82)	
Polyculture-élevage – Céréales Grandes cultures	42% polyculture-élevage (82) 23% céréales (11) 18% grandes cultures (12)	49% polyculture-élevage (82) 19% céréales (11) 9% grandes cultures (12)	34% polyculture-élevage (82) 30% grandes cultures (12) 18% céréales (11)
Polyculture-élevage – Elevage bovin lait	51% polyculture-élevage (82) 15% bovin lait (41) 12% bovin lait-viande (42)		
Elevage bovin lait/viande – Polyculture-élevage	53% bovin lait (41) 18% bovin lait-viande (42) 16% polyculture-élevage (82)	38% bovin lait (41) 21% polyculture-élevage (82) 17% bovin lait-viande (42)	24% bovin lait (41) 22% polyculture-élevage (82) 13% bovin lait-viande (42) 12% grandes cultures (12)
Elevage bovin viande – Polyculture-élevage	29% bovin viande (43) 17% polyculture-élevage (82) 13% ovin (44)	48% bovin viande (43) 21% polyculture-élevage (82) 13% ovin (44) 11% bovin lait-viande (42)	56% bovin viande (43) 21% polyculture-élevage (82) 11% ovin (44)

2.1.2 Le RA 2000

La révision de la classification des OTEX entre 1988 et 2000 rend l'analyse du bassin de la Seine réalisée d'après le dernier RA très difficilement comparable aux précédentes. Elle peut être utilisée pour décrire les activités agricoles et leur différenciation spatiale sur cette année, mais il serait hasardeux d'en tirer des conclusions en termes de dynamiques agricoles. Exprimant 87% de l'inertie totale du nuage de points, les trois premiers axes factoriels montrent une signification proche de celle décrite en 1988 (***Figure 12***) : opposition entre l'OTEX *Céréales et oléoprotéagineux* et les OTEX d'élevage (*Polyculture-élevage*, *Bovins viande* et *Bovins lait*) sur l'axe 1, opposition entre l'OTEX *Culture générale* et les OTEX *Polyculture-élevage* et *Céréales et oléoprotéagineux* sur l'axe 2, et enfin distinction des OTEX *Polyculture-élevage* et *Bovins viande* sur l'axe 3. Nous pouvons noter que les OTEX *Bovins lait* et *Bovins lait-viande* contribuent de moins en moins au calcul des axes

factoriels, suggérant ainsi la poursuite du mouvement de déspécialisation laitière engagé dans les années quatre-vingts.

La cartographie des types de PRA obtenus à l'issue de la CAH sur facteurs montre que le RA 2000 ne remet pas en cause les grandes régions agricoles définies en 1988 (*Figure 13, Annexe*). La zone orientée vers les productions de céréales et d'oléoprotéagineux reste cantonnée au sud de Paris, alors que l'OTEX *Culture générale* est dominante au nord, voire très largement majoritaire en Champagne crayeuse et dans le Soissonnais, le St Quentinnois et Laonnois et le Santerre. Hormis quelques PRA à l'extrême sud du bassin, toujours dominées par l'élevage bovin viande, les bordures du bassin, à l'ouest comme à l'est, sont caractérisées par une majorité de systèmes de polyculture - élevage, associés en moindre mesure avec des systèmes laitiers spécialisés. Enfin, le territoire des PRA de transition qui forme un long croissant caractéristique de la bordure est du bassin, est essentiellement exploité par l'OTEX *Céréales et oléoprotéagineux*, à laquelle s'ajoute l'OTEX de polyculture – élevage.

Pour construire ces cartes, nous avons choisi de travailler sur la part de la SAU exploitée par chaque OTEX dans chaque PRA, qui nous paraissait être le critère le plus représentatif pour mesurer l'emprise des différents systèmes de production sur le territoire du bassin de la Seine et pour instruire les relations entre agriculture et qualité des eaux. Il peut être envisageable, à l'instar des analyses conduites sur la plaine des Vosges, de conduire la même démarche sur le nombre d'exploitations affectées à chaque OTEX dans chaque PRA (ramené en pourcentage), en adoptant un point de vue plus « humain », centré sur les unités économiques de production et sur la main d'œuvre agricole. La part de l'inertie expliquée par les trois premiers axes de l'ACPC (***Figure 12***) est légèrement inférieure à celle de l'ACPC sur les SAU (80 % au lieu de 87%). Par contre, la signification des axes factoriels est très différente puisque les OTEX *Viticulture*, *Maraîchage* et *Ovins* qui n'intervenaient que très peu dans le calcul des axes de la précédente analyse, y contribuent maintenant de façon importante. Ces trois OTEX ont en commun de représenter des exploitations agricoles en général de faible superficie, mais qui peuvent être nombreuses dans certaines régions du bassin de la Seine. Ainsi, si l'axe 1 oppose classiquement l'OTEX *Céréales et oléoprotéagineux* aux OTEX d'élevage, l'axe 2 permet de distinguer les PRA viticoles, alors que l'axe 3 différencie les PRA orientées vers l'OTEX *Culture générale* et les PRA maraîchères.

Toutefois, le découpage obtenu à partir de cette analyse apparaît globalement assez peu différent de celui basé sur le critère de la SAU (***Figure 13***). Il révèle des groupes de PRA connexes aux orientations agricoles contrastées, grossièrement réparties en auréoles concentriques autour de Paris : concentration des exploitations maraîchères dans les PRA de la couronne parisienne, spécialisation dans les céréales et les oléoprotéagineux ou spécialisation dans les cultures générales dans un cercle élargi de PRA, puis combinaison d'exploitations céréalières et d'exploitations de polyculture-élevage, et enfin maintien d'exploitations d'élevage à côté d'exploitations de polyculture-élevage en bordure de bassin

(Normandie, Ardennes, Haute-Marne et Morvan). La principale différence tient en l'apparition de deux types de PRA très localisés, qui n'étaient pas mis en évidence lors de l'étude des surfaces : il s'agit d'une part des PRA maraîchères de la Ceinture de Paris, et d'autre part des PRA viticoles de la Marne et de l'Aube (Vignoble rémois et Vignoble du Barrois).

Les deux démarches apportent donc des informations complémentaires sur la différenciation spatiale des systèmes de production agricoles dans le bassin de la Seine. Elles montrent toute l'importance du choix initial du critère de quantification du poids des OTEX dont dépendent les caractéristiques des régionalisations finales.

2.2. Régionalisation par recherche de discontinuités spatiales

L'ensemble des ACPC conduites précédemment a permis de dégager des facteurs de différenciation des PRA du bassin de la Seine, que nous qualifions de globaux : ils représentent des combinaisons de types d'exploitations calculées sur l'ensemble des PRA indépendamment de leur localisation les unes par rapport aux autres. Nous proposons maintenant de conduire un autre type d'ACPC permettant d'effectuer une analyse locale des facteurs de différenciation spatiale : cette analyse n'est plus conduite sur les pourcentages de SAU par OTEX et par PRA, mais sur les différences de pourcentages calculées sur chaque paire de PRA contiguës, en conservant le signe de la différence. Chaque composante principale révèle un type précis de différenciation locale, c'est-à-dire une combinaison récurrente de différences des OTEX entre les PRA voisines. L'orientation des axes factoriels permet en outre de préciser le sens des différences et de le cartographier.

Cette méthode de régionalisation n'a plus pour objectif de former des régions homogènes en agrégeant des mailles spatiales qui présentent des combinaisons similaires de types d'exploitations, mais d'identifier des discontinuités spatiales observées sous la forme de lignes de différenciation entre deux groupes de mailles qui présentent chacun un certain degré d'homogénéité interne.

L'ACPC conduite d'après le RA 2000 sur les différences de pourcentages de SAU par OTEX porte sur 439 couples de PRA contiguës. Résumant à elle seule près de la moitié de l'information sur les discontinuités (48,2%), la première composante des différenciations locales met en évidence des discontinuités entre des régions qui sur représentent l'OTEX *Céréales et oléoprotéagineux* et des régions qui sur représentent soit l'OTEX *Culture générale*, soit les OTEX d'élevage bovin (*Bovins lait*, *Bovins viande*, *Bovins lait-viande*), soit l'OTEX *Maraîchage*. La carte des limites ayant les coordonnées les plus importantes sur cet axe (***Figure 14***) montre deux formes principales de discontinuités :

- les discontinuités annulaires correspondent à la fermeture (ou la quasi fermeture) d'une PRA par un ensemble de segments qui la différencient de toutes ses voisines. Cette forme de discontinuité révèle des exceptions locales.

- les discontinuités linéaires définissent des lignes de partage entre deux ensembles de PRA ayant des caractéristiques différentes. Les discontinuités « fermées » entourant un grand nombre de mailles sont également qualifiées de discontinuités linéaires[20].

La première composante principale révèle cinq grandes discontinuités linéaires. Trois d'entre elles séparent les régions périphériques du bassin caractérisées par des OTEX d'élevage des régions intérieures orientées vers l'OTEX *Céréales et oléoprotéagineux* : au sud, le Nivernais central, le Morvan et l'Auxois caractérisés par une sur représentation de l'OTEX *Bovins viande* ; à l'ouest, le Perche, le Pays d'Ouche, le Plateau de Neubourg, la Vallée de la Seine (en Seine-Maritime) et le Pays de Bray, caractérisés par une sur représentation des OTEX *Bovins lait et Bovins lait-viande* ; à l'est, le Bassigny de la Haute-Marne et le Barrois des Vosges où l'OTEX *Bovins lait* est sur représentée. Au centre du bassin, deux discontinuités linéaires distinguent des ensembles de PRA aux caractéristiques bien particulières : la Champagne crayeuse, le Pays Rémois, la Vallée et le Vignoble de la Marne forment un premier ensemble défini par une sur représentation de l'OTEX *Culture générale* par rapport aux PRA environnantes ; la Ceinture de Paris et la Brie française de Seine-et-Marne en forment un second identifié par une sur représentation de l'OTEX *Maraîchage*. Entre les PRA d'élevage de Normandie, le Pays de Bray au nord, la Ceinture de Paris et la Beauce du Loiret, se situe un ensemble de PRA qui semble présenter un certain degré d'homogénéité, en étant caractérisé par une sur représentation de l'OTEX *Céréales et oléoprotéagineux*.

En plus de ces discontinuités linéaires apparaissent des discontinuités annulaires, qui révèlent des PRA isolées aux caractéristiques très différentes de celles qui les entourent. C'est le cas en particulier de la Champagne humide dans la Marne et en Haute-Marne : la première présente une sur représentation de l'OTEX *Céréales et oléoprotéagineux* par rapport à la Champagne crayeuse à l'ouest (dominée par l'OTEX *Culture générale*) et à l'Argonne à l'est (dominée par les OTEX d'élevage). Plus qu'une exception locale, elle peut être considérée comme une PRA de transition entre régions de grandes cultures et régions d'élevage. A l'inverse, la seconde peut être définie comme une particularité locale caractérisée par une sur représentation des OTEX d'élevage laitier ou mixte, qui lui donne un statut très différent des PRA qui l'entourent.

La deuxième composante principale (27,5% des variations) permet d'identifier des discontinuités qui caractérisent des limites séparant des PRA où l'OTEX *Culture générale* est sur représentée et des PRA où les OTEX *Bovins lait* et/ou *Grandes cultures et herbivores* (ou dans une moindre mesure les OTEX *Viticulture* et *Maraîchage*) sont sur représentées. Elle met en évidence trois principales discontinuités linéaires : l'une d'elles s'étend de la Thiérache à l'Argonne en passant par les Crêtes pré-ardennaises au nord-est du bassin ; une autre sépare le Pays de Bray et la PRA entre Bray et Picardie orientées vers la polyculture-élevage du reste du département de l'Oise ; la dernière isole les

[20] Mais il reste un problème de seuil : il est délicat de définir à partir de quel effectif de mailles ou de superficie on passe d'une exception locale à une entité spatiale de niveau supérieur.

Vallées de la Marne et du Morin, la Brie laitière et la Brie champenoise. Toutes les trois délimitent en leur centre un espace constitué d'un ensemble de PRA où l'OTEX *Culture générale* est plus répandue qu'ailleurs (hormis peut-être dans le Noyonnais).

Les discontinuités associées au troisième axe factoriel correspondent à une part beaucoup plus réduite de l'information (8% des variations). Elles mettent en évidence les limites entre des PRA spécialisées dans des activités d'élevage et des PRA de polyculture-élevage. Le Morvan, où l'OTEX *Bovins viande* est sur représentée, est ainsi différencié de l'Auxois, où l'OTEX *Grandes cultures et herbivores* est plus présente (les PRA du Morvan situées dans l'Yonne et la Côte d'Or constituant une région de transition). A l'ouest, le Pays d'Auge du Calvados et de l'Orne est différencié du Pays d'Ouche. Au nord, la Thiérache et l'Ardenne sont séparées des Crêtes pré-ardennaises.

2.3. Comparaison entre analyse des différenciations globales et analyse des différenciations locales

L'analyse des différenciations locales, conduite sur les limites entre mailles spatiales, et l'analyse des différenciations globales, conduite sur les mailles spatiales en elles-mêmes indépendamment de leur localisation, ne suivent pas les mêmes objectifs. Même si les résultats de la première mettent en évidence des discontinuités qui isolent des ensembles de PRA homogènes dont les principaux peuvent également être révélés par la seconde, nous pouvons souligner des différences importantes entre les deux démarches :

- la signification des axes factoriels n'est pas la même d'une analyse à l'autre. Sur le bassin de la Seine, si l'OTEX *Céréales et oléoprotéagineux* contribue à l'explication de la première composante principale dans les deux analyses, les OTEX auxquelles elle est opposée ne sont pas les mêmes : *Grandes cultures et herbivores*, *Bovins viande* et *Bovins lait* pour l'analyse des différenciations globales ; *Culture générale*, *Bovins viande, lait et lait-viande* et *Maraîchage* pour l'analyse des différenciations locales (l'OTEX *Maraîchage* n'intervenant pas du tout dans la formation des premières composantes principales de l'analyse des différenciations globales). L'ACP des différenciations locales fait ainsi ressortir soit des OTEX très localisées dans la zone d'étude, soit des limites correspondant aux dissemblances les plus fortes qui s'expliquent différemment selon leur localisation au sein des zones d'étude.
- dans l'analyse des différenciations globales, les types de mailles spatiales obtenus peuvent correspondre à plusieurs régions homogènes localisées à des endroits différents du bassin de la Seine. Par exemple, le type de PRA caractérisé par une combinaison dominante des OTEX *Grandes cultures et herbivores*, *Bovins lait* et *Céréales et oléoprotéagineux* forme principalement deux régions homogènes localisées aux extrémités nord-ouest et nord-est du bassin. L'analyse des différenciations locales, si elle identifie bien ces mêmes régions, ne permet pas de les comparer entre elles, puisqu'elle se limite à la comparaison des PRA contiguës.

Par rapport à notre objectif qui est de caractériser des régions au sein du bassin de la Seine dont l'agriculture a un impact différencié en termes de pollution diffuse de l'hydrosystème par l'ion nitrate, nous privilégions l'analyse des différenciations globales, qui compare l'ensemble des PRA les unes par rapport aux autres et aboutit à un découpage exhaustif du bassin. Nous verrons toutefois en discussion que l'analyse des différenciations locales est bien adaptée à d'autres objectifs.

3. Différenciation de régions agricoles selon la diversité des évolutions des systèmes de production

3.1. Comparaison de régionalisations instantanées répétées dans le temps

Pour affiner la comparaison visuelle des segmentations du bassin de la Seine obtenues en 1970, 1979 et 1988, nous proposons de décomposer les évolutions par type de PRA d'une année donnée, en calculant les matrices de transition des PRA de la typologie de 1970 vers la typologie de 1979, de la typologie de 1979 vers la typologie de 1988, et enfin de la typologie de 1970 vers la typologie de 1988. La ***Figure 15*** illustre la décomposition de l'évolution des PRA entre 1970 et 1988 : pour chaque type de PRA défini en 1970, elle représente la distribution des PRA dans les types définis en 1988, et la signification de leur évolution sous-jacente.

La lecture de ces cartes montre que les évolutions des PRA d'un même type en 1970 sont plus ou moins similaires selon les caractéristiques initiales des PRA. Les types de PRA d'élevage en 1970 présentent la plus forte stabilité : maintien de l'orientation *Elevage bovin viande – Polyculture-élevage* dans les PRA du Morvan et du Nivernais central ; dominance de l'élevage bovin lait dans le Pays de Bray et le Lieuvin au nord-ouest, dans les Ardennes et dans le Bassigny de Haute-Marne, même si l'élevage spécialisé diminue au profit de la polyculture-élevage et des grandes cultures.

Les types de PRA de culture en 1970 semblent suivre une évolution similaire. Le gradient d'évolution des PRA du type *Céréales – Grandes cultures* en 1970 illustre la différenciation spatiale des évolutions entre l'ouest et l'est de Paris : stabilité dans la combinaison des OTEX à l'ouest, développement des grandes cultures associées aux céréales au centre (Vallée de la Champagne crayeuse, Champagne crayeuse de l'Aube), et enfin, fort développement des grandes cultures à l'est.

Le type *Polyculture-élevage – Elevage bovin lait* de 1970 connaît les évolutions les plus contrastées : certaines PRA maintiennent une orientation laitière importante (Pays de Caux, Roumois et vallée de la Seine à l'ouest, Argonne à l'est) ou de production de viande (Auxois), alors que d'autres connaissent une progression marquée des grandes cultures à côté des exploitations de polyculture-élevage (Barrois et Champagne humide à l'est, Perche et Pays d'Ouche à l'ouest).

3.2. Construction de typologies de trajectoires d'évolution de mailles spatiales

La démarche exposée dans le chapitre précédent pour analyser les différenciations spatiales des évolutions des exploitations agricoles sur la plaine des Vosges n'est la plupart du temps pas réalisable. En effet, la disponibilité d'informations individuelles et localisées, permettant à la fois de modéliser les trajectoires d'évolution des exploitations d'une région et de les spatialiser, s'avère assez rare car les informations sont le plus souvent agrégées sur un maillage spatial. Ceci nous conduit à identifier une autre démarche, qui repose également sur le concept de trajectoire appliqué dans ce cas à des objets géographiques considérés comme des ensembles d'exploitations. Nous la testons sur le bassin de la Seine pour représenter les trajectoires d'évolution des PRA entre 1970 et 1988 (Mignolet *et al*., 2001a ; Mignolet *et al*., 2001b) : une trajectoire est ici constituée de deux vecteurs qui relient, dans le premier plan factoriel de l'ACPC sur les pourcentages de SAU par OTEX en 1970, les images des PRA projetées en individus actifs en 1970, et en individus supplémentaires en 1979 et 1988.

Les 147 trajectoires ainsi construites sur le bassin de la Seine sont regroupées en huit principaux types (Tableau 7) en fonction de la position initiale des PRA (qui distingue les PRA de culture, de polyculture-élevage ou d'élevage en 1970), de l'orientation des vecteurs par rapport aux deux axes factoriels et de leur longueur qui traduisent respectivement la régularité et l'ampleur de l'évolution.

Les PRA de culture en 1970 ont suivi trois trajectoires d'évolution principales :

- le type 1 reflète une diversification croissante des systèmes de production vers des cultures de vente à plus forte valeur ajoutée (betteraves, pois, colza, pommes de terre, etc)[21]. Il concerne 25% des PRA localisées dans la Marne, l'Aube et le Loiret.
- le type 2 concerne près des deux tiers des PRA de culture ; il est caractérisé par un changement d'orientation productive : + 11% de la SAU dans l'OTEX *Céréales* et - 6,5% de la SAU dans l'OTEX *Grandes cultures* dans les années soixante-dix ; - 19% de la SAU dans l'OTEX *Céréales* et + 23% de la SAU dans l'OTEX *Grandes cultures* dans les années quatre-vingts.
- le type 3 se rapporte à une minorité de PRA (11%), situées sur la frange ouest de Paris, avec spécialisation céréalière, surtout marquée dans les années soixante-dix (+ 15% de la SAU dans l'OTEX *Céréales*), puis progression des OTEX *Maraîchage* et *Polyculture* dans la décennie quatre-vingts.

Les PRA de polyculture-élevage montrent : une progression régulière de l'OTEX *Grandes cultures* pour 18% d'entre elles situées au nord du bassin (type 4) ; une augmentation de l'OTEX *Céréales* pendant la décennie soixante-dix, puis de l'OTEX *Grandes cultures* pendant la décennie quatre-vingts pour les deux tiers qui, pour la plupart, constituent un long croissant, de l'Argonne au nord-est vers la Bourgogne nivernaise au sud (type 5) ; une progression régulière de l'OTEX *Céréales* pour les 16%

[21] Il peut être aussi interprété par un poids croissant de ces cultures dans la MBS des exploitations agricoles, traduit dans l'actualisation des coefficients de calculs des MBS.

restants (type 6). Ces évolutions se font principalement aux dépens de l'OTEX *Polyculture-élevage* (- 10% de la SAU pour le type 4, - 21% pour le type 5 et – 18% pour le type 6).

Les PRA orientées vers l'élevage en 1970 ont connu deux types de trajectoires. Le type 7, représenté en Haute-Normandie et dans les Ardennes, correspond à une augmentation régulière de l'OTEX *Grandes cultures* au détriment des OTEX *Polyculture-élevage* (- 7% de la SAU, principalement sur la période 1970 – 1979) et *Bovins lait* (- 11% de la SAU, principalement sur la période 1979 – 1988 où les quotas laitiers sont entrés en vigueur). Le type 8, qui concerne surtout le Bassigny de la Haute-Marne et le sud du bassin versant (Morvan, Nivernais et Auxois), représente enfin un développement régulier de l'OTEX *Bovins viande* (+ 12,5% de la SAU entre 1970 et 1988), là encore aux dépens des OTEX *Polyculture-élevage* (- 4%) et *Bovins lait* (- 8%).

Tableau 7 : Variations moyennes des pourcentages de SAU par OTEX et par type de trajectoire dans le bassin de la Seine

OTEX	Périodes	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6	Type 7	Type 8
Céréales	1970-1979	-8.3	+10.8	+15.1	+2.3	+12.6	+15	+2.4	
	1979-1988	-17.5	-19.2	+3.8	-4.3	-10.7	+8.5	+0.4	
	1970-1988	*-25.7*	*-8.4*	*+18.9*	*-2*	*+1.9*	*+23.5*	*+2.9*	
Grandes cultures	1970-1979	+9.2	-6.4	-8.8	+5.3	-1.3	-2.7	+6.2	
	1979-1988	+17.9	+23.5	-8.6	+8	+25.5	+8.7	+10.2	
	1970-1988	*+27.1*	*+17.1*	*-17.4*	*+13.3*	*+24.2*	*+6*	*+16.4*	
Maraîchage	1970-1979			-0.6					
	1979-1988			+2.8					
	1970-1988			*+2.1*					
Polyculture	1970-1979			-1.1					
	1979-1988			+4.6					
	1970-1988			*+3.6*					
Polyculture-élevage	1970-1979		-4.6	-3.8	-5.9	-12.9	-9.9	-6.2	-5.1
	1979-1988		-3.4	-2.2	-4.2	-8.5	-8.3	-0.9	+1.1
	1970-1988		*-8*	*-6*	*-10.1*	*-21.3*	*-18.3*	*-7.1*	*-4*
Bovins lait	1970-1979					+0.4	-0.7	-3.4	-2.9
	1979-1988					-3.7	-3	-7.3	-5
	1970-1988					*-3.3*	*-3.7*	*-10.7*	*-7.9*
Bovins lait-viande	1970-1979					+0.1	-1.2	-0.8	-0.1
	1979-1988					-1.7	-1.8	-2	-2.1
	1970-1988					*-1.6*	*-3*	*-2.8*	*-2.2*
Bovins Viande	1970-1979								+7.1
	1979-1988								+5.3
	1970-1988								*+12.5*
Ovins	1970-1979								+0.1
	1979-1988								-2.3
	1970-1988								*-2.2*

La représentation cartographique de cette typologie (***Figure 16***) montre que les types de trajectoires d'évolution des PRA sont spatialement différenciés, puisqu'ils caractérisent le plus fréquemment des groupes de PRA contiguës, que l'on peut qualifier de régions homogènes du point de vue des dynamiques agricoles sur 18 années. L'exemple le plus marquant est constitué par l'ensemble des PRA contiguës du type 5 situées de l'Argonne au nord-est à la Bourgogne nivernaise au sud.

4. Conclusion du chapitre

Les résultats obtenus valident l'hypothèse formulée en début de ce chapitre : les systèmes de production du bassin de la Seine sont spatialement différenciés, ce qui nous permet de repérer des régions homogènes du point de vue des combinaisons de systèmes de production qui y sont situés, et ce pour les quatre années étudiées (1970, 1979, 1988 et 2000). De plus, nous avons mis en évidence que les systèmes de production du bassin ont connu de profondes évolutions depuis les années soixante-dix et que ces évolutions sont elles-mêmes spatialement différenciées.

Ces différenciations spatiales et ces évolutions peuvent être expliquées par différents facteurs liés aux contextes pédoclimatiques très contrastés du bassin mais aussi aux contextes socio-économiques. En particulier, la Politique Agricole Commune (PAC) a eu une influence marquée sur les systèmes de production : sous son impulsion, les exploitations spécialisées en céréales et oléoprotéagineux ont augmenté et se sont propagées géographiquement à partir du foyer beauceron où ce type d'exploitation était déjà bien implanté des années soixante-dix. Les cultures dites « primées » se sont développées partout, hormis dans les régions où elles sont en compétition avec des cultures spécialisées à forte valeur ajoutée (comme la betterave), ou dans les zones géographiques où leur développement paraît techniquement le moins favorable (régions d'élevage). D'une manière générale, les changements de la PAC modifient les orientations prises non seulement par les exploitations agricoles, mais aussi par les entreprises de collecte et de transformation : ils modifient en effet la valeur des productions, changent les conditions d'attribution des aides, ou influent sur le niveau et les modalités d'allocation des quotas de production.

D'un point de vue méthodologique, nous avons mis en œuvre dans ce chapitre deux méthodes de régionalisation, l'une par agrégation de mailles spatiales, l'autre par recherche de discontinuités spatiales. Ces deux méthodes apparaissent complémentaires, mais la première apparaît plus adaptée à nos objectifs de délimitation de partitions exhaustives du bassin. Par ailleurs, nous avons proposé une représentation de l'évolution des systèmes de production dans les PRA sous la forme de trajectoires multifactorielles : cette représentation met en évidence des grands types d'évolution bien différenciés, mais elle souffre d'un biais lié à l'actualisation périodique de la définition des OTEX.

Chapitre 5

Chapitre 5 – Différenciation de régions agricoles selon la diversité des systèmes de culture et de leurs évolutions

Ce chapitre a pour objectif de développer des méthodes pour rendre compte et analyser la localisation des systèmes de culture et de leurs évolutions. Il est basé sur l'hypothèse que la localisation des exploitations explique en partie les choix des systèmes de culture et la façon dont ils évoluent, parce qu'elle résume un ensemble de caractéristiques liées au milieu physique (type de sol, climat, pente, etc), aux filières de commercialisation et de transformation des produits agricoles implantées localement, ou encore aux pratiques agricoles partagées dans le cadre de réseaux professionnels locaux. Le corollaire de cette hypothèse est qu'il existe des espaces caractérisables par des combinaisons similaires de systèmes de culture et d'évolutions de systèmes de culture que nous allons chercher à différencier.

Ce chapitre ne s'appuie que sur l'un de nos deux systèmes géographiques de référence, qui est celui du bassin de la Seine. Il est guidé par une finalité de production de connaissances sur la diversité des systèmes de culture du bassin, de leur différenciation spatiale au sein du bassin et de leurs évolutions depuis les années 1970, de manière à renseigner les unités de simulation du modèle STICS.

Contrairement aux deux chapitres précédents dans lesquels nous avons pu mobiliser des typologies d'exploitations existantes, il n'existe pas sur le bassin de la Seine de modèle de la diversité des systèmes de culture qui y sont pratiqués. Une partie importante de ce chapitre est donc consacrée à la modélisation de la diversité des systèmes de culture, indépendamment de leur localisation géographique. Cette modélisation est conditionnée par les sources d'information disponibles, qui nous obligent à appréhender de manière séparée les deux composantes des systèmes de culture que sont les successions culturales d'une part, et les itinéraires techniques d'autre part.

Le chapitre est organisé selon le plan suivant :

- présentation des sources d'information et des méthodes utilisées pour renseigner les successions culturales et les itinéraires techniques, modéliser leur diversité puis les spatialiser,
- analyse de la différenciation de régions agricoles selon la diversité des systèmes de culture,
- analyse de la différenciation de régions agricoles selon la diversité des évolutions des systèmes de culture.

1. Sources d'information et méthodes

1.1. Les sources d'information

Tout comme les analyses conduites à l'échelle des exploitations agricoles, les sources d'information mobilisables pour renseigner les systèmes de culture doivent satisfaire à quatre conditions principales : *(i)* proposer des variables descriptives de la parcelle agricole ; *(ii)* disposer d'une représentativité éprouvée sur la zone d'étude ; *(iii)* localiser les informations sur le maillage spatial des PRA (de manière individuelle à la parcelle, ou à défaut de manière agrégée sur l'ensemble des parcelles enquêtées dans une maille) ; *(iv)* être périodiquement mises à jour pour permettre l'étude des évolutions des systèmes de culture.

L'extension du bassin de la Seine incite à mobiliser prioritairement des sources statistiques nationales. A ce niveau, les banques de données qui satisfont les quatre conditions énoncées s'avèrent très rares. Nous en répertorions deux, gérées par le SCEES, qui ne permettent pas de renseigner à la fois les successions culturales et les itinéraires techniques : l'enquête *Teruti* est utilisée pour informer les premières ; l'enquête *Pratiques culturales* est utilisée pour informer les seconds. Toutefois, ces deux enquêtes ne permettent pas de couvrir l'ensemble de la période de temps étudiée sur le bassin de la Seine (1970 – 2000). Nous avons donc été amenés à mettre en œuvre un protocole d'enquête spécifique « à dires d'experts » dont nous exposons les principes et le contenu.

1.1.1 L'enquête Teruti

Cette enquête renseigne annuellement depuis 1982 l'occupation du sol par sondage sur un échantillon constitué d'un ensemble de points du territoire métropolitain. L'échantillonnage, construit à deux niveaux, s'appuie sur un maillage systématique du territoire (***Figure 17***) : *(i)* le premier niveau consiste à tirer 15500 photographies aériennes, régulièrement réparties sur les 4700 mailles qui couvrent le territoire, et représentant environ 1/10ème de sa surface ; *(ii)* sur chaque photographie est alors apposée une grille régulière de 6 x 6 points, distants les uns des autres d'environ 300 m et désignant chacun une surface unitaire de 9 m^2. L'enquête est ainsi réalisée sur 550 000 points qui couvrent environ 1/100 000ème du territoire national. Chaque année, les enquêteurs relèvent l'occupation physique du sol sur l'ensemble de ces points. Ils leur attribuent un code dans une nomenclature physique détaillée de 81 postes, correspondant aux différentes cultures, mais aussi aux formations non cultivées (roches, eaux, landes, etc) et aux sols artificiels (jardins, parking, bâtiments, etc).

L'échantillon *Teruti* est constant, mais il a été modifié en 1991. La diffusion des informations est réalisée avec une localisation des points à l'échelle des départements sur la décennie 1980, et également à l'échelle des PRA depuis 1992. Le fait que l'échantillon de points soit constant et non agrégé permet d'aller plus loin que l'étude des assolements annuels, et de rechercher des régularités

dans les suites d'occupation du sol pour approcher les successions de cultures. Nous avons ainsi mobilisé cette enquête, qui porte sur 72 500 points sur le bassin de la Seine, pour identifier et quantifier les successions culturales pratiquées dans chaque PRA.

1.1.2 L'enquête Pratiques culturales

L'enquête *Pratiques culturales* du SCEES de 2001 porte sur les interventions culturales mises en œuvre au cours de la campagne 2000 – 2001, de la récolte du précédent à la récolte de la culture en place. Sont en particulier détaillés les pratiques phytosanitaires, le travail du sol, les apports de fumure organique et minérale, l'irrigation, etc. Les cultures enquêtées sont au nombre de douze en 2001 : blé tendre, blé dur, orge, maïs, colza, pois protéagineux, tournesol, betterave industrielle, pomme de terre, prairies permanentes et temporaires et jachère. Elles correspondent au total à un échantillon de près de 25000 parcelles dont 5881 sur le bassin de la Seine.

L'enquête SCEES donne des informations factuelles relatives aux techniques mises en œuvre. Elle ne traite pas de stratégie ou de logique ayant permis d'aboutir à l'itinéraire technique obtenu. Par ailleurs, l'échantillon de parcelles, qui est un sous - échantillon de l'enquête *Teruti*, a été construit dans un souci de représentativité statistique et non dans le but d'illustrer de manière exhaustive la diversité des pratiques ; certains itinéraires techniques « marginaux » ne seront pas forcément bien représentés.

Dans notre thèse, nous prenons l'exemple des pratiques culturales sur blé tendre : c'est la culture majoritaire du bassin (32% de la SAU d'après le Recensement Agricole 2000, représentant plus de deux millions d'hectares en progression de 40% depuis 1970, soit près de la moitié des surfaces en blé en France). Elle présente de surcroît une forte variabilité des modes de conduite.

1.1.3 L'enquête à dires d'experts

La plupart des statistiques agricoles nationales offrent peu d'informations sur les successions culturales et les itinéraires techniques, voire pas du tout aux échelles de temps et d'espace qui nous intéressent. Pour pallier des statistiques agricoles lacunaires et disposer d'informations exhaustives sur la zone et la période de temps étudiées, nous avons choisi d'informer les pratiques agricoles en mettant en place un protocole d'enquête directive auprès d'experts agricoles. Ces experts sont principalement des conseillers agricoles, qui ont une forte et ancienne expérience de terrain, appartenant au dispositif institutionnel des Organisations Professionnelles Agricoles (Chambres d'Agriculture, Centres d'Economie Rurale) ou à des coopératives. Ce choix repose sur l'hypothèse que le conseiller agricole est un observateur privilégié de l'activité agricole d'un secteur, ce qui permet à l'enquêteur de s'affranchir des enquêtes directes en exploitation en s'adressant directement à l'échelon « supérieur », celui de l'encadrement technique des exploitants (Darré, 1994). Même si leur réseau n'est constitué que d'une partie des exploitants d'un secteur donné, excluant le plus souvent les plus traditionnels et les plus innovants, les conseillers agricoles occupent une place non négligeable dans les dispositifs

d'encadrement de la production agricole par leur rôle de diffusion de l'information destinée à faciliter la maîtrise de l'exploitation. Nous leur demandons de se comporter en observateurs objectifs de la réalité agricole et de ne se référer ni aux « meilleurs agriculteurs » ni aux « moins bons », mais à une moyenne ou à une médiane qui éventuellement n'existerait pas.

Le questionnaire d'enquête a été construit de manière à collecter les informations nécessaires à la mise en œuvre du modèle STICS, utilisé pour simuler les flux de nitrate dans le système eau-sol-plante. Il consiste pour chaque PRA du bassin de la Seine, à découper les trente années investiguées en périodes d'activités agricoles uniformes, puis pour chacune d'elles, à reconstituer les successions culturales majoritaires et à détailler les itinéraires techniques associés (dates de semis et de récolte, rendements, pratiques de fertilisation azotée minérale et organique, travaux du sol, pratique de culture intermédiaire, etc). Dans la pratique, chaque entretien dure en moyenne une demi-journée, selon l'implication des experts et leur recul par rapport aux questions posées.

Pour spatialiser les informations sur le maillage des PRA, nous considérons que les successions de cultures et les itinéraires techniques associés sont distribués aléatoirement au sein de chaque PRA, pour une période de temps au cours de laquelle les pratiques agricoles sont considérées stables par les experts. Selon cette hypothèse, nous avons construit une base de données destinée à recueillir l'ensemble des informations collectées par enquête, dont le modèle conceptuel est centré sur l'entité « succession culturale », définie et quantifiée en surface par un expert donné pour une PRA et une période de temps donnés (***Figure 18***). Pour chaque culture d'une succession culturale, les itinéraires techniques y sont détaillés selon trois thématiques principales :

- des informations d'ordre général sur les dates de semis et de récolte, le rendement, l'enfouissement des résidus de récolte, le pourcentage de culture intermédiaire implantée avant la culture considérée,
- des informations relatives aux techniques de fertilisation azotée minérale et organique (nombre d'apports, date et dose),
- des informations relatives aux différents types de travaux du sol (répartis en trois catégories : déchaumage, travail superficiel et labour) et à la façon dont ils sont combinés au cours du cycle cultural.

