

Typologies des successions de cultures et des techniques culturales dans le Bassin de la Seine

Catherine Mignolet¹, Céline Schott¹, Jean-François Mari², Marc Benoît¹

¹ INRA, Station de recherche SAD, 662 Avenue Louis Buffet, 88500 Mirecourt

mignolet@mirecourt.inra.fr, schott@mirecourt.inra.fr, benoit@mirecourt.inra.fr

² UMR 7503, LORIA, B.P. 239, 54506 Vandoeuvre-lès-Nancy cedex

mari@loria.fr

1. Introduction	2
2. Caractérisation des successions de cultures du Bassin de la Seine : apports récents des modèles de Markov cachés.....	3
2.1. Principes de la méthode.....	3
2.2. Caractérisation des successions de cultures à l'échelle d'une PRA à l'aide des modèles "3 cultures" et "4 cultures" : le cas de la PRA St-Quentinois et Laonnois (département de l'Aisne).....	4
2.2.1 Définition qualitative des successions culturales	4
2.2.2 Définition quantitative des successions culturales	5
2.3. Construction d'une typologie des successions de cultures de l'ensemble des PRA du bassin de la Seine	8
2.4. Relation entre systèmes de production agricoles et successions de cultures.....	13
3. Caractérisation des séquences techniques et de leur évolution sur le bassin de la Marne.....	16
3.1. Validation des dires d'experts à l'aide de données d'enquêtes en exploitation : le cas du département de l'Aube	17
3.2. Typologie des séquences techniques sur blé de 1970 à 2000 et évolution temporelle.....	19
4. Perspectives.....	23

Figure 1 : Choix et rôle des niveaux de description des activités agricoles	2
Figure 2: Résultats du modèle "1 culture" sur la PRA 02034	4
Figure 3 : Résultats du modèle "3 cultures" sur la PRA 02034.....	5
Figure 4 : Extraction des successions triennales d'un listing de triplets de cultures.....	6
Figure 5 : Extraction des successions quadriennales d'un listing de quadruplets.....	7
Figure 6 : Synthèse des successions caractéristiques de la PRA 02034.....	7
Figure 7 : Correction de la valeur des triplets en fonction de la proportion de terres labourables.....	8
Figure 8 : Représentation des PRA du bassin de la Seine sur les axes factoriels 1 et 2.....	9
Figure 9 : Typologie des PRA du bassin de la Seine en fonction des triplets de cultures majoritaires. 11	
Figure 10 : Poids des OTEX par classe de successions de cultures	14
Figure 11 : Modèle physique simplifié de la base de données "Pratiques agricoles"	16
Figure 12 : Comparaison des valeurs observées et estimées de rendements et de fertilisation azotée en fonction des types de cultures et des périodes.....	18
Figure 13 : Premier plan factoriel de l'AFCM sur les séquences techniques sur blé.....	19
Figure 14 : Définition des 12 types de séquences techniques sur blé.....	20
Figure 15 : Evolution des séquences techniques sur blé entre 1970 et 1990.....	22

1. Introduction

Dans le cadre du PIREN-Seine, la participation de la Station de Recherche INRA de Mirecourt à l'axe de recherche "Agriculture et apports diffus" consiste à comprendre les dynamiques des activités agricoles sur l'ensemble du bassin de la Seine, afin de mettre en évidence leurs interactions avec la contamination des eaux souterraines par les nitrates. Pour analyser ces dynamiques et leur répartition spatiale au sein du bassin, nous utilisons différents descripteurs choisis à différents niveaux d'organisation des activités agricoles, qui sont le système de production, l'assolement, la succession de cultures et enfin la séquence technique (Figure 1) (Gomez *et al.*, 2002).

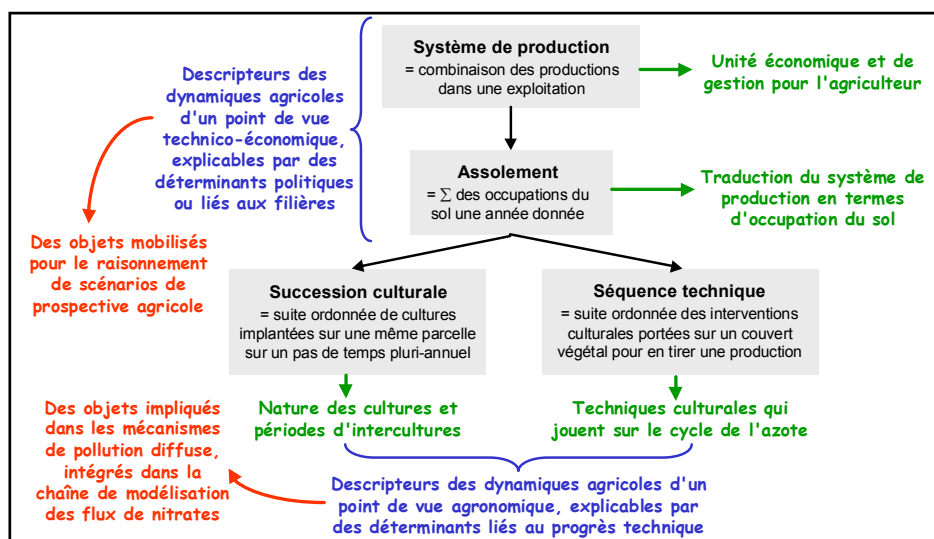


Figure 1 : Choix et rôle des niveaux de description des activités agricoles

Les dynamiques des systèmes de production agricoles et des assolements, que nous qualifions de descripteurs technico-économiques, ont été analysées au cours de la III^{ème} phase du PIREN-Seine à l'échelle de la Petite Région Agricole (PRA) et sur les trois dernières décennies. Dans cette première année d'une nouvelle phase du PIREN-Seine, nous avons approfondi l'étude des descripteurs plus "agronomiques" des activités agricoles du bassin de la Seine – les successions de cultures et les séquences techniques – qui sont directement impliqués dans le mécanisme de pollution diffuse par les nitrates.

Concernant les successions de cultures, nous avons mobilisé des données issues de l'enquête nationale *Ter-Uti*, ainsi que des modèles de fouilles de données permettant d'extraire des régularités dans des séries temporelles d'occupation du sol. En collaboration avec des informaticiens qui ont développé de nouveaux modèles permettant de reconnaître des suites de cultures sur des pas de temps plus longs, nous avons mis en œuvre une démarche de description et de quantification précises des successions de cultures d'une PRA donnée. Ces nouveaux résultats nous ont permis de réaliser la première typologie de successions de cultures sur l'ensemble du bassin de la Seine au cours de la décennie 1990, que nous avons confrontée à la répartition spatiale des systèmes de production agricoles.

Concernant les séquences techniques, nous nous sommes attachés à caractériser les dynamiques des techniques culturales depuis 1970 à partir des informations que nous avons collectées par enquêtes auprès de conseillers agricoles. Après avoir validé cette technique d'enquête dite "à dire d'expert" en la confrontant à des données issues d'enquêtes en exploitation, nous présentons une méthode permettant de typer les séquences techniques de 1970 à nos jours pour une culture donnée et de spatialiser leurs évolutions au cours du temps.

2. Caractérisation des successions de cultures du Bassin de la Seine : apports récents des modèles de Markov cachés

2.1. Principes de la méthode

Pour reconnaître les successions de cultures pratiquées dans le bassin de la Seine, nous avons utilisé une méthode de fouille de données mise en œuvre dans un logiciel, dénommé CARROTAGE, développé dans le cadre d'une collaboration entre agronomes et informaticiens (Mari *et al.*, 2002 ; Schott et Mari, 2002). Ce logiciel a pour but d'aider à l'analyse de données spatio-temporelles sur l'occupation du sol issues de l'enquête *Ter-Utili*. Cette enquête relève annuellement l'occupation du sol sur un échantillon constant de 72 500 points sur le bassin de la Seine. Ces relevés sont disponibles depuis 1992 pour chacune des 150 PRA du bassin.

La méthode de fouille de données s'appuie sur une méthode de classification numérique, les modèles de Markov cachés (HMM comme *Hidden Markov Model*). Ces modèles reposent sur l'hypothèse que la distribution des occupations du sol dans une région donnée évolue selon un processus de Markov : la distribution à un pas de temps donné dépend de la distribution aux pas précédents. En outre, l'observation d'une occupation du sol une année donnée sur une parcelle suit la densité de probabilité définie par la distribution des occupations du sol dans la région cette année-là. Le HMM permet ainsi de représenter deux processus stochastiques, le premier gouvernant le second (Baker, 1974) :

- le premier processus est caché et défini sur un ensemble d'états auxquels sont associées des densités de probabilité. La transition d'un état à un autre dépend des n états parcourus précédemment suivant l'ordre du modèle.
- le deuxième processus est qualifié de visible. Il émet une observation à chaque pas de temps en fonction de la densité de probabilité associée à l'état courant.

Un HMM se définit comme un ensemble d'états auxquels sont associées des lois de distribution, et une matrice des transitions entre les états. Dans CARROTAGE, plusieurs modèles sont disponibles que nous avons mobilisés selon deux objectifs de classification temporelle :

- le premier consiste à définir des périodes durant lesquelles la distribution des cultures ne varie pas et à calculer pour chacune d'elles les probabilités moyennes d'occurrence de chaque occupation du sol. Le HMM est ici constitué d'états "*de réserve*" correspondant chacun à une distribution d'occupations de sol.
- le second consiste à mesurer les probabilités de transition annuelle entre occupations du sol. Le HMM utilisé possède alors deux types d'états : les états "*de réserve*" associés normalement à des distributions d'occupations du sol, et des états "*de Dirac*" associés à une occupation unique et définis par une densité où la probabilité de cette occupation vaut 1 et celles des autres valent 0. Il génère des graphiques dénommés diagrammes de Markov qui permettent de visualiser les probabilités de transition annuelles entre occupations du sol.

Ces modèles dénommés "*1 culture*", largement utilisés lors de la III^{ème} phase du PIREN-Seine, quantifient les probabilités de transition entre occupations du sol sur deux années consécutives mais permettent seulement de poser des hypothèses sur la nature des successions au-delà de deux années. Pour améliorer la définition des successions culturelles, nous avons mis en œuvre des HMM dont les états ne sont plus associés à des distributions de cultures mais à des distributions de couples de cultures "*précédent-suivant*" (modèles "*2 cultures*"), de triplets de cultures (modèles "*3 cultures*") ou de quadruplets de cultures (modèles "*4 cultures*").

Nous proposons maintenant de présenter comment nous avons utilisé ces différents modèles pour extraire et quantifier les successions culturelles sur un exemple de PRA, et comment nous avons comparé les successions culturelles pratiquées sur les 150 PRA du bassin de la Seine au cours de la décennie 1990.

2.2. Caractérisation des successions de cultures à l'échelle d'une PRA à l'aide des modèles "3 cultures" et "4 cultures" : le cas de la PRA St-Quentinois et Laonnois (département de l'Aisne)

2.2.1 Définition qualitative des successions culturelles

La Figure 2 montre les résultats obtenus grâce au modèle "1 culture" sur la PRA 02034 qui permet de : (i) calculer l'assolement moyen pour une période donnée (ici de 1992 à 1999) produit sous forme d'un listing d'occupations su sol ; (ii) visualiser les principales transitions annuelles entre cultures sous forme d'un diagramme de Markov.

