

# **Modélisation de l'organisation spatiale des systèmes agricoles et de son évolution dans une démarche d'appui à la protection des ressources en eau du bassin de la Seine**

Catherine Mignolet<sup>1\*</sup>, Céline Schott<sup>1\*</sup>, Marc Benoît<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INRA, UR 055 ASTER-Mirecourt, 662 avenue Louis Buffet, 88500 Mirecourt

\*[mignolet@mirecourt.inra.fr](mailto:mignolet@mirecourt.inra.fr), [schott@mirecourt.inra.fr](mailto:schott@mirecourt.inra.fr)

1	Introduction.....	2
2	Demande des partenaires et émergence des questions de recherche .....	4
3	Démarche de recherche.....	6
4	Différenciation de régions agricoles selon la diversité des systèmes de production et de leurs évolutions .....	7
5	Différenciation de régions agricoles selon la diversité des systèmes de culture et de leurs évolutions..	10
6	Evaluation de la pertinence du maillage spatial de la PRA .....	10
6.1	Délimitation de régions agricoles homogènes à dire d'experts.....	10
6.1.1	Le protocole d'enquête.....	11
6.1.2	Le traitement des cartes à dire d'experts.....	11
6.1.3	Les cartes à dire d'experts produites en Marne et Seine-et-Marne.....	11
6.1.4	Comparaison avec le maillage des PRA.....	14
6.2	Evaluation de l'homogénéité spatiale intra-PRA par analyse à la maille cantonale.....	15
7	Enseignements méthodologiques .....	18
7.1	Prépondérance de la question initiale sur la démarche de différenciation de régions agricoles.....	18
7.1.1	Caractérisation des activités agricoles d'un territoire.....	18
7.1.2	Analyse des différenciations globales ou des différenciations locales.....	20
7.1.3	Une nécessaire analyse des dynamiques agricoles.....	21
7.2	Prise en compte des échelles de temps et d'espace dans la démarche de différenciation de régions agricoles.....	22
7.2.1	Stabilité ou instabilité des référentiels typologiques .....	22
7.2.2	Choix des maillages spatiaux unitaires.....	23
7.2.3	Adéquation des sources d'information aux objectifs de recherche .....	24
8	Conclusion : utilisation des connaissances et représentations produites pour aider à la structuration d'actions de développement .....	25
8.1	Contribution à la modélisation de la contamination des aquifères du bassin de la Seine par le nitrate .....	25
8.2	Contribution à la construction de scénarios prospectifs d'évolution de l'agriculture du bassin de la Seine à l'horizon 2050.....	26
9	Bibliographie.....	29

## Préambule

*Ce rapport est constitué d'extraits issus de la thèse de Catherine Mignolet, soutenue le 8 décembre 2008 à AgroParisTech. L'objectif principal de la thèse est 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. La thèse s'appuie sur deux cas d'étude, sur lesquels l'auteur travaille depuis les dix dernières années : 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. Dans la suite de ce rapport ne sera résumée que la partie relative à la préservation de la ressource en eau du bassin de la Seine. Les résultats, dont la majeure partie a été présentée dans des précédents rapports PIREN-Seine et dans des publications scientifiques, ne seront pas repris ici mais leurs références seront précisées. Seuls deux d'entre eux, non publiés jusqu'alors, seront détaillés. Nous donnerons une plus large place à la discussion des démarches et méthodes utilisées depuis une dizaine d'années par notre équipe au sein du PIREN-Seine pour analyser l'agriculture du bassin de la Seine dans une perspective d'appui à la préservation des ressources en eau du bassin versant de la Seine.*

Référence de la thèse :

Mignolet C., 2008. Modélisation de l'organisation spatiale des systèmes agricoles et de son évolution dans des démarches d'appui au développement. Thèse de docteur d'AgroParisTech, spécialité Agronomie : 173 pages + annexes.

## **1 Introduction**

« 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 (1996), 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 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 culturels, 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).

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.

## **2 Demande des partenaires et émergence des questions de recherche**

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<sup>2</sup>. 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).

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 nitrates 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<sup>ème</sup> et IV<sup>ème</sup> 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 (Ducharme *et al.*, 2004 ; Ducharme *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 Mari, 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 ardues 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<sup>1</sup> du bassin de la Seine analysés à différents niveaux d'organisation.