Ce type d'enquête présente certaines limites, inhérentes à leur caractère indirect. En premier lieu, le choix des personnes interrogées, déterminant pour la fiabilité des résultats, est rendu délicat par le recul historique adopté. Du fait d'une importante mobilité professionnelle au sein des organismes de développement agricole, il est souvent nécessaire de rencontrer plusieurs personnes sur une même zone géographique pour balayer les trente années étudiées. La reconstitution des évolutions peut ainsi introduire des biais liés à la plus ou moins grande subjectivité des experts, qui peut s'accroître pour les périodes les plus anciennes. En corollaire, il s'avère que très peu de personnes sont compétentes pour

informer des pratiques agricoles sur une zone et une période données, et que rares sont les cas où nous pouvons croiser les informations de plusieurs experts. En second lieu, les pratiques agricoles telles qu'elles sont décrites par les experts correspondent dans la grande majorité des cas aux pratiques préconisées et non pas aux pratiques réelles des agriculteurs. Le biais dû à l'écart entre pratiques conseillées et pratiques réalisées est accentué par la minorité des exploitants qui sont directement touchés par les actions des organismes de développement (de 10 à 25% selon les chiffres – Brossier *et al.*, 1980). Il peut être ponctuellement quantifié en confrontant les dires d'experts à d'autres sources d'informations.

Actuellement, les enquêtes couvrent l'ensemble du bassin de la Seine : 91 experts ont été rencontrés et ont permis de reconstituer, depuis 1970, 706 successions culturales et 2698 itinéraires techniques sur l'ensemble du bassin. Nous présentons dans ce chapitre les résultats obtenus sur le bassin de la Marne auquel s'ajoutent les annexes hydrauliques figurées par les cours d'eau des bassins adjacents (Figure 11). Nous y avons rencontré 57 experts, les deux - tiers exerçant en Chambres d'Agriculture (Tableau 8). La plupart d'entre eux sont des conseillers dits généralistes qui interviennent sur le fonctionnement global des exploitations, mais nous avons également sollicité des conseillers spécialisés sur certaines thématiques : conseiller en environnement pour la thématique des cultures intermédiaires, conseiller de l'Institut Technique de la Betterave pour la conduite de cette culture qui s'avère très régionalisée, etc.

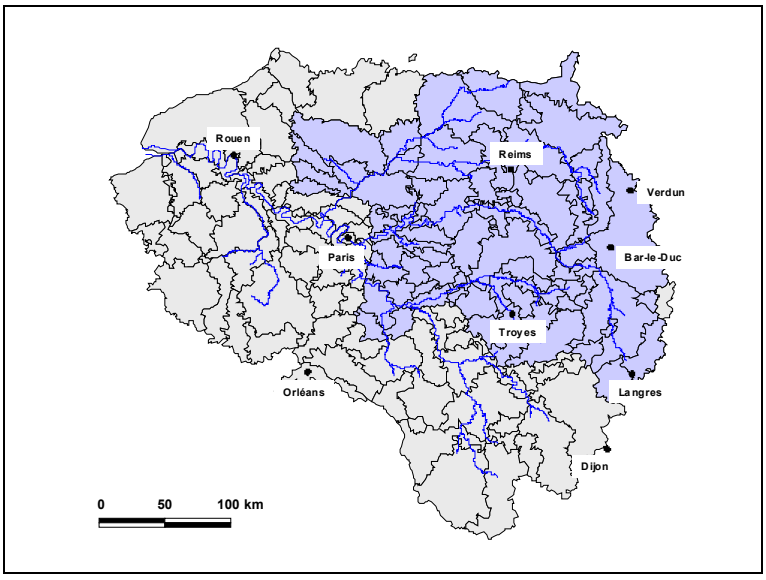


Figure 11 : Délimitation du bassin versant de la Marne

Des informations sur les conduites des cultures peuvent également être disponibles auprès d'organismes professionnels agricoles à l'échelle des départements. C'est le cas en particulier des Centres d'Economie Rurale, dont certains réalisent chaque année des enquêtes détaillées auprès de leurs adhérents sur les itinéraires techniques conduits sur les principales cultures du département. Ces enquêtes ont notamment pour objectif de démontrer statistiquement l'impact d'une pratique sur le

rendement, de manière à aider les agriculteurs à choisir l'itinéraire technico-économique leur permettant d'optimiser leurs marges. Elles sont fréquemment restituées au niveau des PRA, afin de tenir compte des différences de potentiel de production au sein des départements. Nous mobilisons les résultats concernant la fertilisation minérale et les rendements d'une de ces enquêtes réalisées par l'Office de Comptabilité et d'Economie Rurale de l'Aube (OCERA) depuis 1970, pour les comparer aux dires d'experts et apprécier la validité de ces derniers.

Tableau 8 : Provenance professionnelle des experts

	Chambre d'agriculture	**Coopérative**	**Centre de gestion**	**Institut technique**	**CETA**	Total
Seine-et-Marne	4	5				9
Marne	3	3		2		8
Haute-Marne	2					2
Meuse	3	1				4
Vosges		1				1
Aisne	3	2			3	5
Ardennes	3	1				4
Oise	9		1			10
Aube	10	1				11
Total	37	14	1	2	3	57

1.2. Les méthodes

Lors de la revue bibliographique, nous avons constaté que peu de méthodes sont mises au point pour représenter la diversité des successions culturales et des itinéraires techniques ainsi que leurs évolutions au sein de territoires. Nous choisissons d'employer une méthode stochastique développée par des informaticiens dans le domaine de la fouille de données temporelles pour reconnaître des régularités dans des suites d'occupation du sol préfigurant des successions culturales. Concernant les itinéraires techniques, nous utilisons des techniques classiques d'analyse de données (analyse factorielle des correspondances multiples et classification ascendante hiérarchique) pour identifier des types d'itinéraires techniques en fonction de variables quantitatives et qualitatives. Nous revenons ici plus en détail sur les méthodes de fouille de données.

Reconnaissance de régularités par fouille de données temporelles

Concernant l'identification des successions culturales et de leur évolution à partir de l'enquête *Teruti,* nous avons mis en œuvre, en collaboration avec des informaticiens, une méthode de fouille de données par modèle de Markov cachés dénommés HMM (Hidden Markov Model) (Mari *et al*., 2000 ; Benoît *et al*., 2001 ; Mari *et al.,* 2002 ; Le Ber *et al*., 2006). Cette méthode consiste à extraire des régularités repérées sur les parcelles échantillonnées, dont on fait l'hypothèse qu'elles évoluent selon un processus de Markov : cette hypothèse stipule que sur une parcelle, la règle de succession ne dépend que de l'occupation actuelle de la parcelle et de l'occupation de l'année ou des deux années précédentes, selon l'ordre des modèles. Les cultures successives d'une parcelle représentent ainsi un

ensemble d'états directement observables qui définissent un processus stochastique représenté par une chaîne de Markov.

Dans un HMM, les états ne sont pas directement observables mais sont définis par des densités de probabilité sur l'ensemble des observations, c'est-à-dire dans notre cas sur l'ensemble des cultures. On considère ainsi que la répartition, ou la densité, des cultures dans une région donnée évolue selon un processus de Markov : sur une année donnée, elle ne dépend que de la répartition sur l'année ou les deux années précédentes. Le HMM permet ainsi de représenter deux processus stochastiques, le premier gouvernant le second (Baker, 1974) :

- le premier processus est défini sur un ensemble d'états cachés pour un observateur, chaque état représentant une distribution de cultures. C'est une chaîne de Markov d'ordre un ou deux.
- le second processus est qualifié de visible. Il émet une observation à chaque pas de temps en fonction des densités de probabilité définies sur chacun des états par le processus caché. Chaque année, la chaîne de Markov produit une occupation du sol en fonction des transitions autorisées et de la densité de probabilité des cultures de l'état visité.

Les HMM peuvent être utilisés en réponse à deux objectifs de classification temporelle. Le premier consiste à définir des périodes durant lesquelles la distribution des cultures ne varie pas. Les modèles utilisés sont définis par des états (en général deux ou trois) sur lesquels sont autorisées les transitions en boucles (Figure 5). Ils ne permettent pas de mesurer la probabilité d'une transition entre cultures puisqu'une culture n'apparaît qu'à l'intérieur d'une répartition constituant un état. Pour répondre à cet objectif d'étude des successions de cultures, il est nécessaire d'introduire des états uniquement associés aux cultures majoritaires que nous souhaitons étudier. Le HMM obtenu possède alors deux types d'états : les états « de réserve » associés normalement à des répartitions de cultures, et les états « de Dirac » associés à une culture unique et définis par une densité où la probabilité de cette culture vaut 1 et les probabilités des autres cultures valent 0. C'est ce dernier type d'HMM que nous utilisons principalement pour identifier les successions culturales majoritaires dans les PRA du bassin de la Seine.

Pour visualiser les résultats issus des HMM, des interfaces graphiques sont développées sous la forme de diagrammes représentant au pas de temps annuel les probabilités de transition entre des cultures individualisées et un état de réserve, rassemblant toutes les autres occupations du sol. La Figure 12 présente un exemple de diagramme et les indications nécessaires à son interprétation.

Le raisonnement exposé ici pour quantifier les probabilités de transition d'une culture à une autre (modèle *1 culture*) peut être conduit de la même manière pour quantifier les probabilités de transition d'un couple de cultures « précédent – suivant » vers un autre couple de cultures (modèle *2 cultures*), d'un triplet de cultures vers un autre triplet (modèle *3 cultures*), voire d'un quadruplet de cultures vers un autre (modèle *4 cultures*) si la longueur de la période étudiée le permet. Dans ces différents cas, les

états de Dirac sont associés à un couple, un triplet ou un quadruplet de cultures et définis par une densité où la probabilité de ces couple/triplet/quadruplet vaut 1 et les probabilités des autres couples/triplets/quadruplets valent 0. La reconnaissance des successions culturales s'appuie ainsi sur plusieurs étapes successives en partant du modèle *1 culture* qui permet d'identifier les couples voire les triplets de cultures majoritaires puis en intégrant ces couples ou triplets majoritaires dans des modèles *2* ou *3 cultures*, pour progressivement repérer des successions de cultures de plus en plus longues.

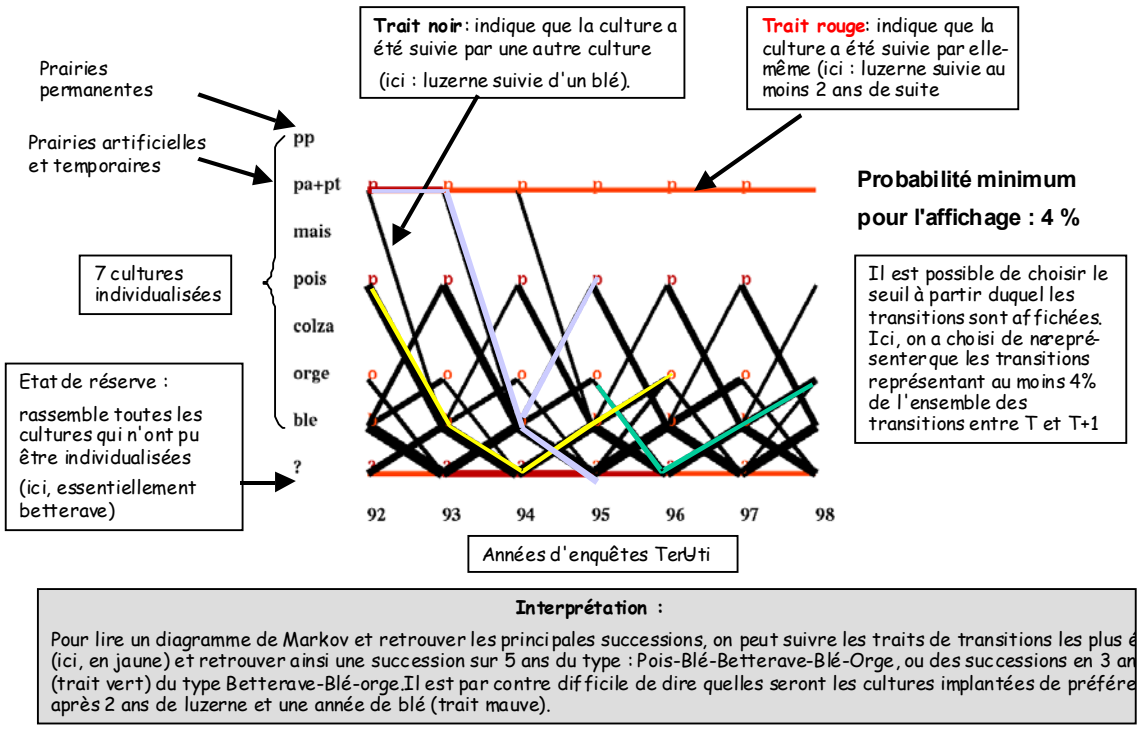
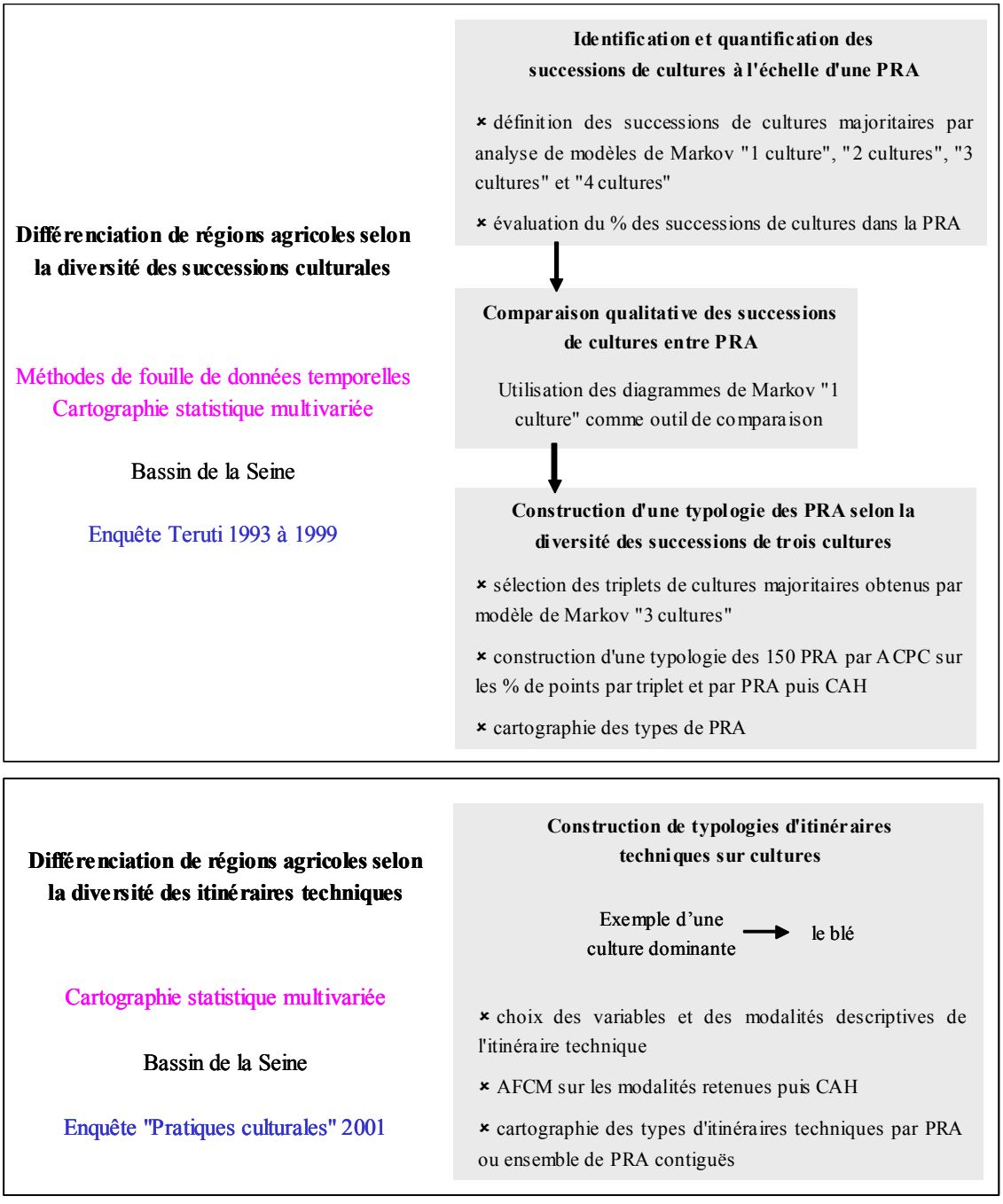


Figure 12 : Interprétation d'un diagramme de Markov

2. Différenciation de régions agricoles selon la diversité des systèmes de culture

Pour différencier des régions agricoles selon la diversité des systèmes de culture, nous mettons en œuvre une démarche en deux étapes (Encadré 4). La première vise à différencier des régions agricoles selon la diversité des successions culturales au cours de la décennie quatre-vingt dix : après avoir exposé sur un exemple de PRA le principe d'identification et de quantification des successions de cultures à l'aide des modèles de Markov cachés, nous voyons ensuite comment utiliser les diagrammes de Markov comme outil de comparaison qualitative des successions de cultures entre PRA, puis nous présentons une typologie des PRA du bassin de la Seine selon la diversité des successions de trois cultures (Mignolet *et al.*, 2007).

La seconde étape vise à différencier des régions agricoles selon la diversité des itinéraires techniques sur cultures. Elle nécessite au préalable la construction de typologies d'itinéraires techniques que nous présentons sur l'exemple de la culture du blé tendre. Cette typologie est ensuite cartographiée selon des techniques de cartographie monovariée, exposées au chapitre 3.



Encadré 4 : Démarche de recherche pour différencier des régions agricoles selon la diversité des systèmes de culture

2.1. Différenciation de régions agricoles selon la diversité des successions culturales

2.1.1 Caractérisation des successions de cultures d'une PRA : le cas du Saint Quentinnois et Laonnois de l'Aisne (PRA 02034)

Identification qualitative des successions de cultures

Pour identifier les successions de cultures de la PRA 02034, nous utilisons les deux types de sortie produits par les algorithmes de Markov, en les mettant en œuvre sur un nombre croissant de cultures successives (Mignolet *et al*., 2003). Le modèle *1 culture* permet de : *(i)* calculer l'assolement moyen de la PRA sur la période de 1992 à 1999 ; *(ii)* visualiser les principales transitions annuelles entre cultures grâce au diagramme de Markov (***Figure 19***). Dans cet exemple, nous remarquons que les principales têtes de rotation (betterave et pois) sont majoritairement suivies et précédées d'un blé. Nous en déduisons des *portions* de successions de cultures sur trois ans, de type *B-Bett-B* ou *B-P-B*, indiquant des rotations quadriennales de type *?-B-Bett-B* et *?-B-P-B*[22]. Toutefois, le modèle *1 culture* ne permet pas d'identifier la culture suivant ou précédant ces triplets : le diagramme indique seulement qu'il peut s'agir d'une autre betterave, d'un pois, d'un second blé, d'une orge, d'un colza ou de jachère.

L'utilisation d'un modèle *3 cultures* permet d'identifier des séquences de cultures plus longues (***Figure 19***). Le calcul des probabilités d'occurrence des triplets de cultures confirme que les triplets *B-Bett-B* et *B-P-B* sont effectivement majoritaires, suivis de triplets qui associent deux têtes de rotation : *Bett-B-Bett* d'une part, et *Bett-B-P* ou *P-B-Bett* d'autre part. Nous en déduisons l'existence de deux principales rotations quadriennales : *Bett-B-Bett-B* et *Bett-B-P-B*. Le diagramme de Markov confirme cette hypothèse, car il indique des transitions entre les triplets *B-Bett-B* et *Bett-B-Bett*, et entre les triplets *B-Bett-B*, *Bett-B-P*, *B-P-B*, *P-B-Bett* et *B-Bett-B*.

Quantification des successions de cultures

L'analyse qualitative indique qu'il existe dans la PRA 02034 des successions de cultures qui s'organisent sur trois ans et sur quatre ans. Les premières sont caractérisées par des triplets constitués d'une tête de rotation suivie de deux céréales ou de deux têtes de rotation successives suivies d'un blé, ainsi que par l'ensemble de leurs permutations respectives. Par exemple, les triplets *Bett-B-O*, *B-O-Bett* et *O-Bett-B* constituent la même rotation triennale, considérée à des étapes différentes de son déroulement. Le poids de la succession dans la PRA est donc obtenu en additionnant les probabilités d'occurrence de ces trois triplets (***Figure 19***). Cependant, certains triplets peuvent contribuer à plusieurs successions culturales. C'est le cas du triplet *B-Bett-B* qui contribue en majeure partie aux successions

[22] Tout au long de ce chapitre, nous utilisons des abréviations pour nommer les cultures :
B = blé, Bett = betterave, P = pois, OH = escourgeon, OP = orge de printemps, MG = maïs grain, MF = maïs fourrage, Pdt = pomme de terre, C = colza, T = tournesol, L = luzerne, PP = prairie permanente, PT = prairie temporaire.

Bett-B-Bett-B et *Bett-B-P-B*, mais qui constitue également une permutation de la rotation triennale *Bett-B-B*. Pour cette dernière, nous lui attribuons arbitrairement la valeur la plus faible des probabilités d'occurrence des autres permutations.

L'existence de rotations quadriennales est indiquée par la présence de triplets de type *B-tête de rotation-B* et *tête de rotation-B-tête de rotation* affectés de probabilités d'occurrence proches. L'utilisation d'un modèle de Markov *4 cultures* permet de vérifier cette hypothèse et de quantifier leur poids relatif dans la PRA. Comme pour les rotations triennales, l'estimation du poids des rotations quadriennales est réalisée en additionnant les probabilités d'occurrence de chacune des permutations qui y contribue.

La synthèse finale des successions de cultures caractéristiques de la PRA Saint Quentinnois et Laonnois tient compte des rotations triennales et quadriennales qui ont pu être identifiées, mais aussi des occupations du sol pérennes telles que les prairies permanentes, les jachères fixes et les vergers. Nous remarquons que la surface estimée de la PRA expliquée par les successions identifiées n'atteint que 64%. Ceci est dû au fait que seules les successions majoritaires ont pu être décrites : il existe toujours une proportion plus ou moins importante de successions de cultures minoritaires qui ne peuvent être prises en compte.

2.1.2 Comparaison qualitative des successions culturales entre PRA

En plus de contribuer à l'identification des successions culturales d'une région donnée, les diagrammes de Markov apparaissent très utiles pour comparer différentes régions entre elles. A titre d'exemple, la Figure 13 présente les diagrammes obtenus dans deux contextes agricoles de plateaux contrastés : les Plateaux picards au nord du bassin de la Seine, auxquels appartient la PRA Saint Quentinnois et Laonnois, et les Plateaux du Barrois à l'est. Pour faciliter la comparaison, les cultures individualisées placées en ordonnées sont identiques sur les deux diagrammes.

Les diagrammes ne montrent pas du tout les mêmes motifs de régularité. Sur les Plateaux picards, les transitions majoritaires apparaissent entre le blé et l'état de réserve (dans lequel est incluse la betterave) puis avec le pois et dans une moindre mesure l'orge. Nous retrouvons les logiques de successions culturales exposées dans le paragraphe précédent. Sur les Plateaux du Barrois, en dehors des prairies permanentes qui constituent une part importante de l'assolement, c'est la succession *C-B-O* qui apparaît majoritaire, avec de temps en temps l'insertion d'un maïs qui peut également être cultivé deux années de suite. Cet exemple illustre bien une fonctionnalité des diagrammes de Markov de mise en comparaison visuelle des successions de cultures de régions différentes.

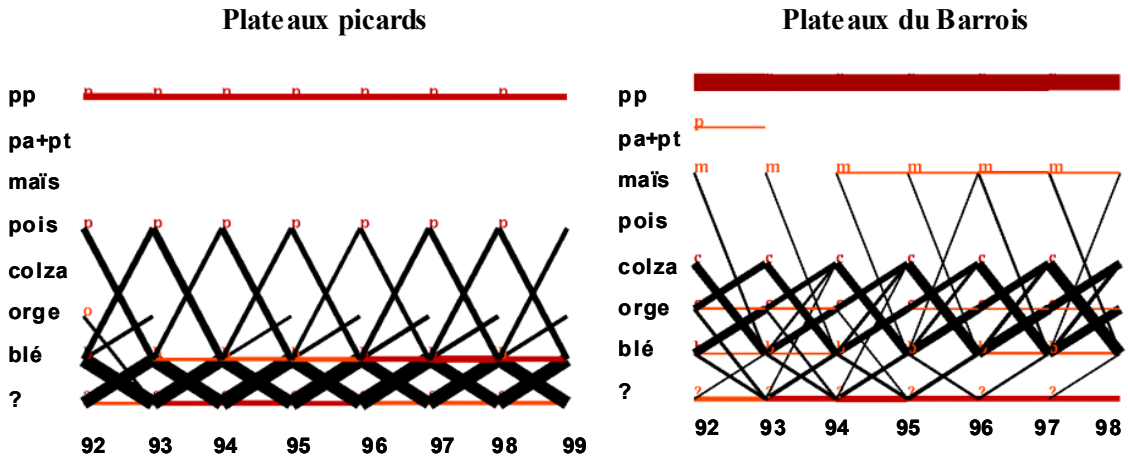


Figure 13 : Comparaison des successions culturales de 2 PRA par les diagrammes de Markov

2.1.3 Construction d'une typologie des PRA selon la diversité des successions de trois cultures

Pour différencier des régions agricoles homogènes du point de vue des successions de cultures, nous choisissons d'utiliser une démarche analogue à celle mise en œuvre sur les types d'exploitations, visant à regrouper en types les mailles spatiales qui présentent des combinaisons de successions de cultures dominantes similaires. Une région homogène correspond à un ensemble de PRA contiguës appartenant à un même type.

Pour disposer d'une information quantifiée et homogène sur les successions culturales des 147 PRA du bassin de la Seine, nous appliquons le modèle de Markov *3 cultures* sur les données *Teruti* de 1992 à 1998 pour chacune des PRA : nous disposons ainsi des probabilités d'occurrence des triplets de cultures majoritaires de chaque PRA. Pour regrouper celles qui présentent des combinaisons de triplets de cultures proches, nous réalisons une ACPC sur les pourcentages de chaque triplet par PRA, suivie d'une CAH sur les coordonnées des PRA sur les vingt premiers axes factoriels.

Mise en œuvre de l'ACPC

Dans une première analyse, nous avons à la fois pris en compte les triplets correspondant à des occupations du sol pérennes (prairies permanentes, vignes, vergers…) et les triplets de cultures annuelles. Les types de PRA obtenus se distinguent principalement selon un gradient de prairies permanentes et ne mettent pas en évidence de zones aux successions de trois cultures annuelles bien caractéristiques. La représentation cartographique de cette typologie ne permet de ne faire ressortir que la « couronne herbagère » en périphérie du bassin de la Seine et un gradient décroissant des surfaces en herbe vers les zones de grandes cultures au centre.

Dans une seconde analyse, nous ne retenons que les triplets de cultures annuelles, c'est-à-dire que nous ne prenons en compte que les terres labourables. Après correction du pourcentage attribué à

chaque triplet de cultures annuelles en fonction du rapport estimé « terres labourables / SAU », l'analyse a pour but de regrouper des PRA dans lesquelles les mêmes types de successions culturales sont pratiquées, même si elles ont des proportions de terres labourables très différentes.

Le choix des triplets de cultures majoritaires dans le bassin de la Seine est effectué en additionnant les pourcentages attribués à chaque triplet par PRA et en retenant les pourcentages les plus élevés. Les 64 triplets de cultures retenus pour l'analyse peuvent être regroupés en six catégories selon la répartition des cultures dites têtes de rotation et des céréales à paille (Tableau 9).

Tableau 9 : Liste des 64 triplets de cultures retenus pour l'analyse factorielle

Type "blé - tête de rotation - blé"	**Type "tête de rotation - blé - tête de rotation"**	**Type " 2 têtes de rotation - blé"**	**Type "tête de rotation - blé - orge"**
ble + colza + ble	mais + ble + mais	mais + mais + ble	colza + ble + orge
ble + mais + ble	pois + ble + bett.	jacheres + colza + ble	pois + ble + orge
ble + pois + ble	bett. + ble + bett.	bett. + pois + ble	mais + ble + orge
ble + jacheres + ble	pois + ble + colza	jacheres + jacheres + ble	bett. + ble + orge
ble + bett. + ble	colza + ble + colza	bett. + p. de terre + ble	jacheres + ble + orge
ble + tournesol + ble	pois + ble + mais	mais + pois + ble	tournesol + ble + orge
ble + p. de terre + ble	mais + ble + colza		
ble + lin + ble	pois + ble + pois	**Type " 3 têtes de rotation consécutives"**	**Type "tête de rotation - blé - blé"**
ble + légumes + ble	tournesol + ble + colza	mais + mais + tournesol	colza + ble + ble
ble + feves + ble	jacheres + ble + colza	jacheres + jacheres + jacheres	pois + ble + ble
	p. de terre + ble + bett.	mais + mais + mais	mais + ble + ble
Triplets à base de prairies temporaires ou artificielles	bett. + ble + mais	légumes + légumes + légumes	bett. + ble + ble
pr. temp. + pr. temp. + pr. temp.	pois + ble + lin		jacheres + ble + ble
mais + pr. temp. + pr. temp.	tournesol + ble + tournesol		tournesol + ble + ble
ble + orge + pr. temp.	tournesol + ble + mais	**Type "3 céréales"**	
pr. temp. + mais + mais	jacheres + ble + mais	ble + ble + ble	
pr. artif. + pr. artif. + pr. artif.	pois + ble + jacheres	ble + ble + orge	
pr. artif. + pr. artif. + ble	tournesol + ble + pois	ble + orge + ble	
ble + orge + pr. artif.		ble + orge + orge	
pr. artif. + ble + orge		autre cér.+ autre cér.+ autre cér.	
pr. artif. + ble + bett.			

Les trois premières composantes principales de l'ACPC sur les pourcentages de triplets de cultures annuelles par PRA résument 51,8% de l'information contenue dans le tableau initial. L'axe 1, le plus informatif (24,6% de l'inertie), traduit une opposition entre des triplets organisés autour des cultures de la betterave et du pois (*B-Bett-B*, *B-P-B*, *P-B-Bett*, *Bett-B-Bett*) et des triplets caractéristiques de PRA de polyculture-élevage organisés autour des cultures de maïs et de colza et des prairies temporaires (*M-M-M*, *Pt-Pt-Pt*, *M-B-M*, *C-B-O*). L'axe 2 (15,8% de l'inertie) différencie les triplets basés sur le maïs (en monoculture, *B-M-B*, *M-B-M*) et les triplets basés sur le colza ou le tournesol (*C-B-O*, *B-C-B*, *C-B-B* et *B-T-B*). Enfin, l'axe 3 (11,4% de l'inertie) distingue des triplets dans lesquels le blé présente au moins deux occurrences sur les trois (*B-C-B*, *B-M-B*, *B-P-B*, *C-B-B*, *P-B-B*, *B-B-B*) caractéristiques des régions très céréalières et des triplets organisés autour de la betterave (*B-Bett-B*, *Bett-B-O*, *Bett-B-Bett*) associés à des monocultures de maïs (*M-M-M*) et des prairies temporaires (*Pt-Pt-Pt*).

Différenciation de types de PRA selon les successions de cultures

La CAH conduite sur les coordonnées des PRA sur les vingt premiers axes factoriels définit une typologie de PRA en vingt types, retenus de manière à mettre en évidence de grands groupes de PRA sans toutefois trop gommer les spécificités locales. La représentation cartographique de cette typologie

permet d'identifier des régions homogènes correspondant à des groupes de PRA contiguës caractérisées par des combinaisons de successions de trois cultures annuelles similaires (***Figure 20***). Ces vingt types[23] sont regroupés en sept catégories en fonction de la culture tête de rotation dominante.

La catégorie *Dominante Prairies temporaires* regroupe deux types de PRA dans lesquelles dominent les successions à base de prairies temporaires. Tous deux correspondent aux PRA du Morvan et de l'Auxois au sud-est du bassin de la Seine.

La catégorie *Maïs* regroupe cinq types de PRA caractérisés par le maïs en tête de rotation dominante :

- le premier correspond aux PRA où le maïs est assolé sous forme de successions *M-B* ou sous forme de monoculture suivie par plusieurs années de prairies temporaires. Ces PRA correspondent au Pays d'Auge et à l'Hurepoix à l'extrême ouest du bassin de la Seine.
- un deuxième type distingue les PRA, très peu nombreuses, où le maïs est essentiellement en monoculture durant au minimum 3 ans, puis parfois suivi d'un blé. Il s'agit de la Champagne humide de Haute-Marne et d'une PRA de la Ceinture de Paris, dans les Yvelines.
- une type plus important regroupe les PRA où le maïs est conduit sous différentes formes : rotations biennales *M-B*, triennales *M-B-O* ou monoculture. Ces PRA sont essentiellement situées à l'ouest du bassin de la Seine et correspondent aux PRA de la vallée de la Seine, au Pays de Bray et au Perche de l'Orne.
- un autre type se caractérise par une forte proportion de maïs assolé sous forme de succession *M-B* et de jachères fixes, et par la présence d'autres têtes de rotation, telles que le tournesol et le colza. Ce type regroupe des PRA situées au sud de Paris (Orléanais, Val de Loire, Gâtinais Pauvre, Brie Humide, Pays de Bière) et quelques PRA un peu excentrées (Vallée de la Seine, Perthois de Haute-Marne).
- un dernier type, un peu atypique, se caractérise par une forte proportion de maïs en monoculture ou assolé, de monoculture de blé et de légumes. Les PRA concernées se situent au niveau de la ceinture de Paris, en bordure de la "couronne maraîchère" de l'agglomération parisienne.

Les types de PRA suivants appartiennent à une catégorie où le colza est la tête de rotation principale. Cependant, certains ont encore une importante proportion de successions à base de maïs, comme l'Argonne de la Marne où la monoculture de maïs coexiste avec des successions biennales ou triennales de colza (*C-B* ou *C-B-O*). De même, dans l'ensemble des PRA du nord des Ardennes (Argonne, Thiérache, Ardennes, Crêtes pré-ardennaises) et quelques PRA en bordure du bassin de la Seine (Bassigny, Côtes de Meuse) sont pratiquées des successions de cultures de type *C-B* ou *C-B-O*

[23] Chaque type est caractérisé par les triplets de cultures communs à toutes les PRA qui y sont rattachées. Quand cela était possible, nous combinons les triplets entre eux pour reconstituer une succession de cultures complète (ex. : P-B-C / B-P-B / B-C-B → P-B-C-B).

pour le colza, *M-B-O*, *M-B*, *M-M-B* ou *M-M-M* pour le maïs, auxquelles s'ajoute une certaine proportion de rotations quadriennales de type *C-B-M-B*. Situé essentiellement au sud du bassin de la Seine dans le département de l'Yonne, un type important regroupe des PRA (Puisaye, Bourgogne Nivernaise, Nivernais central, Champagne crayeuse, Gâtinais pauvre et Pays d'Othe de l'Yonne) caractérisées par la présence de deux oléagineux : le colza et le tournesol. Ces cultures s'organisent sous forme de rotations quadriennales *T-B-C-B*, mais également triennales : *C-B-O*, *T-B-O* ou *C-B-B*. Enfin, un dernier type à dominante colza occupe quasiment tout l'est du bassin de la Seine, avec une très forte concordance avec le substrat géologique : il s'agit de toutes les PRA situées sur les calcaires du Jurassique supérieur constituant les plateaux du Barrois, de Langres et de Bourgogne, auxquelles s'ajoutent quelques PRA excentrées comme le Tardenois de la Marne ou le Pays d'Othe de l'Aube. Ces PRA se caractérisent par une nette prédominance de la rotation triennale *C-B-O* et dans une moindre mesure, par d'autres types de successions basées sur le colza (*C-B* ou *C-B-B-O*). On y trouve également une nette tendance à cultiver des céréales à paille plusieurs années de suite.