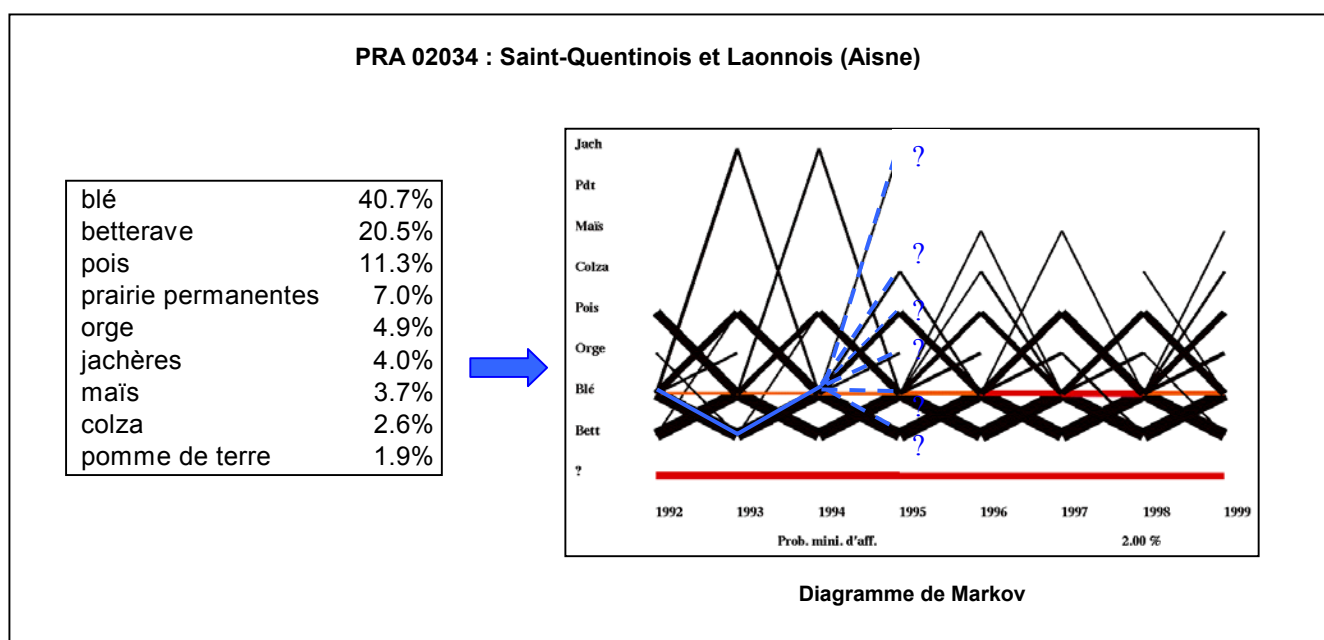


Figure 2: Résultats du modèle "1 culture" sur la PRA 02034

Dans cet exemple, nous remarquons que les principales têtes de rotation - la betterave et le pois - sont majoritairement suivies et précédées par un blé. Nous pouvons en déduire des "portions" de successions de cultures sur trois ans, de type "B-Bett-B"¹ ou "B-P-B" (en bleu sur le diagramme), indiquant des successions quadriennales de type " ? – B-Bett-B" ou type " ? – B-P-B", mais rien ne permet d'affirmer la nature de la tête de rotation suivant ou précédant ce triplet de cultures. Sur le diagramme, les traits pointillés indiquent par exemple que les cultures suivant le triplet "B-Bett-B" peuvent être aussi bien une autre betterave, un pois, un second blé, de l'orge, du colza ou de la jachère.

L'utilisation d'un modèle "3 cultures" permet d'identifier les principaux triplets de cultures de la PRA St-Quentinois (Figure 3). Les triplets "B-Bett-B" et "B-P-B" sont effectivement majoritaires (1), mais suivis de peu par des triplets associant deux têtes de rotations : "Bett-B-Bett" d'une part (2), et " Bett-B-P" et "P-B-Bett" d'autre part (3). Nous pouvons en déduire l'existence de deux principaux type de successions quadriennales dans cette PRA, à savoir les successions "Bett-B-Bett-B" et "Bett-B-P-B". Le diagramme de transitions entre triplets confirme cette hypothèse car il montre effectivement des transitions entre le triplet "B-Bett-B" et le triplet "Bett-B-Bett" (en rose sur le diagramme) (5), et entre les triplets "B-Bett-B", "Bett-B-P", "B-P-B", "P-B-Bett" et enfin "B-Bett-B" (en bleu sur le diagramme) (6).

¹ Tout au long de ce rapport, nous utiliserons des abréviations pour décrire les cultures :

B = blé; Bett = betterave; P = pois; OH = escourgeon; OP = orge de printemps; MG = maïs grain; MF = maïs fourrage, Pdt = pomme de terre, C = colza; T = tournesol; L = luzerne; PP = prairie permanente; PT = prairie temporaire.

PRA 02034 : Saint-Quentinois et Laonnois (Aisne)

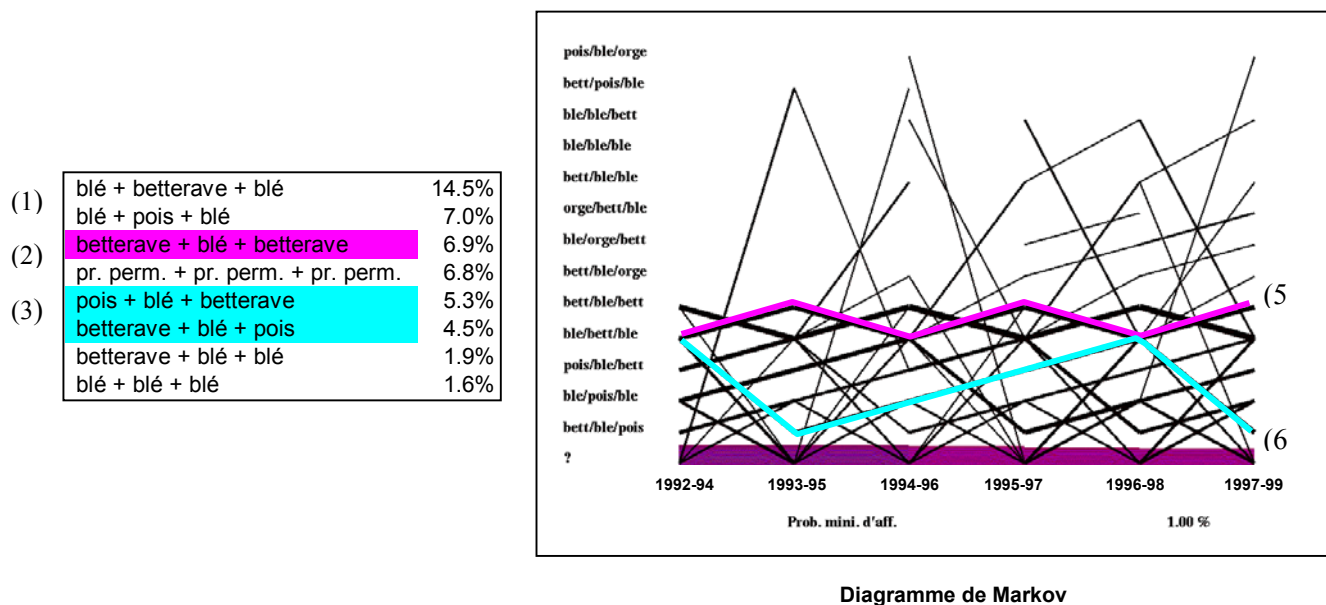


Figure 3 : Résultats du modèle "3 cultures" sur la PRA 02034

2.2.2 Définition quantitative des successions culturales

Pour quantifier le poids relatif à chaque succession de cultures dans la PRA, nous utilisons conjointement les modèles "3 cultures" et "4 cultures" en leur affectant des états "de réserve" associés à des distributions de triplets ou de quadruplets de cultures.

Quantification des successions triennales

Les successions triennales se caractérisent par des triplets de type "tête de rotation –B-O" ou "tête de rotation –B-B", mais également "tête de rotation – tête de rotation – B" et leur permutations. Par exemple, les triplets "Bett–B-O", "B-O-Bett" ou "O-Bett-B" sont affectés à la même succession triennale "Bett-B-O" considérée à différentes étapes de son déroulement. Les probabilités d'occurrence de ces triplets sont additionnées pour connaître le poids relatif de la succession dans la PRA (Figure 4). Cependant, certaines de ces permutations peuvent être des triplets contribuant à différents types de successions. Par exemple, une des permutations possibles de la succession "Bett-B-B" est le triplet "B-Bett-B" qui, en majeure partie, contribue à la succession "Bett-B-Bett-B" ou "Bett-B-P-B". Cependant, nous estimons qu'une certaine proportion de ce triplet contribue à la succession triennale "Bett-B-B". Pour lui attribuer un pourcentage estimé, nous prenons par défaut la plus faible valeur des autres combinaisons.

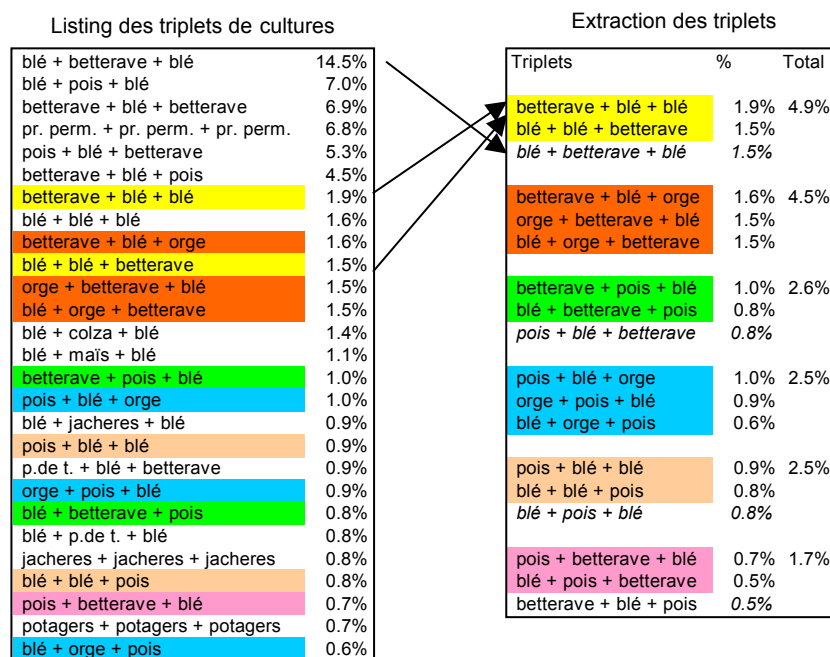


Figure 4 : Extraction des successions triennales d'un listing de triplets de cultures

Quantification des successions quadriennales

Les triplets de type "B - tête de rotation - B" et "tête de rotation - B - tête de rotation" laissent supposer l'existence de successions quadriennales. Pour vérifier cette hypothèse et quantifier leur poids relatif dans la PRA, nous calculons grâce à un modèle "4 cultures" les probabilités d'occurrence de quadruplets de cultures. Les probabilités de tous les quadruplets comprenant les combinaisons de deux têtes de rotations suivies ou précédées par un blé sont additionnées pour obtenir une estimation de chaque succession (Figure 5).