### 3 Démarche de recherche

Notre objectif principal 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. Nous le déclinons en trois étapes :

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

Cette première étape 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.*

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

La deuxième étape 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*

---

<sup>1</sup> 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 systèmes de production, mais aussi l'organisation spatiale, les interactions et les coordinations qui existent entre ces divers systèmes à l'échelle de territoires ».

sont pas aléatoires. Il existe donc des régions caractérisables par des combinaisons similaires de systèmes de culture ou d'évolutions de systèmes de culture.

#### Troisième étape : Evaluation de la pertinence des maillages spatiaux

La troisième étape 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.*

### **4 Différenciation de régions agricoles selon la diversité des systèmes de production et de leurs évolutions**

En plus de la thèse, les résultats de cette partie peuvent être consultés dans les documents suivants :

Mignolet C., Benoît M., Bornerand C., 2001. Différenciation du bassin de la Seine selon les dynamiques des systèmes de production agricoles depuis les années 1970, Cahiers Agricultures, 10 : 377-387.

E. Gomez, C. Mignolet, C. Schott, D. Brunstein, C. Bornerand, E. Ledoux, M. Benoît, J. Tournebize, N. de Louvigny, G. Ponsardin, B. Mary, 2002. Modélisation intégrée du transfert des nitrates sur le bassin de la Seine. Rapport du programme PIREN-Seine 1998 – 2001, 56 pages.

L'ensemble des résultats exposés dans ces deux publications 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 ici de revenir plus en détail sur un autre type d'analyse statistique permettant d'effectuer une analyse locale des facteurs de différenciation spatiale : cette analyse n'est plus conduite sur les pourcentages de SAU par OTEX<sup>2</sup> 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 agréant 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'Analyse en Composantes Principales Centrée (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 1) 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

<sup>2</sup> La classification européenne des Orientations Technico-économiques des exploitations (OTEX) a été retenue pour décrire la diversité des systèmes de production du bassin de la Seine.

sont également qualifiées de discontinuités linéaires<sup>3</sup>.

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.

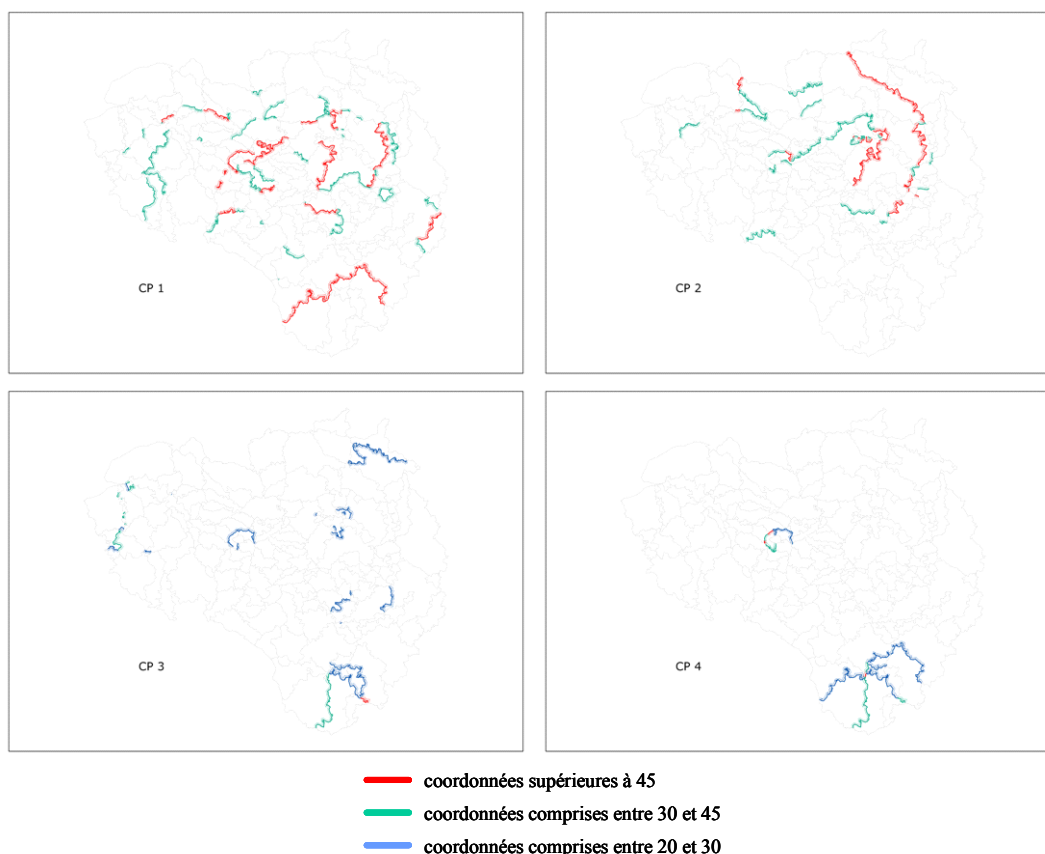
La deuxième composante principale (27,5% des variations) permet d'identifier des discontinuités qui caractérisent des limites séparant des PRA où l'OTEX *Culture générale* est sur représentée et des PRA où les OTEX *Bovins lait* et/ou *Grandes cultures et herbivores* (ou dans une moindre mesure les OTEX *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 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.