La catégorie suivante concerne les PRA dans lesquelles les successions de cultures sont articulées autour du pois comme tête de rotation caractéristique :

- un premier type présentant une forte cohérence géographique regroupe des PRA situées au sud-ouest du bassin de la Seine (Plateau d'Evreux Saint-André, de Madrie, Faux-Perche, Drouais, Beauce, Yvelines, Hurepoix). Il est caractérisé par des successions de type *P-B-B*, *C-B-B ou C-B-P-B* et par une forte proportion de monoculture de blé.
- le type suivant est plus éclaté du point de vue géographique : il correspond aux plateaux centraux de Brie et aux bordures de la classe citée précédemment. Les successions de cultures caractéristiques y sont de type quadriennal : *P-B-M-B* ou *P-B-C-B*.
- le dernier type à dominante pois est également assez éclaté géographiquement mais situé essentiellement dans la moitié ouest du bassin, en bordure des plateaux picards et à l'est de la Brie. Les successions pratiquées dans ces PRA sont très proches de celles pratiquées sur les plateaux picards, mais avec une prédominance du pois sur la betterave. On y trouve donc des rotations quadriennales de type *P-B-Bett-B*, mais également de type *P-B-O* ou *P-B-B*.

La catégorie de PRA où la culture tête de rotation caractéristique est la betterave se compose de quatre types :

- l'un d'eux est caractérisé par une importante proportion de rotations quadriennales *P-B-Bett-B*, mais également par la présence de triplets indiquant trois années de luzerne suivies par un blé. Il s'agit des successions culturales typiques de la Champagne crayeuse. Les PRA de ce type forment un arc à l'est de Paris présentant une forte concordance avec les craies du Crétacé supérieur du bassin parisien.

- le type suivant correspond à un ensemble de PRA situées surtout au nord de Paris réparties sur les départements de l'Aisne, de l'Oise, du Val d'Oise et de Seine-et-Marne (Plateaux picards, Valois, Brie Française, Soissonnais, Saint-Quentinois). Les rotations caractéristiques sont de type biennales *Bett-B*, ou quadriennales *Bett-B-P-B*.
- un autre type concerne essentiellement le Pays de Caux (Seine-Maritime) et un autre groupe de PRA situées au sud de Paris (Gâtinais, Beauce riche). Ces deux groupes ont en commun l'existence de rotations triennales *Bett-B-O*.
- enfin, un dernier type ne comportant qu'une PRA (le Soissonnais de l'Oise) mérite d'être considéré à part car il présente des successions très caractéristiques *Pdt-B-Bett-B* ou *Bett-Pdt-B*.

Un dernier type de PRA caractérisé par l'importance des surfaces consacrées aux légumes ressort très nettement autour de l'agglomération parisienne.

Enfin, un type de PRA très hétérogènes est distingué, dans lequel aucun triplet de cultures n'apparaît réellement caractéristique. Il regroupe des PRA de transition principalement situées à l'interface de grands ensembles très contrastés, comme entre la Champagne crayeuse et les plateaux du Barrois.

Cette typologie des PRA du bassin de la Seine en fonction des successions de trois cultures pratiquées durant la décennie quatre-vingt dix présente plusieurs intérêts :

- elle permet de différencier des PRA qui ne le seraient pas en travaillant sur les assolements une année donnée. A titre d'exemple, elle distingue des PRA qui ont comme caractéristique commune une sole importante en maïs, mais qui n'est pas pour autant conduit de la même manière (en monoculture ou assolé avec des délais de retour plus ou moins longs).
- le choix de s'affranchir des occupations du sol pérennes, et en particulier des prairies permanentes, permet de centrer la comparaison sur les successions de cultures annuelles, indépendamment de leur proportion dans la SAU des PRA. Des PRA considérées comme des régions d'élevage dominant en raison de fortes proportions de prairies, peuvent être ainsi rapprochées de PRA de grandes cultures si le même type de successions culturales y est pratiqué. C'est le cas par exemple du Pays de Caux et du Petit Caux de Haute-Normandie qui appartiennent au même type que la Beauce et le Gâtinais du Loiret, en partie caractérisé par la succession *Bett-B-O*.

2.2. – Différenciation de régions agricoles selon la diversité des itinéraires techniques

La diversité des itinéraires techniques et la façon dont elle s'organise spatialement au sein du bassin de la Seine sont analysées à partir de l'enquête *Pratiques culturales* pour l'année 2001. La démarche utilisée consiste à construire des typologies d'itinéraires techniques sur les principales

cultures du bassin par des méthodes d'analyses multivariées (AFCM suivies de CAH), puis à cartographier les types obtenus à l'échelle des PRA ou de groupes de PRA contiguës (quand le nombre de parcelles enquêtées dans la PRA est trop faible pour être représentatif de la PRA). Dans cette partie, nous n'allons pas jusqu'à définir des types de PRA en fonction des combinaisons de types d'itinéraires techniques qui y sont observés : le fait de travailler sur un échantillon qui, dans certaines PRA, peut ne pas être représentatif, ainsi que la complexité d'intégrer des types d'itinéraires techniques différents sur des cultures différentes, nous incitent à analyser la localisation des types d'itinéraires techniques à partir d'une représentation cartographique monovariée (c'est-à-dire culture par culture et type par type).

La démarche est ici présentée sur l'exemple de la culture du blé pour laquelle 1290 parcelles ont été enquêtées en 2001 dans le bassin de la Seine (Mignolet *et al.*, 2004). La distribution spatiale des parcelles échantillonnées est représentée sur la ***Figure 21***. Les variables choisies pour décrire les itinéraires techniques représentent les différentes catégories d'interventions techniques conduites au cours de la campagne agricole 2000 – 2001 (***Tableau 4***) : travaux de préparation du sol, semis, fertilisations minérales azotée, potassique et phosphatée, fertilisation organique, travaux de protection des cultures, et enfin récolte[24]. Chacune des variables est déclinée en modalités, soit prédéfinies dans l'enquête SCEES, soit calculées de manière à équilibrer le mieux possible les effectifs de chaque modalité. Des variables supplémentaires (précédent cultural, régularité de la fumure organique) sont également utilisées pour expliquer certaines caractéristiques des itinéraires techniques. La CAH est réalisée sur les coordonnées des parcelles sur les six premiers axes factoriels de l'AFCM.

2.2.1 Mise en œuvre de l'AFCM

Les six premiers axes factoriels de l'AFCM représentent un quart de l'inertie du nuage de points. La ***Figure 22*** montre la répartition des modalités des principales variables dans le premier plan factoriel :

- concernant la fertilisation minérale, le premier axe oppose les blés ne recevant pas de fumure phospho-potassique à des blés recevant un voire deux apports de phosphore et de potasse. La quantité d'azote minéral apportée et le nombre d'apports s'ordonnent selon un gradient décroissant sur le deuxième axe : quantité importante en quatre apports ou plus sur sa partie négative, opposée à une faible quantité en deux apports sur sa partie positive.
- l'intensité des pratiques phytosanitaires s'exprime sur la bissectrice du plan factoriel qui montre un gradient croissant du nombre d'interventions (désherbage, fongicide, insecticide) auxquelles s'ajoute l'utilisation de régulateur de croissance.

[24] Sur cet exemple, nous avons pris en compte d'autres composantes de l'itinéraire technique que celles nécessaires pour renseigner le modèle STICS (en particulier les pratiques phytosanitaires) pour appréhender l'itinéraire technique dans sa globalité.

- les modalités des variables relatives aux travaux du sol s'expriment sur le premier axe factoriel : augmentation du nombre de passages de la partie négative vers la partie positive de l'axe corrélée avec une partie des dates de labour et de semis (un labour et un semis précoces sont associés à un nombre de passages élevé et inversement).

2.2.2 Définition et localisation des types d'itinéraires techniques sur blé

La diversité des itinéraires techniques sur blé est représentée sous la forme d'une typologie en dix types, dont les poids respectifs s'avèrent très variables (de 1 à 25% des parcelles échantillonnées) (*Tableau 5, Figure 23*). Ces dix types diffèrent principalement selon les niveaux d'intrants minéraux et phytosanitaires, et selon la date de semis fortement corrélée à la nature du précédent cultural.

Les deux premiers types peuvent être considérés comme peu représentatifs, puisqu'ils rassemblent chacun moins de 2% des parcelles. Leur principale caractéristique est liée au nombre d'apports d'azote minéral : nul pour le type B1, associé à une absence de fertilisation minérale potassique et phosphatée ; un seul apport pour le type B2, sans apport de phosphore et de potasse pour un tiers des parcelles.

Plus de la moitié des parcelles affectées aux huit autres types reçoivent trois apports d'azote minéral. Nous pouvons ainsi distinguer trois types pour lesquels 95% des parcelles reçoivent entre 2 et 3 apports d'azote minéral :

- le type B3 (13% des parcelles) est répandu sur l'ensemble du bassin de la Seine mais apparaît préférentiellement localisé sur sa périphérie Est. La dose totale d'azote minéral apportée est réduite (inférieure à 190 unités pour 70% des parcelles), et il n'y a aucun apport en phosphore et potasse, compensé pour seulement 10% des parcelles par un apport de matières organiques. Toutefois, un tiers de ces parcelles reçoivent régulièrement une fumure organique et un quart en reçoivent de temps en temps. Les pratiques phytosanitaires apparaissent également parmi les plus réduites : 83% des parcelles ne reçoivent pas d'insecticide, 80% reçoivent entre 1 et 3 fongicides. Enfin, la moitié des parcelles n'ont pas d'application de régulateur de croissance. Les blés de ce type ont d'assez faibles rendements (inférieurs à 75 qx pour 83% d'entre eux).
- le type B5 (6% des parcelles) est caractéristique du nord-ouest du bassin, en particulier du Pays de Caux où il représente plus de 40% des parcelles échantillonnées. Comme le type précédent, la dose totale d'azote minéral est réduite (inférieure à 190 unités pour plus de 70% des parcelles), mais la moitié des parcelles reçoivent un apport de phosphore et 60% un apport de potasse. En liaison avec des précédents à récolte tardive (betterave, maïs fourrage, pois), ce type est également caractérisé par des labours tardifs (à partir de décembre), des semis tardifs (à partir de janvier pour 40% des parcelles) et une récolte tardive (après le 1er août).
- le type B4 (12% des parcelles) apparaît préférentiellement localisé dans le sud du bassin (Morvan, Yonne). Alors que deux tiers des parcelles sur lesquelles ils sont implantés ne reçoivent

jamais de fumure organique, ces blés reçoivent tous un apport de phosphore et de potasse, mais à des doses réduites pour cette dernière (inférieure à 70 unités pour les ¾ des parcelles). Les semis apparaissent précoces (durant la 2ième quinzaine d'octobre), ce qui est à rapprocher des précédents blé ou colza majoritaires dans ce type.

Les itinéraires techniques du type B6 (12% des parcelles) sont principalement localisés au sud de la Vallée de la Seine, en Picardie et en Champagne crayeuse. Les ¾ de ces parcelles reçoivent 3 apports d'azote (correspondant à une dose totale supérieure à 190 unités pour les deux tiers), et toutes reçoivent un apport de potasse et de phosphore (mais les deux tiers des parcelles concernées ne reçoivent jamais de fumure organique). Au moins un régulateur de croissance est appliqué pour 90% des parcelles (plus d'un pour 40%), et le nombre de fongicides peut être élevé (jusqu'à plus de 5). En majorité derrière un précédent blé ou colza, les semis sont précoces (1ère quinzaine d'octobre pour 80% des parcelles).

Les trois types d'itinéraires techniques suivants sont caractérisés par un fractionnement des apports d'azote plus important, puisqu'un pourcentage significatif des parcelles qui les composent reçoivent 4 apports d'azote minéral (de 15 à 23%). De 55 à 66% de ces parcelles ne reçoivent jamais de fumure organique :

- les blés du type B7 (11% des parcelles) suivent en général une betterave ou un maïs grain. Les labours et semis sont donc tardifs. Seuls la moitié d'entre eux reçoivent une fumure en P et K.
- les blés de type B8 sont les plus répandus sur le bassin : ils représentent près du ¼ des parcelles échantillonnées, réparties sur toute la partie centrale du bassin. La dose totale d'azote minéral est élevée (supérieure à 210 unités pour la moitié des parcelles), mais il n'y a aucun apport en phosphore ni potasse. A noter que presque 30% de ces parcelles sont en zéro labour. La moitié de ces parcelles reçoivent plus d'un régulateur de croissance et de 4 à 5 fongicides. Les rendements sont élevés (supérieurs à 85 qx pour la moitié).
- les blés de type B9 (17% des parcelles) se retrouvent sur toute la périphérie est et sud du bassin, très peu couverte par le type précédent. Les deux tiers ont un précédent colza, qui induit des semis de blé précoces (avant le 15 octobre). Contrairement au type B8, ils reçoivent un apport de phosphore minéral et, pour les deux tiers, un apport de potasse. Les pratiques phytosanitaires sont également très différentes : pas d'insecticide, moins de 3 fongicides, mais plus d'anti-limace (plus d'un apport pour les deux tiers des parcelles).

Enfin, le dernier type d'itinéraire technique identifié (B10, 1% des parcelles), très peu représenté sur le bassin de la Seine, est caractérisé par plus d'un apport en phosphore et potasse, à des doses importantes, et associés à une fumure organique régulière pour 40% des parcelles concernées.

Ces résultats montrent la richesse de l'enquête *Pratiques culturales*, qui induit de multiples possibilités d'analyse (définition des seuils relatifs aux modalités de chaque variable, choix des

variables actives et supplémentaires pour caractériser les itinéraires techniques, niveau de détail des typologies retenues, etc). La typologie présentée sur blé est issue d'essais exploratoires, qui appellent d'autres analyses pour conforter sa robustesse ou examiner plus en détail certains aspects des itinéraires techniques. Il est ainsi envisageable de réaliser des analyses plus ciblées, dans le but de mieux connaître la diversité de certaines pratiques culturales : à titre d'exemple sur le blé, il serait intéressant de conduire une analyse détaillée des pratiques de fertilisation azotée minérale, tenant compte du nombre d'apports et de la dose totale apportée, mais aussi des dates et doses de chacun des apports. Des analyses ciblées sur les pratiques phytosanitaires, permettant de prendre en compte un nombre plus important de variables descriptives, seraient également à réaliser (Champeaux, 2007). Enfin, ces analyses sont à étendre à d'autres cultures présentes de manière importante sur le bassin de la Seine (maïs, betterave[25], pois, colza) ainsi qu'aux prairies.

Enfin, l'enquête *Pratiques culturales* contient des informations relatives aux raisons des choix des agriculteurs que nous n'avons pas pris en compte : comment est prévu le niveau de fumure azotée, comment est-il réajusté au cours du cycle végétatif, en fonction de quelles recommandations sont décidés les traitements phytosanitaires … Ces informations peuvent être utiles pour appréhender la manière dont les agriculteurs raisonnent leurs itinéraires techniques.

3. Différenciation de régions agricoles selon la diversité des évolutions des systèmes de culture

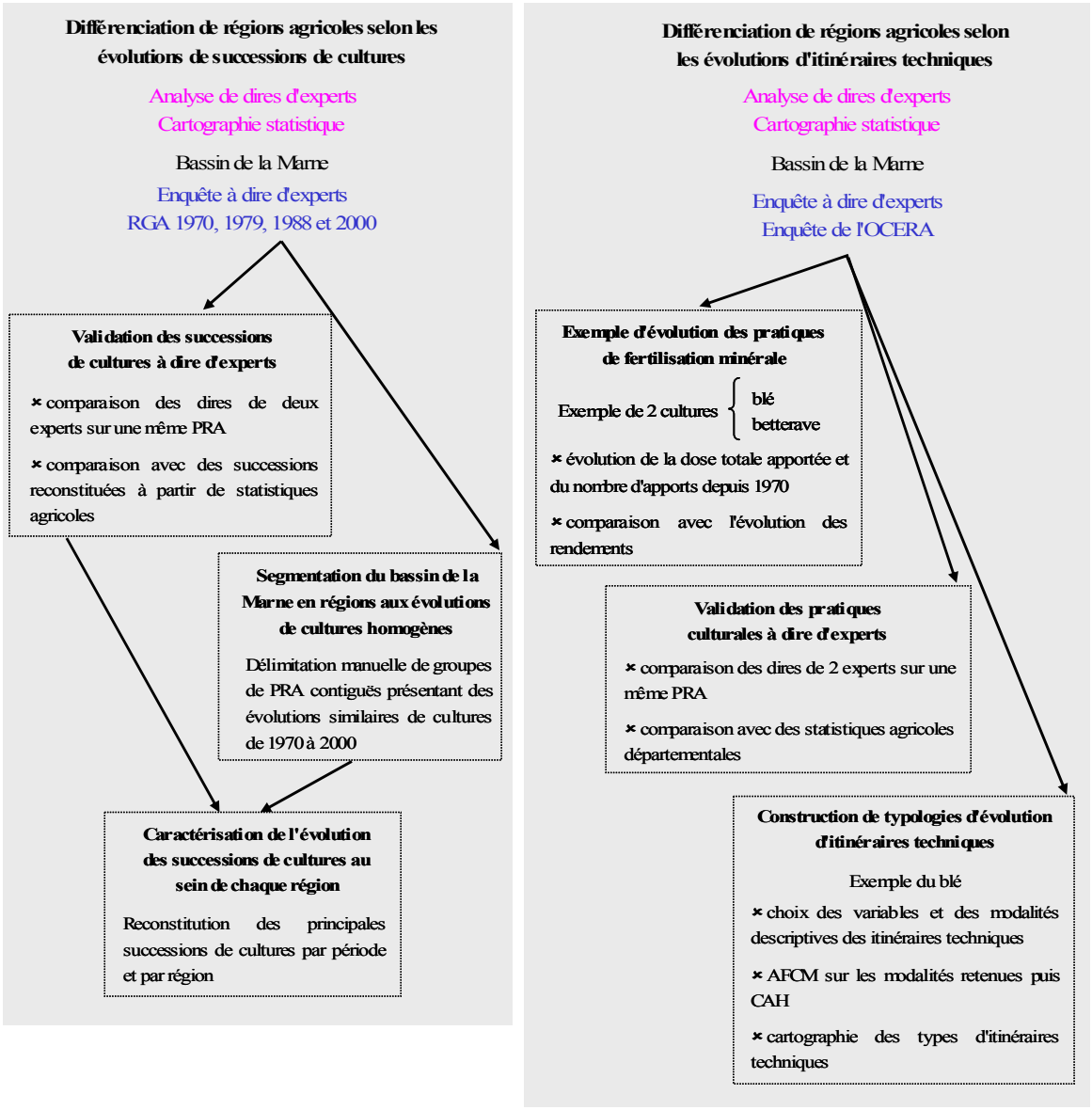
Cette partie du chapitre reprend largement des résultats publiés dans la revue Agronomie : **MIGNOLET C., SCHOTT C., BENOIT M., 2004**. Spatial dynamics of agricultural pratices on a basin territory : a retrospective study to implement models simulating nitrate flow. The case of the Seine basin. ***Agronomie***, 24, 219-236. Comme la partie précédente, la différenciation de régions agricoles homogènes est appréhendée séparément concernant l'évolution des successions de cultures d'une part, et l'évolution des itinéraires techniques d'autre part (Encadré 5).

Compte tenu de l'échelle temporelle de trente années retenue pour analyser les évolutions des systèmes de culture et leur différenciation spatiale au sein du bassin de la Seine, les résultats exposés ici sont principalement basés sur les dires d'experts que nous avons rencontrés. Cette partie présente donc deux particularités :

- elle est limitée au bassin de la Marne élargi, qui couvre neuf départements et soixante-quatre PRA.

[25] Des premières analyses ont été conduites sur le maïs (703 parcelles échantillonnées) et la betterave (384 parcelles). Elles conduisent à des typologies détaillées respectivement en 7 et 6 types, dans lesquelles la fumure organique et la fertilisation minérale en azote, potasse et phosphore apparaissent comme les variables les plus discriminantes (Mignolet *et al*., 2004).

- une attention particulière est portée sur l'estimation de la validité des dires d'experts, en les croisant entre eux quand ils portent sur une même PRA ou en les confrontant à des informations issues de statistiques agricoles nationales ou départementales quand elles sont disponibles.



Encadré 5 : Démarche de recherche pour différencier des régions agricoles selon la diversité des évolutions de systèmes de culture

3.1. Différenciation de régions agricoles selon les évolutions de successions de cultures

Pour identifier les évolutions de successions de cultures intervenues au cours des trente dernières années, nous choisissons de procéder de manière séquentielle en demandant aux experts de délimiter, pour chaque PRA, des périodes relativement homogènes compte tenu de la nature des successions et de leur poids dans la PRA (en pourcentage de surface). En règle générale, c'est un découpage en trois périodes qui revient le plus souvent, qui coïncide avec les dates-clés de la PAC : 1981 et 1992.

Toutefois, l'identification des principales successions de cultures n'est pas un exercice facile pour les experts, plus habitués à raisonner en termes d'assolement, d'autant plus qu'ils sont nombreux à considérer que le choix des cultures dans une succession est devenu, depuis les années quatre-vingts, plus spéculatif qu'agronomique (notamment dans des zones où le nombre de têtes de rotation est très important, comme en Champagne crayeuse). De même, attribuer un pourcentage à chacune des successions majoritaires s'avère assez délicat.

C'est pourquoi une première étape de notre démarche consiste à fiabiliser la nature et le pourcentage des successions définis par les experts, en les confrontant à des informations statistiques issues des RGA et de l'enquête *Teruti*. Sur une PRA, nous avons également l'opportunité de croiser des informations de deux experts appartenant à deux organisations professionnelles agricoles différentes. Dans une seconde étape, nous présentons les régions agricoles identifiées à partir des évolutions de successions de cultures décrites par les experts et fiabilisées par les statistiques agricoles au cours des trois dernières décennies.

3.1.1 Validation des évolutions de successions de cultures à dires d'experts

Croisement avec les RGA et l'enquête Teruti

Le croisement des successions culturales définies par les experts sur une PRA pour une période de temps donnée avec des informations issues d'une part des RGA, et d'autre part de l'enquête *Teruti*, a deux objectifs :

- améliorer le pourcentage affecté à chaque succession de cultures dans la SAU de la PRA, en l'ajustant aux pourcentages de chaque culture renseignés dans les RGA,
- améliorer la nature des successions de cultures décrites, voire en ajouter de nouvelles, quand il paraît évident que les successions à dires d'experts ne permettent pas un ajustement suffisant avec les valeurs des RGA. Pour la décennie 1990, ce sont les données *Teruti* traitées par les algorithmes de Markov qui sont ici sollicitées.

L'***Encadré 1*** expose le principe du croisement de ces trois sources d'information pour progressivement définir des successions de cultures à partir d'une information initiale fournie par un expert (ce qui est une démarche différente de celle exposée dans la partie précédente où l'information initiale est l'enquête *Teruti*). L'exemple choisi est celui du Pays d'Othe du département de l'Aube, pour la période 1990 – 2000 sur laquelle nous disposons des trois sources d'information (RGA 1988, RGA 2000, enquête *Teruti* 1992 – 1998). Pour les décennies 1970 et 1980, seuls les RGA peuvent être utilisés en complément des dires d'experts.

Comparaison de dires d'experts

Une autre étape d'estimation de la validité des dires d'experts consiste à confronter les résultats d'enquêtes menées pour une même PRA auprès de conseillers issus d'organisations professionnelles

agricoles différentes. Nous prenons ici l'exemple du Barrois de la Meuse, sur lequel nous avons pu mobiliser deux experts sur l'ensemble de la période étudiée de 1970 à 2000 (ce qui constitue le seul cas de nos enquêtes) : l'un est conseiller de secteur à la Chambre d'Agriculture de la Meuse, l'autre conseiller technique à la coopérative Champagne Céréales, qui couvre plusieurs départements du nord-est de la France.

Les successions culturales typiques décrites par les deux experts pour chacune des trois décennies de l'enquête sont déjà révélatrices d'un certain nombre de biais, pour cette PRA dont l'assolement est pourtant relativement simple compte tenu de son contexte pédo-climatique. Nous les avons comparées aux successions fiabilisées à partir des RGA selon la méthode développée dans l'encart méthodologique (Tableau 10).

Tableau 10 : Comparaison des successions culturales obtenues à dire d'experts et estimées à partir du RGA pour le Barrois de la Meuse (PRA 55314)

	Expert 1 (Chambre d'agriculture)		**Expert 2 (Coopérative céréalière)**		**Calcul d'après RGA**	
	Successions principales	% dans la PRA	Successions principales	% dans la PRA	Successions principales	% dans la PRA
1970-1980	Sth	40	Sth	45	Sth	38
	Avoine-B-OP	6	C-B-OP-OH	20	Avoine-B-OP-OH	25
	Mf-B-OP (ou OH)	30	Mf-B-OP		LLL-B-OP-OH	12
	Colza de P-B-OH	10	Mf-B-OH	25	Mf-B-OP-OH	10
					C-B-OP-OH	8
1980-1990	Sth	35	Sth	35	Sth	34
	C-B-OH	45	C-B-OH	45	C-B-OP-OH	28
	Mf-B-OH (ou OP)	20	Mf-B-OH	20	Mf-B-OP-OH	18
					Mg-B-OP	8
1990-2000	Sth	25	Sth	30	Sth	28
	C-B-OH	50	C-B-OH	50	C-B-OH	42
	Mf-B-OH (ou OP)	25	Mf-B-OH	20	Mf-B-OH	14
					Mg-B-OP	8

C'est pour la période 1970-1980 que les décalages sont les plus importants entre dires d'experts et successions estimées à partir des RGA. On observe une sur-évaluation par les experts des successions basées sur le colza ou le maïs fourrage (qui ont débuté leur progression à partir de ces années-là) et à l'inverse, une sous-représentation des successions plus traditionnelles, à vocation fourragère, basées sur l'avoine et la luzerne. Ces cultures représentaient encore chacune environ 6% de la sole durant cette décennie et seul le conseiller de Chambre d'Agriculture mentionne l'existence de successions comportant de l'avoine en tête de rotation. De même, la place de l'orge dans les rotations est elle-aussi sous-estimée : cette culture était pourtant majoritaire par rapport au blé dans l'ensemble du Barrois, et était généralement conduite au moins deux années de suite, comme le montre l'une des successions du conseiller de coopérative. Cette pratique tend à disparaître à partir des années 1980 lorsque le blé parvient à égaliser l'orge. Les successions triennales l'emportent alors sur les successions en quatre ans avec trois céréales à paille consécutives.

Pour les années 1980 et 1990, les experts proposent des successions identiques, dont les pourcentages relatifs dans la PRA se rapprochent de plus en plus de ceux estimés à partir des RGA (si maïs grain et maïs fourrage sont confondus).

Nous observons ainsi une concordance croissante, aussi bien qualitative (nature de la succession) que quantitative (% dans la PRA), entre successions à dires d'experts et successions fiabilisées à partir des RGA pour les périodes les plus récentes. Nous pouvons nous demander ici si ces écarts sont dus à une mémoire « sélective » des experts qui tendraient à privilégier les cultures en expansion plutôt que celles en déclin, ou s'il s'agit d'un biais lié à l'échantillon d'agriculteurs avec lesquels ces conseillers ont travaillé durant les années 1970. S'il s'agissait essentiellement d'agriculteurs portés vers l'innovation technique, il est normal que les conseillers aient pu avoir une vision tronquée des pratiques agricoles de cette période. Cet exemple montre l'importance de croiser les dires d'experts avec d'autres sources d'informations, telles que les statistiques agricoles.

3.1.2 Différenciation de régions agricoles selon l'évolution des successions de cultures

Segmentation du bassin de la Marne en régions aux changements d'occupations du sol homogènes d'après les RGA

La fiabilisation des successions culturales définies par les experts par le biais des RGA est réalisée sur des groupes de PRA caractérisées par les mêmes changements d'occupations du sol agricoles majoritaires depuis 1970. Ces groupes de PRA sont distingués par tris successifs selon l'évolution de modes d'occupation du sol jugés discriminants, reconstituée à partir des RGA sur les périodes 1970-1979, 1979-1988 et 1988-2000.

La betterave est choisie comme première occupation du sol discriminante, car elle s'avère être la culture la plus stable dans le temps et la plus localisée (en fonction des contrats avec les sucreries et des propriétés agronomiques des sols). Trois grandes catégories de PRA sont ainsi définies, dans lesquelles la betterave est absente, peu représentée ou très importante. Nous sélectionnons ensuite l'occupation du sol la plus discriminante au sein de chaque catégorie pour finalement aboutir à une classification en onze types de PRA, pour lesquelles l'évolution des occupations du sol discriminantes a été similaire (***Figure 24***).

Caractérisation de l'évolution des successions de cultures au sein de chaque région

Sur les 64 PRA enquêtées sur la Seine amont, de fortes disparités apparaissent entre PRA, notamment selon un axe Est-Ouest, mais également certaines similitudes montrant que l'organisation spatiale de l'évolution des successions culturales n'est pas aléatoire. Les successions de cultures représentatives de chacun des onze types de PRA sont présentées dans le ***Tableau 6*** : y figurent les successions à dires d'experts retravaillées à partir des statistiques agricoles sur les trois dernières décennies, et les diagrammes de Markov obtenus à partir de l'enquête *Teruti* sur la dernière décennie.

Les régions à forte proportion de cultures industrielles montrent globalement une relative stabilité de leurs successions caractéristiques, car celles-ci sont organisées autour de cultures sous contrat à forte rentabilité : luzerne de déshydratation en Champagne crayeuse (région 1), pomme de terre sur les plateaux picards (région 2) et betterave sucrière sur ces deux régions, auxquelles s'ajoutent les PRA Valois-Vexin et Gâtinais (régions 3 et 3 bis). Comme la betterave nécessite un délai de retour de trois à quatre ans, sa culture est fréquemment organisée dans le cadre de rotations quadriennales, en association avec la pomme de terre ou le maïs selon les régions. Cependant, nous constatons que le pois protéagineux, arrivé dans les années 1980, prend une place importante dans ces successions, notamment en Champagne crayeuse. Dans les autres zones, soit il remplace le maïs, soit il contribue à allonger des rotations triennales de type betterave-blé-blé ou betterave-blé-orge, sauf dans le Gâtinais (région 3 bis) dont les sols argilo-calcaires lui conviennent mal. Cette dernière région se caractérise d'ailleurs par ses rotations triennales, car elle s'est spécialisée dans la production d'orge de printemps de qualité et de betterave. Le maïs grain y décline fortement dès les années 1980 comme dans tout le secteur. S'il est fortement implanté dans toute la Brie et le sud de l'Oise durant les années 1970, il ne se maintient, tout comme le colza (au sein de rotations triennales), que sur les plus mauvaises terres de ces régions.

La région 4 comprend toutes les terres de Brie impropres (ou presque) à la culture de la betterave, mais en revanche très favorables aux oléoprotéagineux. Ces terres, assainies dès les années 1970, voient disparaître la quasi-totalité de leurs prairies permanentes au profit du maïs grain qui est conduit de manière très intensive un an sur deux ou trois. Dès que de nouvelles têtes de rotation plus rentables font leur apparition au cours des années 1980 (pois, colza et tournesol), elles contribuent à diversifier l'assolement. Il en résulte une grande variété de rotations triennales ou quadriennales parmi lesquelles toutes les combinaisons sont possibles sur le type "tête de rotation – blé – tête de rotation – blé".

La région 4 bis qui comprend des PRA intermédiaires comme le Tardenois, le Pays d'Othe ou la Champagne humide présente à peu de choses près les mêmes caractéristiques, avec une prédominance plus marquée des rotations triennales colza-blé-orge et une disparition plus tardive de l'élevage (comme l'atteste la présence durant les années 1970 de successions fourragères à base de luzerne, de maïs fourrage et d'avoine qui disparaissent par la suite, et de surfaces plus importantes en prairies).

Toutes les régions suivantes se caractérisent par une proportion croissante de prairies permanentes dans leur SAU et la présence de cultures fourragères qui se maintiennent jusqu'à nos jours. Une région que l'on peut qualifier de "maïsicole" (région 6) s'étend le long d'un arc à l'est de la Champagne crayeuse et correspond aux PRA Champagne humide, Perthois et Vallage. Elles sont très tôt consacrées à la culture intensive du maïs (en monoculture ou assolé) qui, contrairement aux régions précédentes, se maintient ou est en progression. Les rotations colza-blé-orge typiques de tout l'est du Bassin Parisien s'y trouvent également mais en moindre proportion.

En revanche, l'introduction du colza modifie totalement le système de culture du Barrois (région 7), caractérisé dans les années 1970 par des successions céréalières longues dominée par l'orge, alors plus répandue que le blé. A cette époque, les têtes de rotation sont à vocation essentiellement fourragère (luzerne, prairies temporaires, avoine) et parmi elles, seul le maïs fourrage se maintient, ce qui traduit un déclin important de l'activité d'élevage au profit des grandes cultures. Le colza, devenu la principale tête de rotation, est conduit soit sous forme de successions triennales colza-blé-orge, voire biennales colza-blé, mais également sous forme de successions longues de céréales à paille, typiques du Barrois.

Enfin, les régions 8 et 8bis sont typiques des régions d'élevage : les prairies permanentes représentent plus de la moitié de la SAU et la diversité des successions culturales est faible. Il s'agit essentiellement de rotations triennales à base de maïs fourrage, depuis la disparition de l'avoine dans l'assolement. Le colza a également fait son apparition, de même que la tendance à cultiver le maïs fourrage plusieurs années de suite. La région 8bis correspondant à la Champagne humide de la Haute-Marne mérite d'être traitée à part car elle présente des successions à la fois très caractéristiques et stables dans le temps, correspondant à une quasi-monoculture du maïs (grain et fourrage), et à des successions céréalières débutant par de la prairie temporaire.

3.2. – Différenciation de régions agricoles selon les évolutions d'itinéraires techniques

3.2.1 Exemple de l'évolution des techniques de fertilisation minérale

Pour illustrer l'évolution des techniques culturales au cours des trente dernières années, nous choisissons de prendre comme principal exemple les techniques de fertilisation azotée minérale, qui représentent un facteur majeur du lessivage du nitrate. Nous développons ici les techniques de fertilisation sur blé et sur betterave, car ces deux cultures constituent des enjeux stratégiques pour les agriculteurs de la zone étudiée : l'une parce qu'elle est implantée partout et constitue la valeur sûre des agriculteurs (bonne maîtrise de l'itinéraire technique, rendements et débouchés stables), l'autre parce qu'elle bénéficie d'une forte implication des industries agro-alimentaires très exigeantes vis-à-vis de la qualité de la production.

Sur la culture du blé, la dose totale d'azote apportée ne cesse de s'accroître, corrélativement aux potentiels de rendement, qui augmentent notablement depuis l'arrivée des fongicides au milieu des années 1970, puis avec l'apparition des régulateurs de croissance (fin des années 1970) qui limitent la verse liée aux excès d'azote dans le sol (Figure 14). Parallèlement, les apports sont progressivement fractionnés, de manière à ajuster la fourniture d'azote avec les besoins des plantes, passant ainsi de deux dans les années 1970 à trois voire quatre dans la plupart des régions au cours des années 1990 (le dernier apport permettant d'assurer la teneur en protéine pour la farine panifiable). Plus récemment apparaît une tendance au recul du premier apport et à une diminution de la dose qui y est apportée (qui

est reportée sur le deuxième apport). Fractionnement des apports et ajustement de la date et de la dose du premier apport sont des techniques qui limitent les risques de lessivage du nitrate.