La synthèse des successions de cultures caractéristiques d'une PRA associe les successions triennales, quadriennales et également les cultures pérennes, telles que les prairies permanentes, les jachères fixes ou les vergers (Figure 6). Nous remarquons que la surface totale de la PRA expliquée par les successions identifiées n'atteint que 64 %. Ceci s'explique par le fait que seules les successions majoritaires ont pu être décrites : il existe toujours une proportion plus ou moins grande de successions très minoritaires ne pouvant être prises en compte.

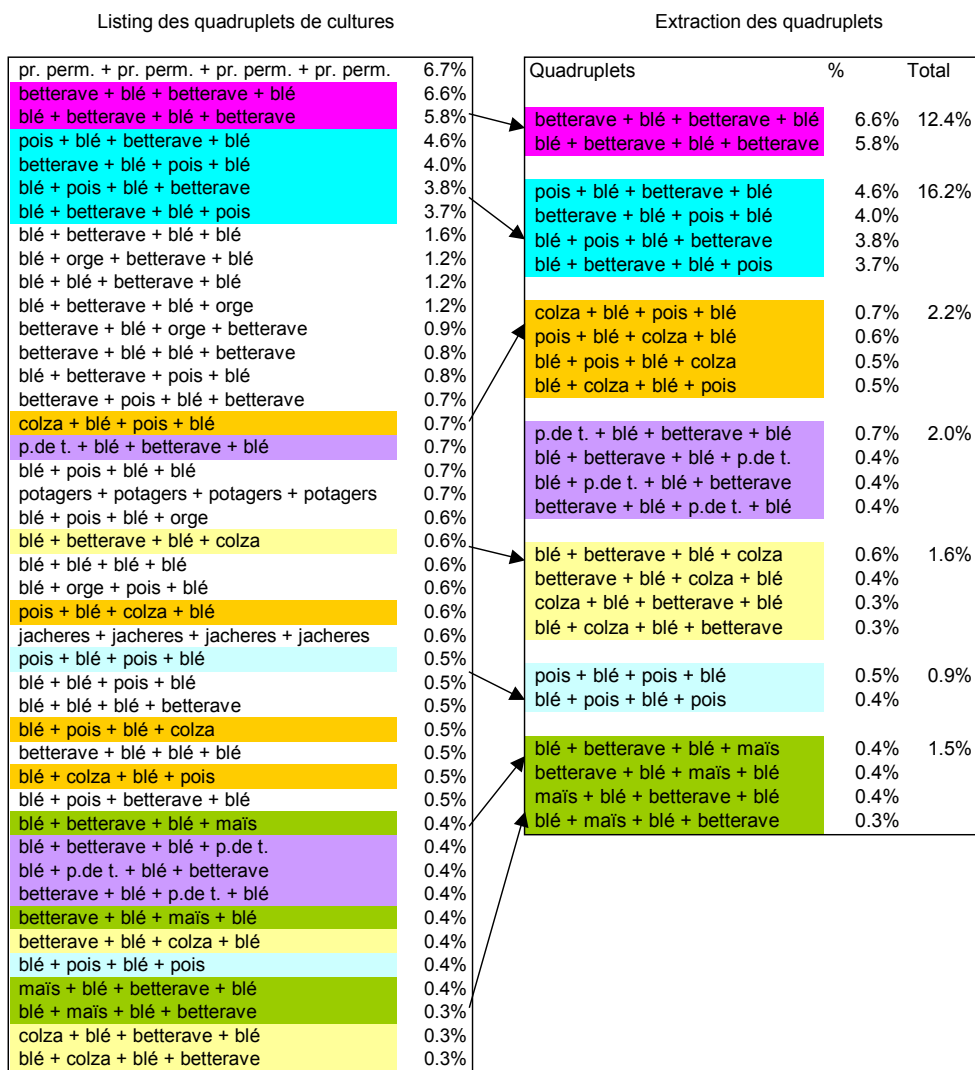


Figure 5 : Extraction des successions quadriennales d'un listing de quadruplets

Cultures pérennes et monoculture		successions de 3 ans	
prairies perm.	6.7%	bett + blé + blé	4.9%
potager	0.7%	bett + blé + orge	4.5%
jachère	0.6%	bett + pois + blé	2.6%
blé (4 ans)	0.6%	pois + blé + blé	2.5%
maïs (4 ans)	0.3%	pois + blé + orge	2.5%
pré-verger	0.2%	pois + bett + blé	1.7%
Successions de 4 ans		Total	63.9%
bett + blé + bett + blé	12.4%		
bett + blé + pois + blé	16.2%		
colza + blé + pois + blé	2.3%		
bett + blé + p. de t. + blé	1.9%		
bett + blé + maïs + blé	1.5%		
pois + blé + pois + blé	0.9%		
bett + blé + colza + blé	1.0%		

Figure 6 : Synthèse des successions caractéristiques de la PRA 02034

2.3. Construction d'une typologie des successions de cultures de l'ensemble des PRA du bassin de la Seine

L'application de modèles de Markov "3 cultures" aux données *Ter-Utili* de 1992 à 1998 nous permet de disposer d'une information quantifiée et homogène sur les successions de cultures de l'ensemble du bassin de la Seine, sous la forme de triplets de cultures majoritaires caractérisant chaque PRA. Pour regrouper les PRA qui présentent des combinaisons de triplets de cultures proches, nous avons réalisé une analyse en composantes principales sur les pourcentages de triplets de cultures majoritaires par PRA, puis une classification ascendante hiérarchique sur les coordonnées des PRA sur les premiers axes factoriels. Pour sélectionner les triplets de cultures majoritaires dans le bassin de la Seine, nous avons additionné les pourcentages attribués à chaque triplet par PRA et avons retenu les pourcentages les plus élevés.

Dans une première analyse, nous avons à la fois pris en compte les triplets correspondant à des occupations du sol pérennes (prairies permanentes, vignes, vergers ...) et les triplets de cultures annuelles. Les classes de PRA obtenues se distinguent principalement selon un gradient de pourcentage en prairies permanentes et ne mettent pas en évidence de successions de cultures bien caractéristiques. La représentation cartographique de cette typologie ne permet de ne faire ressortir que la "couronne herbagère" à la périphérie du bassin de la Seine et son gradient décroissant vers les zones de grandes cultures au centre, phénomène que nous avons déjà mis en évidence en travaillant sur les assolements (Mignolet *et al.*, 2001 ; Gomez *et al.*, 2002).

Nous avons donc réalisé une seconde analyse en ne retenant que les triplets de cultures annuelles, c'est-à-dire en ne prenant en compte que les terres labourables. Après correction du pourcentage attribué à chaque triplet de cultures annuelles en fonction du rapport "terres labourables / SAU" (Figure 7), cette analyse s'affranchit de la proportion de surfaces en herbe dans les PRA et peut donc regrouper des PRA ayant des proportions de terres labourables très différentes mais dans lesquelles les mêmes types de successions culturales sont pratiquées.

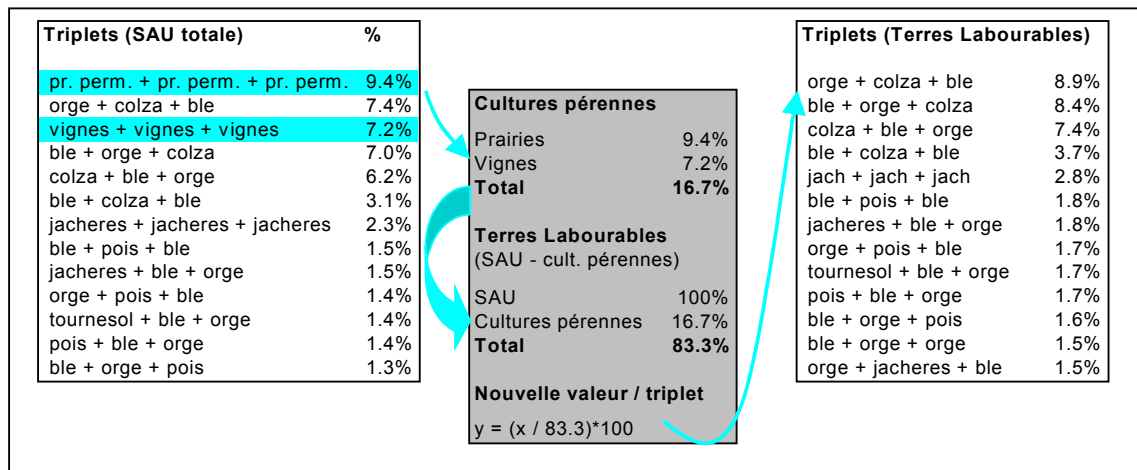


Figure 7 : Correction de la valeur des triplets en fonction de la proportion de terres labourables

Les 64 triplets de cultures retenus pour l'analyse peuvent être regroupés en six catégories selon la répartition des cultures dites "têtes de rotation" et des céréales à paille (Tableau 1).

Tableau 1: Liste des triplets retenus pour l'analyse factorielle

<p>Type "blé - tête de rotation - blé"</p> <p>ble + colza + ble ble + maïs + ble ble + pois + ble ble + jachères + ble ble + bett. + ble ble + tournesol + ble ble + p. de terre + ble ble + lin + ble ble + légumes + ble ble + fèves + ble</p> <p>Triplets à base de prairies temporaires ou artificielles</p> <p>pr. temp. + pr. temp. + pr. temp. maïs + pr. temp. + pr. temp. ble + orge + pr. temp. pr. temp. + maïs + maïs pr. artif. + pr. artif. + pr. artif. pr. artif. + pr. artif. + ble ble + orge + pr. artif. pr. artif. + ble + orge pr. artif. + ble + bett.</p>	<p>Type "tête de rotation - blé - tête de rotation"</p> <p>maïs + ble + maïs pois + ble + bett. bett. + ble + bett. pois + ble + colza colza + ble + colza pois + ble + maïs maïs + ble + colza pois + ble + pois tournesol + ble + colza jachères + ble + colza p. de terre + ble + bett. bett. + ble + maïs pois + ble + lin tournesol + ble + tournesol tournesol + ble + maïs jachères + ble + maïs pois + ble + jachères tournesol + ble + pois</p>	<p>Type " 2 têtes de rotation - blé"</p> <p>maïs + maïs + ble jachères + colza + ble bett. + pois + ble jachères + jachères + ble bett. + p. de terre + ble maïs + pois + ble</p> <p>Type " 3 têtes de rotation consécutives"</p> <p>maïs + maïs + tournesol jachères + jachères + jachères maïs + maïs + maïs légumes + légumes + légumes</p> <p>Type "3 céréales"</p> <p>ble + ble + ble ble + ble + orge ble + orge + ble ble + orge + orge autre cér.+ autre cér.+ autre cér.</p>	<p>Type "tête de rotation - blé - orge"</p> <p>colza + ble + orge pois + ble + orge maïs + ble + orge bett. + ble + orge jachères + ble + orge tournesol + ble + orge</p> <p>Type "tête de rotation - blé - blé"</p> <p>colza + ble + ble pois + ble + ble maïs + ble + ble bett. + ble + ble jachères + ble + ble tournesol + ble + ble</p>
---	---	--	--

La Figure 8 représente les coordonnées des PRA sur le premier plan factoriel de l'analyse en composantes principales. Les points figurant dans le quadrant supérieur gauche correspondent aux PRA où la monoculture de maïs est la plus forte (triplet M-M-M), ceux du quadrant inférieur gauche sont les PRA où dominent les triplets à base d'oléagineux, et tous ceux de la moitié droite du graphique sont les PRA où les triplets dominants sont B-Bett-B, B-P-B et P-B-Bett. Nous retrouvons, à titre d'exemple, la PRA 02034 étudiée précédemment à l'extrême - droite de cet axe.