---

<sup>3</sup> 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.





**Figure 1 : Cartographie des coordonnées des limites entre PRA sur les 4 premiers axes factoriels de l'ACP des différenciations locales en 2000**

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.

## **5 Différenciation de régions agricoles selon la diversité des systèmes de culture et de leurs évolutions**

En plus de la thèse, les résultats de cette partie peuvent être consultés dans les documents suivants :

Mignolet C., Schott C., Benoît M., 2004. 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.

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.

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.

Mignolet C., Schott C., Benoît M., 2004. Dynamiques des activités agricoles à différentes échelles d'espace et de temps. *Rapport intermédiaire du contrat PIREN-Seine* : 19 pages.

## **6 Evaluation de la pertinence du maillage spatial de la PRA**

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. Il résulte d'un 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 des PRA pour localiser des informations relatives à l'agriculture et révéler des différenciations spatiales. Nous proposons d'étudier le biais correspondant 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.

### **6.1 Délimitation de régions agricoles homogènes à dire 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 ; Lhopitalier 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 dire d'experts.

### **6.1.1 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, 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.

### **6.1.2 Le traitement des cartes à dire 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 ?).

### **6.1.3 Les cartes à dire 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 2) :

- 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.

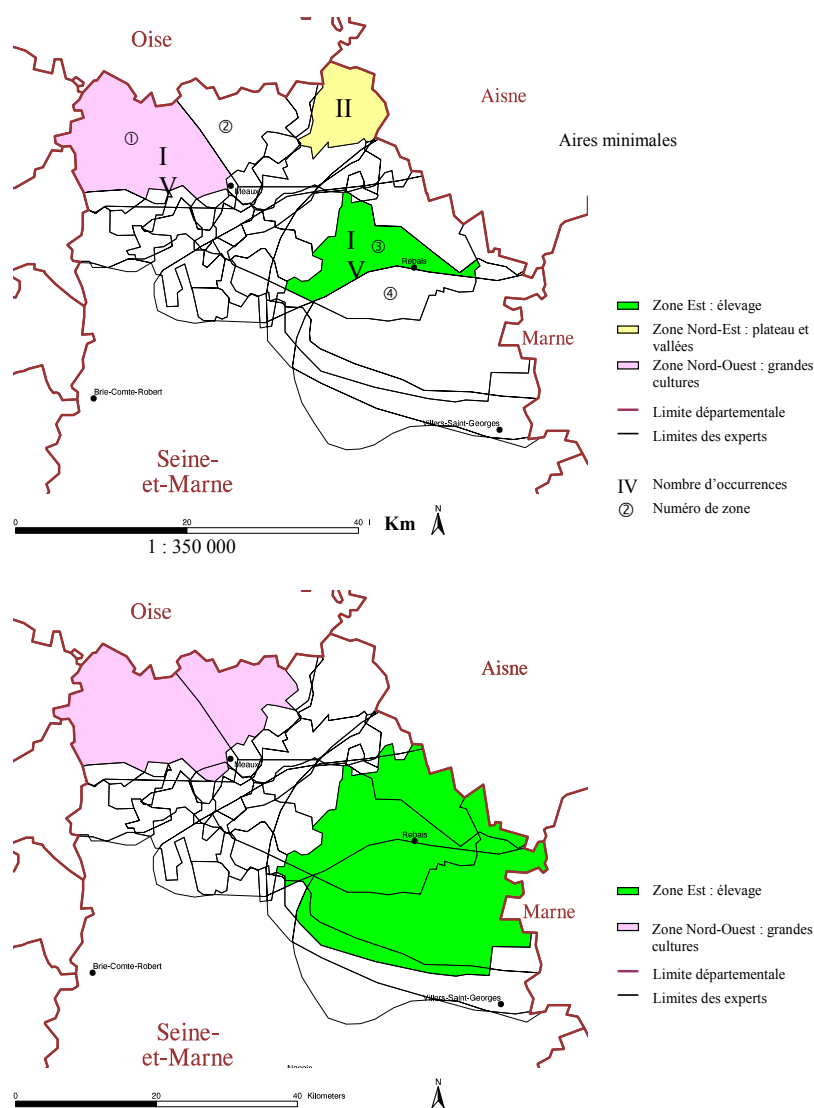


Figure 2 : Synthèse des cartes à dire d'experts en Seine et Marne

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 3), 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.

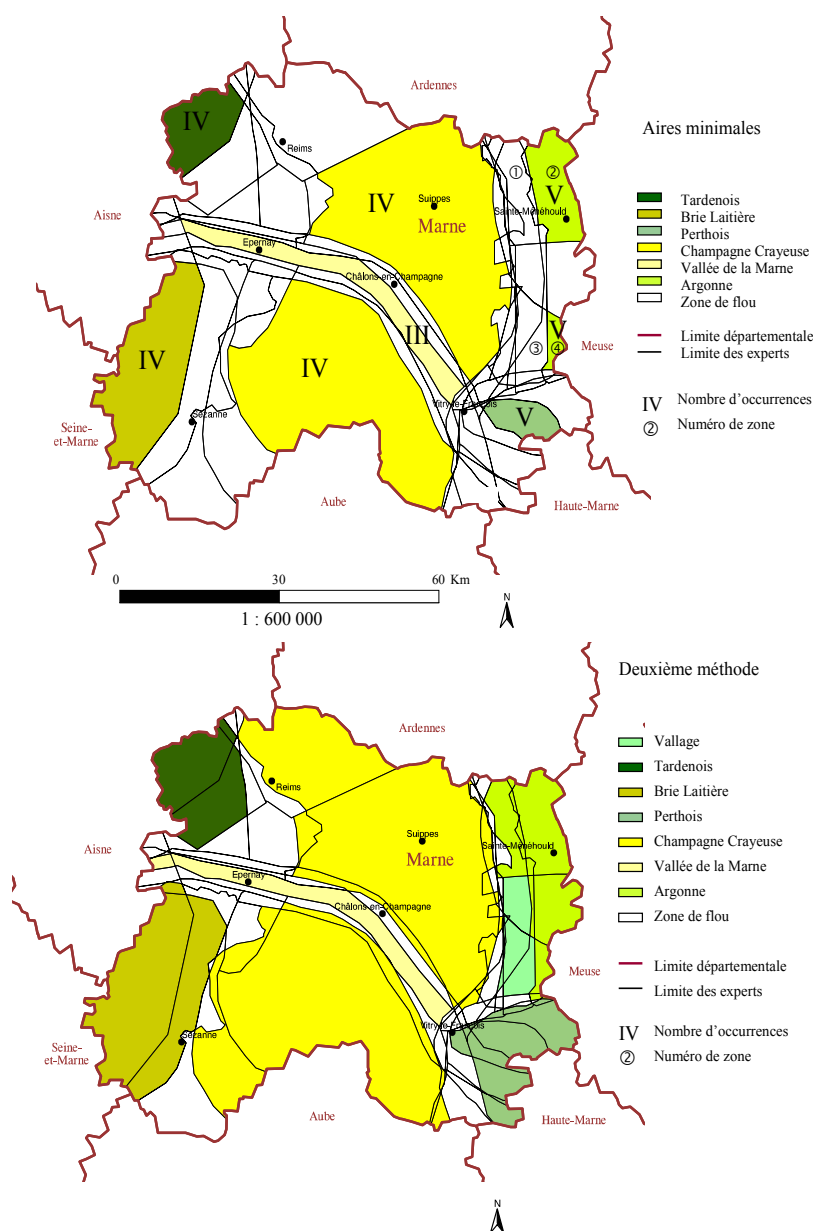


Figure 3 : Synthèse des cartes à dire d'experts sur le département de la Marne

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'Épernay : 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.

