

# Spatialisation de la dynamique des activités agricoles dans le bassin de la Seine

**Marc Benoit** (INRA, Mirecourt)

**Elisabeth Bienaime** (INRA, Champenoux)

**Florence Le Ber** (INRA, Champenoux)

**Jean-François Mari** (UMR 7503 LORIA /Université de Nancy, Vandoeuvre les Nancy)

**Catherine Mignolet** (INRA, Mirecourt)

**Régine Riela-Cosserat** (INRA, Champenoux)

Cette activité a pour objectif général de parvenir à la constitution d'une base de données de l'occupation des sols et des pratiques agricoles à l'échelle du bassin qui est indispensable à la validation du modèle de transfert d'azote sur la période correspondant au passé récent pendant laquelle s'est développé l'emploi massif des fertilisants.

## 1 Le rôle central de deux paramètres : l'occupation du sol et les doses de fertilisation

La mise en relation de dégradation de la qualité de l'eau avec des paramètres de l'activité humaine met en avant les occupations du sol des bassins et les pratiques agricoles mises en oeuvre. (Auzet et al., 1990), (Canter, 1997). Notre expérience de recherche dans le bassin Rhin-Meuse, (Gaury, 1992), (Deffontaines et al., 1993), (Benoît, Papy, 1997), confirme cette hypothèse forte, en mettant en avant l'effet primordial du retournement des prairies permanentes. L'utilisation de cette hypothèse forte a permis à Garnier et Billen (1998) de modéliser avec une prédiction correcte la qualité nitrique des eaux de sous-bassin du bassin de la Seine.

Notre programme de recherche vise à fournir **les données d'évaluation des changements de pratiques agricoles dans les systèmes hydrologiques nécessaires** à la modélisation des flux de nitrates dans le bassin de la Seine. Il s'agit essentiellement de fournir des paramètres d'entrées spatialisés aux modèles développés par l'équipe INRA de Laon (STICS) dans le thème modélisation des transferts de nitrates sous influence agricole à l'échelle du bassin.

L'enjeu de ce programme est de fournir les informations spatialisées liées aux dynamiques spatiales des activités agricoles gérables sous un SIG. Nous centrerons notre effort de recherche sur les paramètres successions culturales et pratiques de fertilisation, en optant pour une utilisation intense des données statistiques et des compétences d'experts en agriculture. D'autre part, il s'agit pour nous de contribuer à l'élaboration de connaissances et méthodes nouvelles dans le thème de la représentation des dynamiques régionales des systèmes techniques permettant aux acteurs du bassin de disposer d'informations guidant leurs décisions.

## **2 Une question : comment segmenter dynamiquement le bassin de la Seine ?**

### **2.1 Principes méthodologiques retenus :**

Nous voulons rendre compte de l'importance de l'évolution spatialisée des systèmes de culture (successions culturales et fertilisations)

Nous posons comme hypothèse que ces dynamiques des systèmes de culture sont liées aux dynamiques des types d'exploitation qui les déterminent fortement.

Nous nous fondons sur un choix méthodologique : extraire toute la connaissance déjà existante sur ce thème dans deux sources :

- \* les informations statistiques du SCEES et du Ministère de l'Agriculture,
- \* la mémoire des experts de l'agriculture : conseillers agricoles et responsables professionnels.

Quatre phases sont en cours:

- 1) Création de la structure informatique de coordination entre les faits rassemblés : choix de retenir une articulation Arc-Info + Exel.
- 2) Création des entités à identifier dans le bassin de la Seine (successions culturales et pratiques de fertilisation) à partir des données statistiques existantes
- 3) Evaluation des grands changements de systèmes de culture: chronologie et spatialisation.
- 4) Qualification de ces entités à base de diagnostics d'experts,

### **2.2 Identification des successions culturales et de leurs dynamiques par des modèles de Markov cachés :**

Les données statistiques sont disponibles sur deux mailles spatiale : les cantons et les Petites Régions Agricoles (PRA) dessinées en 1955 lors du premier Recensement Général de l'Agriculture. Sur cette base cantonale/PRA, nous chercherons, par des traitements spécifiques de données classiques de statistiques agricoles, à évaluer l'évolution des variables les plus pertinentes vis-à-vis de la création des flux d'entrées de nitrates dans les hydrosystèmes.