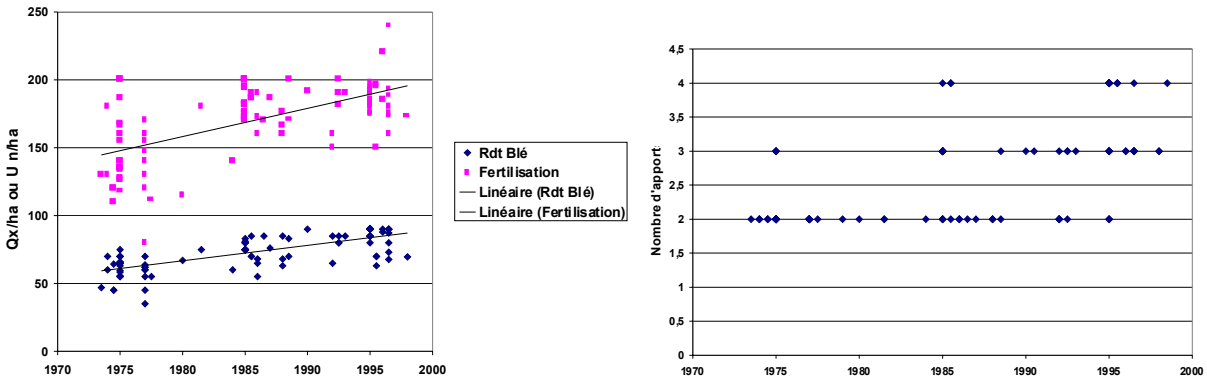


Figure 14 : Evolution comparée de la fertilisation azotée et du rendement, et évolution du nombre d'apports sur blé depuis 1970

Concernant la fertilisation de la betterave, les doses totales apportées connaissent une évolution inverse (Figure 15) : alors que les rendements moyens ne cessent d'augmenter grâce à la sélection variétale et à l'amélioration de la technicité des agriculteurs (de 50 t/ha à 16% de sucre dans les années 1970 à 74 t/ha à 17% de sucre actuellement, d'après l'Institut Technique de la Betterave), les quantités d'engrais azoté diminuent régulièrement au cours des trente dernières années, passant de 200 à 120 kg N/ha en moyenne. Cette diminution est due à une forte pression des sucreries qui rencontraient des problèmes de qualité des jus de betterave en raison d'excès d'azote.

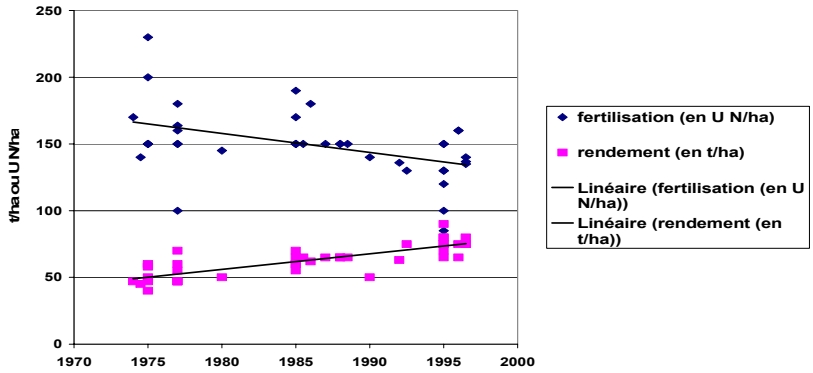


Figure 15 : Evolution comparée de la fertilisation azotée et du rendement de la betterave depuis 1970

La cartographie de ces quelques tendances montre que, tout comme les évolutions observées au niveau des successions de cultures, les évolutions des techniques de fertilisation sont spatialement différenciées (***Figure 25***). Nous pouvons ainsi identifier les régions à fort potentiel de rendement pour le blé situées à l'ouest de la zone d'enquête. Il s'agit notamment des plateaux picards et de la Brie (régions 2 à 4 selon la typologie de la ***Figure 24***). La Champagne crayeuse (région 1) n'a rattrapé son retard initial qu'au prix d'une forte augmentation de la dose de fertilisant. Concernant la betterave, il

semble que les efforts sur la réduction de la fertilisation aient surtout touché le nord des régions betteravières (Oise, Aisne et Marne). Parmi elles, l'Oise semble être la région qui a le plus faible gain de rendement entre les deux périodes.

Plus généralement sur les techniques de fertilisation, nous pouvons noter que certaines d'entre elles, qui favorisaient le risque de lessivage du nitrate, ont totalement disparu : c'est le cas de l'apport d'azote réalisé après moisson sur les pailles dans les régions de grandes cultures de 1970 à 1985, pour aider à leur décomposition (entre 20 et 50 kg N/ha sous forme uréique ou d'ammonitrate). En revanche, de nouvelles techniques sont mises en œuvre dans le sens d'une meilleure gestion de la fertilisation azotée. A partir de la fin des années 1970, la méthode des bilans simplifiés d'azote, qui permet de raisonner la fumure azotée, se généralise dans les départements de l'Aisne, de Seine-et-Marne et de l'Oise. Cette méthode est reprise dans les années 1980 par certains agro-industriels, concernés par des problèmes de qualité des produits (betteraves, légumes, pommes de terre) dus à des teneurs excessives en azote, qui la diffusent auprès des agriculteurs sous contrat. Dans les années 1990, la mesure des reliquats d'azote se généralise, principalement dans les départements de l'Oise et de l'Aisne, dans lequel par exemple 30 à 40% des parcelles en betterave en 1997 ont fait l'objet d'une mesure en sortie d'hiver. En termes plus prospectifs, une technique d'avenir citée lors des enquêtes consiste à apporter l'azote de façon localisée au moment du semis. Cette technique permettrait de réduire la dose apportée de 20 à 30% sur betterave.

3.2.2 Validation des techniques culturales à dires d'experts

Comparaison des dires de deux experts sur une même PRA

Nous reprenons ici l'exemple de la PRA du Barrois de la Meuse, sur laquelle deux experts se sont exprimés sur les trente dernières années. Comme pour l'évolution des successions culturales, leurs indications concernant les techniques de fertilisation azotée tendent à s'homogénéiser pour la dernière décennie, tant au niveau de la dose totale que des dates et du nombre d'apports (***Tableau 7***).

Pour les périodes précédentes, nous pouvons noter que les valeurs de fertilisation totale tendent à être légèrement plus fortes chez le conseiller de coopérative que chez le conseiller de la Chambre d'Agriculture, notamment sur les céréales (de 10 à 30 U de plus sur blé, orge de printemps et escourgeon). Les évolutions globales de la fertilisation (par exemple, augmentation entre 1970 et 1980 puis diminution au début des années 1990 pour le blé et le colza) sont décrites par les deux experts.

Les plus grandes différences concernent les dates d'apport décrites par le conseiller de la Chambre d'Agriculture, souvent plus précoces que celles données par l'expert de coopérative et qui peuvent parfois être décalées d'un mois d'un expert à l'autre (comme le premier apport sur blé par exemple). Le rôle de la fertilisation organique semble plus important pour le conseiller de la Chambre qui indique un apport de 90 tonnes de fumier sur maïs en 1970-1980, contre 50-60 chez le conseiller de

coopérative, et qui mentionne en outre des apports sur colza depuis les années 1990 et sur orge de printemps durant les années 1970-1980.

Enfin, l'expert de Chambre décrit des pratiques plus « traditionnelles », comme l'apport d'azote sur colza à l'automne jusqu'en 1990, des doses plus fortes au premier apport sur blé, un seul apport d'azote sur orge de printemps en 1970-1980 contre deux chez le conseiller de coopérative.

Comparaison avec des statistiques agricoles départementales

Nous avons montré que l'identification des successions de cultures et de leur poids dans chaque PRA ne peut se faire de façon fiable qu'en confrontant les dires d'experts aux statistiques agricoles. En ce qui concerne les pratiques culturales, nous entreprenons une démarche analogue pour évaluer à partir de sources d'informations différentes, la validité des itinéraires techniques décrits par les experts. Nous développons ici l'exemple du département de l'Aube en comparant sur les huit PRA qui le composent, les dires d'experts et les résultats d'enquêtes en exploitations conduites par l'OCERA.

Les enquêtes de l'OCERA portent sur les principales cultures de vente du département : blé, orge de printemps, escourgeon, maïs, pois, colza et tournesol. Elles concernent environ 10% des agriculteurs de l'Aube, dont il est difficile de juger s'ils constituent un échantillon représentatif des exploitations de ce département. Nous présentons ici des comparaisons sur la fertilisation azotée et le rendement, pour lesquels des séries complètes sont disponibles par année et par PRA en 1969 et depuis 1980 pour l'ensemble des cultures, et annuellement depuis 1969 pour le blé. Les données de rendement sur la betterave proviennent quant à elles des archives des sucreries du département. Pour être comparées aux dires d'experts qui portent sur les décennies 1980 et 1990, nous calculons la moyenne décennale de ces valeurs annuelles. Pour la décennie 1970, et mis à part pour le blé et la betterave, nous calculons une moyenne arithmétique entre les résultats de la première enquête conduite en 1969 et les résultats de l'enquête conduite en 1980. La représentativité de l'échantillon de l'OCERA et la façon dont nous nous en servons induisent donc certains biais, là encore difficiles à évaluer.

Pour juger des différences pour chaque couple de valeurs « mesurées » par l'OCERA et « estimées » par les dires d'experts, associé à chaque culture sur une décennie et dans une PRA données, nous mettons en œuvre des tests de Student. Concernant la fertilisation azotée minérale au seuil de 5%, il s'avère que les dires d'experts ne sont pas significativement différents des résultats des enquêtes de l'OCERA. Par contre, ils apparaissent significativement différents concernant la variable rendement.

Pour affiner d'une manière plus qualitative ces conclusions statistiques, et notamment rechercher des différences selon les périodes ou selon les cultures, nous représentons graphiquement les couples d'observations sous forme de nuages de points (Figure 16). De façon générale, les dires d'experts tendent plutôt à sous-estimer les valeurs de fertilisation et à surestimer les rendements, en particulier

dans les années 1970. Toutefois, pour les deux variables fertilisation et rendement, la période étudiée semble avoir une forte influence sur la qualité des résultats : les points présentant le plus de dispersion par rapport à la bissectrice sont les observations des années 1970. Ils tendent à se regrouper le long de la bissectrice pour les décennies suivantes. Ceci montre bien les limites de la mémoire humaine pour l'acquisition de ce type d'informations lorsqu'on remonte au-delà des années 1980.

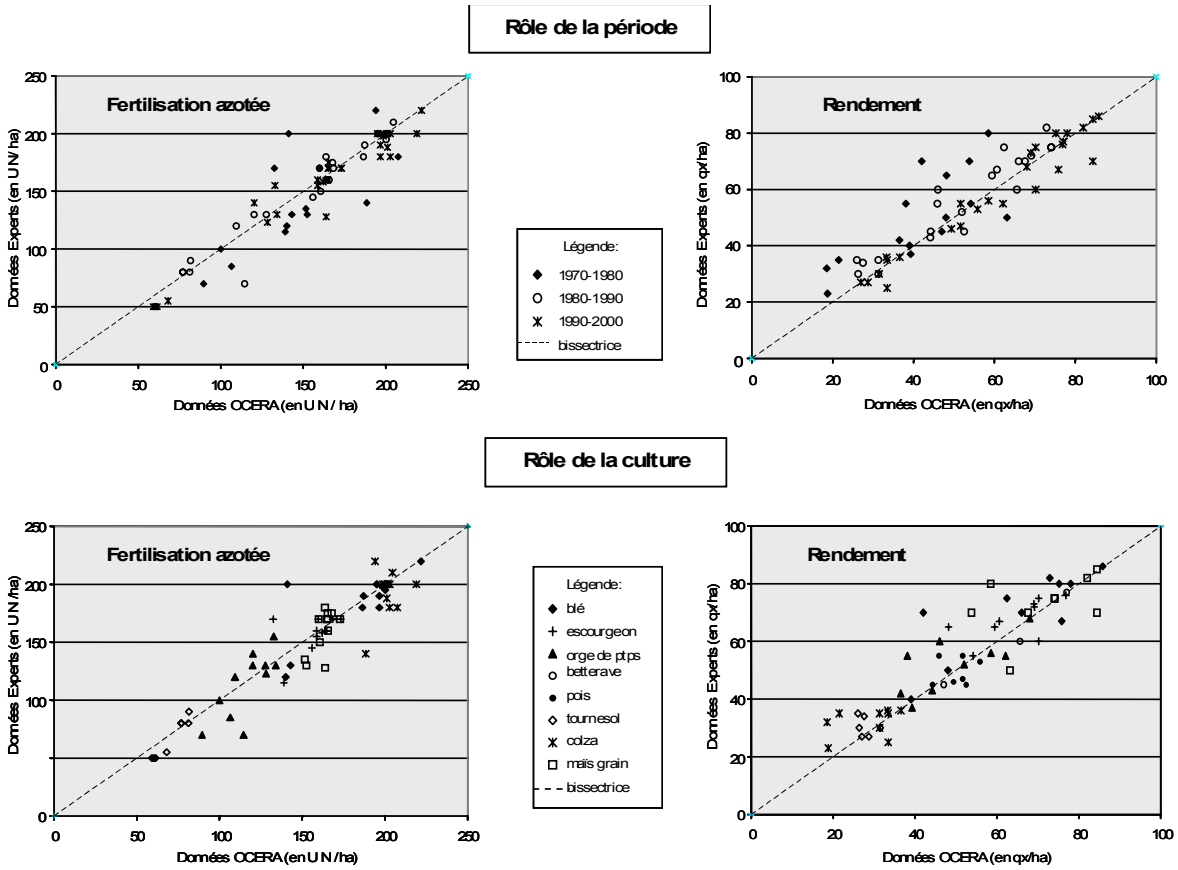


Figure 16 : Comparaison des valeurs de l'OCERA et des dires d'experts sur les rendements et les doses de fertilisation minérale en fonction de la période et de la culture

Comparativement à l'effet de la période, l'effet de la culture est beaucoup plus délicat à analyser. La fertilisation et le rendement sur une même culture peuvent être plus ou moins bien estimés en fonction de la période et de la PRA enquêtée, c'est-à-dire finalement en fonction de l'expert rencontré.

3.2.3 Construction d'une typologie d'évolution des itinéraires techniques : l'exemple du blé

Pour aller plus loin que l'analyse de l'évolution et de la différenciation spatiale de techniques culturales considérées individuellement, nous proposons de construire une typologie des itinéraires techniques reconstitués par les experts au cours des trois dernières décennies pour une culture donnée. Ces itinéraires techniques diffèrent en fonction de la période de temps, de la PRA et de la succession culturale dans laquelle la culture s'insère : ainsi pour la culture du blé, retenue ici comme exemple,

589 itinéraires techniques différents sont définis par les experts sur les 64 PRA et les trois décennies qui nous intéressent[26].

La méthode choisie est identique à celle utilisée pour construire les typologies d'itinéraires techniques en 2001 à partir de l'enquête *Pratiques culturales*. Le temps comme l'espace n'interviennent pas de façon active dans l'analyse, puisque l'ensemble des itinéraires techniques définis sur le blé sont pris en compte indépendamment de la décennie et de la PRA auxquelles ils se rapportent. Ils ne sont reconstitués qu'*a posteriori* lors de l'analyse et de la cartographie des types d'itinéraires techniques obtenus.

Mise en œuvre de l'AFCM

L'AFCM est conduite sur huit variables actives : date de semis, date de récolte, nombre de travaux du sol, type de travaux du sol, date de labour, dose totale d'azote, nombre d'apports d'azote et rendement moyen estimé. Ces variables décrivent les itinéraires techniques de manière moins complète que celles retenues dans l'enquête *Pratiques culturales* : cela est dû au fait que l'enquête à dires d'experts ne porte que sur la partie de l'itinéraire qui interfère avec le cycle de l'azote, laissant ainsi de côté les pratiques de fertilisation minérale en potasse et phosphore et les pratiques phytosanitaires. A ces variables actives sont ajoutées deux variables illustratives : le précédent cultural du blé et la décennie au cours de laquelle l'itinéraire technique a été défini.

Sur le premier plan factoriel de l'AFCM (***Figure 26***), nous observons deux phénomènes principaux :

- sur l'axe 1, les modalités des variables travaux du sol, nombre de passages, rendement, dose totale d'azote minéral, nombre d'apports d'azote et date de récolte s'ordonnent selon un effet période. La décennie 1970 apparaît globalement associée à des rendements inférieurs à 65 qx, à une fertilisation azotée minérale inférieure à 150 U appliquée en deux apports, à une date de récolte tardive postérieure au 5/08 et à un nombre important de travaux du sol. A l'inverse, sur la partie positive de l'axe 1 où s'exprime la modalité relative à la décennie 1990, nous trouvons les plus forts rendements, une fertilisation azotée minérale supérieure à 150 U d'azote et un fractionnement du nombre des apports, des dates de récolte plus précoces et une simplification des travaux du sol qui peut aller jusqu'au "non-labour".
- sur l'axe 2, ce sont les modalités des variables date de labour et date de semis qui s'ordonnent cette fois selon un effet « précédent cultural ». Les dates de labour et de semis précoces apparaissent ainsi proches des précédents colza, pois et blé, alors que les dates tardives sont liées aux précédents betterave, maïs ensilage et maïs grain, qui se récoltent à l'automne.

[26] C'est pour le blé (culture majoritaire sur le bassin de la Seine et contribuant à toutes les successions) que le nombre d'itinéraires techniques identifiés est le plus important. A titre de comparaison, 176 itinéraires techniques sont définis sur maïs, 103 sur escourgeon, 135 sur betterave et 116 sur colza.

Définition et localisation des types d'itinéraires techniques sur blé

Suite à cette AFCM, nous réalisons une CAH sur les coordonnées des itinéraires techniques sur les six premiers axes factoriels, qui aboutit à la distinction de douze types d'itinéraires techniques sur blé. La ***Figure 27*** illustre la position de ces douze types selon un gradient de dose totale d'azote minéral apportée et un gradient de fractionnement des apports d'azote.

Certains types d'itinéraires techniques sont caractéristiques d'une décennie particulière alors que d'autres sont identifiés sur plusieurs décennies. Nous choisissons de les cartographier au sein de la zone enquêtée en les représentant par le pourcentage de surface de blé concerné au sein de chaque PRA. Pour simplifier l'interprétation de leur évolution, nous ne représentons que les types caractéristiques des décennies 1970 et 1990, en distinguant pour ces deux périodes les itinéraires techniques avec labour ou sans labour (***Figure 28***).

Dans les années 1970, les itinéraires techniques s'avèrent divisés en trois principaux types :

- le type 1 est majoritaire dans les PRA situées en périphérie de la zone enquêtée (Barrois, Ardennes, ainsi que sur les terres argileuses du Tardenois et du Pays de Bray). Il se caractérise par de nombreux travaux du sol (y compris labour), de faibles apports d'azote et des rendements également assez bas. Les précédents du blé y sont les cultures majoritairement rencontrées dans ces régions : colza, luzerne, avoine et blé.
- le type 2 est relativement similaire au précédent mais occupe plutôt les régions centrales de la zone enquêtée (Brie, Champagne humide). De plus, les travaux du sol y sont moins nombreux, les apports d'azote et les rendements un peu plus élevés. Les précédents culturaux du blé y sont surtout le maïs grain, le maïs ensilage et la betterave[27].
- enfin, le type 6 est représentatif des itinéraires techniques sans labour. Ces nouvelles pratiques débutent dans les années 1970 dans la moitié ouest de la zone enquêtée (Valois, Brie, Soissonnais). Ce type se caractérise donc par une simplification des travaux du sol et des rendements plus élevés que dans les types précédents. Les semis et récoltes du blé y sont souvent tardifs car les précédents du blé y sont des cultures à récolte également tardive (maïs grain, betterave et pomme de terre), laissant peu de temps pour les travaux d'implantation. C'est sans doute pour cette raison que le labour a été abandonné en priorité dans ces régions.

Au cours de la décennie 1990, les types d'itinéraires techniques décrits par l'analyse factorielle sont plus nombreux :

- le type 5 est celui qui couvre la plus grande superficie : il apparaît en 1980 en Champagne crayeuse et s'étend aux PRA voisines au cours de la décennie suivante. Les travaux du sol se simplifient : toujours un labour, mais moins de travaux superficiels (1 à 2). Le troisième apport

[27] Ces deux types disparaissent progressivement en ne subsistant plus que dans la PRA du Barrois en 1980-1990, puis dans les Ardennes en 1990-2000.

d'azote sur blé se généralise, mais la dose totale varie selon les PRA de 150 à plus de 200 U d'azote. Les semis sont précoces et les récoltes assez tardives. Les rendements sont plutôt élevés.

- les types 10 et 11 sont assez proches : ils se localisent plutôt dans les PRA de Brie et Champagne crayeuse et se caractérisent par des travaux simplifiés du sol (avec labour cependant), l'apparition d'un quatrième apport d'azote sur blé et des doses totales importantes (entre 180 et plus de 200 U). Dans le type 10, les précédents du blé sont le blé, le tournesol, le pois et le colza, ce qui entraîne des dates de semis et de récoltes plus précoces que dans le type 11 dans laquelle les précédents sont majoritairement la betterave et le maïs grain.

Les deux types suivants sont caractérisés par l'absence de labour, pratique qui prend de l'ampleur entre les décennies 1970 et 1990 :

- le type 4 apparaît en 1980 en Champagne crayeuse, dans le Barrois de la Meuse et sur le Plateau picard et se propage ensuite dans l'Aisne et l'Oise, ainsi que dans le sud de la Seine-et-Marne. Il s'agit d'un type où le nombre d'apports d'azote ne dépasse pas trois et où les doses totales sont comprises entre 150 et plus de 200 U d'azote. Il concerne des blés dont le précédent est majoritairement le pois, le colza et la betterave. Les récoltes y sont assez précoces et les rendements élevés.
- le type 12 ne concerne que le centre de la Seine-et-Marne ainsi que le Barrois de l'Aube : il se distingue du type précédent par l'apparition d'un quatrième apport d'azote.

4. Conclusion du chapitre

Tout comme les systèmes de production, les systèmes de culture du bassin de la Seine et leurs évolutions apparaissent spatialement différenciés, validant ainsi l'hypothèse que nous avons formulée. Les analyses que nous avons conduites sur les successions culturales et leurs évolutions d'une part et sur les itinéraires techniques et leurs évolutions d'autre part, ont abouti à la mise en évidence de régions caractérisées par des types de successions culturales ou des types d'itinéraires techniques contrastés. Très schématiquement, le bassin de la Seine peut être divisé en deux grands ensembles de régions qui s'expliquent avant tout par les différences de conditions pédoclimatiques : *(i)* les régions centrales que l'on peut qualifier de « hautement productives » (Beauce, Brie, Champagne, Picardie) où se sont concentrées les cultures à forte valeur ajoutée et à potentiel de rendement élevé ; *(ii)* les régions dites « périphériques » au milieu physique plus contraignant (rendements inférieurs, faible diversité de cultures adaptées), où se maintiennent les surfaces en herbe, les cultures fourragères (maïs fourrage, prairies temporaires) et les cultures plus « rustiques » (colza, orge). Certaines régions, comme le Pays de Caux en Seine-Maritime, présentent encore des caractères communs à ces deux grandes zones : des surfaces en herbe encore importantes dans un contexte agricole majoritairement orienté vers les cultures industrielles à forte valeur ajoutée (lin, betterave, pomme de terre).

D'un point de vue méthodologique, nous retenons trois principales conclusions. La première concerne l'emploi des modèles de Markov cachés pour reconnaître les successions culturales à partir d'un corpus d'observations. Nous avons montré que les fonctionnalités développées autour de ces modèles permettent *(i)* de caractériser la diversité des successions culturales d'un territoire (dans notre cas, les PRA), *(ii)* de comparer plusieurs territoires entre eux et *(iii)* de quantifier le poids des successions de manière à construire une typologie des territoires selon les combinaisons de successions culturales dominantes qui y sont pratiquées. La démarche proposée mobilise conjointement des compétences d'informaticiens pour le développement des applications informatiques, et des compétences d'agronomes pour le choix des modèles initiaux et l'interprétation des différentes sorties (diagrammes de Markov, listing des pourcentages d'occurrences des séquences de cultures) permettant de reconstituer les successions culturales.

La deuxième conclusion porte sur la manière dont nous avons tenté d'approcher le concept de système de culture à l'échelle de ce vaste territoire qu'est le bassin de la Seine. Compte tenu de la distinction des sources d'informations mobilisées, nous avons étudié séparément les successions culturales et les itinéraires techniques (ces derniers étant toutefois référés à un précédent cultural), y compris dans leurs évolutions. Nous n'avons donc pas restitué la cohérence d'ensemble des systèmes de culture du bassin de la Seine et nous sommes pour le moment restés très descriptifs dans nos analyses en apportant peu d'éléments d'interprétation sur les techniques culturales employées. En outre, hormis pour l'analyse de la diversité des conduites du blé à partir de l'enquête *Pratiques culturales* du SCEES en 2001, dans laquelle nous avons retenu des variables descriptives de l'ensemble de l'itinéraire technique, nous avons restreint la plupart de nos investigations aux composantes des itinéraires renseignés dans le modèle STICS, conformément à nos objectifs initiaux.

Enfin, la dernière conclusion porte sur la prise en compte du temps long. De façon plus évidente que dans le chapitre précédent, ce chapitre montre toute la difficulté qu'il y a à travailler avec un recul historique de plusieurs décennies lorsque l'on s'intéresse à des systèmes techniques agricoles et que l'on souhaite dépasser une description qualitative pour aboutir à une quantification des évolutions. Peu d'informations étant disponibles, nous avons tenté d'adopter une démarche basée sur la confrontation systématique de sources existantes parmi lesquelles figure la mémoire humaine. Nous avons ainsi logiquement montré que plus on s'intéresse à des périodes éloignées, plus les incertitudes augmentent. Toutefois, la démarche que nous avons proposée reste empirique et mériterait d'être mieux formalisée.

Chapitre 6

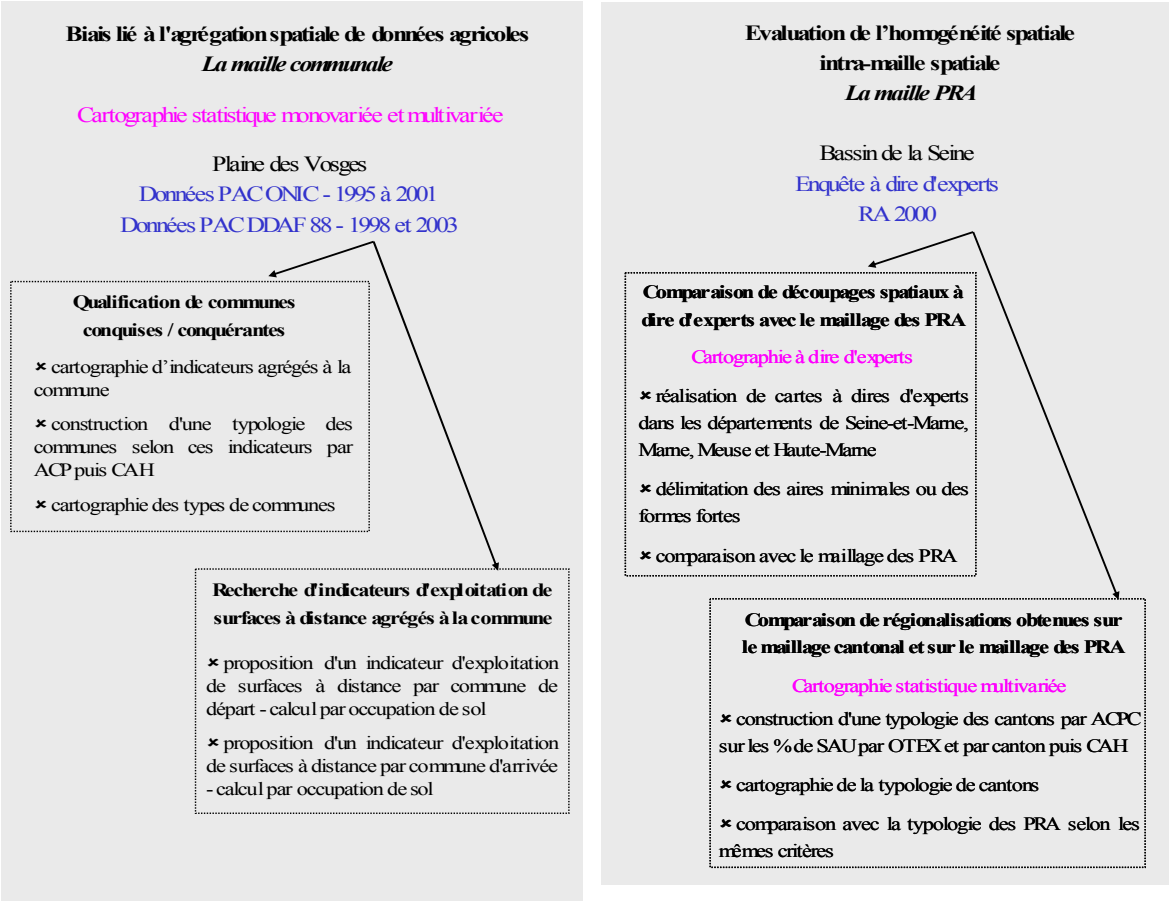
Chapitre 6 – Evaluation de la pertinence des maillages spatiaux

Les maillages spatiaux unitaires utilisés pour localiser les informations agricoles au sein des zones d'étude constituent des cadres d'observation particuliers qui conditionnent les résultats des démarches de régionalisation que nous avons conduites. Le choix de ces maillages nous amène à postuler leur homogénéité spatiale interne, et d'un point de vue cartographique, ne permet de mettre en évidence des différenciations spatiales qu'en certains lieux précis : les limites de deux mailles contiguës. Toutefois, les deux maillages spatiaux que nous avons retenus dans notre thèse (la commune et la PRA), ne l'ont pas été de façon arbitraire. Ils résultent de compromis entre la signification que nous leur attribuons pour décrire des activités agricoles et différencier des espaces agricoles, la qualité des sources d'information disponibles, et la précision qu'ils représentent au regard des zones étudiées.

L'objectif de ce chapitre est d'évaluer la pertinence du maillage communal et du maillage des PRA pour localiser des informations relatives à l'agriculture et révéler des différenciations spatiales. Nous proposons d'étudier deux types de biais qu'ils peuvent présenter (Encadré 6).

Le premier biais correspond à l'erreur commise en affectant l'ensemble des informations agricoles, en particulier celles relatives aux surfaces, à l'intérieur des mailles spatiales où les sièges d'exploitations sont situés. Cette forme d'agrégation spatiale des informations est celle qui est classiquement retenue dans les recensements agricoles, mais aussi dans le Répertoire de la Chambre d'Agriculture des Vosges. Ainsi, dans les démarches de recherche que nous avons mises en œuvre pour différencier des régions homogènes ou identifier des discontinuités spatiales en fonction des types d'exploitations, nous supposons que le territoire des exploitations est inclus dans la maille spatiale de localisation des sièges. Si cette hypothèse doit être le plus souvent vérifiée à l'échelle des PRA (si l'on s'abstrait d' effets de bordure), il n'en est pas de même à l'échelle des communes. Nous allons évaluer la pertinence statistique du maillage communal sur la plaine des Vosges, en proposant des indicateurs permettant de quantifier le phénomène d'utilisation de surfaces agricoles éloignées des sièges d'exploitations.

Le second biais correspond à l'erreur que nous commettons en supposant l'homogénéité spatiale interne des mailles spatiales. Ce biais est étudié sur le maillage des PRA du bassin de la Seine, dont l'ancienneté de la définition soulève des interrogations légitimes sur leur identité actuelle, au moyen de deux méthodes : l'une consiste à comparer le maillage des PRA avec des découpages géographiques réalisés par des acteurs d'organismes de développement agricole ; l'autre consiste à mettre en œuvre sur le maillage cantonal, une démarche de régionalisation en fonction de la localisation des OTEX analogue à celle conduite sur le maillage des PRA, puis à confronter les segmentations du bassin de la Seine obtenues.



Encadré 6 : Démarche de recherche pour évaluer la pertinence des maillages spatiaux

1. Le biais lié à la localisation des informations agricoles au siège des exploitations : analyse de la maille communale

1.1. Une source d'information : les déclarations PAC

Depuis la réforme de la PAC de 1993, les agriculteurs qui exploitent une surface en céréales, oléagineux et protéagineux (SCOP) supérieure à un seuil variable selon les départements, sont soumis à rédiger des dossiers de demande d'indemnités compensatoires à la baisse des prix de vente de ces cultures. Ne sont concernés par ces dossiers que les agriculteurs faisant l'objet d'une procédure PAC de gel des terres : ce type d'information n'est donc pas exhaustif, mais sa représentativité a été améliorée en 1997 avec la nécessité de déclarer les surfaces toujours en herbe pour l'obtention des primes à l'herbe. Moins riches que les RGA, les dossiers contiennent le détail des productions végétales et les surfaces qu'elles occupent définis par îlot. Mais à la différence des RGA, les surfaces déclarées annuellement dans ces dossiers ne sont pas allouées à la commune siège, mais sont attribuées à chaque commune en fonction de la localisation réelle des parcelles. Les déclarations PAC représentent donc une source d'information précieuse, et unique dans l'appareil statistique national,

pour évaluer la dispersion des parcellaires d'exploitations, et ainsi apprécier la pertinence de certains maillages spatiaux, et en particulier celui de la commune.

Ces données sont disponibles depuis 1995 auprès de l'Office National Interprofessionnel des Céréales qui, pour des raisons de confidentialité, les diffuse de façon agrégée sur le maillage communal. Après négociation avec la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt (DDAF) des Vosges, nous avons pu y avoir accès de manière individuelle pour l'ensemble des exploitations ayant fait l'objet d'une déclaration dans le département en 1998 et en 2003 (soit 2724 exploitations en 1998 et 2435 exploitations en 2003). La structure du fichier source est présentée dans le Tableau 11.

Tableau 11 : Structure du fichier source en 1998 et 2003*

Commune du siège d'exploitation (= commune de départ)	N° d'exploitation	Commune de localisation des parcelles (= commune d'arrivée)	SAU (ha)	Blé (ha)	Colza (ha)	STH (ha)	……
88001	1202	88001					
88001	1202	88132					
88001	289	88052					
88002	4869	88002					
88002	4869	88023					
88002	4869	88294					
…….							

* en 1998, la SAU est renseignée mais pas le détail des occupations du sol.

1.2. Qualification de communes conquises / conquérantes

Sur l'ensemble du département des Vosges (y compris la montagne), nous dénombrons en moyenne six sièges d'exploitations par commune en 1998 et cinq sièges d'exploitations en 2003, qui ont fait l'objet d'une déclaration PAC. Ce nombre moyen cache d'importantes disparités (de 1 à 78 sièges d'exploitations en 1998, de 0 à 70 sièges d'exploitations en 2003), liées à la superficie des communes mais aussi à la taille des exploitations agricoles. La ***Figure 29*** illustre la répartition communale du nombre de sièges d'exploitations pour une superficie de 100 ha : c'est dans la Montagne vosgienne, et en particulier la Montagne sud, que la densité d'exploitations apparaît de loin la plus importante, alors qu'elle excède rarement trois sièges d'exploitations pour 100 ha en plaine. Toutefois, ces chiffres ne reflètent pas du tout le nombre réel d'agriculteurs qui interviennent sur la surface agricole d'une commune donnée. Ce nombre s'élève en moyenne à 18 en 1998 et à 16 en 2003, avec là encore une variabilité importante (de 3 à 96 agriculteurs en 1998, de 1 à 84 agriculteurs en 2003), les deux tiers des agriculteurs qui interviennent sur une commune donnée en 1998 ayant leur siège d'exploitation à l'extérieur de cette commune (près de 70% en 2003). Par ailleurs, le nombre de

communes extérieures dans lesquelles les agriculteurs d'une commune donnée vont exploiter des terres varie de 1 à 31 (avec une moyenne de 9 communes).

Si nous ne raisonnons plus en termes de sièges d'exploitations mais en termes de surfaces, il s'avère que près de 40% de la SAU communale en 1998 et 2003 sont exploités par des agriculteurs dont le siège d'exploitation n'est pas localisé sur la commune. En moyenne, les agriculteurs d'une commune donnée exploitent un tiers de leur SAU à l'extérieur de la commune de leur siège d'exploitation. Si ce pourcentage varie de 0 à 100, la cartographie par commune du pourcentage de SAU exploitée par des agriculteurs à l'extérieur de leur commune siège ne permet pas d'identifier des zones bien caractéristiques (***Figure 30***). Nous observons plutôt un mitage des classes de communes qui démontre que dans tout le département, les agriculteurs exploitent des terres ailleurs que dans leur commune siège.