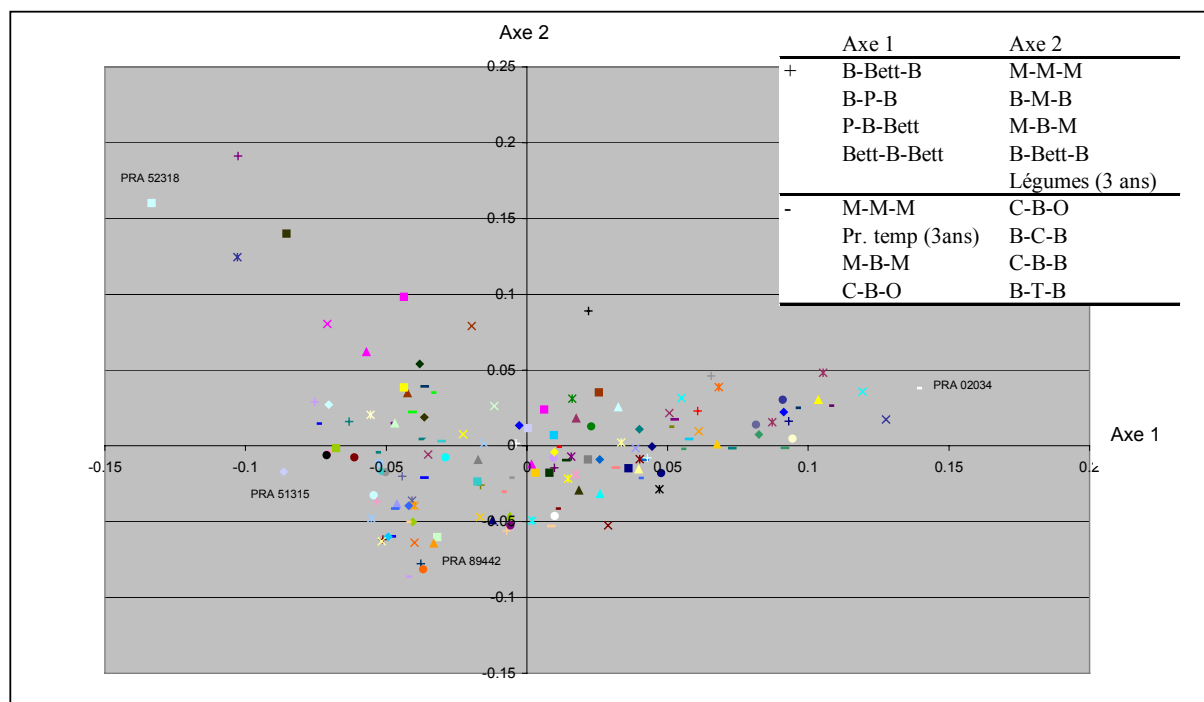


Figure 8 : Représentation des PRA du bassin de la Seine sur les axes factoriels 1 et 2

Suite à cette ACP, nous avons conduit une classification ascendante hiérarchique sur les coordonnées des PRA sur les 20 premiers axes factoriels. Nous avons retenu 20 classes de PRA, de manière à mettre en évidence des grands groupes de PRA sans toutefois trop gommer les spécificités locales. Pour dresser la légende de la cartographie de ces 20 classes, nous les avons regroupées en fonction de la culture tête de rotation dominante, et nous les avons caractérisées par les triplets de cultures communs à toutes les PRA qui les constituent. Quand cela était possible, nous avons combiné les triplets entre eux pour reconstituer la succession de culture complète (ex : P-B-C / B-P-B / B-C-B → P-B-C-B).

La typologie obtenue segmente le bassin de la Seine en grands groupes de PRA caractérisées par des pratiques similaires en matière de successions de cultures (Figure 8). Ces pratiques présentent d'ailleurs une forte concordance avec les grands ensembles géologiques du bassin parisien.

Catégorie "Dominante Prairies temporaires"

L'analyse factorielle distingue deux classes où dominent les successions à base de prairies temporaires. Toutes deux correspondent aux PRA du Morvan et de l'Auxois situées au sud-est du bassin de la Seine. Le substrat géologique y est composé essentiellement du socle granitique et du Jurassique Inférieur.

Catégorie "Maïs"

Cinq classes sont caractérisées par le maïs en tête de rotation dominante. Ces classes diffèrent par la manière dont celui-ci est conduit par les agriculteurs :

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

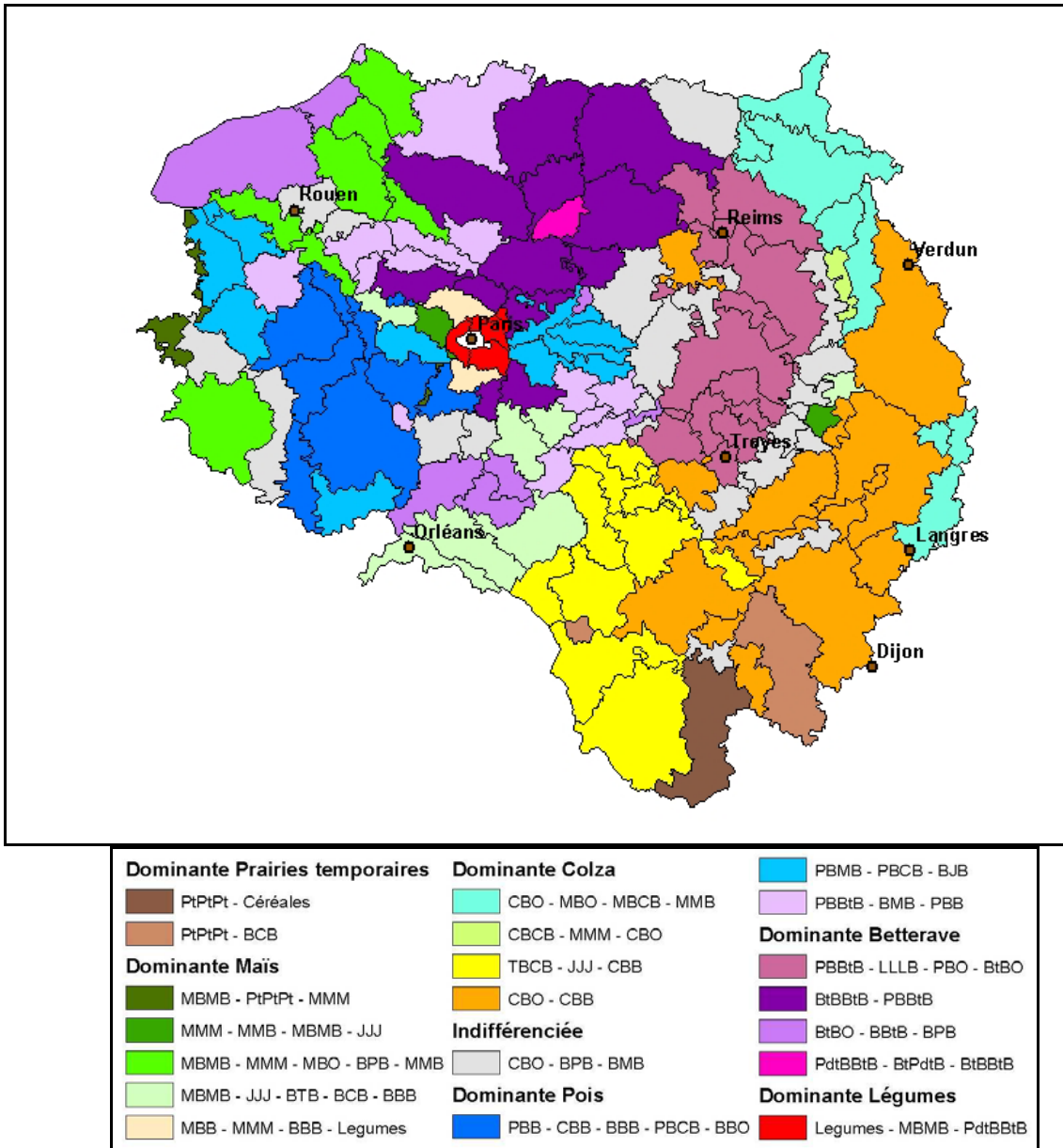


Figure 9 : Typologie des PRA du bassin de la Seine en fonction des triplets de cultures majoritaires

Catégorie "Colza"

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

Située essentiellement au sud du bassin de la Seine dans le département de l'Yonne, une classe importante regroupe des PRA caractérisées par la présence de deux oléagineux : le colza et le tournesol. Ces cultures s'organisent sous forme de successions quadriennales T-B-C-B, mais également triennales : C-B-O, T-B-O ou C-B-B. Il s'agit des PRA de Puisaye, Bourgogne Nivernaise, Nivernais central, Champagne crayeuse, Gâtinais pauvre et Pays d'Othe de l'Yonne.

Enfin, une dernière classe à dominante colza occupe quasiment tout l'est du bassin de la Seine, avec une très forte concordance avec le substrat géologique : il s'agit de toutes les PRA situées sur les calcaires du Jurassique supérieur constituant les plateaux du Barrois, de Langres et de Bourgogne, auxquelles s'ajoutent quelques PRA excentrées comme le Tardenois de la Marne ou le Pays d'Othe de l'Aube. Ces PRA se caractérisent par une nette prédominance de la succession triennale C-B-O et dans une moindre mesure, par d'autres types de successions basées sur le colza (C-B ou C-B-B-O). On y trouve également une nette tendance à cultiver des céréales à paille plusieurs années de suite.