#### **6.1.4 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 dire 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<sup>2</sup> : 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 1). 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.

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.

**Encadré 1 : 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	Superficie de l'intersection	Rapport des superficies	Superficie de la PRA	Code PRA	
	Km <sup>2</sup>	Intersection/ forme forte %	Km <sup>2</sup>	Intersection/ PRA %	Km <sup>2</sup>		
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.

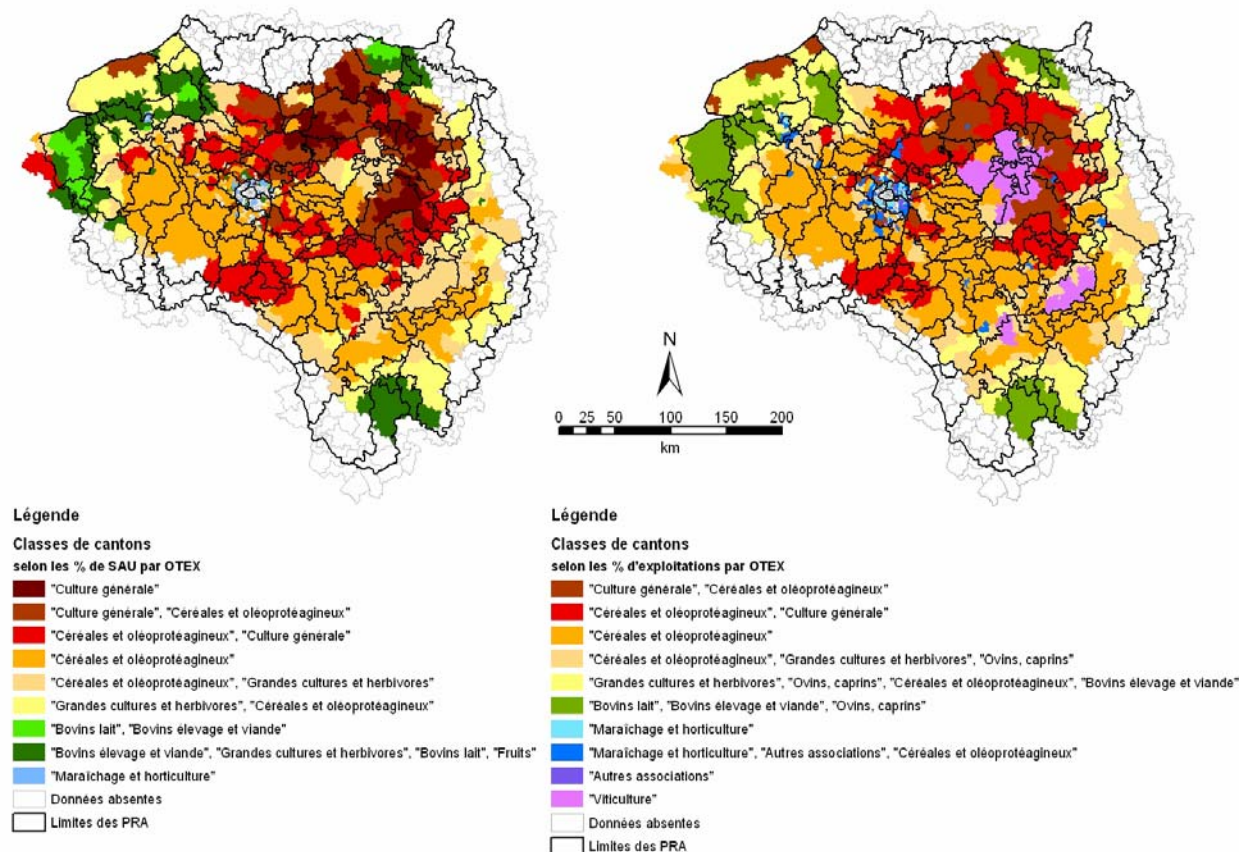
## 6.2 Evaluation de l'homogénéité spatiale intra-PRA par analyse à la maille cantonale

En parallèle à la comparaison du maillage des PRA avec des découpages géographiques issus de direx 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 4). 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*.