Ces quelques indicateurs montrent bien que le choix de localiser les exploitations agricoles dans la commune de leur siège, est une simplification importante de la réalité. Ils sont confirmés par des analyses complémentaires conduites par exploitation et non plus sur l'ensemble des exploitations d'une commune : en 1998 comme en 2003, seules 22% des exploitations du département des Vosges ont leur parcellaire inclus dans les limites de la commune de leur siège. Pour aller plus loin dans l'analyse, nous avons cherché à caractériser les communes du département des Vosges selon leur comportement « conquis » ou « conquérant ». Pour cela, nous avons conduit une ACP normée suivie d'une CAH selon la méthode de Ward sur les critères suivants calculés par commune en 1998 :

- nombre total d'exploitations agricoles, que leur siège soit situé dans ou hors de la commune considérée, pour 100 ha de SAU de la commune considérée,
- SAU moyenne des exploitations agricoles dont le siège est localisé dans la commune considérée,
- pourcentage de SAU de la commune considérée exploitée par des agriculteurs extérieurs à la commune,
- pourcentage d'agriculteurs extérieurs à la commune exploitant des terres sur la commune,
- pourcentage de SAU exploitée par les agriculteurs de la commune considérée à l'extérieur de leur commune.

Huit types de communes sont identifiés à l'issue de l'analyse statistique, auxquels s'ajoute un type non pris en compte dans l'analyse qui rassemble des communes dans lesquelles 100% des surfaces agricoles sont exploitées par des agriculteurs extérieurs à la commune (Tableau 12). Ils sont organisés selon un gradient conquis → conquérant, depuis des communes fortement conquises et non conquérantes, caractérisées par des exploitations dont la SAU moyenne est la plus faible (type 1), jusqu'aux communes très conquérantes et peu conquises, caractérisées par des exploitations de grande taille et par une faible densité d'agriculteurs intervenant sur la commune (type 8). Le type 6, avec en

moyenne 10% de surfaces conquises par commune et 28% de surfaces exploitées à l'extérieur des communes siège, est celui où les limites communales sont le plus en adéquation avec les limites des parcellaires d'exploitations. Là encore, la cartographie de la typologie des communes (***Figure 31***) ne montre pas de zones facilement identifiables au sein du département des Vosges. Les communes très conquérantes, isolées ou en petits agrégats, sont surtout présentes en plaine (hormis dans la Vôge) et sont logiquement proches de communes très conquises. Mais, la plupart du département apparaît constitué d'un mitage de communes à la fois conquises et conquérantes.

Tableau 12 : Caractéristiques des 8 types de communes issus de la CAH sur facteurs

		Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6	Type 7	Type 8
Nombre de communes		15	46	39	82	85	72	35	66
Nombre d'EA total pour 100 ha	Moyenne	7.7	5.1	5.9	5.2	3.3	3.9	8.9	4.5
	Ecart-type	0.8	1.2	1.2	1.7	0.9	1.3	2.4	1.3
SAU des EA de la commune	Moyenne	36 ha	69.4 ha	86.3 ha	57.4 ha	130.3 ha	66.5 ha	47.1 ha	111.6 ha
	Ecart-type	9.4	21.8	24.2	21.1	41.2	24.6	15.3	31.4
% SAU exploitée par des extérieurs	Moyenne	71%	50.2%	50.4%	27.2%	26.5%	10.4%	39.9%	21.2%
	Ecart-type	12.6	11.9	12.7	10.6	13.4	5.8	16.2	13.8
% d'agriculteurs extérieurs	Moyenne	86.7%	81.7%	82.5%	63.2%	72.9%	42.1%	68.2%	58.5 %
	Ecart-type	5.3	5.9	5.5	8.7	10.4	12.3	14.1	16.2
% SAU exploitée par les agriculteurs de la commune à l'extérieur	Moyenne	18.7%	12.4%	38.8%	23%	27.5%	28.3%	46.4%	55.4%
	Ecart-type	9.3	7.1	11.3	10.2	9.2	13.5	13.7	9.2

1.3. Proposition d'un indicateur tenant compte des distances

Les indicateurs que nous venons de commenter donnent des premiers renseignements sur l'éclatement des parcellaires d'exploitations sur les communes du département des Vosges. Toutefois, ils ne prennent pas en compte les distances parcourues par les agriculteurs pour exploiter des terres à l'extérieur de leur commune siège. Or, si les parcellaires apparaissent dispersés sur plusieurs communes, nous pouvons supposer qu'ils le sont avant tout sur les communes voisines de la commune siège, et que l'exploitation de terres sur des communes éloignées est plus rare.

Pour vérifier cette hypothèse, nous proposons de calculer un nouvel indicateur qui tienne compte de la distance entre les communes où sont localisés les sièges d'exploitations et les communes où sont exploitées les parcelles agricoles, pondérée par la surface de ces parcelles :

$$I_d = \sum (SAU_i \times D_i) / SAU_t$$

Cet indicateur de distance est calculé pour l'ensemble des communes du département des Vosges de deux manières différentes. Dans le premier cas, les communes sont considérées comme des communes « de départ », définies comme les communes où sont situées les sièges d'exploitations, dont on cherche à évaluer les relations avec une ou plusieurs communes « d'arrivée » (qui sont les communes où les agriculteurs des communes de départ exploitent des terres). L'indicateur représente

ici le « comportement conquérant » des communes de départ. Dans ce cas, ses composantes ont la signification suivante :

- SAU_i = surface agricole utilisée par les agriculteurs de la commune de départ dans la commune d'arrivée *i*
- D_i = distance entre le chef-lieu de la commune de départ et le chef-lieu de la commune d'arrivée *i*
- SAU_t = surface agricole totale des agriculteurs de la commune de départ

La cartographie de l'indicateur de distance calculé sur les communes de départ montre que c'est en montagne vosgienne qu'on observe les plus faibles valeurs, traduisant un faible comportement conquérant de ces communes, alors que des agrégats de communes caractérisées par des valeurs d'indicateur moyennes (entre 2 et 3) se dégagent dans la plaine, comme par exemple autour de la commune de Xertigny (***Figure 32***). Quelques communes, surtout localisées en centre plaine et en général de petite superficie, présentent des valeurs fortes de l'indicateur (supérieures à 4). Ces fortes valeurs peuvent être expliquées par trois raisons principales, qui peuvent varier d'une commune à l'autre voire se cumuler : *(i)* les communes d'arrivée sont éloignées de la commune de départ ; *(ii)* le nombre de communes d'arrivée est élevé ; *(iii)* les surfaces exploitées par les agriculteurs de la commune de départ dans les communes d'arrivée sont importantes.

Dans le second cas, les communes sont considérées comme des communes d'arrivée dont on cherche à évaluer les relations avec une ou plusieurs communes de départ, c'est-à-dire à caractériser le « comportement conquis ». Dans ce second cas, les composantes de l'indicateur de distance ont la signification suivante :

- SAU_i = surface agricole de la commune d'arrivée utilisée par les agriculteurs de la commune de départ *i*
- D_i = distance entre le chef-lieu de la commune d'arrivée et le chef-lieu de la commune de départ *i*
- SAU_t = surface agricole totale de la commune d'arrivée

La cartographie de l'indicateur de distance calculé sur les communes d'arrivée ne met pas en évidence de structuration spatiale particulière (***Figure 33***). Toutefois, les valeurs de l'indicateur apparaissent légèrement supérieures dans la moitié ouest du département, en particulier dans les Côtes de Meuse, le Bassigny-Châtenois et la Saône Lorraine. Là encore, les fortes valeurs de l'indicateur peuvent être expliquées de plusieurs manières : des communes de départ éloignées de la commune d'arrivée, un nombre de communes de départ élevé, des surfaces importantes exploitées par des agriculteurs venant d'un petit nombre de communes de départ.

2. L'identité agricole des maillages spatiaux : analyse de la PRA

2.1. Délimitation de régions agricoles homogènes à dires d'experts

Dans cette partie, nous mobilisons une méthode d'enquête cartographique utilisée depuis la fin des années quatre-vingts par des géographes, des sociologues ou des agronomes, pour accéder aux connaissances qu'ont des acteurs du milieu rural sur un territoire donné. Cette méthode, expérimentée dans différents contextes (Moisan, 1988 ; Benoît et Maire, 1992 ; Deffontaines et Lardon, 1995 ; Lhopitallier et Caron, 1999 ; Bonin *et al*., 2001), est basée sur la mise en dessin des savoirs de personnes ressources sur un territoire (que nous dénommons par la suite des experts), qui les amène à délimiter puis à caractériser des zones au sein de ce territoire. Elle s'inscrit le plus souvent dans des démarches d'accompagnement des réflexions sur l'élaboration de projets collectifs de développement territorial, dans une perspective de diagnostic, d'animation ou d'aménagement. Nous l'avons utilisée ici à des fins de recherche pour évaluer la pertinence du maillage des PRA en le comparant à des découpages à dires d'experts.

2.1.1 Le protocole d'enquête

Sur les départements de Seine-et-Marne et Marne une partie de l'enquête conduite auprès des conseillers agricoles et présentée dans le chapitre 5, a été consacrée à la délimitation de zones homogènes du point de vue des dynamiques agricoles au sein de leur territoire d'intervention (Bornerand, 2000). Cette délimitation a été réalisée sur un support cartographique présentant un minimum d'informations, uniquement destinées à faciliter le repérage et la localisation dans l'espace, sans lien *a priori* avec la thématique agricole qui puisse orienter la personne enquêtée (Caron *et al*., 1997). Ont ainsi été utilisés les fonds communaux des deux départements, sur lesquels étaient figurés en complément les principaux axes routiers et cours d'eau. La commune a été retenue ici parce qu'elle représente un repère géographique commode, intégré de longue date dans notre quotidien. Tout au long de l'entretien, le support cartographique constitue un outil de dialogue qui, en plus de servir à délimiter précisément par chaque expert les zones qu'il considère homogènes, l'oblige par la suite à exposer pour chacune d'elles ses critères d'homogénéité.

La consigne initiale de l'enquête tient en une question unique, posée de la même manière à tous les experts : « pouvez-vous représenter sur ce fond de carte les zones que vous considérez comme homogènes du point de vue de l'agriculture, et qui ont suivi une évolution semblable depuis les années soixante-dix ? ». Cette consigne est volontairement large et ne donne pas d'indication à la personne enquêtée sur des variables précises de description de l'agriculture. Cette dernière reste ainsi libre de privilégier les registres qui lui paraissent les plus pertinents ou qu'elle connaît le mieux (systèmes de production, systèmes de culture, types de sol…).

L'enquête consiste ensuite à amener l'expert à dessiner sur le fond de carte les zones qu'il considère homogènes, à caractériser individuellement chacune de ces zones, puis à les confronter pour expliciter leurs différences.

2.1.2 Le traitement des cartes à dires d'experts

Les cartes produites à l'issue des entretiens sont digitalisées sous SIG : chaque entité spatiale délimitée par les experts y est définie par un contour et une caractérisation. Le traitement des données recueillies porte d'une part sur les contours et d'autre part sur les argumentaires qui les accompagnent.

L'analyse cartographique a pour objectif de définir des espaces qui représentent un accord maximum entre experts. Ces espaces sont qualifiés *d'aires minimales* : ils correspondent aux plus petits *dénominateurs communs* qui font l'objet d'une même définition par l'ensemble des experts (c'est-à-dire qui présentent les mêmes contours et les mêmes termes de caractérisation). Chaque aire minimale est renseignée par un nombre d'occurrences, correspondant au nombre d'experts l'ayant individualisée. Plus ce nombre est élevé, plus l'aire est considérée comme un *noyau dur*. Une seconde méthode est également proposée. Elle vise à définir des zones identifiées non plus par l'ensemble des experts, mais par une majorité d'entre eux. Ces zones ne sont plus des aires minimales, nous les qualifions de *formes fortes*.

L'analyse cartographique n'a pas pour objet de produire une partition exhaustive du territoire étudié. Les zones peu ou pas renseignées, les zones floues aux limites peu partagées entre experts, sont aussi porteuses d'intérêt, car elles indiquent des lieux à faible identité agricole.

En superposant le maillage des PRA avec les cartes de synthèse issues de la délimitation des aires minimales ou des formes fortes, il est possible d'évaluer leur homogénéité interne (sont-elles superposées à plusieurs aires minimales ou formes fortes ou à une seule ?) ainsi que leur individualité (est-ce que plusieurs PRA se superposent à une même aire minimale ou à une même forme forte ?).

2.1.3 Les cartes à dires d'experts produites en Marne et Seine-et-Marne

En Seine-et-Marne, six experts ont été consultés sur la partie nord du département, localisée sur le bassin versant de la Marne. La recherche des zones d'accord maximal aboutit à la définition de trois aires minimales (***Figure 34***) :

- la première, au nord-ouest du département, est définie par quatre experts, qui la qualifient par des critères traduisant des exploitations spécialisées dans les cultures de vente : « betterave », « betteraves et légumes », « sols profonds, betteraves, légumes », « argiles lessivantes », « précoce », « argiles très battantes », « Goëlle et Multien ».
- la deuxième, au nord-est, est délimitée par trois experts, mais l'un d'entre eux la considère très proche de la zone précédente. Nous lui affectons donc deux occurrences sur les trois possibles. Les

critères utilisés pour la caractériser traduisent une zone de plateaux et de vallées, sans élevage : « Orxois », « limons battants ».

- enfin, la troisième aire minimale est distinguée à l'est du territoire étudié, avec un nombre d'occurrences de quatre. Les argumentaires qui lui sont associés indiquent une zone où l'élevage est encore présent, et où les cultures sont organisées en rotations qui intercalent du blé tous les deux ans : « zone d'élevage », « plateaux drainés », « blé / tête », « Brie laitière ».

La seconde méthode, basée sur la définition de zones d'accord majoritaire, permet de dégager deux formes fortes : le Nord-Ouest caractérisé par les cultures de vente de type betterave et légumes, et l'Est défini par des rotations blé / tête et encore un peu d'élevage. Le Nord-Est, zone de vallées et de plateaux présentant certaines caractéristiques des deux zones précédentes, n'apparaît plus comme une entité spatiale bien individualisée.

Dans les deux méthodes, des zones floues aux limites très peu partagées entre experts, voire même non informées, ressortent nettement et occupent une part importante du territoire. Elles révèlent des espaces hétérogènes, difficiles à caractériser et qui s'avèrent correspondre aux vallées de la Marne et du Morin.

Six experts ont également été consultés sur le département de la Marne. Signe que les PRA ont gardé une utilité dans le milieu professionnel agricole de ce département, les zones identifiées par les experts sont majoritairement caractérisées par des noms de PRA. Sur la carte de synthèse obtenue par la méthode des aires minimales (***Figure 35***), cinq aires minimales apparaissent nettement, avec des occurrences élevées : les deux zones de « Champagne crayeuse » (4 occurrences), le Tardenois (4 occurrences), la Brie laitière (4 occurrences), la Vallée de la Marne (3 occurrences) et le Perthois (5 occurrences). Le consensus est beaucoup moins net sur la frange nord-est du département : deux experts la découpent en zone est (= Argonne) et zone ouest (= Vallage), deux experts délimitent une zone nord (= Argonne) et zone sud (= Vallage), et le dernier ne définit qu'une seule zone. Cet exemple illustre bien le fait que même si les dénominations des PRA semblent usuellement employées, certaines ne recouvrent pas forcément la même étendue géographique d'un expert à l'autre. Parmi les quatre aires minimales possibles, nous choisissons de garder les zones délimitées à l'Est qui présentent le plus d'occurrences, et que nous dénommons Argonne. La zone intermédiaire dénommée Vallage est plutôt qualifiée de zone de transition entre la Champagne crayeuse, zone de grandes cultures, et l'Argonne, zone d'élevage.

Avec la seconde méthode orientée vers la définition de formes fortes, les mêmes zones ressortent, mais avec une plus grande extension géographique. Ce sont les zones de transition entre la Champagne crayeuse et les zones définies sur les bordures ouest et est du département qui font l'objet de plus de désaccords entre experts, et qui apparaissent donc les plus floues. C'est le cas en particulier d'une zone localisée autour de la ville d'Epernay : cette zone correspond au vignoble, sur lequel les conseillers de

la Chambre d'Agriculture et de coopératives que nous avons rencontrés sont peu sollicités et donc ont une moindre connaissance. Par contre, contrairement à l'exemple de la Seine-et-Marne, la vallée est parfaitement délimitée et paraît garder une véritable identité agricole. Remarquons enfin que l'ensemble des formes fortes recouvre la majeure partie du territoire du département : ce dernier apparaît bien appréhendé et caractérisé.

2.1.4 Comparaison avec le maillage des PRA

En Seine-et-Marne, les trois aires minimales définies au nord-ouest, au nord-est et à l'est du département correspondent respectivement à trois PRA : Valois (77329), Orxois (77056) et Tardenois (77336). Les Buttes de Dammartin (77046), identifiées par un expert, sont totalement incluses dans la zone Nord-Ouest : elles présentent à dires d'experts les mêmes caractéristiques agricoles que le Valois. De même, une partie de la PRA Brie Est (77060) est comprise dans la zone Est : elle s'apparente bien au Tardenois. Les zones de flou correspondent en fait à une PRA qui s'avère mal identifiée : ce sont les Vallées de la Marne et du Morin (77061).

La Marne est le département du bassin de la Seine dont les PRA sont les plus découpées. Cinq d'entre elles sont divisées en plusieurs polygones, dont le plus petit n'excède pas 6 km^2 : cinq pour la Champagne crayeuse, six pour la Vallée de la Marne, quatre pour le Vignoble, deux pour la Champagne humide et le Pays Rémois. Les polygones de petite taille n'ont pas été évoqués par les experts, ce qui peut s'expliquer de deux façons : *(i)* ils peuvent être trop petits et représenter des niveaux de détail que les experts n'ont pas jugé bon ou n'ont pas eu le temps d'aborder par rapport à l'échelle du département ; *(ii)* ils peuvent être semblables à la zone qui les entoure et avoir perdu les particularités qui avaient conduit à les délimiter dans les années cinquante.

Par contre, si nous considérons les polygones de grande taille, la plupart des PRA de la Marne s'avèrent bien représentées : le Tardenois (51336), la Brie champenoise (51335), l'Argonne (51315), le Perthois (51321) et la Champagne crayeuse (51317). Le Pays Rémois (51018), s'il était qualifié comme une zone très « en avance » du point de vue agricole dans les années cinquante, ne semble plus aujourd'hui se distinguer de la Champagne crayeuse : la délimitation des formes fortes le fait apparaître largement dans la même zone homogène. La PRA du Vignoble (51017) n'est pas représentée, elle est identifiée par un seul expert, les autres n'intervenant pas du tout sur la vigne. Enfin, la PRA Vallée de la Marne (51016) contient l'ensemble de la zone « vallée » définie par les experts, mais a un contour plus large : ceci s'explique parce que le découpage des PRA respecte le découpage communal. Aussi cette PRA présente-t-elle deux types de systèmes de culture : du maïs dans les zones inondables, et des grandes cultures comme en Champagne crayeuse de part et d'autre de la vallée au sens strict.

Pour tenter de quantifier la correspondance entre les PRA et les formes fortes, nous proposons et calculons deux indices de concordance (Encadré 7). Toutefois, ces indices doivent être commentés

avec prudence, car les experts font le plus souvent des tracés « à la louche » sur le support cartographique. Toute réflexion sur les surfaces des polygones ne peut ainsi qu'être indicative.

Encadré 7 : Indices de concordance entre PRA, formes fortes et intersection des deux

Nous souhaitons évaluer de quelle manière l'intersection entre la forme forte déterminée par les experts et la PRA est représentative de la forme forte et de la PRA. Deux indices sont donc calculés : la proportion de l'intersection dans la PRA et la proportion de l'intersection dans la forme forte.

	Nom de la zone	**Superficie de la forme forte**	**Rapport des superficies Intersection/ forme forte**	**Superficie de l'intersection**	**Rapport des superficies Intersection/ PRA**	**Superficie de la PRA**	**Code PRA**
		Km²	**%**	**Km²**	**%**	**Km²**	
MARNE	Argonne	550.2	53.8	296.2	97.0	305.4	51315
	Vallage	190.5	83.7	159.4	30.5	522.7	51318
	Champagne crayeuse	3892.3	81.8	3183.5	87.2	3652.5	51317
	Tardenois	435.5	91.1	396.9	71.1	558.5	51336
	Brie champenoise	925	95.9	887.3	89.3	993.1	51335
	Perthois	422.4	73.7	311.4	74.7	417.1	51321
	Vallée de la Marne	317.3	54.2	171.9	39.7	433	51016
	Vignoble			69	13.4	515.8	51017
				18	3.5	515.8	51017
				163	31.6	515.8	51017
SEINE et MARNE	Goëlle et Multien	352.2	94.1	331.5	77.6	427.4	77329
	Vallées Marne	402	5.1	20.7	2.9	714.5	77061
	Et Morin	763.2	29.2	223.1	31.2	714.5	77061
	Brie	763.2	28.9	220.6	82.7	266.9	77060
		763.2	40.8	311.6	72.8	427.8	77336

Exemple du Tardenois :

- l'intersection représente 91% de la forme forte : l'essentiel de la forme forte est comprise dans l'intersection. L'intersection est représentative de cette forme forte.
- l'intersection représente 71% de la PRA : 71% de la PRA sont compris dans cette intersection.

Nous en concluons que la forme forte « Tardenois » est essentiellement comprise dans la PRA 51336. Cette PRA est bien caractérisée par la forme forte.

Nous notons en général des pourcentages élevés pour le rapport intersection / forme forte : chaque forme forte est le plus souvent associée à une PRA. Dans le cas de la Brie, la forme forte recouvre en fait 3 PRA : 77060, 77336 et 77061 (le total des 3 intersections fait 99% de la surface de la forme forte). Les deux premières PRA sont bien caractérisées par cette forme forte ; la dernière, les Vallées, n'a aucune forme forte associée (29% pour Brie et 5% pour Goëlle et Multien). Il en est de même pour la PRA Vignoble : 50% seulement de sa superficie sont englobés par 3 formes fortes : elle n'a pas d'identité propre et ressemble pourtant peu aux PRA voisines.

En conclusion sur les départements de la Marne et de Seine-et-Marne, il s'avère que les PRA définies il y a cinquante ans conservent pour la plupart des caractéristiques propres et représentent bien des zones homogènes du point de vue de l'agriculture. Seules les vallées, territoires de petite largeur aux types de sols contrastés, sont mal décrites, ainsi que des zones agricoles très spécifiques, comme les zones viticoles, dont les agriculteurs sollicitent peu les conseillers agricoles « généralistes » que nous avons rencontrés.

2.2. Evaluation de l'homogénéité spatiale intra-PRA par analyse à la maille cantonale

En parallèle à la comparaison du maillage des PRA avec des découpages géographiques issus de dires d'experts, effectuée sur deux des vingt-trois départements que recouvre le bassin de la Seine, nous avons conduit une autre démarche d'évaluation de l'homogénéité spatiale des PRA. Cette démarche consiste à utiliser un maillage spatial plus fin qui est celui des 700 cantons situés sur le bassin. Avec les mêmes méthodes que celles présentées dans le chapitre 4, nous avons réalisé des régionalisations du bassin de la Seine par agrégation des cantons qui présentent des profils agricoles similaires. Les régions agricoles ainsi obtenues, constituées par des ensembles de cantons contigus appartenant à un même type, sont ensuite comparées visuellement avec le maillage des PRA. Deux types de profils agricoles calculés à partir des informations du recensement agricole de 2000, dont nous avons vu qu'ils pouvaient générer des régions différentes, sont utilisés : *(i)* le pourcentage de SAU par OTEX et par canton ; *(ii)* le pourcentage d'exploitations agricoles par OTEX et par canton.

La comparaison du maillage des PRA avec les régions agricoles obtenues sur les profils relatifs à la SAU met en évidence trois types de situation (***Figure 36***). La première correspond à des PRA constituées de cantons appartenant à un même type, dont nous pouvons confirmer l'homogénéité spatiale. C'est le cas par exemple de la Beauce et du Plateau d'Evreux Saint André à l'ouest, du Gâtinais pauvre, du Pays d'Othe et de la Basse-Yonne de l'Yonne, ou encore de la Brie laitière de Seine-et-Marne, toutes caractérisées par l'OTEX *Céréales et oléoprotéagineux*. C'est aussi le cas de la Beauce riche et du Gâtinais riche du Loiret, du Gâtinais de Seine-et-Marne, de la Champagne crayeuse de l'Aube, caractérisées par la combinaison des OTEX *Céréales et oléoprotéagineux* et *Culture générale*.

La deuxième situation, très fréquente, correspond à des PRA qui présentent deux voire trois types de cantons dont les caractéristiques en termes d'OTEX restent proches (ils sont constitués des mêmes OTEX mais avec des variations de leur poids respectif dans la SAU). Elle traduit une légère hétérogénéité intra-PRA qui globalement gardent la même orientation agricole, mais avec certaines nuances que le maillage cantonal met en évidence. Cette situation est illustrée par la Champagne crayeuse de la Marne et des Ardennes, le Soissonnais et le Saint Quentinois et Laonnois (pour les cantons qui y sont renseignés) de l'Aisne, caractérisés par deux types de cantons, dont l'un est dominé par l'OTEX *Culture générale* et l'autre par la combinaison des OTEX *Culture générale* et *Céréales et oléoprotéagineux*. Elle est aussi présente dans le Pays d'Auge du Calvados et dans le Pays de Bray de Seine-Maritime, composés de cantons à vocation bovins lait ou bovins viande.

Enfin, la troisième situation met en évidence des PRA composées de cantons aux orientations agricoles différentes, dont nous pouvons dire qu'elles ne sont pas spatialement homogènes. Elle est assez fréquente sur les PRA de la bordure est du bassin de la Seine, qui étaient traditionnellement des

PRA d'élevage mais dont une partie a évolué vers la production de cultures de vente : l'Auxois (Côte d'Or) est ainsi caractérisé par un gradient de céréalisation croissante du sud vers le nord, la Thiérache de l'Aisne présente un gradient analogue, du nord vers le sud de la PRA. Le Plateau picard (Oise) présente également un gradient d'ouest en est, depuis des zones de polyculture-élevage à l'ouest vers des zones dominées par l'OTEX *Culture générale* à l'est. Le Pays de Caux est lui constitué d'un gradient nord-sud, avec en bordure de mer des cantons caractérisés par les OTEX *Culture générale* et *Céréales et oléoprotéagineux*, puis dans toute sa partie centrale des cantons de polyculture-élevage, pour terminer au sud par des cantons à dominante d'élevage. Enfin, cas plus rare, une PRA au centre du bassin apparaît très hétérogène : il s'agit du Tardenois de l'Aisne, composé de quatre types de cantons différents à vocation de culture générale, de production de céréales et oléoprotéagineux et de polyculture-élevage.

Nous retrouvons les trois mêmes types de situation sur la carte des régions agricoles obtenues sur les profils cantonaux relatifs au nombre d'exploitations agricoles (***Figure 36***). Toutefois, certains changements peuvent être remarqués, en particulier dans les PRA de vignobles. Le Vignoble du Barrois, qui apparaît spatialement homogène dans la figure précédente, est ici constitué de deux types de cantons, l'un orienté vers la viticulture, l'autre vers une combinaison des OTEX *Céréales et oléoprotéagineux*, *Grandes cultures et herbivores* et *Ovins – caprins*. Les cantons viticoles du Vignoble de la Marne introduisent aussi de l'hétérogénéité en Champagne crayeuse et dans la Brie champenoise.

3. Conclusion du chapitre

L'ensemble des investigations conduites sur les données PAC agrégées à l'échelle communale montre que dans le département des Vosges, l'utilisation de surfaces agricoles à l'extérieur des communes des sièges d'exploitations est aujourd'hui une pratique généralisée, malgré quelques disparités géographiques, qui ne fait que s'accentuer en relation avec l'agrandissement continu des tailles d'exploitations. La localisation des informations relatives aux exploitations agricoles à la commune des sièges présente donc cartographiquement un biais qui peut par endroit être important. En outre, si nous rapprochons les cartes obtenues dans ce chapitre avec les cartes des types d'exploitations, nous pouvons constater que les communes caractérisées par les types d'exploitations *Société* et *Lait Céréales Viande* sont globalement des communes qualifiées de conquérantes, alors que les communes caractérisées par les types *Petite Structure Lait Herbe* et *Très Petite Dimension* sont souvent conquises.

Tout comme le maillage communal présente un biais lié à l'extension des exploitations agricoles bien au-delà des limites des communes, il s'avère que le maillage des PRA peut présenter un autre biais lié à l'hétérogénéité spatiale interne de certaines d'entre elles. Ce biais peut conduire à identifier des limites entre deux régions agricoles qui apparaissent statistiquement différentes, dont la

localisation sur la carte (aux limites entre deux PRA) ne correspond pas à la localisation réelle sur le terrain (qui peut traverser une PRA). Toutefois, ce biais semble loin d'être généralisé à l'ensemble des PRA du bassin de la Seine. La majorité d'entre elles semblent avoir gardé des orientations agricoles homogènes : même si celles-ci ont forcément évolué au cours des cinquante années écoulées depuis la définition des PRA, les changements ont été les mêmes au sein des PRA. C'est en particulier le cas pour les PRA autour de la Beauce ou de la Champagne crayeuse, dans lesquelles les conditions de milieu (et en particulier les potentialités des terres) sont globalement similaires. Ce sont les PRA en périphérie de bassin qui apparaissent les plus hétérogènes aujourd'hui : PRA d'élevage dans les années cinquante, elles ont suivi la tendance dominante à la céréalisation croissante du bassin, mais seulement dans les endroits où les conditions de milieu le permettaient. Elles sont donc aujourd'hui constituées de zones d'élevage ou de polyculture-élevage et de zones plus céréalières.

Les deux méthodes utilisées pour évaluer la pertinence du découpage des PRA présentent toutefois des limites. La première est soumise à la connaissance de terrain des experts sollicités et à leur capacité de mise en dessin de cette connaissance sur un fond de carte. Par ailleurs, le temps nécessaire à sa mise en œuvre ne permet pas de la conduire sur les vingt-trois départements du bassin. La seconde est basée sur l'utilisation d'un maillage plus fin que la PRA mais qui est avant tout administratif, et dont la délimitation n'a *a priori* rien à voir avec l'agriculture. De plus, contrairement à la maille communale, la maille cantonale n'est pas incluse dans la maille PRA, ce qui complique l'interprétation des cartes : quand un canton est à cheval sur deux PRA aux orientation agricoles différentes, quels arguments nous autorisent à privilégier l'homogénéité spatiale du canton plutôt que celle de chacune des deux PRA ?

Chapitre 7

Chapitre 7 – Discussion

L'objectif principal de notre thèse est avant tout méthodologique : il consiste à développer des méthodes qui permettent d'identifier des régions agricoles homogènes du point de vue des critères retenus pour modéliser la diversité des systèmes agricoles et de leurs évolutions en vue de spatialiser des actions de développement. Ainsi, nous ne reviendrons pas dans la discussion sur les connaissances factuelles produites sur les systèmes de production et/ou les systèmes de culture de nos deux territoires d'étude. Nous choisissons d'axer la discussion d'une part sur les enseignements méthodologiques qui peuvent être tirés de nos travaux et d'autre part sur les utilisations qui en ont été faites pour répondre aux questions initiales de nos partenaires.

1. Enseignements méthodologiques

La confrontation des démarches et résultats obtenus sur nos deux études de cas, plaine des Vosges et bassin de la Seine, apporte des enseignements méthodologiques que nous pouvons discuter en vue de proposer des éléments de réflexion génériques concernant l'étude des différenciations spatiales des dynamiques agricoles. Ces enseignements portent sur deux points principaux : *(i)* la nature des questions qui sont à l'origine de l'étude des différenciations spatiales agricoles et qui orientent certains choix méthodologiques ; *(ii)* les échelles de temps et d'espace sur lesquelles les questions sont posées, qui sont également à prendre en compte pour raisonner certains choix.

1.1. Prépondérance de la question initiale sur la démarche de différenciation de régions agricoles

Les deux exemples traités dans notre thèse ont une finalité d'aide au développement agricole : le premier vise à produire des images spatialisées et diachroniques de l'agriculture de la plaine des Vosges à destination des conseillers de la Chambre d'Agriculture, qui les aident à compléter leurs connaissances des types d'exploitations de leur secteur par des types de territoires dans lesquels les types d'exploitations sont imbriqués ; le second vise à caractériser des régions au sein du bassin de la Seine dont l'agriculture a un impact différencié sur la pollution diffuse de l'hydrosystème par l'ion nitrate, afin d'orienter des opérations de conseils agri-environnementaux et de réfléchir à des scénarios prospectifs de manière localisée au sein du bassin. Le premier exemple est surtout guidé par des préoccupations liées à l'économie agricole du département et à la démographie des exploitations (quels sont les types d'exploitations qui concentrent les principales productions du département et où sont-ils localisés ?). Le second réfère avant tout aux préoccupations environnementales liées aux activités agricoles (comment expliquer les hausses de teneur en nitrate observées au cours des trente

dernières années dans les eaux du bassin ?). Ces deux catégories de questions nous ont conduits à réaliser certains choix méthodologiques.

1.1.1 Caractérisation des activités agricoles d'un territoire

Choix des objets d'étude, de leurs descripteurs et de leur mode de calcul

La question initiale oriente fortement le choix des objets qui sont retenus pour représenter les activités agricoles dans un système géographique donné ainsi que le choix des descripteurs qui caractérisent ces objets. Dans le cas de la plaine des Vosges, la question initiale nous a conduits à travailler au niveau du système de production, alors que sur le bassin de la Seine, nous avons privilégié le niveau du système de production mais aussi celui du système de culture. Chacun d'eux a été qualifié par des descripteurs également choisis en fonction de la question initiale (Figure 17).

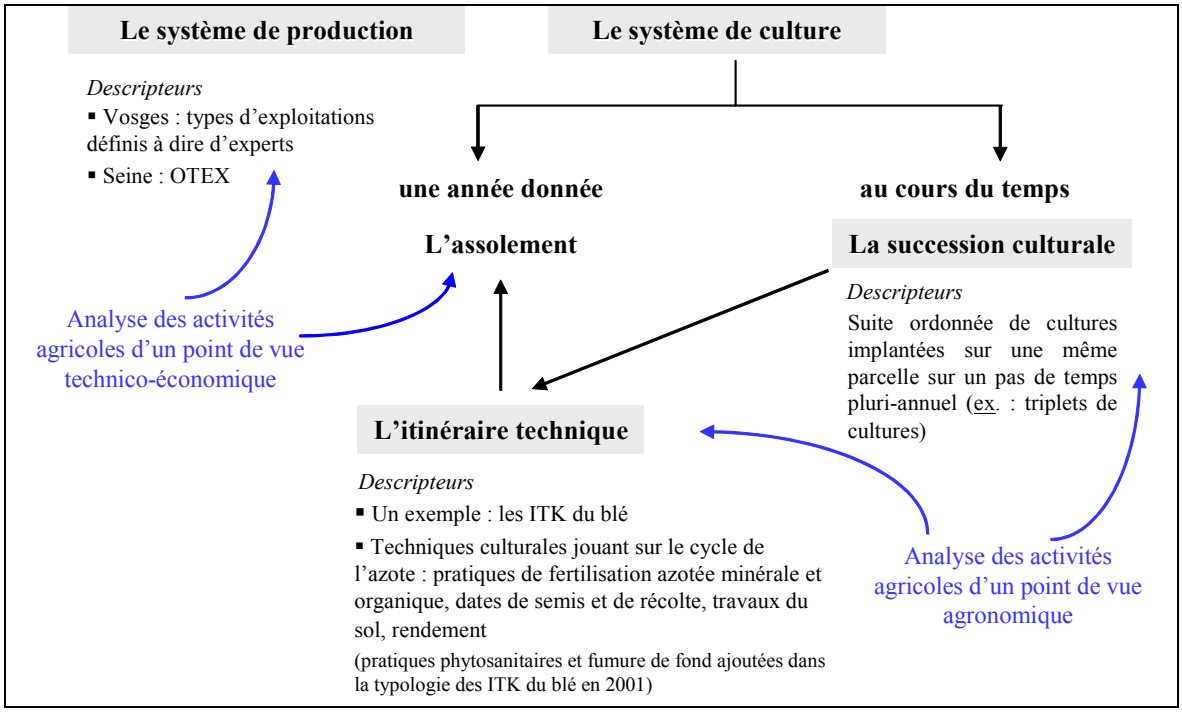


Figure 17 : Objets et descripteurs choisis sur les deux cas d'étude

D'autres questions peuvent amener à sélectionner des descripteurs différents de l'exploitation agricole. A titre d'exemple, J.-Cl. Bontron (2005), en voulant étudier l'influence de l'évolution des populations agricoles sur l'évolution des espaces ruraux, a concentré ses investigations sur la place de l'agriculture dans le territoire : évolution de la SAU, état des structures (taille des exploitations en surface et actifs, formes sociétaires), âge des exploitants et dynamiques d'installation, marge brute standard globale, et enfin pratique d'activités complémentaires (vente directe, tourisme…). La typologie obtenue, basée sur la maille cantonale, distingue des zones caractérisées par ces critères, indépendamment de la nature des systèmes de production, qui sont réintroduits *a posteriori* dans l'interprétation des types de cantons.