Catégorie "Indifférenciée"

L'analyse factorielle distingue une classe particulière dans laquelle aucun triplet de cultures n'est réellement caractéristique de l'ensemble de la classe. Nous en avons déduit qu'il s'agissait d'une classe très hétérogène regroupant toutes les PRA que l'analyse ne parvenait pas à classer dans une classe bien définie. En effet, nous pouvons constater sur la carte obtenue qu'elle regroupe des PRA situées en bordure de grands ensembles très contrastés, comme la Champagne crayeuse et les plateaux du Barrois. Si un travail de redéfinition du découpage des PRA était à envisager, les PRA de cette classe seraient sans doute celles sur lesquelles ce travail serait à faire en priorité.

Catégorie "Pois"

La catégorie suivante concerne les PRA où les successions de cultures sont dominées par le pois :

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

Catégorie "Betterave"

La catégorie suivante, à dominante betterave, se compose de quatre classes principales :

- l'une d'entre elles se caractérise par une importante proportion de successions quadriennales P-B-Bett-B, mais également par la présence de triplets indiquant trois années de luzerne suivies par un blé. Il s'agit des successions culturales typiques de la Champagne crayeuse. Les PRA de cette classe forment un arc à l'est de Paris présentant une forte concordance avec les craies du Crétacé supérieur du bassin parisien.
- la classe suivante correspond à un ensemble de PRA situées surtout au nord de Paris réparties sur les départements de l'Aisne, de l'Oise, du Val d'Oise et de Seine-et-Marne (Plateaux picards, Valois, Brie Française, Soissonnais, Saint-Quentinois). Les successions caractéristiques sont de type biennales Bett-B, ou quadriennales Bett-B-P-B.
- une autre classe concerne essentiellement le Pays de Caux (Seine-Maritime) et un autre groupe de PRA situées au sud de Paris (Gâtinais, Beauce riche). Ces deux groupes ont en commun l'existence de successions triennales à base de betterave Bett-B-O.
- Enfin, une dernière classe ne comportant qu'une PRA (le Soissonnais de l'Oise) mérite d'être considérée à part car elle présente des successions très caractéristiques Pdt-B-Bett-B ou Bett-Pdt-B.

Catégorie "Légumes"

Une dernière catégorie caractérisée par l'importance des surfaces consacrées aux légumes ressort très nettement autour de l'agglomération parisienne.

Cette typologie des successions pratiquées durant la décennie 1990 est pour nous d'une grande utilité pour caractériser plus finement les pratiques culturales à l'échelle de la PRA. En effet, jusqu'à présent, des PRA ayant par exemple une forte part de leur sole en maïs ne pouvaient être distinguées les unes des autres alors que la conduite du maïs pouvait y être très différente (en monoculture, assolé etc...). De même, des PRA comme le Pays de Caux qui étaient jusqu'à présent toujours classées parmi les PRA d'élevage en raison des fortes proportions de prairies, s'avèrent proches des régions de grandes cultures par le type de successions culturales qui s'y pratiquent.

2.4. Relation entre systèmes de production agricoles et successions de cultures

Lors de la III^{ème} phase du PIREN-Seine, nous avons décrit les dynamiques et la répartition spatiale des systèmes de productions agricoles² de l'ensemble du bassin grâce à un travail spécifique conduit sur les orientations technico-économiques des exploitations (*Otex*) renseignées dans les Recensements Généraux Agricoles³. Pour analyser les liens qui peuvent exister entre différents niveaux de description des activités agricoles, nous avons cherché à croiser les informations relatives à ce descripteur technico-économique avec les informations relatives aux successions de cultures considérées comme un descripteur agronomique des pratiques agricoles. Nous avons pour cela calculé les surfaces agricoles utilisées par chaque *Otex* pour chacune des 20 classes de successions de cultures établies précédemment, d'après les résultats du dernier Recensement Agricole de 2000 (Figure 10).

Dans les classes de PRA à dominante prairies temporaires (Morvan, Auxois), l'*Otex* "Bovins viande spécialisé" apparaît nettement prépondérante.

Dans les classes à dominante maïs, nous observons de fortes disparités dans les systèmes de production représentés. Dans la classe 3 (Pays d'Auge), combinant maïs et prairies temporaires, les *Otex* d'élevage (bovins lait ou viande spécialisés, ovins) sont très nettement majoritaires, tandis que dans les deux classes suivantes, l'*Otex* "Polyculture-élevage" le devient (les *Otex* d'élevage représentant encore un quart de la surface). En revanche, les deux dernières classes localisées dans des PRA du centre du bassin de la Seine sont essentiellement représentées par l'*Otex* "Céréales et Oléoprotéagineux". Ces différences nous permettent de faire la distinction entre maïs fourrage (associé aux *Otex* d'élevage) et maïs grain (associé à l'*Otex* "Céréales"), distinction qui n'est pas faite par l'enquête *Ter-Uti*.

² compris comme "modes de combinaison entre terre, forces et moyens de travail à des fins de production végétale et/ou animale, qui sont communs à un ensemble d'exploitations" (Reboul, 1976)

³ Le RGA 2000 définit 12 *Otex* principales sur le bassin de la Seine (Céréales et oléoprotéagineux, Culture générale, Maraîchage, Viticulture, Fruits, Bovins lait, Bovins viande, Bovins lait-viande, Ovins, Granivores, Polyculture, Grandes cultures et herbivores). Certaines de ces *Otex* peuvent avoir une importance plus ou moins grande selon que l'on cherche à caractériser une zone en fonction du nombre d'exploitations ou du pourcentage de SAU concernés par cette activité. Ainsi, comme nous cherchons à connaître l'impact des activités agricoles à l'échelle de vastes territoires, nous nous référons principalement au pourcentage de SAU concernée par type d'*Otex*. Certaines de ces *Otex* ressortent donc très peu dans nos analyses : il s'agit des *Otex* nécessitant beaucoup de main d'œuvre mais peu de surfaces, comme les *Otex* Fruits, Granivores, Viticulture...

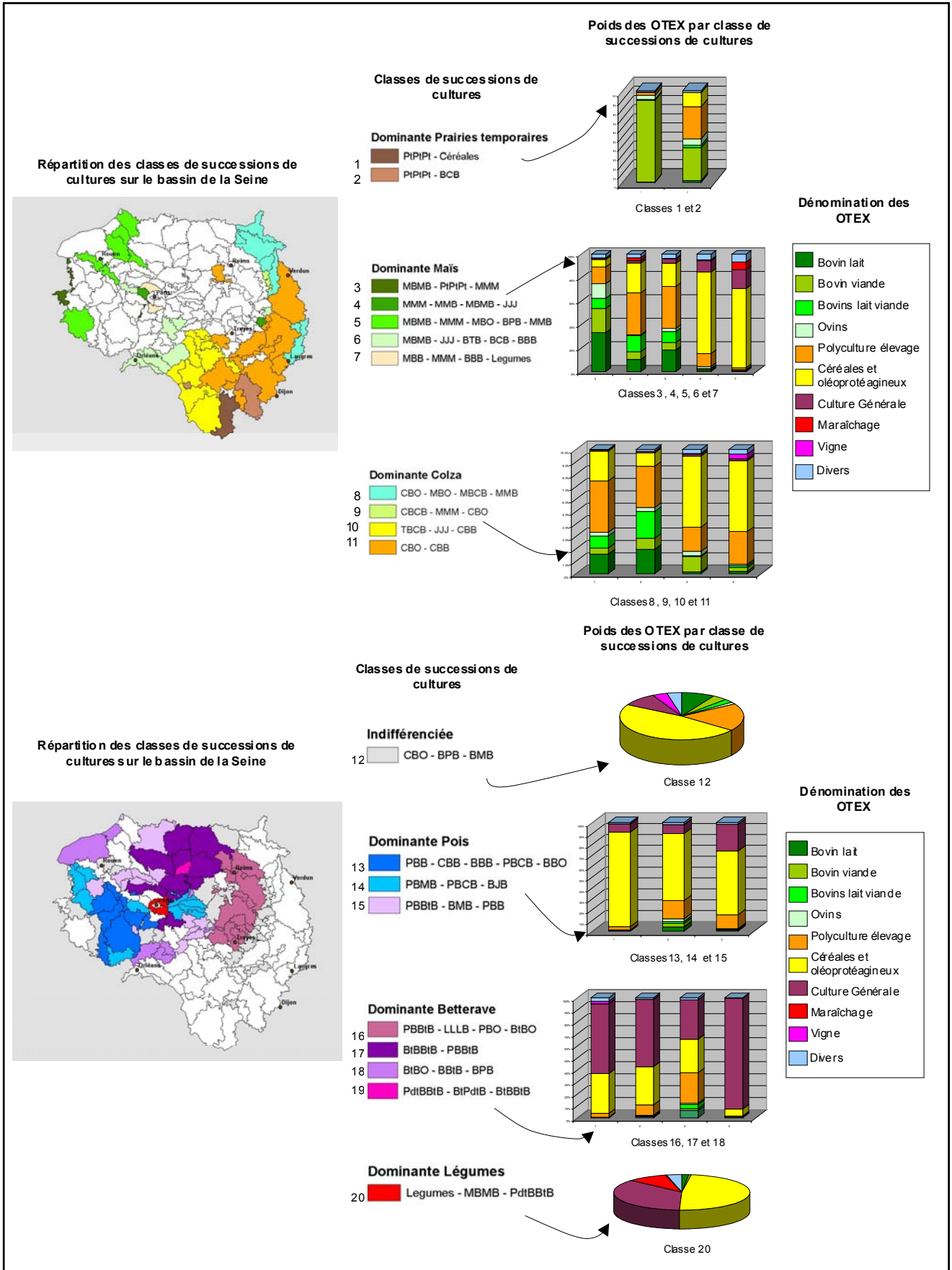


Figure 10 : Poids des OTEX par classe de successions de cultures

Parmi les classes à dominante colza, nous retrouvons également une distinction entre les PRA du nord-est du bassin de la Seine (Ardennes, Argonne, Bassigny) où les orientations agricoles sont principalement "Bovin lait", "Bovins lait-viande" et "Polyculture-élevage" et celles de l'est et sud-est du bassin orientées vers les grandes cultures de type SCOP et, dans une moindre mesure, vers la polyculture-élevage.

Les classes à dominante pois sont des PRA presque entièrement tournées vers l'Otex "Céréales et oléoprotéagineux", notamment les PRA situées dans la plaine de la Beauce. L'Otex "Culture générale" apparaît dans la classe caractérisée par des successions associant le pois et la betterave.

Enfin, toutes les classes à dominante betterave sont liées à l'Otex "Culture générale" et en moindre importance, à l'Otex "Céréales et oléoprotéagineux", excepté la classe 18 dans laquelle l'Otex "Polyculture-élevage" est également bien présente. Ceci s'explique par le fait que cette classe inclut la PRA Pays de Caux dans laquelle se maintient une forte activité d'élevage au côté des grandes cultures.

En conclusion, il apparaît que les Otex dominantes se déduisent assez facilement des classes de successions mises en évidence, ou plus exactement, des cultures majoritaires de leur assolement (la présence de betterave renvoyant à l'Otex "Culture générale", etc...). La réciproque n'est cependant pas vraie, car à une combinaison identique d'Otex peut correspondre une grande diversité de successions de cultures. Ce croisement nous permet donc d'affiner la caractérisation de pratiques agricoles au sein des orientations technico-économiques. Nous avons ainsi mis en évidence un système de production "Bovins viande spécialisé" basé sur des successions où les prairies temporaires sont dominantes, et un système "Bovins lait spécialisé" ou "Bovins lait viande" basé sur la culture (voire la monoculture) du maïs.