**Figure 4 : Typologies des cantons du bassin de la Seine et comparaison avec le maillage PRA**

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 Quentinnois 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 (Annexe, Figure ?). 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.

En conclusion, il s'avère que le maillage des PRA peut présenter un 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 orientations agricoles différentes, quels arguments nous autorisent à privilégier l'homogénéité spatiale du canton plutôt que celle de chacune des deux PRA ?

## 7 Enseignements méthodologiques

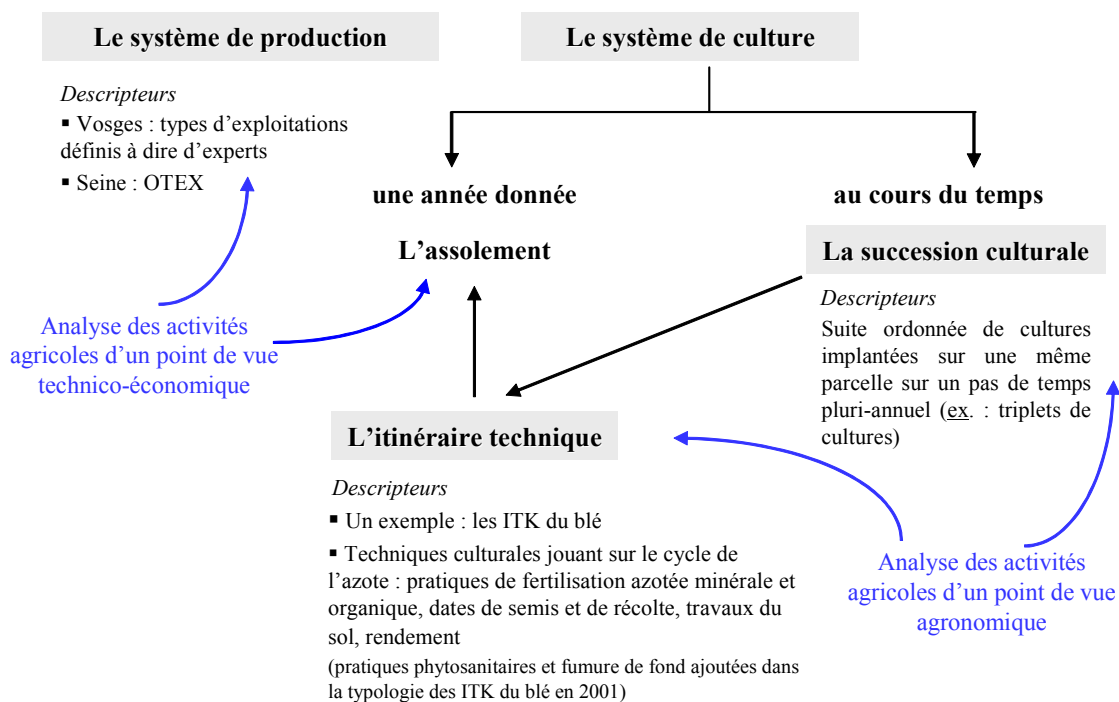
Les enseignements méthodologiques portent sur deux points principaux : (i) la nature des questions qui sont à l'origine de l'étude des différenciations spatiales agricoles et qui orientent certains choix méthodologiques ; (ii) les échelles de temps et d'espace sur lesquelles les questions sont posées, qui sont également à prendre en compte pour raisonner certains choix.

### 7.1 Prépondérance de la question initiale sur la démarche de différenciation de régions agricoles

#### 7.1.1 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. 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 5).



**Figure 5 : 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). Nous avons montré 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

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.

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 culturel 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.

### 7.1.2 Analyse des différenciations globales ou des différenciations locales

Pour différencier des régions agricoles selon la diversité des exploitations agricoles, nous avons proposé, et testé, deux démarches qui ont produit des découpages différents du bassin :

- 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.

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, les regroupements de mailles spatiales contiguës (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 son étude de la différenciation des espaces ruraux en Midi-Pyrénées, Triboulet (1996) a 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-Canicchio (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.

### 7.1.3 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 (Tableau 1). 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 (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.

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 culturelles majoritaires par PRA, puis construction d'une typologie des PRA selon ces successions et cartographie ; (ii) 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 ; (iii) construction d'une typologie des itinéraires techniques sur blé, identification de types caractéristiques d'une décennie donnée puis cartographie des types par décennie.