Par ailleurs, les descripteurs des activités agricoles peuvent être quantifiés dans chaque maille spatiale de différentes manières, principalement selon l'occupation du sol (SAU) ou la population (nombre d'exploitations). Les questions posées sur la plaine des Vosges et le bassin de la Seine nous ont ainsi conduits à effectuer des choix différents : les types d'exploitations ont été quantifiés en termes de nombre d'exploitations dans le premier cas et en termes de SAU dans le second. Nous avons par ailleurs montré sur le bassin de la Seine que travailler sur la SAU ou le nombre d'exploitations peut aboutir à la différenciation de régions différentes : les types d'exploitations caractérisés par de petites surfaces mais une main d'œuvre abondante (maraîchage, viticulture) ne sont mis en évidence qu'en travaillant sur le nombre d'exploitations.

Enfin, les descripteurs peuvent avoir un contenu spatial plus fort, par exemple si le calcul de leur valeur en un lieu intègre le voisinage du lieu. Ce procédé est souvent utilisé pour lisser la valeur d'un descripteur : le lissage barycentrique remplace la valeur du descripteur dans une maille spatiale par le barycentre des valeurs de ses voisines (Benali et Escofier, 1990). Il est utilisé avant une classification pour « forcer » la classification et construire des classes plus contiguës que celles auxquelles aboutirait une analyse classique. Il doit toutefois être manipulé avec précaution, notamment lorsque l'on travaille sur un maillage spatial hétérogène (D'Aubigny, 1996). De plus, il est difficile à interpréter car chaque maille spatiale est caractérisée à partir d'un ensemble de mailles.

Intérêts de l'analyse de plusieurs objets

Sur le bassin de la Seine, l'analyse de la différenciation spatiale des systèmes de production au travers des OTEX et des systèmes de culture ont chacune conduit à l'identification de régions agricoles homogènes qui ne sont pas identiques mais qui apportent des informations complémentaires. Dans ce paragraphe, nous prenons l'exemple des relations entre systèmes de production et successions de cultures annuelles. Pour mettre en évidence ces relations, nous avons calculé à partir du RA 2000, les pourcentages de surfaces agricoles utilisées par chaque OTEX pour chacun des vingt types de PRA définis selon les successions de trois cultures (***Figure 37***).

L'analyse des résultats montre que certains types de PRA homogènes du point de vue des successions culturales le sont également du point de vue des systèmes de production. C'est le cas des types de PRA dans lesquels les successions dominantes sont basées sur les prairies temporaires (Morvan, Auxois) qui correspondent très majoritairement à l'OTEX *Bovins viande*. De même, les types de PRA dont les successions culturales sont organisées autour de la culture du pois ou de la betterave sont respectivement orientées vers l'OTEX *Céréales et oléoprotéagineux* et l'OTEX *Culture générale*.

Pour d'autres types de PRA, les OTEX ne se déduisent pas aussi nettement de la nature des successions culturales. Ainsi, les types de PRA à dominante maïs présentent de fortes disparités en termes de systèmes de production. Dans le Pays d'Auge en Basse-Normandie, qui combine maïs et

prairies temporaires, les OTEX d'élevage (bovins lait ou viande, ovins) sont majoritaires, alors que c'est l'OTEX *Grandes cultures et herbivores* qui domine en Champagne humide, dans la vallée de la Seine, le Pays de Bray et le Perche. En revanche, les PRA à forte proportion de maïs localisées au centre du bassin correspondent essentiellement à l'OTEX *Céréales et oléoprotéagineux*. Ces différences d'OTEX renvoient à la distinction entre le maïs fourrage, associé aux OTEX d'élevage, et le maïs grain, associé à l'OTEX *Céréales et oléoprotéagineux*, distinction qui n'est pas faite dans l'enquête *Teruti*. Un autre exemple marquant concerne le Pays de Caux en Haute-Normandie, qui présente des successions culturales qui relèvent typiquement de l'OTEX *Culture générale*, alors qu'elles sont pratiquées pour partie au sein d'exploitations de polyculture-élevage très différentes des exploitations de grandes cultures de Champagne crayeuse.

De façon générale, il apparaît qu'à un même système de production représenté par son OTEX peut correspondre une grande diversité de successions de cultures, et qu'à l'inverse une succession de cultures peut être pratiquée dans des systèmes de production différents. Dans une problématique environnementale telle que celle développée sur le bassin de la Seine, ces deux approches sont complémentaires et s'enrichissent mutuellement : *(i)* l'analyse des successions culturales permet de caractériser plus finement les pratiques agricoles mises en œuvre dans les systèmes de production, qui peuvent conduire à préciser des hypothèses en termes de risques de pollution diffuse générés par ces systèmes de production ; *(ii)* l'analyse des systèmes de production permet de situer les successions culturales par rapport aux filières de production et à leur destination finale (principalement vente aux industries agro-alimentaires ou auto-consommation dans le cadre de systèmes d'élevage) et d'aborder les conditions du changement des systèmes de culture.

De la même façon, il serait intéressant de mettre en relation les analyses conduites sur les successions culturales et celles conduites sur les itinéraires techniques. Ces derniers sont pour le moment différenciés par rapport à un précédent cultural et non par rapport à l'ensemble de la rotation dans laquelle ils s'insèrent. Ainsi, nous n'avons pas restitué dans notre thèse la cohérence globale des systèmes de culture identifiés sur le bassin de la Seine depuis les années 1970. Nos travaux ont traité séparément leurs deux composantes, en mettant en évidence une diversité de successions culturales d'une part et une diversité d'itinéraires techniques d'autre part. Cette analyse de la cohérence globale des systèmes de culture constitue une prochaine étape, d'autant plus nécessaire à conduire dans la perspective d'élaborer des scénarios de changement de pratiques agricoles pertinents (*cf infra* 2.2).

1.1.2 Analyse des différenciations globales ou des différenciations locales

Pour différencier des régions agricoles selon la diversité des exploitations agricoles, nous avons proposé, et testé sur le bassin de la Seine, deux démarches qui ont produit des découpages différents du bassin (Figure 18) :

- dans la première, les analyses statistiques ont été conduites sur les entités géographiques que sont les mailles spatiales, en ne tenant pas compte de leur localisation les unes par rapport aux autres : l'objectif est dans ce cas d'identifier des régions homogènes correspondant à des groupes de mailles spatiales contiguës présentant des combinaisons de types d'exploitations similaires. Nous l'avons qualifiée d'analyse des différenciations globales.
- dans la seconde, les analyses statistiques ont été conduites sur les entités géographiques que sont les limites entre mailles spatiales contiguës : l'objectif est alors d'identifier des discontinuités spatiales qui révèlent des combinaisons de types d'exploitations différents entre mailles spatiales voisines. Nous l'avons qualifiée d'analyse des différenciations locales.

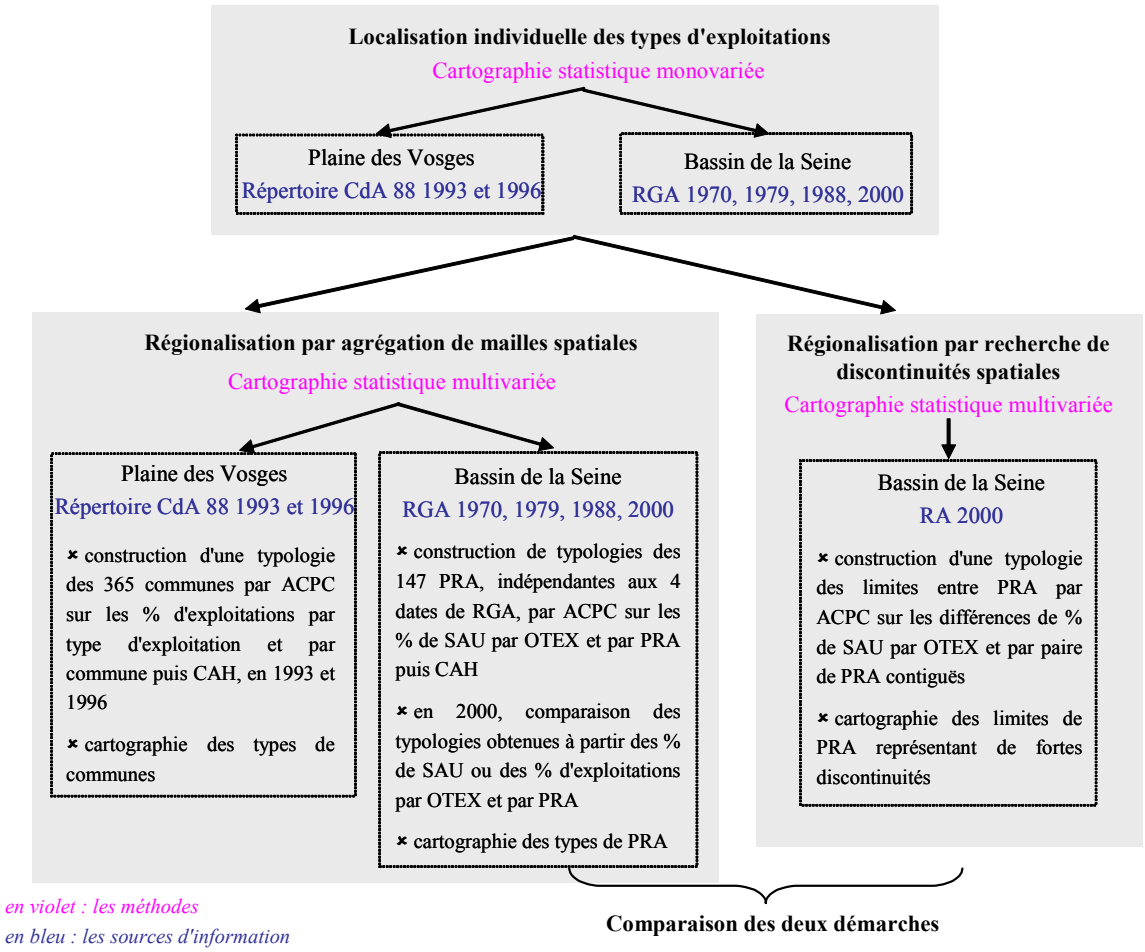


Figure 18 : Démarches de recherche pour différencier des régions agricoles selon la diversité instantanée des exploitations agricoles

Les deux démarches ne produisent pas les mêmes résultats même si, comme nous l'avons vu, certains recoupements apparaissent à la lecture des cartes. La première est une démarche d'agrégation par classification : elle permet de regrouper dans une même classe les mailles spatiales qui présentent des combinaisons de types d'exploitations similaires, même si ces mailles sont éloignées géographiquement. D'une manière générale, les classifications visent à maximiser l'intensité des liens intra-classes et à minimiser les liens inter-classes sous différentes hypothèses. Le mode de constitution

des classes, lié au critère de similarité retenu dans l'algorithme de classification, est *a priori* indépendant de la nature des unités élémentaires. Appliquée à des unités spatiales, la classification peut donc aboutir à rassembler des unités spatiales disjointes et l'apparition de régions (classes composées d'unités spatiales proches ou contiguës) est un résultat possible mais non nécessaire. Cette démarche apparaît bien adaptée aux objectifs qui relèvent du zonage. C'est pourquoi nous l'avons privilégiée, même si elle peut produire des effets de « mosaïque » (unités spatiales contiguës appartenant à des classes différentes).

Toutefois, sur nos deux cas d'étude, les regroupements de mailles spatiales contiguës (communes ou PRA), qualifiées d'homogènes du point de vue des types d'exploitations, n'ont pas été précisément délimités. Nous n'avons procédé qu'à une interprétation visuelle des cartes pour repérer des zones bien caractéristiques. Pour aller plus loin dans l'interprétation des cartes et différencier de façon moins empirique les régions agricoles, certains auteurs ont utilisé des techniques d'analyse de texture ou d'image pour aboutir à des partitions exhaustives des systèmes géographiques considérés. Dans leur étude de la différenciation des espaces ruraux en Midi-Pyrénées, Triboulet *et al*. (1996) ont ainsi utilisé les contrastes de texture, repérés visuellement ou par des techniques d'analyse d'images, qu'il a ensuite interprétés en référence aux modèles spatiaux de pôle, axe, zone homogène et mosaïque. Voiron-Caniccio (1997) a proposé d'utiliser les méthodes de morphologie mathématique pour segmenter des images produites à partir de tableaux de données issues d'une analyse factorielle dont les valeurs (coordonnées des communes sur les axes factoriels) ont été traduites en niveau de gris.

Dans ces deux exemples, l'analyse statistique et l'analyse spatiale sont menées en deux phases successives. Une autre approche consiste à coupler les deux types d'analyse en réalisant des classifications de mailles spatiales sous contrainte de proximité. La contrainte spatiale de proximité peut être de différentes natures (distance maximale, connexité, contiguïté), mais elle implique nécessairement une réduction des solutions possibles par rapport à une classification sans contrainte (Rio, 1997). Les régionalisations ainsi obtenues sont donc en général des classifications non optimales, l'écart avec la classification optimale dépendant du degré d'organisation spatiale des liens entre mailles spatiales : s'il existe une relation forte entre proximité et similarité (c'est-à-dire dans le cas d'une forte autocorrélation spatiale positive), l'écart entre la classification sans contrainte et la classification sous contrainte de proximité sera faible.

La seconde démarche qui vise à identifier des discontinuités spatiales, procède par segmentation. Elle ne permet pas de comparer entre elles des mailles spatiales non contiguës, mais elle met statistiquement en évidence des dissemblances entre mailles spatiales voisines et quantifie l'intensité de ces dissemblances. Une approche complémentaire consiste à identifier des noyaux régionaux homogènes, définis non plus par un fort degré de dissemblance mais par de fortes ressemblances entre mailles spatiales voisines. L'identité d'un noyau régional n'est pas constituée par l'intensité globale des ressemblances entre les mailles qui le composent (cas de la première démarche), mais par

l'intensité locale de ces ressemblances entre mailles voisines, c'est-à-dire par l'absence de ruptures spatiales, l'existence de « chemins » constitués de liens forts de proche en proche (Bopda et Grasland, 1997). Par effet de chaînage, les mailles spatiales appartenant à un noyau régional de taille importante peuvent présenter de fortes différences. Ces deux approches, recherche des discontinuités spatiales ou recherche des noyaux régionaux, apparaissent particulièrement adaptées à la mise en évidence de transitions graduelles ou de discontinuités franches, qui peuvent par exemple prendre place dans l'analyse des traces spatiales de processus de diffusion ou de flux.

1.1.3 Une nécessaire analyse des dynamiques agricoles

Pour s'adapter aux changements des contextes socio-économiques, politiques et techniques, les exploitations agricoles sont en constante évolution, à la fois dans leur structure, leurs orientations de production et leur fonctionnement. Dans une problématique de différenciation de régions agricoles en vue de structurer des actions de développement, il nous a paru nécessaire de prendre en compte les dynamiques agricoles pour au moins trois raisons :

- la localisation des compétences (conseillers agricoles, conseillers en agri-environnement…) et la localisation et la planification d'actions ciblées exigent un certain temps et donc une certaine permanence dans la définition des régions concernées.
- la compréhension et la simulation des processus cumulatifs, tels les processus de pollution diffuse, nécessitent une continuité temporelle dans la description des activités agricoles et de leur organisation spatiale. C'est ce qui nous a conduits à travailler avec un recul temporel de trente ans sur le bassin de la Seine et à rechercher des unités spatiales de simulation stables sur cette période de temps.
- enfin, la caractérisation des dynamiques d'évolution des systèmes de production et des systèmes de culture est indispensable pour évaluer *a posteriori* le résultat des actions de développement. Les méthodes développées dans notre thèse peuvent permettre d'actualiser les connaissances de l'agriculture d'un territoire à différents pas de temps.

Pour ces raisons, nous avons cherché à aller plus loin que l'analyse de la différenciation spatiale des systèmes de production et des systèmes de culture à un moment donné en nous intéressant à l'évolution de cette différenciation au cours du temps. Nous avons proposé plusieurs méthodes qui n'ordonnent pas de la même manière la prise en compte du temps et la prise en compte de l'espace dans les analyses statistiques (Figure 19**,** Tableau 13). Dans un premier ensemble, nous nous sommes d'abord attachés à repérer des différenciations spatiales agricoles pour identifier des régions homogènes à un moment donné, puis à examiner comment ces différenciations évoluaient au cours du temps : construction de typologies de mailles spatiales (communes ou PRA) en fonction des types d'exploitations une année donnée, cartographie de ces typologies à différentes dates puis analyse des changements en s'aidant des matrices de transition des mailles spatiales d'un type à un autre.

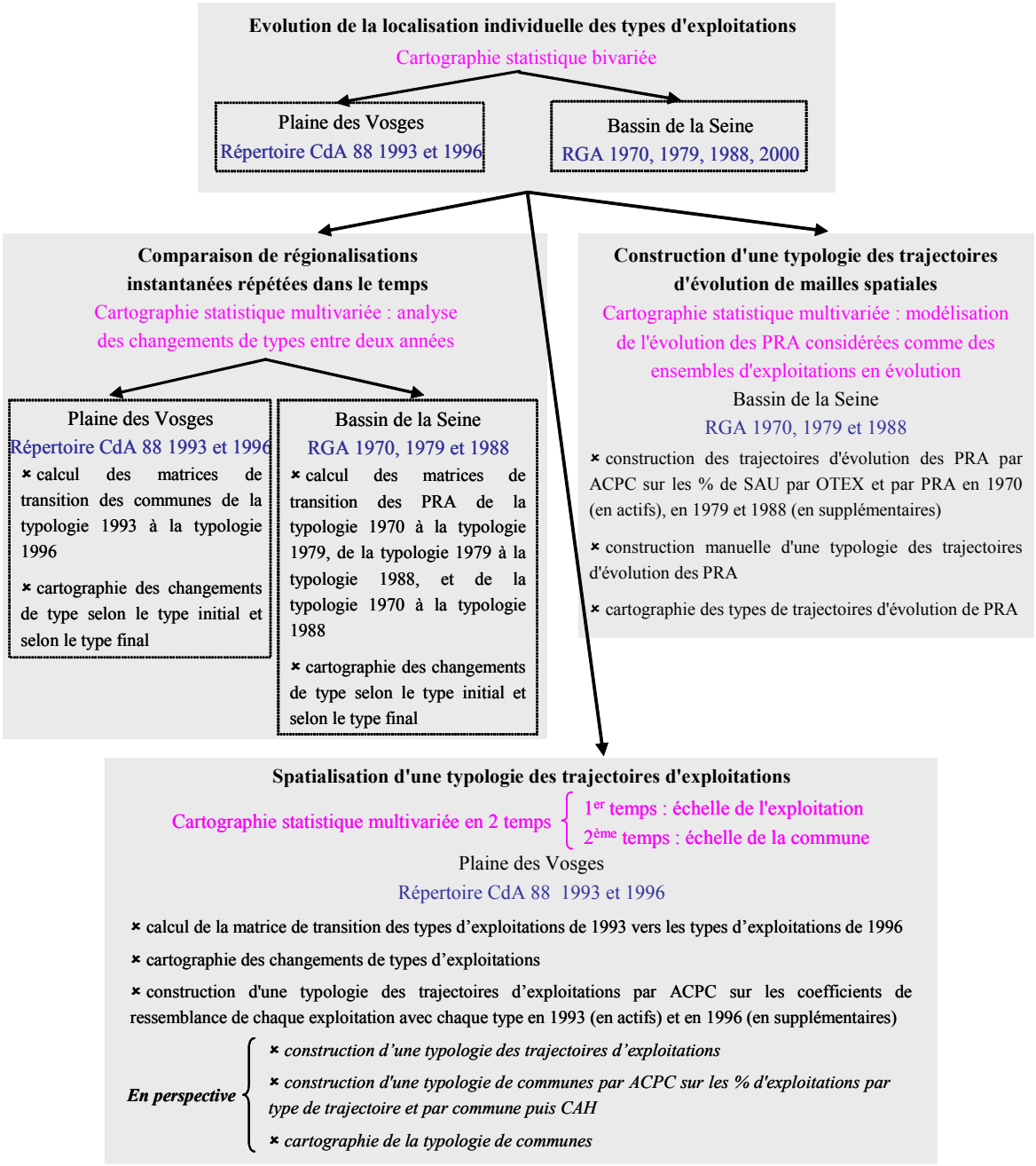


Figure 19 : Démarches de recherche pour différencier des régions agricoles selon la diversité des évolutions d'exploitations agricoles

Dans un deuxième ensemble de méthodes, nous avons d'abord cherché à caractériser des évolutions temporelles puis à mettre en évidence leur différenciation spatiale : *(i)* extraction de régularités dans les suites d'occupation du sol pour identifier des successions culturales majoritaires par PRA, puis construction d'une typologie des PRA selon ces successions et cartographie ; *(ii)* construction de trajectoires d'exploitations puis cartographie de ces trajectoires à la maille communale ; *(iii)* construction de trajectoires d'évolution de PRA selon l'évolution des types d'exploitations qui les composent, élaboration d'une typologie de ces trajectoires puis cartographie à

la maille PRA ; *(iv)* construction d'une typologie des itinéraires techniques sur blé, identification de types caractéristiques d'une décennie donnée puis cartographie des types par décennie.

Tableau 13: Place respective du temps et de l'espace dans les démarches proposées

	Analyse spatiale puis analyse temporelle	Analyse temporelle puis analyse spatiale
Système de production	1) Typologie des communes vosgiennes en 1993 et 1996 et cartographie ; 2) analyse des changements de types de communes et cartographie 1) Typologies des PRA du bassin de la Seine en 1970, 1979 et 1988 ; 2) analyse des changements de types de PRA et cartographie	1) Analyse des changements de types des exploitations vosgiennes entre 1993 et 1996 ; 2) cartographie des changements de types d'exploitations 1) Construction de trajectoires d'exploitations entre 1993 et 1996 ; 2) cartographie des types de trajectoires d'exploitations 1) Construction de typologies de trajectoires d'évolution de PRA entre 1970 et 1988 ; 2) cartographie des trajectoires de PRA
Successions culturales		1) Reconnaissance des régularités dans les suites de cultures du bassin de la Seine entre 1992 et 1998 ; 2) typologie des PRA selon les triples de cultures dominants et cartographie
Itinéraires techniques culturaux		1) typologie des ITK du blé entre 1970 et 2000 ; 2) définition des types caractéristiques d'une décennie ; 3) cartographie des types d'ITK par décennie

Le choix d'une méthode par rapport à une autre a été guidé par les objectifs poursuivis (par exemple, la construction de trajectoires d'exploitations individuelles dans le département des Vosges nous paraissait pertinente dans une optique d'aide au conseil dans une Chambre d'Agriculture locale, alors qu'elle n'apparaissait pas justifiée sur le bassin de la Seine), mais aussi bien souvent par la nature des informations ou les outils disponibles. Ainsi, les modèles de Markov cachés que nous avons utilisés, qui aujourd'hui forment le logiciel CarottAge®[28], ont été initialement développés pour extraire des régularités temporelles dans des corpus de données datées. Les développements récents de ces modèles permettent d'extraire des régularités spatiales (quelle occupation de sol est voisine d'une autre ?) ainsi que des régularités « temporo-spatiales » (quelle succession culturale est voisine d'une autre ?) (Rizzo *et al*., 2007 ; Lazrak *et al*., soumis). Ces nouveaux développements sont actuellement utilisés pour identifier dans le bassin de la Seine des régularités spatiales dans les suites d'occupation du sol. Le temps (successions d'occupations du sol) et l'espace (voisinage des suites d'occupation du sol) sont intégrés dans le même modèle et visent à identifier des régions homogènes en s'affranchissant du maillage *a priori* des PRA.

[28] CarottAge® est une boîte à outils constituée d'applications écrites en C++ fondées sur la modélisation stochastique à l'aide de modèles de Markov cachés. Il permet la spécification de modèles, leur estimation sur des ensembles de données, le calcul et la visualisation d'indices permettant l'extraction de régularités spatiales et temporelles. Il est issu de dix années de collaboration entre l'équipe Orpailleur du LORIA et l'unité ASTER-Mirecourt de l'INRA. Il est diffusé sous une licence libre du type Gnu Public Licence et est enregistré à l'Association pour la Protection des Programmes.

1.2. Prise en compte des échelles de temps et d'espace dans la démarche de différenciation de régions agricoles

Notre thèse aborde des échelles de temps et d'espace qui sont encore assez peu familières en agronomie, notamment sur le bassin de la Seine. Les résultats que nous avons obtenus soulèvent des questions sur la façon de caractériser une diversité de systèmes de production ou de systèmes de culture sur le temps long, sur le choix des maillages spatiaux (le grain de l'étude) retenus *a priori* pour segmenter les territoires étudiés ou encore, de façon très pragmatique, sur l'existence et les conditions d'accès aux informations initiales sur l'agriculture d'un grand territoire.

1.2.1 Stabilité ou instabilité des référentiels typologiques

Les modèles de représentation de la diversité des systèmes de production choisis dans nos deux cas d'étude – typologie à dire d'experts sur la plaine des Vosges et classification des OTEX sur le bassin de la Seine – constituent des référentiels typologiques qui conditionnent la nature des distinctions qui peuvent être faites entre les exploitations. Pour donner une image fidèle des systèmes de production existants à un moment donné, ces référentiels sont périodiquement actualisés selon différentes méthodes : la typologie à dire d'experts a ainsi été élaborée en 1990 puis actualisée en 1996 (changement des valeurs-seuils attribuées à certains indicateurs, modification de certains indicateurs, apparition de nouveaux types) ; la classification des OTEX est régulièrement actualisée avec une mise à jour simplifiée des coefficients de calcul des MBS tous les deux ans et une mise à jour complète de la procédure de calcul tous les dix ans. Or, l'analyse des évolutions des systèmes de production, basée sur une analyse des changements de types d'exploitations entre des dates successives, suppose que la définition des typologies d'exploitations garde une certaine stabilité au cours du temps.

Sur l'exemple de la plaine des Vosges, nous avons choisi de travailler sur le référentiel typologique établi en 1996, en posant l'hypothèse que les deux années étudiées, 1993 et 1996, sont suffisamment proches pour ne pas créer un biais trop important en classant les exploitations enquêtées en 1993 dans un référentiel défini trois ans plus tard. Les changements de types d'exploitations observés sont donc dans ce cas liés à des changements de valeurs prises par les exploitations pour les indicateurs qui caractérisent les types. Toutefois, il faut souligner que le mode de calcul des coefficients de ressemblance entre les exploitations et les pôles d'agrégation peut être sensible à de faibles variations de valeurs : si l'exploitation présente des coefficients de ressemblance proches vis-à-vis de deux pôles d'agrégation, elle peut passer d'un type à un autre sans que cela ne reflète un véritable changement dans sa structure ou son fonctionnement. Les perspectives que nous avons tracées concernant l'analyse des trajectoires individuelles d'exploitations visent à caractériser finement ces changements sur une période de quelques années (de trois à cinq ans) à partir d'un référentiel typologique constant.

Sur l'exemple du bassin de la Seine, nous avons travaillé sur la classification des OTEX telle qu'elle est renseignée dans les Recensements Agricoles, c'est-à-dire régulièrement actualisée pour

suivre l'évolution de la conjoncture entre 1970 et 2000. Pour évaluer le biais induit par l'évolution du référentiel des OTEX sur l'appréciation des évolutions réelles des exploitations, nous pouvons mobiliser les études réalisées par le SCEES sur l'impact du rebasement des coefficients de MBS sur les classifications des exploitations (Agreste, 2001). Dans la typologie OTEX en 17 postes appliquée à l'enquête Structure de 1997, la substitution des coefficients de MBS 1996 à ceux de 1986 (date de refonte complète des calculs) induit un changement de classe pour 12% des exploitations françaises. Concernant les régions couvertes tout ou partie par le bassin de la Seine, ce pourcentage varie de 5% pour l'Ile-de-France à 15% pour la Lorraine. Les principaux mouvements s'expliquent par la revalorisation des coefficients associés à la viticulture et aux vaches laitières, reflétant en grande partie l'appréciation relative de ces productions (ou les gains de productivité associés) sur la décennie.

Concernant l'analyse de l'évolution des systèmes de culture, la question de la stabilité ou de l'instabilité de référentiels typologiques préexistants ne s'est pas posée puisque ces référentiels n'existaient pas. Au cours des trente années étudiées, les dires d'experts, croisés avec les sources d'informations disponibles, nous ont permis de délimiter des sous périodes dans lesquelles les systèmes de culture étaient considérés stables, puis de caractériser pour chaque sous période les systèmes de culture dominants. Sur l'exemple du blé, nous avons construit une typologie des itinéraires techniques à partir de l'ensemble des itinéraires techniques décrits par les experts sur les trente années, en introduisant en variable supplémentaire la décennie (1970, 1980 ou 1990) pour laquelle ils avaient été décrits. La plupart des types d'itinéraires techniques obtenus à l'issue de l'analyse statistique sont apparus caractéristiques d'une décennie donnée ou plus rarement de deux. Dans cette méthode, le référentiel typologique est défini de manière globale sur toute la période étudiée et met en évidence des types caractéristiques de sous périodes.

La méthode de fouille de données temporelles basée sur les modèles de Markov cachés que nous avons proposée pour analyser la diversité des successions culturales des PRA du bassin de la Seine dans la décennie 1990, n'a pu être utilisée dans le cadre de la thèse pour en analyser l'évolution sur les trois décennies, faute de données disponibles. Toutefois, elle paraît adaptée pour travailler sur du long terme. A partir d'un corpus de données défini sur l'ensemble d'une période d'étude, les modèles permettent de repérer des « segments temporels » caractérisés par une distribution de cultures stationnaire, puis pour chacun de ces segments d'identifier les successions de cultures majoritaires à l'intérieur de cette distribution. Chacune des classifications de successions culturales produites est donc relative à un segment temporel donné.

De façon générale, il nous semble que si l'analyse de l'évolution des exploitations agricoles ou des systèmes de culture sur un pas de temps de quelques années apparaît relativement aisée au regard des informations et des outils disponibles, il n'en est pas de même pour analyser leur évolution sur plusieurs décennies. Adopter une posture rétrospective sur le long terme pose des questions méthodologiques nouvelles pour les agronomes, qui sont assez peu familiarisés avec ces échelles de

temps qui pourtant sont importantes à considérer pour répondre à certaines questions en particulier liées aux processus écologiques (Mottet, 2005).

1.2.2 Choix des maillages spatiaux unitaires

Un maillage spatial constitue un mode de lecture particulier de la réalité, qui privilégie l'appartenance stricte et exclusive des éléments qui le compose par rapport à un autre mode de lecture fondé sur la multiplicité et le flou des appartenances des éléments aux mailles (Grasland, 1998). Le choix de retenir un maillage unitaire plutôt qu'un autre est donc chargé de sens et a des implications importantes sur les résultats produits.

Nous avons montré dans le chapitre 6 que la maille communale présente un biais lié à l'exploitation croissante de surfaces agricoles dans des communes autres que la commune des sièges d'exploitation. Face à ce constat, il apparaît pourtant difficile de proposer une autre manière d'agréger les informations agricoles, rapidement opérationnelle, lorsqu'on travaille à une échelle spatiale de l'ordre du département ou d'une partie de département. Le travail sur les indicateurs de distance illustre bien la diversité des cas de figure que l'on peut rencontrer : utilisation de petites surfaces à grande distance ou sur un nombre élevé de communes, utilisation de grandes surfaces à petite distance, combinaison de plusieurs de ces modalités…

Les premières investigations que nous avons conduites sur les données PAC nous semblent ouvrir une piste de recherche prometteuse, dont l'objectif serait de modéliser la dispersion et l'imbrication des parcellaires d'exploitations dans un territoire donné. Les tentatives exposées dans notre thèse à partir d'indicateurs agrégés à la maille communale seraient utilement complétées par des analyses sur des indicateurs non agrégés mais calculés à l'échelle des exploitations, qui permettraient de prendre en compte la diversité intra-communale des parcellaires d'exploitations. Par ailleurs, les indicateurs pourraient être affinés en étant calculés par occupation du sol et non plus sur la SAU totale : est-ce que les surfaces agricoles utilisées à distance des sièges d'exploitations présentent des occupations du sol privilégiées ? qu'en est-il des surfaces agricoles utilisées à proximité des sièges ? Répondre à ces questions permettrait d'actualiser le modèle lorrain d'utilisation du territoire décrit par Deffontaines *et al*. (1990). Cela permettrait également d'appréhender le niveau de concernement des agriculteurs sur des territoires donnés, c'est-à-dire leur proximité géographique vis-à-vis de ces territoires et l'importance et la nature des surfaces agricoles qu'ils y exploitent. De ce niveau de concernement dépendent les modes de coordination entre agriculteurs qui doivent parfois se mettre en place face à des enjeux environnementaux (Souchère *et al*., 2006).

A la maille PRA, le biais de l'exploitation de surfaces à distance des sièges d'exploitation est beaucoup moins marqué et doit se limiter à des effets de bordure. Par contre, nous avons montré que le maillage des PRA pouvait présenter un autre biais lié à l'hétérogénéité spatiale interne de certaines d'entre elles, qui a pu augmenter depuis leur délimitation dans les années 1950. Dans le cas du bassin

de la Seine, la majorité des PRA semblent avoir conservé des orientations agricoles homogènes et nous estimons qu'elles constituent un maillage encore pertinent pour représenter des différenciations spatiales agricoles. Toutefois, nous pouvons remarquer que pour la première fois, le maillage des PRA, traditionnellement dédié à la diffusion des statistiques agricoles, n'a pas été utilisé pour diffuser les résultats du RA 2000, sauf sur demande spécifique. Nous pouvons l'interpréter de deux façons : soit par une méfiance des services nationaux de statistique agricole vis-à-vis de la pertinence actuelle d'un découpage vieux de cinquante ans, soit par un manque d'intérêt des utilisateurs potentiels des statistiques agricoles vis-à-vis d'un découpage sans référence administrative.

Le développement des démarches de fouille de données vers la reconnaissance de régularités à la fois dans l'espace et le temps (*cf supra* 1.1.3) est un moyen de s'affranchir de maillages spatiaux unitaires définis *a priori* et de mettre en évidence des régions homogènes par classification de points dont la localisation est connue. Ces démarches peuvent aussi être utilisées pour valider des découpages préexistants. Elles sont néanmoins dépendantes de la disponibilité de grands ensembles de données précisément localisées.

1.2.3 Adéquation des sources d'information aux objectifs de recherche

L'extension de nos deux systèmes géographiques de référence (3800 km^2 pour la plaine des Vosges, 95000 km^2 pour le bassin de la Seine étendu) incite prioritairement à mobiliser des sources statistiques nationales ou départementales. Par rapport à nos objectifs de recherche, les banques de données statistiques doivent satisfaire à quatre conditions principales : *(i)* proposer des variables descriptives du niveau d'organisation du système de production et/ou du système de culture ; *(ii)* être si possible exhaustives sur les systèmes de référence ou disposer d'une représentativité éprouvée ; *(iii)* localiser les informations sur des maillages spatiaux compatibles avec nos choix théoriques (de manière individuelle à l'exploitation ou à la parcelle, ou à défaut de manière agrégée sur l'ensemble des exploitations ou des parcelles enquêtées d'une maille) ; *(iv)* être périodiquement mises à jour pour permettre l'étude des dynamiques agricoles (évolution des systèmes de production et/ou des systèmes de culture).