A l'inverse, ce croisement nous permet de resituer des successions de cultures dans des filières de production. Une même culture peut ainsi être distinguée en fonction de sa destination finale : la vente aux industries agro-alimentaires ou l'auto-consommation dans le cadre de systèmes d'élevage. Nous avons noté ce point au sujet du maïs, mais nous pouvons relever la même distinction entre deux cultures fourragères que sont les prairies temporaires (mentionnées plus haut) et les prairies artificielles de Champagne Crayeuse entièrement vouées à la vente aux coopératives. En effet, la classe 16 correspondant à cette production, ne comporte presque aucune surface dans des Otex d'élevage ou de polyculture-élevage.

Enfin, nous pouvons noter le cas particulier du Pays de Caux, dont les successions relèvent typiquement de l'Otex "Culture générale" mais dans le cadre d'activités de polyculture-élevage, qui sont par conséquent très différentes de celles que l'on rencontre notamment à l'est du bassin de la Seine.

3. Caractérisation des séquences techniques et de leur évolution sur le bassin de la Marne

Les risques de pollution diffuse par les nitrates dépendent des successions culturales mises en œuvre mais également des interventions culturales réalisées. Dans la deuxième partie de ce rapport, nous nous focalisons sur l'analyse de ces interventions culturales et de leur évolution au cours des trois dernières décennies. Contrairement au chapitre précédent, les informations que nous mobilisons ici ne sont pas issues de statistiques agricoles nationales, qui s'avèrent lacunaires concernant les techniques culturales, notamment aux échelles de temps et d'espace requises dans le PIREN-Seine. Elles proviennent donc d'enquêtes dont le protocole a été spécifiquement mis au point pour alimenter la chaîne de modélisation des flux de nitrates développée au cours de la III^{ème} phase du PIREN-Seine. Les résultats des enquêtes ont été structurés au sein d'une base de données, qui renseigne les interventions culturales pratiquées par les agriculteurs depuis le semis jusqu'à la récolte sur chaque culture extraite d'une succession pour chaque PRA et chaque période de temps considérée comme homogène au sein des trois décennies étudiées (Figure 11). L'ensemble de ces interventions sont regroupées sous le terme de "séquence technique".

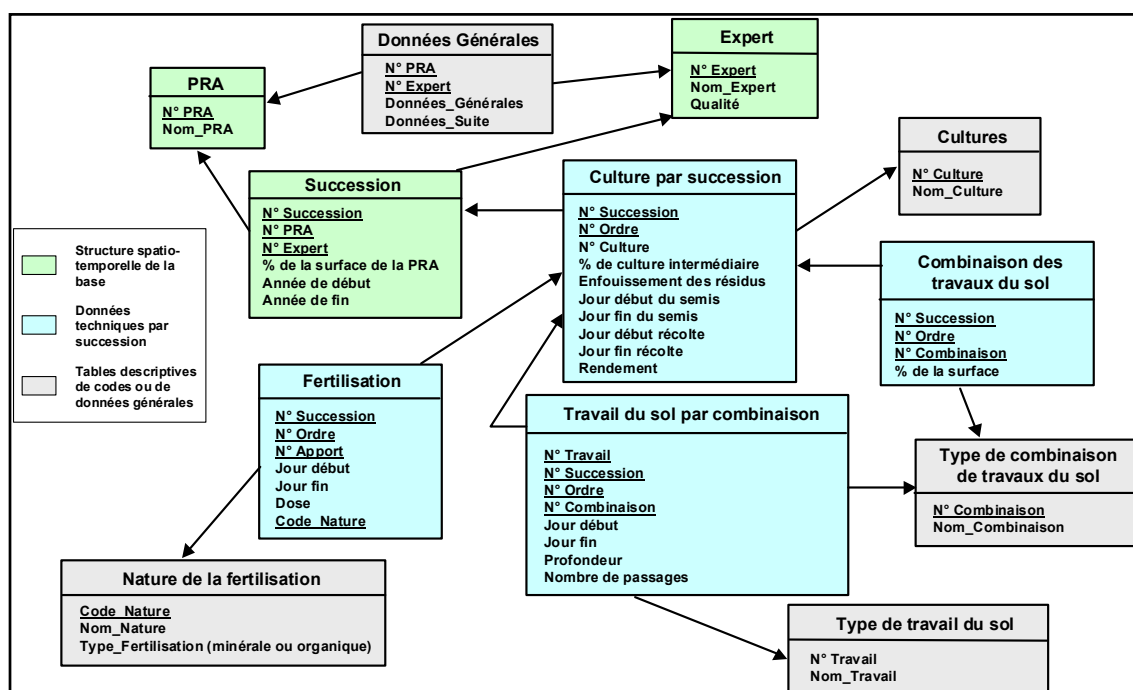


Figure 11 : Modèle physique simplifié de la base de données "Pratiques agricoles"

Le protocole d'enquête que nous avons conçu est basé sur des entretiens directifs auprès "d'experts agricoles". Ces experts sont principalement des conseillers agricoles, qui ont une forte et ancienne expérience de terrain, appartenant au dispositif institutionnel des Organisations Professionnelles Agricoles (Chambres d'Agriculture, Centres d'Economie Rurale) ou à des coopératives. Ce choix repose sur l'hypothèse que le conseiller agricole est un observateur privilégié de l'activité agricole d'un secteur, ce qui permet à l'enquêteur de s'affranchir des enquêtes directes en exploitation en s'adressant directement à l'échelon « supérieur », celui de l'encadrement technique des exploitants.

Nous avons jusqu'à présent rencontré une soixantaine d'experts sur neuf départements et une soixantaine de PRA qui correspondent au bassin de la Marne élargi – secteur choisi pour débiter les simulations des flux de nitrates. Nous constatons sur le Tableau 2 que les deux-tiers de ces personnes sont des conseillers de Chambre d'Agriculture, dénommés "conseillers de secteur" : il s'agit de techniciens généralistes chargés de conseiller les agriculteurs sur un secteur infra-départemental, souvent inspiré du découpage PRA.

Tableau 2 : Provenance professionnelle des experts

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

Dans un premier temps, nous proposons de confronter les résultats obtenus par ces enquêtes à une autre source d'information à laquelle nous avons pu avoir accès sur le département de l'Aube. Puis, nous illustrons sur l'exemple de la culture du blé, largement majoritaire sur le bassin de la Seine, la démarche que nous avons développée pour caractériser la diversité des séquences techniques pratiquées et leur évolution depuis 1970.

3.1. Validation des dires d'experts à l'aide de données d'enquêtes en exploitation : le cas du département de l'Aube

Dans le précédent rapport de synthèse, nous avons évoqué le fait que les enquêtes à dires d'expert présentaient des limites inhérentes à leur caractère indirect. En effet, les conseillers rencontrés peuvent décrire les pratiques préconisées, mais plus difficilement les pratiques effectivement réalisées par les agriculteurs. De plus, les organismes de développement agricole ne touchent qu'une minorité des exploitants (de 10 à 25 % selon les chiffres). Enfin, à ces paramètres s'ajoutent les biais inhérents à la mémoire humaine et à sa subjectivité, notamment quand nous interrogeons les experts sur des pratiques vieilles de plusieurs décennies.

Afin d'apporter des éléments de validation de ce type de protocole d'enquête, nous avons cherché à comparer les séquences techniques décrites par les experts à d'autres sources d'information. Nous développons ici l'exemple du département de l'Aube, en comparant sur les huit PRA qui le composent, les dires d'experts et les résultats d'enquêtes en exploitations conduites par l'Office de Comptabilité et d'Economie Rurale de l'Aube (OCERA).

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

Pour juger des différences pour chaque couple de valeurs « mesurées » par l'OCERA et « estimées » par les dires d'experts, associé à chaque culture sur une décennie et dans une PRA donnée, nous avons mis en œuvre des tests de Student (Tableau 3). Concernant la fertilisation azotée minérale au seuil de 5%, il s'avère que les dires d'experts ne sont pas significativement différents des résultats des enquêtes de l'OCERA. Par contre, ils apparaissent significativement différents concernant la variable rendement.

Tableau 3 : Tests de Student sur les valeurs de fertilisation azotée et de rendement à dire d'expert et d'après l'OCERA sur le département de l'Aube

	ddl	μ	σ	t	$\tau\alpha$	Prob > t
Dose d'azote minéral	64	3,18	16,92	1,516	2	0,05
Rendement	61	-2,51	7,87	-2,531	2	0,05

Pour affiner d'une manière plus qualitative ces conclusions statistiques, et notamment rechercher des différences selon les périodes ou selon les cultures, nous avons représenté graphiquement les couples d'observations sous forme de nuages de points (Figure 12). De façon générale, les dires d'experts tendent plutôt à sous-estimer les valeurs de fertilisation et à surestimer les rendements, en particulier dans les années 1970. Toutefois, pour les deux variables fertilisation et rendement, la période étudiée semble avoir une forte influence sur la qualité des résultats : les points présentant le plus de dispersion par rapport à la bissectrice sont les observations des années 1970. Ils tendent à se regrouper le long de la bissectrice pour les décennies suivantes. Ceci montre bien les limites de la mémoire humaine pour l'acquisition de ce type d'informations lorsqu'on remonte au-delà des années 1980.