**Tableau 1: Place respective du temps et de l'espace dans les démarches proposées**

	Analyse spatiale puis analyse temporelle	Analyse temporelle puis analyse spatiale
<b>Système de production</b>	Typologies des PRA du bassin de la Seine en 1970, 1979 et 1988 ; 2) analyse des changements de types de PRA et cartographie	Construction de typologies de trajectoires d'évolution de PRA entre 1970 et 1988 ; 2) cartographie des trajectoires de PRA
<b>Successions culturelles</b>		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
<b>Itinéraires techniques cultureux</b>		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 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<sup>4</sup>, 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 culturelle 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.

## 7.2 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. 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.

### 7.2.1 Stabilité ou instabilité des référentiels typologiques

Les modèles de représentation de la diversité des systèmes de production 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 classification des OTEX est ainsi 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 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

<sup>4</sup> CarottAge<sup>®</sup> 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.

SCEES sur l'impact du rebaselement 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 culturelles 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 culturelles 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).

### **7.2.2 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, 1997b). 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 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 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.

### 7.2.3 Adéquation des sources d'information aux objectifs de recherche

L'extension de notre système géographique de référence (95000 km<sup>2</sup> 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 culturelles* du SCEES, qui renseignent respectivement les successions culturelles 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<sup>5</sup>. 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

---

<sup>5</sup> Ces moyens ont notamment permis le recrutement d'un ingénieur qui a effectué le travail d'enquête (réalisation des enquêtes et saisie des informations) sur plusieurs années.



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 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.

## **8 Conclusion : utilisation des connaissances et représentations produites pour aider à la structuration d'actions de protection de la ressource en eau**

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.

### **8.1 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<sup>2</sup>), les types de sols (d'après la carte des sols de France au 1 / 1000000<sup>ème</sup> de King *et al.*, 1995) et les PRA. Le nombre d'unités spatiales de simulation ainsi définies est de 7826 sur l'ensemble du bassin étendu de la Seine.

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 culturelle par succession culturelle en simulant, 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. 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. 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. Des cartes de concentration en nitrate simulées dans les aquifères du bassin ont pu ainsi être proposées (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<sup>6</sup>, 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, 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, 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.

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. 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.

## **8.2 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. 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 :

---

<sup>6</sup> 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.

- 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 2).

**Tableau 2 : Les germes de scénarios retenus dans la prospective Seine**

	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.

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 culturelles* (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 permettrait 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 permettrait 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 *Land Use and Cover Changes* pourraient être mobilisées dans cette perspective.

## 9 Bibliographie

- 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.
- 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 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.
- 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 culturelles dans le bassin de la Marne depuis les années 70. Mémoire de fin d'études, DAA ENSAIA Nancy : 35 pages + annexes.
- Brisson N., Mary B., Ripoche D., Jeuffroy M., Ruget F., Nicoulaud 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.
- 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.
- 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<sup>ème</sup> 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.
- Corpen, 1992. Interculture. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, Ministère de l'Environnement : 40 p.
- 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.
- 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., 1999. Conclusion de la séance de l'Académie d'Agriculture de France du 27 octobre 1999.
- 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.

- FAO, 2001. Soil carbon sequestration for improved land management. World soil resources report, 96 : 54 p. + annexes.
- Faivre R., Leenhardt D., Voltz M., Benoît M., Papy F., Dedieu G., Wallach D., 2004. Spatialising crop models. *Agronomie*, 24 (4) : 205-217.
- 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.
- 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.
- Lardon S., 1999. Modélisation spatiale des dynamiques territoriales. Mémoire de recherche pour l'obtention de l'HDR, Université Claude Bernard Lyon 1.
- Laurent C., 2005. Les agricultures de l'Union européenne et leurs territoires. In : Laurent C., Thion 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. Multifonctionnalité de l'agriculture et modèles de l'exploitation agricole. *Economie Rurale*, 273-274 : 134-152.
- 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.
- 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.
- 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., Benoît M., Bornerand C., 2001. 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., Schott C., Benoît M., 2004. 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., 2004. 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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-Canicchio C., 1997. Formes, discontinuités et partitions de l'espace. L'Espace Géographique, 1 : 49-59.