Les banques de données statistiques qui permettent d'informer le niveau du système de production tout en autorisant une localisation assez fine s'avèrent en nombre très limité. De façon générale, les banques de données portant sur des échantillons d'exploitations (Réseau d'Information Comptable Agricole, enquête Structures du SCEES) ne permettent pas une localisation plus précise que la région administrative par manque de représentativité sur des découpages plus fins. Seules les enquêtes proches de l'exhaustivité satisfont aux quatre conditions que nous avons fixées. Ce sont soit des recensements nationaux mis en œuvre par le SCEES, soit plus ponctuellement des recensements départementaux, tels qu'il en existe par exemple dans les Vosges, conduits sur l'initiative d'organismes de développement agricole.

Les banques de données qui permettent d'informer le niveau du système de culture et de le localiser sur les maillages qui nous intéressent, sont également peu nombreuses. Nous avons ainsi mobilisé les enquêtes *Teruti* et *Pratiques culturales* du SCEES, qui renseignent respectivement les successions culturales et les itinéraires techniques, selon un plan d'échantillonnage qui a parfois nécessité de travailler sur des agrégats de PRA pour assurer une représentativité correcte. Toutefois, ces deux enquêtes ne permettent pas de couvrir l'ensemble de la période étudiée sur le bassin de la Seine. Nous avons donc été amenés à mettre en œuvre une enquête *ad hoc* pour acquérir les informations nécessaires à la réalisation de nos objectifs de recherche.

Ainsi, l'expérience acquise dans le cadre de nos travaux nous amène à souligner que malgré l'importance de l'appareil statistique agricole en France, rares sont les cas où une banque de données correspond exactement à l'utilisation qu'on souhaite en faire. Pourtant, aux échelles régionales qui nous intéressent, nous sommes le plus souvent dépendants des informations existantes, car créer l'information par voie d'enquête, quelle qu'en soit la forme, est en général incompatible avec le temps imparti pour la recherche et les moyens humains et financiers disponibles. Le choix d'une source d'information résulte là encore d'un compromis entre les exigences de qualité, de précision et de représentativité relatives à chaque problématique.

Dans certains cas, les statistiques agricoles ne renseignent pas l'information recherchée. Nous nous sommes heurtés à cette difficulté pour reconstituer l'évolution des systèmes de culture depuis 1970 sur le bassin de la Seine. Les moyens du PIREN-Seine ont permis de conduire un protocole d'enquête de longue haleine sur les 147 PRA étudiées[29]. Le choix de la méthode d'enquête doit être raisonné selon les mêmes critères que pour une banque de données statistique : sa représentativité, la nature et la précision des données collectées dépendent du traitement que l'on veut en faire, et induisent une certaine forme d'entretien (directif, semi-directif, ouvert, compréhensif…) à mener auprès d'une certaine population (enquête directe ou indirecte, procédure d'échantillonnage…).

Toutefois, les conditions ne sont pas toujours aussi favorables que dans un programme de recherche tel que le PIREN-Seine. Pour pallier les lacunes d'informations statistiques concernant les pratiques agricoles d'un territoire, des initiatives apparaissent pour créer des observatoires de pratiques territorialisées qui assurent la continuité des informations recueillies. Tels que définis par Benoît et Passouant (2005), les observatoires de pratiques ne sont pas seulement des dispositifs d'observation des pratiques mais aussi des lieux de partage de l'information entre différents acteurs (agriculteurs, conseillers, décideurs…) pour assurer une gestion évolutive des territoires. La définition du contenu des observatoires pose des questions proches de celles que nous avons soulevées dans notre thèse, relatives : *(i)* à la nature des pratiques agricoles à renseigner par rapport à l'objectif de l'observatoire et à leurs interactions avec d'autres composantes (forces motrices jouant sur les décisions des

[29] Ces moyens ont notamment permis le recrutement d'une ingénieur qui a effectué le travail d'enquête (réalisation des enquêtes et saisie des informations) sur plusieurs années.

agriculteurs, ressources naturelles impactées par ces pratiques) ; *(ii)* aux dynamiques et pas de temps à prendre en compte ; *(iii)* aux gammes d'échelles spatiales à prendre en compte ; *(iv)* aux concordances ou discordances spatiales entre le territoire des observatoires (espace de projet et d'action), l'organisation spatio-temporelle des pratiques et les espaces fonctionnels en termes écologiques ; *(v)* aux indicateurs mobilisables pour évaluer les pratiques ; *(vi)* et bien sûr aux conditions d'accès aux données et à la qualité de ces données. Sur ces questions, le projet Conception d'Observatoires de Pratiques Territorialisées (ANR, programme Agriculture et Développement Durable, 2005 – 2008) a proposé une grille de lecture visant à prendre en compte conjointement *(i)* les dynamiques de causes à effets qui lient les exploitations agricoles, les pratiques et les ressources naturelles et *(ii)* les transformations des exploitations dues à des forces motrices en grande partie socio-économiques.

2. Utilisation des connaissances et représentations produites pour aider à la structuration d'actions de développement

Les travaux conduits dans notre thèse ont pour objectif d'aider à structurer des actions de développement qui prennent en compte la différenciation spatiale des activités agricoles dans les territoires et leurs évolutions. Nous présentons et discutons ci-après les utilisations qui ont été faites par nos partenaires des connaissances, représentations ou démarches produites : la première dresse le bilan des utilisations réalisées par les organismes professionnels agricoles lorrains ; les deux suivantes concernent les utilisations effectuées avec d'autres équipes de recherche du programme PIREN-Seine en réponse à des sollicitations de l'AESN, son principal partenaire financier.

2.1. Contribution aux analyses économiques des systèmes de production lorrains

Les connaissances produites sur la diversité des exploitations agricoles de la plaine des Vosges, sur les trajectoires suivies par les exploitations entre 1993 et 1996 et sur leur différenciation spatiale ont été très peu reprises sur le moment par la Chambre d'Agriculture des Vosges. Les recherches, qui étaient basées sur le Répertoire d'exploitations de la Chambre, ont été initiées suite à une discussion du projet lors d'un bureau de Chambre, puis conduites en collaboration avec le chargé d'études économiques et ont enfin donné lieu à la rédaction d'un rapport (Mignolet, 1999). Ce rapport a eu peu de suites et nous n'avons pas reçu de nouvelles sollicitations, par exemple pour actualiser périodiquement les connaissances. Les représentations de l'agriculture vosgienne que nous avons conçues sont des cartes de synthèse ou des trajectoires d'exploitations construites dans des plans factoriels, qui restent des documents complexes à lire et à interpréter. Même si leur élaboration a associé le chargé d'études économiques de la Chambre, elles constituent certainement plus des modèles de recherche que des outils de développement. Un travail spécifique serait ainsi à conduire

pour faire évoluer ces représentations dans l'objectif de faciliter leur appropriation et leur utilisation au sein de la Chambre d'Agriculture.

Par contre, nous avons été sollicités quelques années plus tard par le service Economie de la Chambre Régionale d'Agriculture de Lorraine (CRAL) impliquée dans le Réseau d'Observation des Systèmes Agricoles pour le Conseil et les Etudes (ROSACE) mis en place en 1995 par l'Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture (APCA). Pour analyser les résultats du RA 2000 sur la Lorraine, il avait fait le choix d'utiliser la typologie d'exploitations à dire d'experts (déjà bien implantée régionalement depuis sa construction initiale par l'Institut de l'Elevage) et d'analyser la répartition spatiale des types d'exploitations à la maille cantonale. Dans le cadre du comité de pilotage[30] d'un stage de fin d'étude encadré par la CRAL (Rivière, 2003), nous sommes intervenus pour aider à construire une typologie des cantons lorrains en fonction des combinaisons de types d'exploitations qui y étaient situés en 2000. Les tendances d'évolution que nous avons mises en évidence sur la plaine des Vosges entre 1993 et 1996 ont été confirmées en 2000 : les systèmes laitiers herbagers et les systèmes laitiers à dominante élevage avec maïs continuent à évoluer vers des systèmes laitiers en polyculture-élevage. Par ailleurs, l'analyse cartographique des types de cantons a révélé à l'échelle de la Lorraine des différenciations spatiales dans la localisation des types d'exploitations (***Figure 38***) : un gradient d'intensification, de « céréalisation » et de taille des structures est mis en évidence du sud-est au nord-ouest de la région, laissant supposer que le milieu physique structure encore en partie les orientations et les modes de production pris par les exploitations. Dans cette analyse, la plaine des Vosges apparaît à nouveau relativement homogène (seuls deux cantons plus céréaliers se distinguent des autres).

Depuis lors, la CRAL en partenariat avec les quatre Chambres départementales lorraines (dont celle des Vosges), les Centres d'Economie Rurale (CER) et l'Institut de l'Elevage, continue à baser ses analyses économiques sur la typologie d'exploitations à dire d'experts commune à tous les partenaires (CRAL, 2007). Cette homogénéité dans le choix du référentiel typologique utilisé par les OPA lorraines facilite les analyses économiques régionales qui mobilisent différentes sources d'informations macro ou microéconomiques fournis par chacun d'eux (comptes de l'agriculture, statistiques agricoles, données des CER, informations issues des Réseaux d'Elevage), car elle permet de typer de la même façon toutes les exploitations, quel que soit l'organisme qui les a enquêtées ou qui en a assuré le suivi. Dans ces analyses économiques régionales, la localisation des types d'exploitations fait partie de la présentation de chaque type au moyen d'une carte représentant le nombre d'exploitations du type par PRA. Mais, nous n'y trouvons pas de commentaires ou de

[30] Ce comité de pilotage associait les chargés d'études économiques des quatre Chambres départementales lorraines, de la Chambre du Haut-Rhin et de la Chambre Régionale de Champagne-Ardenne ainsi que deux personnes de l'Institut de l'Elevage et du CER Lorraine.

représentations sur les combinaisons de types d'exploitations caractéristiques des PRA, ni sur leurs évolutions[31].

De façon générale, les connaissances et représentations que nous avons produites sur les systèmes de production de la plaine des Vosges prennent en compte des dimensions qui nous semblent encore assez peu utilisées par les OPA : l'objectif des analyses économiques établies annuellement en Lorraine est de produire des conclusions par type d'exploitation ou par production (c'est-à-dire par filière) pour l'ensemble de la région. Il n'y a pas d'interprétations en termes de territoires qualifiés par des combinaisons de types d'exploitations ou de productions caractéristiques, ni en termes de changements de types d'exploitations sur différents pas de temps. En amont de la production d'outils d'aide au développement agricole, une réflexion approfondie serait donc à relancer entre recherche et développement pour identifier les intérêts et attendus d'analyses conduites sur les dynamiques et les différenciations spatiales des systèmes de production agricoles.

2.2. Contribution à la modélisation de la contamination des aquifères du bassin de la Seine par le nitrate

Au sein du programme PIREN-Seine, la contamination des aquifères du bassin de la Seine par le nitrate est modélisée grâce au couplage du modèle agronomique STICS (développé dans le programme par des agronomes de l'INRA – E&A de Laon) avec le modèle hydrogéologique MODCOU (développé par l'Ecole des Mines de Paris). Ce couplage nécessite la mise en œuvre d'une procédure de spatialisation basée sur la définition de zones géographiques « homogènes » croisant spatialement les données climatiques (grille de mailles carrées de 8 km^2), les types de sols (d'après la carte des sols de France au 1 / 1000000ème de King *et al*., 1995) et les PRA (***Figure 39a***). Le nombre d'unités spatiales de simulation ainsi définies est de 7826 sur l'ensemble du bassin étendu de la Seine (***Figure 39b***).

Les connaissances que nous avons produites dans notre thèse permettent de caractériser chaque PRA du bassin de la Seine par quelques successions de cultures majoritaires associées à leurs itinéraires techniques sur des périodes considérées stables au sein des trente années étudiées. Toutefois, nous ne connaissons pas la répartition spatiale de ces successions à l'intérieur des PRA : chacune d'elles est ainsi caractérisée par une distribution spatiale aléatoire des successions culturales et des pratiques associées. Il en est de même pour la description des sols : une distribution aléatoire d'unités typologiques de sols (définissant les caractéristiques pédologiques des sols) est présente sur chaque unité cartographique de sol du bassin. Au final, chaque unité spatiale de simulation du modèle STICS comporte une distribution de types de sols et de successions culturales sur laquelle s'effectuent les calculs : ces derniers sont réalisés succession culturale par succession culturale en simulant,

[31] Pour mettre en évidence une évolution des résultats économiques des exploitations, les analyses sont basées sur des échantillons constants d'exploitations qui n'ont pas changé de type entre deux années.

successivement et de manière enchaînée, sur chaque type de sol, les cultures qui composent chaque succession sur la période de simulation (Gomez *et al*., 2001).

Les résultats du modèle STICS spatialisé sont fournis pour chaque unité spatiale de simulation sous forme de kg d'azote par ha de SAU et au pas de temps de calcul journalier. Ramenés à des moyennes sur une période plus longue (annuelle ou pluri-annuelle), ces résultats peuvent être cartographiés sur le bassin (***Figure 39c***). Les flux d'azote sont ensuite convertis en concentration sous-racinaire (en mg/l) en tenant compte des flux d'eau résultant du bilan hydrique des précipitations effectué par le module de surface du modèle hydrogéologique (***Figure 39d***). Cette concentration calculée en chaque maille du modèle est celle de l'eau d'infiltration qui va percoler à travers la zone non saturée avant d'alimenter la nappe sous-jacente.

La comparaison des résultats fournis par le modèle STICS-MODCOU et des valeurs observées *in situ* dans les formations aquifères de l'Oligocène, de l'Eocène et de la Craie a montré que le modèle restitue de façon correcte l'évolution de la médiane des concentrations en nitrate par aquifère depuis 1940 (***Figure 39e***). Des cartes de concentration en nitrate simulées dans les aquifères du bassin ont pu ainsi être proposées (***Figure 39f***) (Ledoux *et al*., 2007).

Pour aider l'Agence de l'Eau Seine-Normandie à prévoir l'efficacité de certaines mesures visant à restaurer la qualité des eaux souterraines conformément aux objectifs de la Directive Cadre européenne sur l'Eau, la modélisation STICS-MODCOU a été utilisée pour tester des scénarios de changement de pratiques agricoles. A titre d'exemple[32], l'un des scénarios testé porte sur l'introduction systématique de cultures intermédiaires pièges à nitrate (CIPAN) dans les rotations culturales qui le permettent (présence d'un sol nu à partir de fin août – début septembre et période de sol nu supérieure à 50 jours). Les résultats d'une simulation couvrant les années 1992 à 2004 montrent que l'introduction de CIPAN provoque une diminution significative des concentrations en nitrate dans les premiers décimètres de sol (***Figure 39g***), mais que son effet est beaucoup moins rapide sur les concentrations dans les aquifères du fait de temps de transfert longs : à l'horizon 2015, les concentrations en nitrate calculées dans les aquifères varient faiblement (***Figure 39h***), alors qu'à l'horizon 2050, en supposant une agriculture et un climat identiques à ceux des dix dernières années, les concentrations baissent de façon beaucoup plus sensible (***Figure 39i***).

Toutefois, le calcul de la médiane des concentrations en nitrate dans les trois formations aquifères du bassin montre que la seule introduction des CIPAN sans autre modification de pratiques, ne permet pas d'inverser la tendance des courbes, les niveaux de pollution restant pratiquement identiques à ceux connus dans les années 2000 (***Figure 39j***). Sans aller jusqu'au scénario extrême d'un arrêt complet de la fertilisation minérale sur le bassin (qui permet de retrouver de faibles concentrations en nitrate au bout

de plusieurs décennies), il apparaît nécessaire de réfléchir à des scénarios plus complexes de changement de pratiques (combinant évolution des assolements et des rotations, limitation de la fertilisation azotée minérale, introduction de CIPAN…) pour assurer une diminution significative et à grande échelle de la pollution diffuse par le nitrate des formations aquifères.

Dans le cas du bassin de la Seine, la modélisation de la dynamique de pollution des formations aquifères par le nitrate d'origine agricole montre que les nombreuses inerties du système hydrologique (inertie de la zone non saturée, temps de transfert vers les aquifères très longs couvrant parfois plusieurs décennies, et inertie propre des aquifères) limitent l'efficacité à court terme de mesures agro-environnementales. Ces dernières doivent donc non seulement combiner différents changements de pratiques mais également être inscrites sur le long terme.

2.3. Contribution à la construction de scénarios prospectifs d'évolution de l'agriculture du bassin de la Seine à l'horizon 2050

Dans le cadre d'un programme Gestion et Impact du Changement Climatique du MEDD (2002 – 2005), le PIREN-Seine a développé un projet spécifique visant à décrire les évolutions possibles de l'agriculture du bassin à l'horizon 2050 et à les traduire en paramètres techniques (évolution des successions culturales et des itinéraires techniques) pour simuler l'impact du changement climatique sur la qualité des eaux de l'hydrosystème (Ducharne *et al*., 2004 ; Ducharne *et al*., 2007).

Dans la première phase de ce projet (Poux et Dubien, 2002 ; Poux et Olive, 2003), six scénarios d'évolution à long terme de l'agriculture ont été construits de manière globale sur l'ensemble du bassin, en fonction de facteurs climatiques et non climatiques. Le cadrage retenu a appréhendé le bassin de la Seine comme un sous-ensemble géographique d'un système plus large intégrant l'Europe et les relations internationales, en considérant que l'évolution de l'agriculture du bassin, particulièrement ouverte sur les marchés européens et mondiaux, dépendrait fortement des évolutions qui conditionnent ces marchés. L'apport des connaissances produites dans notre thèse a porté sur la construction d'une image de base décrivant les tendances d'évolution des systèmes de production (définis par les OTEX) du bassin de la Seine entre 1970 et 2000 et leur situation en 2000 (chapitre 4). L'interprétation de cette image de base par les économistes de l'AsCA a permis de mettre en évidence les facteurs qui ont influé sur les dynamiques agricoles passées et d'identifier les enjeux majeurs des prochaines décennies. Cette interprétation a donné lieu à la définition de « germes » qui, par une démarche d'enrichissement et d'ajustements successifs, ont abouti à la rédaction de récits de trois scénarios d'ordre économique :

[32] Cet exemple est détaillé dans une plaquette rédigée par les chercheurs du programme PIREN-Seine (Viennot *et al*., 2009) et financée par l'AESN dans le cadre d'une collection visant à publier les résultats de recherche à destination d'un large public. Les illustrations présentées dans notre thèse en sont issues.

- deux scénarios tendanciels contrastés dont la logique est de pousser au maximum les hypothèses susceptibles de conduire d'un côté à une céréalisation du bassin (céréales et oléoprotéagineux et cultures à basse intensité de main d'œuvre) ou à l'opposé à un développement de cultures industrielles. Dans leur principe, ces scénarios conservent la cohérence et la structure profonde du fonctionnement économique du système en place révélées par l'analyse de l'image de base.
- un scénario de rupture dont le principe repose sur une intégration de fonctions environnementales créatrices de valeur ajoutée à la base même du développement économique agricole. Comme tout scénario de rupture, le scénario proposé est composé d'une part d'utopie et d'une part de réalisme, et prévoit l'industrialisation de filières biologiques à l'échelle nationale.

A ces germes définis au regard d'une analyse technico-économique des systèmes de production, a été combinée une analyse en termes de gestion environnementale qui a identifié trois modèles de gestion environnementaux pertinents du point de vue du changement climatique et de la qualité des eaux. Il s'agit de *(i)* l'agriculture raisonnée (Paillotin, 2000), *(ii)* l'agriculture de conservation des sols (FAO, 2001) et *(iii)* des infrastructures écologiques (haies, bandes enherbées, plans d'occupation des sols…). Le croisement de ces deux ensembles de germes et leur mise en relation avec une analyse dynamique des variables explicatives choisies a ainsi généré la construction de six scénarios (Tableau 14).

Tableau 14 : Les germes de scénarios retenus dans la prospective Seine (Poux et Olive, 2003)

	Agriculture raisonnée	**Agriculture de conservation**	**Infrastructures écologiques**
Céréalisation et bioénergie (céréales et oléagineux)	Scénario 1	Scénario 2	
Diversification par les cultures industrielles	Scénario 3		Scénario 4
Agriculture biologique à grande échelle	Scénario 5		Scénario 6

La seconde phase du projet a consisté à décliner régionalement les six scénarios au sein du bassin de la Seine (Poux *et al*., 2004). Pour permettre une simulation fine de l'évolution des ressources en eau du bassin en fonction du changement climatique, chaque scénario a tenu compte de la différenciation spatiale des systèmes de production et des systèmes de culture qui existe dans le bassin et que nous avons mise en évidence dans notre thèse. La spatialisation des scénarios agricoles s'est basée sur un zonage du bassin de la Seine dans lequel chaque zone considérée comme homogène a été délimitée au temps T0 *(i)* par le pourcentage de STH dans la SAU des PRA (surtout déterminant sur les marges du bassin) et *(ii)* par la typologie des PRA construite selon les triplets de cultures majoritaires (chapitre 5). La carte des sols ainsi que la typologie des PRA selon les OTEX majoritaires en 2000 (chapitre 4)

ont été utilisées pour confirmer certains regroupements. Au final, douze zones caractéristiques ont été retenues pour décliner spatialement les six scénarios globaux (***Figure 40***).

L'image de base en 2000 a ensuite été détaillée pour chaque zone décrite par les combinaisons d'OTEX et de systèmes de culture dominants, en mobilisant les acquis de la thèse. Concernant les systèmes de culture, ce sont les résultats obtenus à partir des enquêtes *Teruti* (1992 – 1999) et *Pratiques culturales* (2001) du SCEES qui ont été utilisés pour caractériser l'état initial des scénarios. La démarche de prospective conduite par les économistes de l'AsCA a abouti à un descriptif des douze zones en termes de systèmes de production en 2050 : nombre d'exploitations par OTEX, assolement et cheptel par OTEX, descriptif de l'assolement et des productions végétales et animales. Toutefois, la démarche n'a pu être conduite jusqu'à son terme et le descriptif des systèmes de culture dans les douze zones en 2050 n'a pas été réalisé. Au-delà des contraintes liées au calendrier du projet GICC, plusieurs difficultés peuvent expliquer cet arrêt prématuré de la démarche :

- la démarche prospective adoptée est fondée sur une analyse macro-économique et socio-politique des enjeux agricoles du bassin de la Seine qu'il est difficile de mettre en relation avec des choix de conduite des cultures en termes de rotations et d'itinéraires techniques, même si le niveau des systèmes de production constitue un « terme – relais » entre les deux. Les OTEX décrites dans les scénarios en 2050 permettent de proposer des assolements caractéristiques par zone, mais la déclinaison des assolements en successions culturales et itinéraires techniques n'est pas immédiate.
- le pas de temps de 50 ans pertinent au regard du changement climatique est difficile à instruire en agronomie. Les hypothèses à construire sur l'évolution des systèmes de culture (délais de retour entre cultures, précocités des variétés…) sont complexes et nécessitent une grande capacité d'expertise. Une possibilité serait de les décrire à partir des pratiques actuelles puis d'utiliser le modèle STICS en « rétro-action » pour simuler la croissance des plantes sous les hypothèses climatiques retenues et ainsi confirmer ou infirmer les choix techniques réalisés.

De manière générale, les prospectives agricoles ont le plus souvent un objectif de construction de scénarios économiques pour l'ensemble du secteur agricole ou par filière (exemples : prospectives Agriculture 2013 et Aviculture de l'INRA). Les scénarios sont conçus comme des combinaisons variées d'hypothèses concernant la croissance économique mondiale, les règles du commerce international, le futur de la PAC ou encore les préoccupations énergétiques et environnementales. Le passage de ces scénarios à des analyses définies en termes de pratiques agricoles et d'impacts environnementaux reste difficile. Deux démarches peuvent être mises en œuvre pour mieux prendre en compte les impacts environnementaux des scénarios prospectifs :

- la première est basée sur l'utilisation de modèles de simulation intégrés permettant de quantifier les conséquences de scénarios sur l'environnement. A titre d'exemple, la Prospective

Agriculture 2013 a mobilisé huit modèles économiques différents afin de quantifier les impacts des scénarios sur les prix agricoles, les quantités de biens agricoles produits, les marges des différentes productions, les allocations de surfaces, etc. Mais elle a également pointé le manque de modèles intégrés pour évaluer les incidences environnementales des scénarios. Les panels de spécialistes sollicités sur le thème « environnement » ont travaillé uniquement de manière qualitative.

- la seconde consisterait à inverser les raisonnements en concevant les scénarios prospectifs comme des combinaisons d'hypothèses sur des changements de pratiques agricoles ayant des impacts environnementaux attendus contrastés, puis en étudiant leurs conséquences économiques au niveau des systèmes de production, des filières et des marchés.

Prenant acte de cette limite dans les travaux du programme GICC sur le bassin de la Seine, une démarche de recherche a été initiée dans la phase V du PIREN-Seine pour coupler les modèles STICS – MODCOU à un modèle micro-économique d'offre agricole dénommé AROPAj (Cantelaube *et al*., 2007). AROPAj permet de transformer des scénarios économiques en scénarios de changement d'usage des sols agricoles (allocation des terres, niveaux de production et de consommation d'intrants) à l'échelle d'exploitations agricoles types (De Cara *et al.*, 2005). Son couplage avec STICS permettra de fournir, pour chaque culture et pour chaque exploitation agricole du modèle AROPAj, deux types de « fonctions de réponse » : une fonction de rendement et une fonction de pollution (quantité d'azote sous-racinaire lixiviée) en réponse aux intrants azotés (Godard *et al*., 2008). Cette modélisation intégrée permettra ainsi de quantifier, à l'échelle du bassin de la Seine, les relations entre des facteurs économiques ou politiques d'une part (comme de nouvelles mesures de politique agricole) et des pollutions agricoles diffuses dans des aquifères d'autre part.

Les travaux présentés dans notre thèse procèdent avant tout d'une approche descriptive : les modèles proposés ont été conçus pour représenter les évolutions et la situation actuelle des systèmes de production et des systèmes de culture sur les deux territoires d'étude, mais nous n'avons pas cherché à les expliquer en les mettant en relation avec des facteurs moteurs locaux (dans le GICC-Seine, les facteurs retenus relevaient d'une approche globale des enjeux agricoles européens voire mondiaux). Ainsi, une étape ultérieure consisterait à identifier les facteurs de localisation des systèmes de production et des systèmes de culture de manière à *(i)* interpréter les évolutions passées et l'état présent et *(ii)* construire des scénarios exploratoires cohérents d'un point de vue agronomique permettant d'identifier des futurs possibles en termes d'occupation et d'utilisation des sols par l'agriculture à l'échelle de territoires à enjeux environnementaux. Les avancées méthodologiques du courant de recherche LUCC (*cf* chapitre 2) pourraient être mobilisées dans cette perspective.

Conclusion

Conclusion générale

Les travaux de recherche rapportés dans ce mémoire ont visé à développer des méthodes qui permettent d'identifier des régions agricoles homogènes du point de vue des critères retenus pour modéliser la diversité des systèmes agricoles et de leurs évolutions. Ils se sont appuyés sur deux études de cas (la plaine des Vosges et le bassin de la Seine) présentant des enjeux différents et portant sur des échelles de temps et d'espace contrastées. Les démarches de recherche proposées ont articulé : *(i)* une caractérisation des systèmes agricoles des territoires étudiés sous la forme de typologies (à partir de modèles typologiques existants ou en construisant de nouveaux modèles) ; *(ii)* une modélisation de la répartition spatiale des systèmes agricoles au sein des territoires, de leurs évolutions passées sur différents pas de temps et de la répartition spatiale des évolutions afin de différencier des régions agricoles homogènes ; *(iii)* une analyse des biais des maillages spatiaux utilisés pour localiser les systèmes agricoles dans les territoires. Les résultats obtenus contribuent à structurer des actions de développement agricole qui prennent en compte la différenciation spatiale des systèmes agricoles et de leurs évolutions. Pour cela, ils peuvent être intégrés dans des démarches plus globales, comme cela a été le cas sur le bassin de la Seine où ils ont servi à comprendre l'origine du nitrate dans l'écosystème et à élaborer une vision prospective de l'agriculture, en vue de mieux protéger les aquifères.

Depuis le lancement de ces travaux il y a une dizaine d'années, les problématiques de recherche impliquant de localiser spatialement les dynamiques agricoles sont de plus en plus présentes. C'est en particulier le cas des problématiques environnementales au sein desquelles l'étude des processus agro écologiques nécessite de rendre compte des conséquences de la variabilité spatiale des pratiques agricoles[33] : établir des règles de coexistence entre cultures destinées à des filières OGM ou non OGM (Lavigne *et al*., 2008), prévoir la demande en eau sur un périmètre d'irrigation (Leenhardt *et al*., 2004) ou encore préserver la biodiversité d'un territoire (Martin *et al*., 2006) sont trois autres exemples que celui de la qualité de l'eau qui mobilisent une modélisation de la distribution spatiale des cultures et des pratiques agricoles concernées à l'échelle des territoires. Un courant de recherche est ainsi en voie de structuration autour de la modélisation des territoires (ou des paysages quand l'échelle spatiale étudiée est de l'ordre de la dizaine de km^2), dont l'objectif général est de comprendre et d'anticiper les relations entre les activités humaines, les structures des territoires et les processus écologiques, à des fins de meilleure gestion (Lavigne et Angevin, 2008).

Ce courant de recherche est inscrit en agronomie mais il est positionné à l'interface avec d'autres disciplines. Dans notre thèse, nous avons ainsi employé des démarches et des outils de la géographie quantitative et de la géomatique tout en travaillant sur des objets de recherche de l'agronomie (les

systèmes de production et les systèmes de culture). Nous avons également collaboré avec des mathématiciens et des informaticiens qui travaillent sur la modélisation et l'analyse de structures spatiales et temporelles à l'échelle des territoires. Enfin, l'utilisation des connaissances et représentations produites a impliqué des collaborations avec des hydrogéologues d'une part et des économistes d'autre part. Les sollicitations initiales des partenaires de la recherche nous ont ainsi amenés à poser des questions de recherche dans le champ de l'agronomie, tout en ouvrant un dialogue avec d'autres disciplines pour être complètement traitées.

Parallèlement à leur développement dans la communauté scientifique, les préoccupations relatives à la localisation des dynamiques agricoles dans les territoires s'avèrent de plus en plus prégnantes chez les acteurs des milieux agricoles et ruraux impliqués dans le développement des territoires et la gestion des ressources naturelles. En témoigne la création récente de Réseaux Mixtes Technologiques (RMT) associant Recherche, Développement et Formation qui ont pour objet de partager des expériences et des méthodologies sur ce sujet dans le cadre de différentes thématiques (« Observatoires des Activités Agricoles dans les Territoires », « Biomasse, énergie, environnement et territoire », « Systèmes de production animale et environnement »).

Enfin, une originalité de nos travaux tient dans les échelles d'espace et de temps investiguées (de quelques milliers à plusieurs dizaines de milliers de km^2, de trois à trente années) qui sont assez peu abordées en agronomie. Elles nous ont amenés à faire des choix de représentation des systèmes agricoles, en particulier des systèmes de culture, compatibles avec les sources d'information et les méthodes disponibles. Elles nous ont également incités à adopter dans un premier temps une approche descriptive de la diversité des systèmes agricoles et de leurs évolutions passées. Notre thèse ouvre ainsi sur la perspective de développer des recherches plus explicatives visant à expliciter les cohérences des systèmes agricoles et à les mettre en relation avec les forces motrices à l'origine des transformations des exploitations agricoles, dans l'objectif d'élaborer des scénarios de changements possibles de l'agriculture dans les territoires.

[33] Ce point constitue l'une des conclusions de la synthèse d'un récent séminaire du Département Environnement et Agronomie de l'INRA concernant l'évaluation des impacts environnementaux des pratiques agricoles (25 juin 2008).

Bibliographie

Bibliographie

Aubert D., Lifran R., Mahtal P., Perraud D., Viallon J.-B., 1985. Systèmes de production et transformations de l'agriculture. Essai de bilan des travaux du département d'économie et sociologie rurales. INRA, 107 p. + annexes

Aubry C., Biarnès A., Maxime F., Papy F., 1998. Modélisation de l'organisation technique de la production dans l'entreprise agricole : la constitution de systèmes de culture du Bassin Parisien. Etud. Syst. Agraires Dév., 31 : 25–43.

Aubry C., Michel-Dounias I., 2006. Systèmes de culture et décisions techniques dans l'exploitation agricole. In : Doré T., Le Bail M., Martin P., Ney B., Roger-Estrade J. (coord.), L'agronomie aujourd'hui, Collection Synthèse, Editions Quae : 57-75.

Auriac F. et Rey V. (coords), 1998. L'Espace rural, Atlas de France, Volume 8, Reclus, La Documentation Française : 128 p

Bachinger J., Zander P., 2007. ROTOR, a tool for generating and evaluating crop rotations for organic farming systems. Europ. J. Agronomy, 26 : 103-143.

Baker J.-K.,1974. Stochastic modeling for automatic speech understanding. In : Reddy D. (Ed), Speech Recognition. Academic Press, New-York, 1974, 521-542.

Barkaoui A., Butault J.-P., Rousselle J.-M., 1993. Réforme de la PAC et évolution des systèmes de production agricole en Lorraine. Agreste Analyses et Etudes, Cahiers, 8 : 1-8.

Barré A., Dion R., 1978. La transition Boulonnais – Montreuillois, un exemple de l'emploi de techniques quantitatives à la connaissance du milieu agricole. Hommes et Terres du Nord, 1 : 61-89.

Benali H., Escofier B., 1990. Analyse factorielle lissée et analyse factorielle des différences locales. Revue de Statistique Appliquée, 38(2) : 55-76.

Benoît M., Capitaine, M., Le Ber F., 2005. Méthodes de représentation des règles d'organisation de territoires agricoles. In : Laurent C., Thinon P., Agricultures et Territoire (Traité IGAT, série Aménagement et gestion du territoire), Editions Hermès. Chapitre 9 : 191-206.

Benoît M., Le Ber F., Mari J.-F., 2001. Recherche des successions de cultures et de leurs évolutions : analyse des données Teruti en Lorraine. Agreste Lorraine : 4 p.

Benoît M., Maire, B. 1992. Création d'une carte d'experts. Images des zones agricoles de la Haute-Marne. In: Buche P.et al., Gestion de l'espace rural et système d'information géographique **:** 267-275.

Benoît M., Papy F., 1998. La place de l'agronomie dans la problématique environnementale. Dossier de l'Environnement, INRA, 17 : 53-62.

Benoît M., Passouant M. (coords.), 2005. Conceptions d'Observatoires de Pratiques Territorialisées. Réponse à l'appel d'offre ANR « Agriculture et Développement Durable », mai 2005 : 74 pages.

Béranger C., 2005. Préface. In : Laurent C., Thinon P., Agricultures et Territoire (Traité IGAT, série Aménagement et gestion du territoire), Editions Hermès: 17-19.

Bertin M., Brion P.-H., 1984. L'évolution des systèmes de production entre 1970 et 1979. Cah. Stat. Agric., 3 : 41-45.

Beyene A., Gibbon D., Mitiku H., 2006. Heterogeneity in land resources and diversity in farming practices in Tigray, Ethiopia. Agricultural Systems, 88 : 61-74.

Biarnès A., Rio P., Hocheux A., 2004. Analyzing the determinants of spatial distribution of weed control practices in a Languedoc vineyard catchment. Agronomie, 24 : 187-196.

Blouet A., Pervanchon F., Pervanchon M., 2003. L'agriculture raisonnée. Limites et alternatives du modèle agricole dominant. Futuribles « analyse et prospective », 283 : 27-42.

Bonin S., 1977. Les problèmes rencontrés dans l'utilisation d'une matrice ordonnable. L'Espace Géographique, 4 : 218-232.

Bonin M., Caron P., Cheylan J.-P., Clouet Y., Thinon P., 2001. Territoire, zonage et modélisation graphique : recherche-action et apprentissage. Géocarrefour, 73 (3) : 241-252

Bonnamour J., 1995. Conséquences des limitations du droit de produire sur les dynamiques spatiales agricoles et les équilibres régionaux en France. C. R. Acad. Agri. Fr., 81(6) : 79-88.

Bonnamour J., Gillette Ch., 1990. Guide de la typologie agricole. Les Cahiers de Fontenay, ENS Fontenay-Saint-Cloud : 145 pages.

Bontron J.-Cl, 2005. Les dynamiques territoriales de l'agriculture et les espaces ruraux français. Ingénieries EAT : 41-52.