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

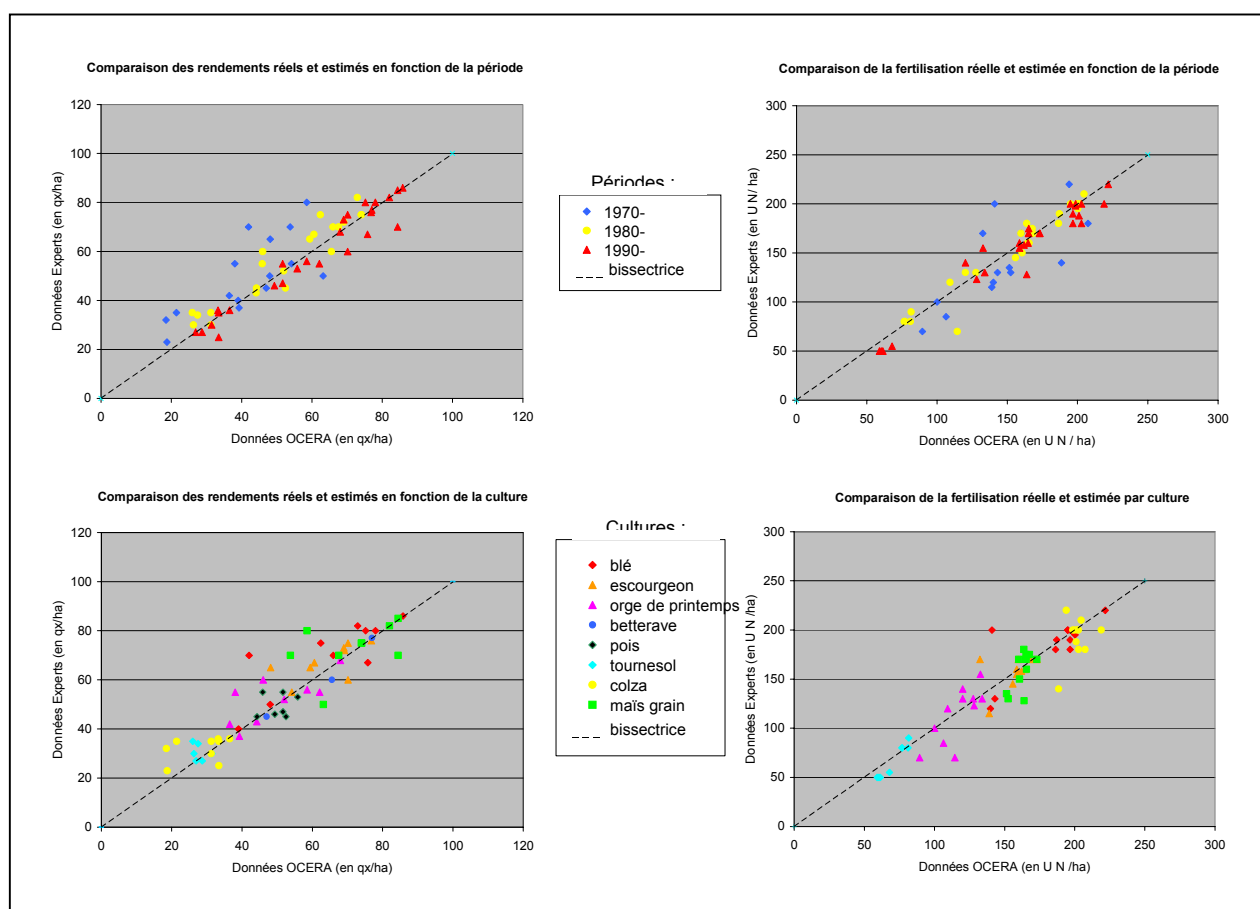


Figure 12 : Comparaison des valeurs observées et estimées de rendements et de fertilisation azotée en fonction des types de cultures et des périodes

3.2. Typologie des séquences techniques sur blé de 1970 à 2000 et évolution temporelle

589 séquences techniques sont actuellement répertoriées pour la culture du blé dans la base de données "Pratiques agricoles". Pour caractériser leur diversité tout en tenant compte des évolutions temporelles et des logiques géographiques, nous proposons de construire une typologie des séquences techniques par analyse factorielle des correspondances multiples (AFCM) sur les variables suivantes déclinées en modalités :

- date de semis : avant le 10/10, du 10/10 au 20/10, du 20/10 au 30/10 et après le 30/10
- date de récolte : avant le 25/07, du 25/07 au 30/07, du 30/07 au 5/08 et après le 5/08
- nombre de travaux du sol : 1, 2, 3 ou plus de 3 passages
- type de travaux du sol : travail superficiel (non labour), labour, association déchaumage – labour, association labour - travail superficiel, association déchaumage – labour – travail superficiel
- date de labour (si présent) : avant le 20/09, du 20/09 au 10/10, du 10/10 au 25/10 et après le 25/10
- dose totale d'azote : < 150 U, de 150 à 180 U, de 180 à 200 U et > 200 U
- nombre d'apports d'azote : 2, 3 ou plus de 3 apports
- rendement moyen estimé : < 65 qx, de 65 à 75 qx, de 75 à 85 qx et > 85 qx

A ces variables "actives", nous avons ajouté deux variables "illustratives" : le précédent cultural du blé et la décennie au cours de laquelle la séquence technique a été définie.

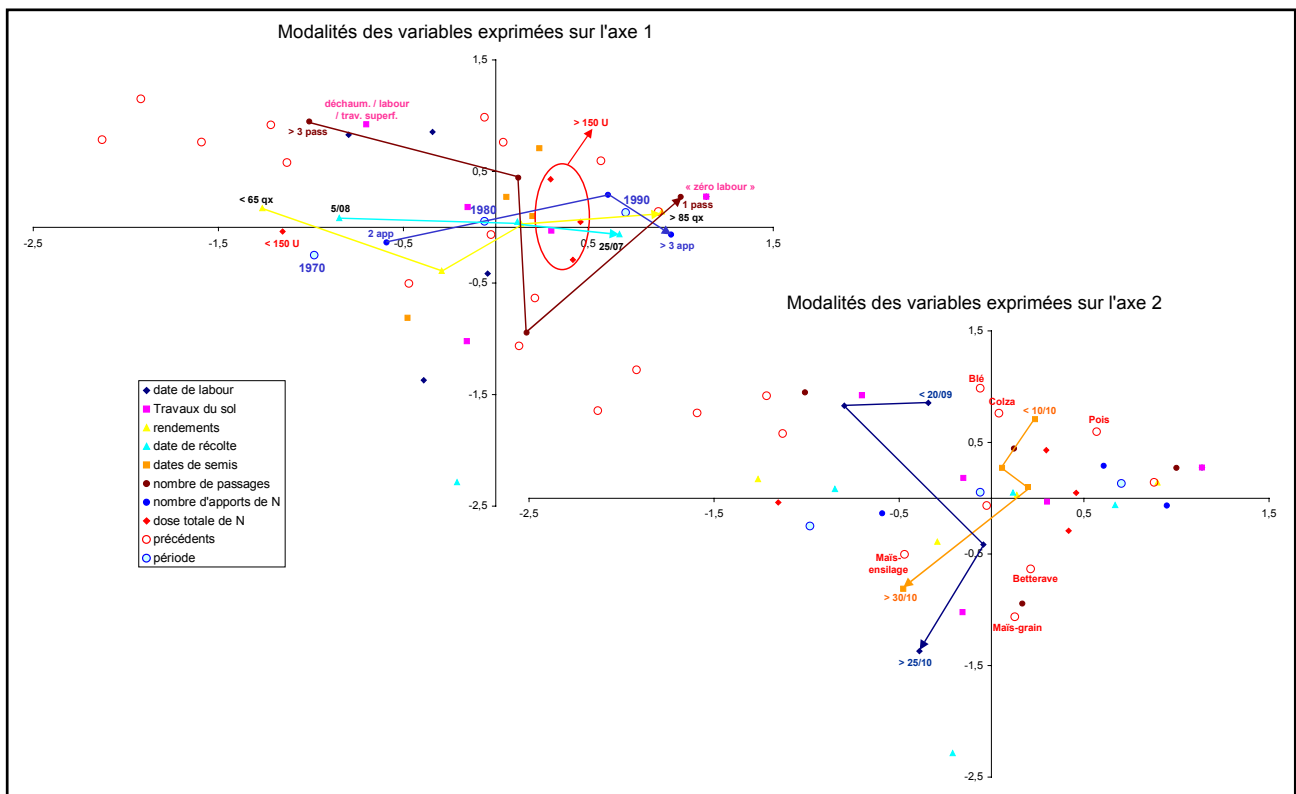


Figure 13 : Premier plan factoriel de l'AFCM sur les séquences techniques sur blé

Sur le premier plan factoriel de l'AFCM (Figure 13), nous observons deux phénomènes principaux :

- sur l'axe 1, les modalités des variables travaux du sol, nombre de passages, rendement, dose totale d'azote minéral, nombre d'apports d'azote et date de récolte s'ordonnent selon un effet période. La décennie 1970 apparaît globalement associée à des rendements inférieurs à 65 qx, à une fertilisation azotée minérale inférieure à 150 U appliquée en deux apports, à une date de

récolte tardive postérieure au 5/08 et à un nombre important de travaux du sol. A l'inverse, sur la partie positive de l'axe 1 où s'exprime la modalité relative à la décennie 1990, nous trouvons les plus forts rendements, une fertilisation azotée minérale supérieure à 150 U d'azote et un fractionnement du nombre des apports, des dates de récolte plus précoces et une simplification des travaux du sol qui peut aller jusqu'au "non-labour".

- sur l'axe 2, ce sont les modalités des variables date de labour et date de semis qui s'ordonnent cette fois selon un effet « précédent cultural ». Les dates de labour et de semis précoces apparaissent ainsi proches des précédents colza, pois et blé, alors que les dates tardives sont liées aux précédents betterave, maïs ensilage et maïs grain, cultures qui se récoltent à l'automne.

Suite à cette AFCM, nous avons réalisé une classification ascendante hiérarchique sur les coordonnées des séquences techniques sur les six premiers axes factoriels, qui a abouti à la distinction de douze types de séquences techniques sur blé. La Figure 14 illustre la position de ces douze types selon un gradient de dose totale d'azote minérale apportée et un gradient de fractionnement des apports d'azote.