Bopda A., Grasland C., 1997. Noyaux régionaux et limites territoriales au Cameroun : migration et structures par âge de la population en 1987. In : Analyse spatiale des données biodémographiques : approches récentes. John Libbey / INED, Eurotext.

Bornerand C., 2000. Dynamique des pratiques culturales dans le bassin de la Marne depuis les années 70. Mémoire de fin d'études, DAA ENSAIA Nancy : 35 pages + annexes.

Brossier J., Deffontaines J.-P., Houdard Y., Lenoir D., Petit M., Prod'homme J.-P., Vincent J., 1980. Politiques départementales et pratiques de développement. Analyse comparée de la Marne et des Vosges. Compte-rendu de fin d'étude d'une recherche financée par la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique, juin 1980 : 119 p.

Bourgeois A., Sebillotte M., 1978. Réflexion sur l'évolution contemporaine des exploitations agricoles. Economie Rurale, 126 : 17-28.

Brion Ph., 1983. La carte « systèmes de production agricole ». Cah. Stat. Agric, 3 : 17-20.

Brisson N., Mary B., Ripoche D., Jeuffroy M., Ruget F., Nicoullaud B., Gate P., Devienne-Barret F., Antonioletti R., Durr C., Richard G., Beaudoin N., Recous S., Tayot X., Plenet D., Cellier P., Machet J., Meynard J., Delécolle R., 1998. STICS : a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. 1- Theory and parametrization applied to wheat and corn. Agronomie, 18 : 311-346.

Brossier J., Petit M., 1977. Pour une typologie des exploitations agricoles fondée sur les projets et les situations des agriculteurs. Economie Rurale, 122 : 31-40.

Brunet R., 1992. Les mots de la géographie. Dictionnaire critique, Paris, Reclus / La Documentation française : 470 pages.

Cantelaube P., Ducharne A., Habets F., Jayet P.-A., Mignolet C., Philippe E., Schott C., Viennot P., Zakharov P., 2007. Modélisation économique des relations entre agriculture et environnement à l'échelle du bassin de la Seine. Rapport du programme PIREN-Seine : 23 pages.

Capillon A., 1985. Connaître la diversité des exploitations : un préalable à la recherche de références techniques régionales, Agriscope, 6 : 31-40.

Capillon A., 1993. Typologie des exploitations agricoles. Contribution à l'étude régionale des problèmes techniques. Thèse de doctorat, INA-PG, Tome 1 : 48 pages.

Capillon A., Manichon H., 1979. Une typologie des trajectoires d'évolution des exploitations agricoles (principes, application au développement agricole régional). C.R. Acad. Agric. Fr. : 1168-1178.

Capitaine M., 2005. Organisation des territoires des exploitations agricoles. Impact du recours à des collectifs d'action : la conduite de chantiers de récolte en CUMA. Thèse de docteur de l'INPL « Sciences Agronomiques ». 218 p.

Caron P., Sabourin E., Sautier D., Silva P. G., Tonneau J.-P., 1997. A la recherche de l'opérationnalité : approches de la recherche pour le développement de l'agriculture familiale dans le Nordeste du Brésil. In : La ruralité dans les pays du Sud à la fin du XX^{ème} siècle. Paris, ORSTOM Editions : 639-662.

Caron P., 2005. A quels territoires s'intéressent les agronomes ? Le point de vue d'un géographe tropicaliste. Nature, Sciences, Société, 13: 145-153.

Castellazzi M.-S., Wood G.-A., Burgess P.-J., Morris J., Cobrad K.-F., Perry J.-N., 2008. A systematic representation of crop rotations. Agricultural Systems, 97 : 26-33.

Cerf M., Damay J., Simier J.-P., 1987. La typologie des exploitations. Chambres d'Agriculture, supplément au n° 743.

Champeaux C., 2007. Les stratégies de protection du blé tendre contre ses bioagresseurs et la verse : valorisation des données de l'enquête « Pratiques culturales » du SCEES en 2001. Rapport INRA – Ministère de l'Agriculture et de la Pêche : 91 pages.

Claval P., 1983. La notion de région. In Paelinck et Sallez (dir.) : Espace et localisation. La redécouverte de l'espace dans la pensée scientifique de langue française. Economica, 53-72.

Corpen, 1992. Interculture. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, Ministère de l'Environnement : 40 p.

Chambre Régionale d'Agriculture de Lorraine, Institut de l'Elevage, CER Lorraine, 2007. Points de repères : Systèmes agricoles lorrains : 52 pages.

Cristofini B., 1985. La petite région vue à travers le tissu de ses exploitations : un outil pour l'aménagement et le développement rural. B.T.I., 399-401 : 483-493.

Cristofini B., Roybin D., Etaix F., 1994. Caractériser le développement régional, est-ce parler de sa qualité ? Une typologie des 128 cantons des Alpes du Nord. Etud. Rech. Syst. Agraires Dév., 28, 293-318.

Cristofini B, Deffontaines J.-P., Raichon C., De Verneuil B., 1978. Pratiques d'élevage en Castagniccia. Etudes Rurales, 71-72 : 89-109.

Darré J.-P., 1994. Pairs et experts dans l'agriculture, dialogues et production de connaissances pour l'action. Ed. Eres, Collection TIP.

D'Aubigny G., 1996. Segmentation et regroupement d'objets dans l'étude statistique des phénomènes spatiaux. Actes du colloque sur l'étude des phénomènes spatiaux, La Rochelle, 6-8 décembre 1996, Paris, INRA Editions les Colloques, 78 : 159-168.

Daskalopoulou I., Petrou A., 2002. Utilising a farm typology to identify potential adopters of alternative farming activities in Greek agriculture. Journal of Rural Studies, 18 : 95-103.

De Cara S., Housé M., Jayet P.-A., 2005. Green house gas emissions from agriculture in the EU : a spatial assessment of sources and abatement costs. Environmental and Resource Economics, 32 (4) : 551-583.

Deffontaines J.-P., 1979. Dimensions territoriales de l'activité agricole. Positions du problème et questions. Point de vue d'un agronome. Compte-rendu de l'Assemblée Constitutive du département SAD, Toulouse, 20 novembre 1979 : 42-54.

Deffontaines J.-P., 1986. Un point de vue d'agronome sur le paysage. Une méthode d'analyse du paysage pour l'étude de l'activité agricole. In : Lectures du paysage. Foucher, Paris : 33-52.

Deffontaines J.-P., 1990. Organisation spatiale de l'activité agricole et développement d'une petite région lorraine. Mappemonde, 4 : 12-14.

Deffontaines J.-P., 1999. Conclusion de la séance de l'Académie d'Agriculture de France du 27 octobre 1999.

Deffontaines J.- P., Lardon S., 1995. Itinéraires cartographiques et développement. Paris, INRA Editions: 136 p.

De Koning G.-H.-J, Verburg Ph., Veldkamp A., Fresco L.-O., 1999. Multiscale modelling of land use change dynamics in Ecuador. Agricultural Systems, 61 : 77-93.

Deloche R., 1977. Théorie des sous-ensembles flous et classification en analyse économique spatiale. Revue d'économie politique, 87 : 435-460.

Detlefsen N., Jensen A.-L., 2007. Modelling optimal crop sequences using network flows. Agricultural Systems, 94 : 566-572.

Dobremez L., Bousset J.-P., 1995. Rendre compte de la diversité des exploitations agricoles : une démarche d'analyse par exploitation conjointe de sources statistiques, comptables et technico-économiques, Cemagref Editions, Etudes, Gestion des territoires, 17 : 318 p.

Dogliotti S., Rossing W.-A.-H., van Ittersum M.-K., 2003. ROTAT, a tool for systematically generating crop rotations. Europ. J. Agronomy, 19 : 239-250.

Ducharne A., Baubion C., Benoît M., Billen G., Brisson N., Garnier J., Kieken H., Lebonvallet S., Ledoux E., Mary B., Mignolet C., Poux X., Sauboua E., Schott C., Théry S., Viennot P., 2007. Long term prospective of the Seine River system : Confronting climatic and direct anthropogenic changes. In : Billen G., Garnier J., Mouchel J.M., Human activity and material fluxes in a regional river basin : The Seine River watershed. Seine Special Issue, Science of the Total Environment, 375 (1-3) : 292-311.

Ducharne A., Théry S., Billen G., Benoît M., Brisson N., Garnier J., Kieken B., Ledoux E., Mary B., Mignolet C., Mermet M., Poux X., Sauboua E., Schott C., Viennot P., Abu Alkhair A., Baubion C., Curie F., Ducos G., Gomez E., Lebonvallet S., Olive G., Sicart J-E., 2004. Influence du changement climatique sur le fonctionnement hydrologique et biogéochimique du bassin de la Seine. Rapport intermédiaire du contrat PIREN-Seine. 55 p.

Dumolard P., 1975. Région et régionalisation : une approche systémique. L'Espace Géographique, 2 : 93-111.

Dumolard P., 1973. Disparités spatiales de l'intensivité agricole en Italie. L'Espace Géographique, 1 : 50-62.

FAO, 2001. Soil carbon sequestration for improved land management. World soil resources report, 96 : 54 p. + annexes.

Fairweather J.-R., Keating N.-C., 1994. Goals and management styles of New Zealand farmers. Agricultural Systems, 44 (2) : 181-200.

Faivre R., Leenhardt D., Voltz M., Benoît M., Papy F., Dedieu G., Wallach D.., 2004. Spatialising crop models. Agronomie, 24 (4) : 205-217.

Geist H.-J., Lambin E., 2002. Proximate causes and underlying driving forces of a tropical deforestation. Biosci., 52 (2) : 143-150.

Girard N., 2006. Catégoriser les pratiques pour reformuler un problème en partenariat. Une proposition méthodologique. Cahiers Agricultures, 15 (3) : 261-272.

Girard N., Bellon S., Hubert B., Lardon S., Moulin C.-H., Osty P.-L., 2001. Categorising combinations of farmers' land use practices : an approach based on examples of sheep farms in the south of France. Agronomie, 21: 435-459.

Girard N., Duru M., Hazard L., Magda D., 2008. Categorising farming practices to design sustainable land-use management in mountain areas. Agron. Sustain. Dev., 28 : 333-343.

Godard C., Roger-Estrade J., Jayet P.-A., Brisson N., Le Bas C., 2008. Use of available information at European level to construct crop nitrogen response curves for the regions of the EU. Accepté dans Agricultural Systems.

Gomez E., Ledoux E., 2001. Démarche de modélisation de la dynamique de l'azote dans les sols et de son transfert vers les aquifères et les eaux de surface. C.R. Acad. Agric. Fr.87(1) : 111-120.

Gomez E., Ledoux E., Viennot P., Mignolet C., Benoît M., Bornerand C., Schott C., Mary B., Billen G., Ducharne A., Brunstein D., 2003. Un outil de modélisation intégrée du transfert des nitrates sur un système hydrologique : application au bassin de la Seine. La Houille Blanche, 37 : 71-72.

Grasland C., 1997. L'analyse des discontinuités territoriales : l'exemple de la structure par âge des régions européennes vers 1980. L'Espace Géographique, 4 : 309-326.

Grasland, 1998. Les maillages territoriaux : niveaux d'observation ou niveaux d'organisation. In : Actes des Entretiens Jacques Cartier, Les découpages du territoire. Lyon 8-10/12/1997. INSEE Méthodes n°76-77-78.

Haneveld W.-K., Stegeman A.-W., 2005. Crop succession requirements in agricultural production planning. European Journal of Operational Research, 166 : 406-429.

Hanriot F., 1996. La typologie des systèmes agricoles lorrains. Validation, étude statistique et évolution des systèmes agricoles lorrains. Mémoire de bourse d'expérimentation.

INRA-ENSSAA, 1973. Conditions de choix des techniques de production et évolution des exploitations agricoles. Région de Rambervillers (Vosges). Etude INRA-SEI, 4.

Jollivet M, 1965. D'une méthode typologique pour l'étude des sociétés rurales. Rev. Fr. Sociol., 6 : 33-54.

Josselin D., Laurent C., 1998. Identifications d'entités spatiales pertinentes pour la mesure de l'emprise de l'activité agricole sur le territoire. In : Le Berre M., Petithory M., Odouze A.-M., Maillardet J. : Théo Quant : Géographie théorique et quantitative ? PUFC : 21-34.

Jouve P., 1986. Principes de construction de typologies d'exploitations agricoles suivant différentes situations agraires. Les Cahiers de la Recherche Développement, 11 : 48-56.

Jouve P., 2006. La dimension spatiale des systèmes de culture : comparaison entre agriculture tempérée et agriculture tropicale. Cahiers Agricultures, 15 (3) : 255-260.

King D., Le Bas C., Jamagne M, Daroussin H.R. et J., 1995. Base de données géographique des sols de France à l'échelle du 1/1000000. Notice générale d'utilisation, Rapport technique, INRA. Service d'étude des sols et de la carte pédologique de France.

Klatzmann J., 1955. La localisation des cultures et des productions animales en France. Imprimerie nationale, Paris, 477 p.

Klöcking B., Ströbl B., Knoblauch S., Maier U., Pfützner B., Gericke A., 2003. Development and allocation of land use scenarios in agriculture for hydrological impact studies. Physics and Chemistry of the Earth, 28 : 1311-1321.

Köbrich C., Rehman T., Khan M., 2003. Typification of farming systems for constructing representative farm models : two illustrations of the application of multi-variate analyses in Chile and Pakistan. Agricutural Systems, 76 : 141-157.

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.

Lambin E.-F., Rounsevell M.-D.-A., Geist H.-J., 2000. Are agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity ? Agriculture, Ecosystems and Environnment, 82 : 321-331.

Landais E., 1996. Typologies d'exploitations agricoles. Nouvelles questions, nouvelles méthodes. Economie Rurale, 236 : 3-15.

Landais E., Deffontaines J.-P., 1988. Les pratiques des agriculteurs : point de vue sur un courant nouveau de la recherche agronomique. Etudes Rurales, 109 : 125-158.

Lardon S., 1999. Modélisation spatiale des dynamiques territoriales. Mémoire de recherche pour l'obtention de l'HDR, Université Claude Bernard Lyon 1.

Launay M., Guérif M., 2005. Assimilating remote sensing data into a crop model to improve predictive performance for spatial applications. Agr. Ecosyst. Environ., 11 : 321-339.

Laurent C., 2005. Les agricultures de l'Union européenne et leurs territoires. In : Laurent C., Thinon P., Agricultures et Territoire (Traité IGAT, série Aménagement et gestion du territoire), Editions Hermès. Chapitre 1 : 31-56.

Laurent C., Maxime F., Mazé A., Tichit, M., 2003. Multifonctionalité de l'agriculture et modèles de l'exploitation agricole. Economie Rurale, 273-274 : 134-152.

Laurent C., Thinon P. (dir), 2005. Agricultures et territoires. Traité IGAT, série Aménagement et gestion du territoire, Editions Hermès : 303 pages.

Lavigne C, Angevin F. (coords), 2008. Modèles de paysages et de territoires agricoles pour l'étude des processus agro-écologiques. Réponse à l'appel d'offre INRA – INRIA 2008 : 33 pages.

Lavigne C., Klein E.-K., Mari J.-F., Le Ber F., Adamczyk K., Monod H., Angevin F., 2008. How do geneticcally modified (GM) crops contribute to background levels of GM pollen in an agricultural landscape ? Journal of Applied Ecology, 45 (4) : 1104-1113.

Lazrak E.-L., Mari J.-F., Benoît M., soumis. Landscape regularities modelling for environmental challenges in agriculture. Soumis à Landscape Ecology.

Le Bail M., 2000. Qualité des produits végétaux et territoire : contribution de l'agronomie. OCL, 7 : 499-503.

Le Bail M., Meynard J.-M., 2003. Yield and protein concentration of spring barley : the effects of cropping systems in the Paris basin (France). Agronomie, 23 : 13-27.

Le Ber F., Benoît M., Schott C., Mari J.-F., Mignolet C., 2006. Studying crop sequencies with CARROTAGE, a HMM-based data mining software. Ecological Modelling, 191 : 170-185.

Ledoux E., Gomez E., Monget J.M., Viavattene C., Viennot P., Benoît M., Mignolet C., Schott C., Mary B., 2007. Agriculture and groundwater nitrate contamination in the Seine basin, The STICS-MODCOU modelling chain. In : Billen G., Garnier J., Mouchel J.M., Human activity and material fluxes in a regional river basin : The Seine River watershed. Seine Special Issue, Science of the Total Environment, 375 (1-3) : 33-47.

Leenhardt D., Trouvat J.-L., Gonzalès G., Pérarnaud V., Prats S., Bergez J.-E., 2004. Estimating irrigation demand for water management on a regional scale. I. ADEAUMIS, a simulation platform based on bio-decisionnal modelling and spatial information. Agric. Water Manage., 68 : 207-232.

Lenco M., 1975. Nouvelle classification des exploitations agricoles. Etudes Rurales, 57 : 7-35.

Lhopitallier L., Caron, P., 1999. Diversité et recomposition de l'espace rural dans le district d'Amatola, province du Cap de l'Est. L'Espace Géographique, 2 : 170-183.

Machet J.-M., Mary B., 1990. Effet de différentes successions culturales sur les risques de pertes de nitrate en région de grande culture. Int. Symposium, « Nitrates, agriculture, eau », 7-8 novembre 1990, Ed. INRA, Paris, 289-312.

Maillard L., Daniel K., Colson F., 2000. Géographie de l'agriculture communautaire : les productions soutenues par la PAC ne se concentrent pas. Agreste Cahiers, 4 : 37-44.

Marcelpoil E., 2001. Le territoire politique à la rencontre du territoire fonctionnel : le cas du Sillon alpin. Revue Internationale de Géomatique, 11(2) : 191-206.

Marchand B., Ozan A., 1981. Méthodes mathématiques de classification en géographie. L'Espace Géographique, 1 : 1-14.

Mari J.-F., Le Ber F., Benoît M., 2000. Fouille de données par modèles de Markov cachés. Journées francophones d'ingénierie des connaissances : 197-205.

Mari J.-F, Le Ber F., Benoît M., 2002. Segmentation temporelle et spatiale de données agricoles. Revue internationale de Géomatique, 12(4) : 439-460.

Mari J.-F., Le Ber F., 2003. Temporal and spatial data mining with second-order hidden Markov models. In : Nadif M., Napoli A., San Juna E., Sigayret A. (Eds), Actes des Journées de l'Informatique Messine, Metz, France, INRIA Lorraine : 247-254.

Martin P., Joannon A., Mignolet C., Souchère V., Thenail C., 2006. Systèmes de culture et territoires : cas des questions environnementales. In : Doré T., Le Bail M., Martin P., Ney B., Roger-Estrade J. (coord.), L'agronomie aujourd'hui, Collection Synthèse, Editions Quae : 253-283.

Maseda F., Diaz C., Alvarez C., 2004. Family dairy farms in Galicia (N.W. Spain) : classification by some family and farm factors relevant to quality of life. Biosystems Engineering, 87 (4) : 509-521.

Maton L., Leenhardt D., Bergez J.-E., 2007. Geo-referenced indicators of maize sowing and cultivar choice for better water management. Agro. Sustain. Dev., 27 : 377-386.

Maton L., Leenhardt D., Bergez J.-E., 2008. Choix de précocité et pratiques de semis en maïsiculture irriguée du sud-ouest de la France : quelle diversité et comment l'expliquer ? Accepté dans Cahiers Agricultures.

Maton L., Leenhardt D., Goulard M., Bergez J.-E., 2005. Assessing the irrigation strategies over a wide geographical area from structural data about farming systems. Agricultural Systems, 86 : 293-311.

Maurel M.-C, 1976. Différenciation spatiale des unités de production agricoles en Russie d'Europe. Annales de Géographie : 694-724.

Maxime F., Mollet J.-M., Papy F., 1995. Aide au raisonnement de l'assolement en grande culture. Cahiers Agricultures, 4 : 351-362.

Meybeck M., de Marsily G., Fustec E., 1998. La Seine en son bassin. Fonctionnement écologique d'un système fluvial anthropisé. Elsevier, Paris.

Meynard J.-M., Aggeri F., Coulon J.-B., Habib R., 2006. Recherches sur la conception de systèmes agricoles innovants. Rapport du groupe de travail : 71 pages.

Mignolet C., 1999. Diversité des exploitations agricoles de la plaine des Vosges : répartition spatiale et évolution entre 1993 et 1996. Rapport de contrat INRA / Chambre d'Agriculture des Vosges : 15 pages + annexes.

Mignolet C., Benoît M., 2001a. Réflexions sur une segmentation régionale selon la diversité des systèmes techniques agricoles. Revue internationale de Géomatique. 11(2) : 177-190.

Mignolet C., Benoît M., Bornerand C., 2001b. Différenciation du bassin de la Seine selon les dynamiques des systèmes de production agricoles depuis les années 1970, Cahiers Agricultures, 10 : 377-387.

Mignolet C., Fiorelli J.-L., Peyre D., Danguy des Déserts F., Georgel R., 1998. L'agrandissement des exploitations d'élevage dans la plaine des Vosges : quelles répercussions pour la durabilité des systèmes de production ? Actes des 5e Rencontres Recherches Ruminants, Paris, décembre 1998 : 161-164.

Mignolet C., Schott C., Benoît M., 2004a. Spatial dynamics of agricultural practices on a basin territory : a retrospective study to implement models simulating nitrate flow. The case of the Seine basin. Agronomie, 24 : 219-236.

Mignolet C., Schott C., Benoît M., 2004b. Dynamiques des activités agricoles à différentes échelles d'espace et de temps. Rapport intermédiaire du contrat PIREN-Seine : 19 pages.

Mignolet C., Schott C., Benoît M., 2007. Spatial dynamics of farming practices in the Seine basin : Methods for agronomic approaches on a regional scale. In : Billen G., Garnier J., Mouchel J.M., Human activity and material fluxes in a regional river basin : The Seine River watershed. Seine Special Issue, Science of the Total Environment, 375 (1-3) : 13-32.

Mignolet, C., Schott C., Mari J.-F., Benoît M., 2003. Typologies des successions de cultures et des techniques culturales dans le bassin de la Seine. Rapport intermédiaire du contrat PIREN-Seine : 21 pages.

Ministère de l'Agriculture et de la Pêche., 2001. Recensement Agricole 2000. Agreste Cahiers, 3-4 : 89 p.

Ministère de l'Agriculture et de la Pêche., 1997. Orientations technico-économiques : classification révisée des exploitations agricoles françaises. Agreste Cahiers, 22-23 : 182 p.

Moisan, H., 1988. Développement agricole et localités. Chemin critique d'une pratique de recherche sociologique dans les territoires villageois de la plaine ouest des Vosges. Thèse de Sociologie rurale. Paris, Université Paris X Nanterre : 313 p.

Mottet A., 2005. Transformations des systèmes d'élevage depuis 1950 et conséquences pour la dynamique des paysages dans les Pyrénées. Thèse INP Toulouse : 274 pages + annexes.

Moulin C.-H., Ingrand S., Lasseur J., Madelrieux S., Napoleone M., Pluvinage 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 : Dedieu B., Chia E., Leclerc B., Moulin C.-H., Tichit M. (Eds), L'élevage en mouvement : Flexibilité et adaptation des exploitations d'herbivores. Editions Quae : 181-196.

Muller J.-C., 1977. Comparaison visuelle des cartes et groupements spatiaux. L'Espace Géographique, 1 : 59-72.

Nesme T., Bellon S., Lescourret F., Habib R., 2006. Survey-based analysis of irrigation and N fertilisation practices in apple orchards. Agron. Sustain. Dev., 26 : 215-225.

Nicolas-Obadia G., 1971. La carte statistique agricole. Son commentaire et son utilisation dans les études régionales agraires, Études rurales, 43-44 : 7-77.

Nicolas-Obadia G., 1977. La théorie des noyaux régionaux agricoles. L'Espace Géographique, 1 : 25-40.

Openshaw S., 1981. Le problème de l'agrégation spatiale en géographie, L'Espace Géographique, 1 : 15-24.

Osty P.-L., 1978. L'exploitation agricole vue comme un système. Diffusion de l'innovation et contribution au développement. Bulletin Technique d'Information, 326 : 43-49.

Paillotin G., 2000. L'agriculture raisonnée. Rapport au Ministre de l'Agriculture et de la Pêche, février 2000.

Papy, F., 2001. Pour une théorie du ménage des champs : l'agronomie des territoires. C.R. Acad. Agric. Fr, 87, 139-149.

Pena-Barragan J.-M., Lopez-Granados F., Garcia-Torres L., Jurado-Exposito M., Sanchez de la Orden M., Garcia-Ferrer A., 2007. Discriminating cropping systems and agro-environnmental measures by remote sensing. Agron. Sustain. Dev., 28 : 355-362.

Perrot C., 1991. Un système d'information construit à dire d'experts pour le conseil technico-économique aux éleveurs de bovins, Thèse de doctorat, INA-PG.

Perrot C., 1990. Typologie d'exploitations construite par agrégation autour de pôles définis à dire d'experts. Proposition méthodologique et premiers résultats obtenus en Haute-Marne, INRA Prod. Anim., 3(1) : 51-66.

Perrot Ch., Pierret P., Landais E., 1995. L'analyse des trajectoires des exploitations agricoles. Une méthode pour actualiser les modèles typologiques et étudier l'évolution de l'agriculture locale, Economie Rurale, 228 : 35-47.

Piet L., 2002. Spatialisation d'un modèle d'équilibre général calculable pour l'étude de la localisation des activités agricoles à une échelle infra-nationale. Thèse de doctorat en Sciences de l'Environnement, ENGREF Paris : 315 pages.

Ponsard C., Tranqui P., 1984. La régionalisation floue de l'économie européenne. Revue d'Economie Politique, 1 : 1-25.

Poux X., Dubien I., 2002. Quelle prospective pour l'agriculture de la Seine amont ? L'enseignement de trois scénarios sur le bassin de la Marne. Rapport de synthèse PIREN-Seine : 51 pages.

Poux X., Ducos G., Benoît M., Schott C., Mignolet C., Bonvallet S., Mary B., 2004. Simulation prospective des pertes nitriques dans l'hydrosystème Seine en 2050 : construction de scénarios macro-économiques de l'agriculture en images spatialisées des systèmes agraires du bassin de la Seine. Rapport d'activité intermédiaire du PIREN-Seine : 43 pages.

Poux X., Olive G., 2003. Prospective agricole sur le bassin de la Seine. Rapport d'activité intermédiaire du PIREN-Seine : 25 pages.

Reboul C., 1976. Mode de production et système de culture et d'élevage. Economie Rurale, 112 : 55-65.

Reynard R., 1995. Statistiques et découpages territoriaux, Revue Géographique de Lyon, 70(2) : 125-128.

Rey V., 1973. Les structures de l'espace roumain. Typologie par matrice graphique ordonnable. L'espace Géographique, 1 : 37-49.

Rey V., Robic M.-C., 1983. La géographie rurale quantitative et théorique : bilan d'une décennie. Annales de Géographie : 305-330.

Rio P., 1997. Zonage, compromis entre homogénéité et connexité. Revue d'Economie Régionale et Urbaine, 4 : 585-602.

Riveiro J .-A., Marey M.-F., Marco J.-L., Alvarez C.-J., 2008. Procedure for the classification and characterization of farms for agricultural production planning : application in the Northwest of Spain. Computer and Electronics in Agriculture, 61 : 169-178.

Rivière E., 2003. Evolution des structures agricoles lorraines : réactualisation de la typologie avec les données brutes du Recensement Général Agricole 2000. Mémoire de fin d'études ENSAIA : 28 pages + annexes.

Rolland-May C., 1987. La théorie des ensembles flous et son intérêt en géographie. L'Espace Géographique, 1 : 42-50.

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. Agr. Ecosyst. Environn., 95 : 465-479.

Ruffio P., 1984. Exploitation agricole et évolution : problèmes méthodologiques, B.T.I., 391 : 349-365.

Sanders L., 1996. La modélisation spatio-temporelle : les différents niveaux d'intégration du temps et de l'espace. Actes du colloque sur l'étude des phénomènes spatiaux. La Rochelle, 6-8 décembre 1995, Paris, INRA Editions les Colloques, 78 : 329-338.

Sebillotte M ;, 1990. Système de culture, un concept opératoire pour les agronomes. In : Combe L., Picard D., (eds), Les systèmes de culture. Paris, INRA : 165-196.

Sebillotte M. 1974. Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome. Cah. ORSTOM sér. Biol., 24 : 3-25.

Sebillotte M., Soler L.-G., 1990. Les processus de décision des agriculteurs. I. Acquis et questions vives. In : Brossier J. et al. (eds), Modélisation systémique et systèmes agraires, Paris, INRA : 88-102.

Société d'Etudes Géographiques Economiques et Sociologiques Appliquées (SEGESA), 1992. Nouvelle approche de la diversité des agricultures régionales. Rapport du Ministère de l'Agriculture et de la Forêt : 53p.

Souchère V.**,** Mignolet C., Schott C., Bienaimé E., Benoît M., 2006. Differentiation of territories according to the location of agricultural activities : methods for regional scale approaches. In : Langeveld H., Röling N., Changing European farming systems for a better future. New visions for rural areas. 7th European IFSA Symposium, Wageningen ; 2006/05/07-11 : 440-444.

Stöckle C., Donatelli M., Nelson R., 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. Europ. J. Agronomy, 18 : 289-307.

Tefera T.-L., Perret S., Kirsten J., 2004. Diversity in livelihoods and farmers'strategies in the Hararghe Highlands, Eastern Ethiopia. International Journal of Agriculture Sustainability, 2 (2) : 133-146.

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 and Environment, 101 : 53-72.

Thisse J.-F., 1997. De l'indétermination des régions et de quelques inconvénients qui en résultent. L'Espace Géographique, 2 : 135-148.

Triboulet P., 2001. Apports et limites de la cartographie statistique dans une démarche de développement territorial. La place de l'agriculture dans les espaces ruraux. Revue internationale de Géomatique. 11(2) : 159-176.

Triboulet P., Lardon S., Langlet A., 1996. Segmentation de textures pour l'identification d'espaces ruraux différenciés. Actes du colloque sur l'étude des phénomènes spatiaux, La Rochelle, 6-8 décembre 1996, Paris, INRA Editions les Colloques, 78 : 47-64.

Van Hecke E., 1982. Structure régionale de la production agricole dans la communauté européenne. Analyse cartographique. Bulletin de la Société Belge d'Etudes Géographiques, 2 : 145-190.

Veldkamp A., Lambin E.-F., 2001. Predicting land-use change. Agriculture, Ecosystems and Environment, 85: 1-6.

Veldkamp A., Verburg.p.-H., 2004 Modelling land use change and environmental impact: Introduction to the special issue. Journal of Environmental Management, 72 (1-2) : 1-3.

Verburg P.-H., Ritsema van Eck J., de Nijs T.-C.-M., Dijst M.-J., Schot P., 2004. Determinants of land use change patterns in the Netherlands. Environment and Planning B, 31: 125-150.

Verburg P.-H., Schot P.-P., Martin J.-D., Veldkamp A., 2004. Land use change modelling : current practice and research priorities. GeoJournal, 61 : 309-324.

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 and Environment, 85 : 177-190.

Viennot P., Ledoux E., Monget J.-M., Schott C., Garnier C., Beaudoin N., 2009. La pollution du bassin de la Seine par les nitrates. Plaquette du programme PIREN-Seine, Agence de l'Eau Seine-Normandie : 43 pages.

Voiron-Caniccio C., 1997. Formes, discontinuités et partitions de l'espace. L'Espace Géographique, 1 : 49-59.

Ward J.-H., 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. Journal of the American Statistical Association, 58 : 236 – 244.

Williams T.-A., 1994. Identifying target groups for livestock improvement research : the classification of sedentary livestock producers in Western Niger. Agricultural Systems, 46 (2) : 227-237.

Modélisation de l'organisation spatiale des systèmes agricoles et de son évolution dans des démarches d'appui au développement

---

Catherine Mignolet, 2008

Les préoccupations relatives à la localisation des dynamiques agricoles dans les territoires s'avèrent de plus en plus prégnantes chez les acteurs impliqués dans le développement agricole et la gestion des ressources naturelles. En effet, connaître la diversité des agricultures d'un territoire sans savoir comment cette diversité est spatialement structurée au sein de ce territoire ni comment cette structuration évolue au cours du temps n'est pas suffisant pour répondre à certaines questions. C'est le cas des questions environnementales dans lesquelles l'étude des processus agro écologiques nécessite de rendre compte des conséquences de la variabilité spatiale des pratiques agricoles, ou encore des questions de développement territorial qui analysent la contribution d'un tissu d'exploitations agricoles diverses dans la dynamique et la cohésion des territoires. Notre thèse vise ainsi à développer des méthodes pour modéliser la différenciation spatiale des systèmes agricoles et son évolution au sein de territoires. Elle est basée sur deux cas d'étude présentant des enjeux différents et portant sur des échelles de temps et d'espace contrastées : *(i)* l'évolution des systèmes de production agricoles de la plaine du département des Vosges (3800 km^2) suite à la Réforme de la Politique Agricole Commune de 1992 ; *(ii)* l'évolution des systèmes de production et des systèmes de culture du bassin versant de la Seine (95 000 km^2) sur lequel un enjeu de préservation de la qualité des ressources en eau dans les aquifères est posé. Notre démarche de recherche consiste à identifier des régions agricoles homogènes du point de vue des critères retenus pour modéliser la diversité des systèmes agricoles et son évolution. Elle articule : *(i)* une caractérisation des systèmes agricoles des territoires étudiés, à partir de sources d'informations variées (statistiques agricoles nationales et départementales, enquête à dire d'experts), sous la forme de typologies (à partir de modèles typologiques existants ou en construisant de nouveaux modèles) ; *(ii)* différentes méthodes de modélisation de la répartition spatiale des systèmes agricoles au sein des territoires, de leurs évolutions passées sur différents pas de temps (de 1993 à 1996 sur la plaine des Vosges, de 1970 à 2000 sur le bassin de la Seine) et de la répartition spatiale des évolutions ; *(iii)* une analyse des biais des maillages spatiaux utilisés pour localiser les systèmes agricoles dans les territoires (commune, Petite Région Agricole). Les résultats nous conduisent à discuter les choix méthodologiques réalisés pour décrire des systèmes agricoles à l'échelle de grands territoires et sur le temps long, ainsi que leur utilisation pour spatialiser des actions de développement.

Mots-clés : système de production, système de culture, typologie, grand territoire, temps long, plaine des Vosges, bassin versant de la Seine

---

Concerns about the location of farming changes within the regions appear more and more real for those involved in agricultural development and the management of natural resources. In fact, to learn about the diversity of forms of agriculture within a region without knowing how this diversity is structured spatially or how this structure evolves over time is not enough to respond to certain questions. This is so for environmental questions in which the study of agro-ecological processes necessitates taking account of the spatial variability of farming practices, or else questions of territorial development which analyse the contribution of a fabric of diverse farms in the dynamics of territorial cohesion. Therefore our thesis aims to develop methods for modelling the spatial differentiation of farming systems and its evolution within the regions. It is based on two case studies presenting different challenges and dealing with contrasting time and spatial scales : *(i)* the evolution of agricultural production systems in the plain of the *département* of Vosges (3800 km^2) following the reform of the Common Agricultural Policy of 1992 ; *(ii)* the evolution of production systems and cropping systems in the Seine basin (95 000 km^2) where there is a threat to the preservation of the quality of water resources in the aquifers. Our research approach consists of identifying farming regions which are homogeneous from the point of view of criteria chosen to model the diversity of farming systems and its evolution. It sets out : *(i)* a characterisation of farming systems in the regions studied, from various information sources (national and departmental agricultural statistics, surveys of experts' statements) in the form of classifications (from existing typological models or by constructing new models) ; *(ii)* different methods of modelling the spatial distribution of farming systems within regions, their past evolution at different periods (from 1993 to 1996 on the Vosges plain ; from 1970 to 2000 in the Seine basin) and the spatial evolution of the changes ; *(iii)* an analysis of the various kinds of spatial grids used to locate farming systems within regions (parishes or agricultural districts). The results allow us to discuss the methodological choices made to describe agricultural systems on the scale of large regions and over a long period, and their use for spatializing development operations.

Key words : farming system, cropping system, typology, large region, long-term, Vosges plain, Seine basin