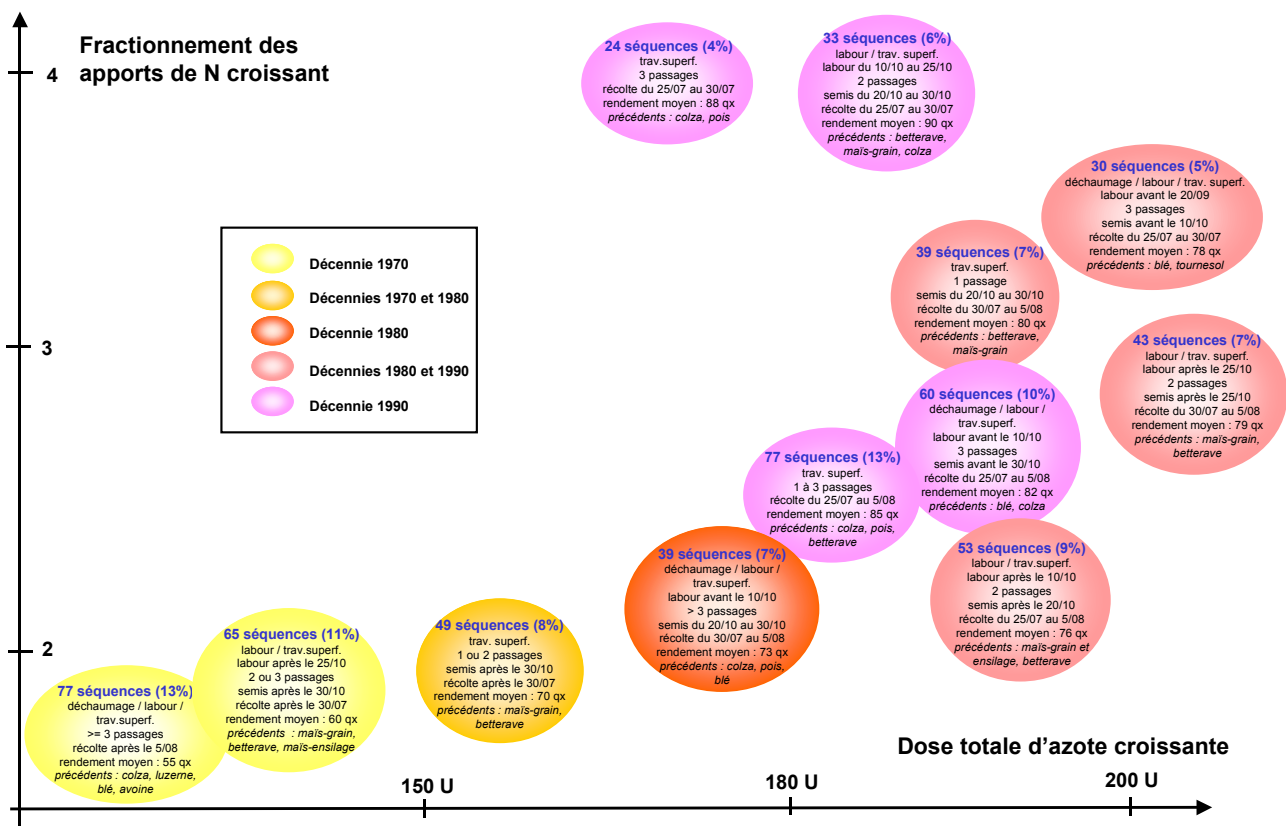


Figure 14 : Définition des 12 types de séquences techniques sur blé

Certains types de séquences techniques sont caractéristiques d'une décennie particulière alors que d'autres sont identifiés sur plusieurs décennies. Nous avons cherché à les spatialiser au sein de la zone enquêtée en les représentant par le pourcentage de surface de blé concerné au sein de chaque PRA. Pour simplifier l'interprétation de leur évolution, nous avons choisi de ne représenter que les types caractéristiques des décennies 1970 et 1990, en distinguant pour ces deux périodes les séquences techniques avec labour ou sans labour (Figure 15).

Dans les années 1970, les séquences techniques s'avèrent divisées en trois principaux types :

- le type 1 est majoritaire dans les PRA situées en périphérie de la zone enquêtée (Barrois, Ardennes, ainsi que sur les terres argileuses du Tardenois et du Pays de Bray). Il se caractérise par de nombreux travaux du sol (y compris labour), de faibles apports d'azote et des rendements

également assez bas. Les précédents du blé y sont les cultures majoritairement rencontrées dans ces zones : colza, luzerne, avoine et blé.

- le type 2 est relativement similaire au précédent mais occupe plutôt les zones centrales de la zone enquêtée (Brie, Champagne humide). De plus, les travaux du sol y sont moins nombreux, les apports d'azote et les rendements un peu plus élevés. Les précédents culturels du blé y sont surtout le maïs grain, le maïs ensilage et la betterave⁴.
- enfin, le type 6 est représentatif des séquences techniques sans labour. Ces nouvelles pratiques débutent dans les années 1970 dans la moitié ouest de la zone enquêtée (Valois, Brie, Soissonnais). Ce type se caractérise donc par une simplification des travaux du sol et des rendements plus élevés que dans les types précédents. Les semis et récoltes du blé y sont souvent tardifs car les précédents du blé y sont des cultures à récolte également tardive (maïs grain, betterave et pomme de terre), laissant peu de temps pour les travaux d'implantation. C'est sans doute pour cette raison que le labour a été abandonné en priorité dans ces régions (le "Semavator" qui permet de récolter le maïs et de semer le blé en un seul passage est abandonné par la suite).

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

- le type 5 est celui qui couvre la plus grande superficie : il apparaît en 1980 en Champagne Crayeuse et s'étend aux PRA voisines au cours de la décennie suivante. Les travaux du sol se simplifient : toujours un labour, mais moins de travaux superficiels (1 à 2). Le troisième apport d'azote sur blé se généralise, mais la dose totale varie selon les PRA de 150 à plus de 200 U d'azote. Les semis sont précoces et les récoltes assez tardives. Les rendements sont plutôt élevés.
- les types 10 et 11 sont assez proches : ils se localisent plutôt dans les PRA de Brie et Champagne Crayeuse et se caractérisent par des travaux simplifiés du sol (avec labour cependant), l'apparition d'un quatrième apport d'azote sur blé et des doses totales importantes (entre 180 et plus de 200 U). Dans le type 10, les précédents du blé sont le blé, le tournesol, le pois et le colza, ce qui entraîne des dates de semis et de récoltes plus précoces que dans le type 11 dans laquelle les précédents sont majoritairement la betterave et le maïs grain.

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

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

⁴ Ces deux types disparaissent progressivement en ne subsistant plus que dans la région agricole du Barrois en 1980-1990, puis dans les Ardennes en 1990-2000.

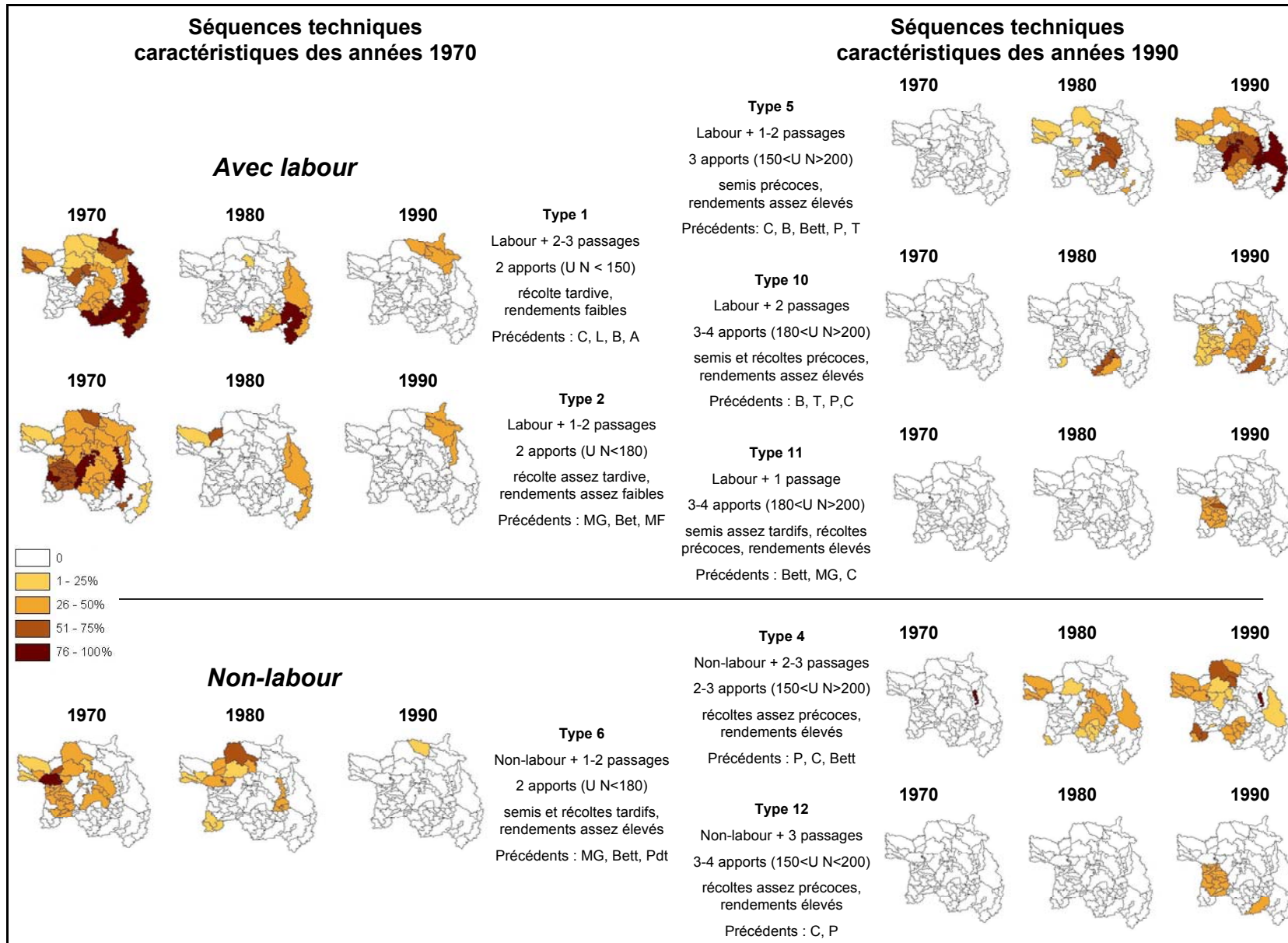


Figure 15 : Evolution des séquences techniques sur blé entre 1970 et 1990

4. Perspectives

Le développement et la mise en œuvre de nouveaux outils nous ont permis de progresser dans la connaissance des dynamiques des activités agricoles sur le bassin de la Seine, tant au niveau des successions de cultures qu'au niveau des séquences techniques. Les résultats acquis au cours de cette première année de la IV^{ème} phase du PIREN-Seine devraient être mobilisés dans plusieurs perspectives :

- ils contribueront à la définition de scénarios prospectifs d'évolution des pratiques agricoles en relation avec l'évolution des systèmes de production, dans le cadre du programme GICC sur le bassin de la Seine.
- la base de données "Pratiques agricoles", que nous sommes en train de compléter concernant les pratiques de fertilisation sur l'ensemble du bassin de la Seine, devrait progressivement être étendue sur le bassin de la Marne aux pratiques phytosanitaires. Nous envisageons ainsi de mettre en place un nouveau protocole d'enquêtes principalement adressé aux prescripteurs de produits, que nous ferons travailler à partir de la typologie des successions de cultures construite sur la décennie 1990 à l'échelle des PRA. L'ensemble de ces informations devrait être confronté aux résultats de l'enquête nationale concernant les pratiques agricoles sur grandes cultures conduite par le SCEES en 1994 et 2001 sur la base de l'échantillon *Ter-Uti*, dont nous prévoyons prochainement l'acquisition.

5. Références bibliographiques

- Baker J.-K. (1974). Stochastic modeling for automatic speech understanding. In : Reddy D. (Ed), *Speech Recognition*. Academic Press, New-York, 521–542.
- Gomez E., Mignolet C., Schott C., Brunstein D., Bornerand C., Ledoux E., Benoît M., Tournebize J., de Louvigny N , Ponsardin G., Mary B. (2002). Dynamiques agricoles et pollution nitrique diffuse : modélisation intégrée du transfert des nitrates sur le bassin de la Seine. *Rapport de synthèse*, PIREN-Seine phase III. pp 52
- Mari J.-F., Le Ber Fl., Benoît M. (2002). Segmentation temporelle et spatiale de données agricoles. *Revue internationale de géomatique*, **12**(4) : 439-460
- Mignolet C., Benoît M. et Bornerand C. (2001). Différenciation du bassin de la Seine selon les dynamiques des systèmes de production agricoles depuis les années 70. *Cahiers Agricultures*, **10** : 377-387.
- Reboul C (1976). Mode de production et système de culture et d'élevage. *Economie Rurale*, **112** : 55-65.
- Schott C., Mari J.-F. (2002). Utilisation des programmes de fouille de données spatio-temporelles basés sur l'utilisation de modèles de Markov (CarrotAge). *Document de travail*.