A partir des données TERRUTI agrégées sur une base cantonale, il est extrait:

- une évolution des occupations du sol de 1972 à 1998,
- le tableau de l'ensemble des successions culturales pratiquées et de leurs évolutions,
- une répartition cantonale/PRA de ces évolutions de successions culturales.

On ne connaît pas avec précision les règles qui décident un agriculteur à choisir telle succession de culture plutôt qu'une autre sur une parcelle. Différents critères peuvent intervenir:

- critères fonctionnels : le couvert choisi participe de l'assolement global d'une exploitation et de son fonctionnement global (cohérences globales intra-exploitation),

- critères économiques : certains couverts sont temporairement mieux adaptés au contexte économique...et réglementaire (exemple du gel des terres de la PAC),

- agronomiques : certaines successions sont agronomiquement difficiles à mettre en œuvre (problème de coordination des dates de récolte d'une culture et de semis de la culture suivante, délai de retour d'une culture dans la même parcelle),

- pédoclimatiques : certaines conditions de milieu sont plus ou moins propices à divers couverts (les degrés de liberté permis par ces contraintes de milieu sont très variables d'un lieu à un autre, même sur un petit pas d'espace),

- géométriques : une même culture est souvent placée sur des parcelles voisines (facilité de surveillance et d'intervention), certains voisinages sont d'autre part à éviter (maïs à côté d'un parc à génisses), des contraintes de distance et d'accessibilité à l'exploitation jouent (une petite parcelle seule et loin sera traitée très "extensivement").

Cependant, dans un système de culture à l'équilibre (modifications lentes et progressives), la règle de succession dépend de l'occupation actuelle et éventuellement de l'occupation de l'année précédente. Cette hypothèse permet d'utiliser les modèles de Markov pour traiter les successions obtenues à partir des données TERRUTI (Mari, Le Ber, Benoit, 1998).

Les modèles de Markov cachés (HMM : Hidden Markov Model) permettent un alignement élastique entre un nombre quelconque d'observations temporelles et un ensemble d'états définis a priori. Ils sont utilisés depuis 20 ans en reconnaissance de la parole (Jel, 1976) et commencent à être utilisés en génétique (Hug, 1996; Mur, 1997) pour la recherche de séquences de gènes dans les molécules d'ADN ainsi qu'en robotique (Ayc, 1997), pour représenter des balises naturelles auxquelles un robot doit se référer pour se situer, et plus récemment en fouille de données temporelles (Ber, 1996; Mari, 1997).

Des données TERRUTI sur la Lorraine ont déjà été traitées (Regnard, 1996) avec pour hypothèse que les successions culturales pouvaient être ramenées à des rotations sur 3 ans. Ont ainsi été reconnues les successions suivantes : MMM, MBB, CBO, MBB, CBB, etc. C'est cette hypothèse qui est utilisée pour une première phase de traitement avec les modèles de Markov : nous pouvons ainsi utiliser des modèles d'ordre deux (HMM2). Différents algorithmes d'apprentissage d'un HMM2 une fois donné la topologie du graphe des transitions entre états et un corpus de données. Nous utilisons l'algorithme Forward-Backward (Mari, 1997) qui est une variante de l'algorithme EM (Dempster, 1997).

Sur un lot de 561 points TERRUTI issus d'une Petite Région Agricole, nous avons extrait et quantifié les successions de culture sur trois ans à l'aide de modèles d'ordre deux (Mari et al., 1998). Le passage à un ordre supérieur s'impose donc pour retrouver des successions sur une plus longue période. Les HMM2 permettent d'effectuer une segmentation temporelle de la période d'observation, les segments sont décrits par des répartitions de cultures et montrent à la fois les évolutions quantitatives des cultures et des successions.

Nous avons ainsi mis en évidence, pour une période pourtant courte (1992-1997) des dynamiques importantes des successions culturales présentes. Ainsi, une première dynamique concerne les retournements des prairies permanentes (- 12% en 6 ans), qui sont suivies d'une mise en culture à parité sous forme de blé et de maïs. Cette tendance aura des effets marqués sur les modélisations des pertes en nitrates par minéralisation de la matière organique et par disparition d'un couvert créant de faibles pertes nitriques. Les successions Colzas-Blé-Orge se transforment en fin de période en successions Colzas-Blé-Colzas- Orge ou Blé. Ainsi, l'augmentation de la sole de colza induit une augmentation des successions Colzas-Blé et une forte diminution des successions Blé-Orge. La tendance légère à l'augmentation de la sole de maïs entre 1992 et 1997, se traduit par le doublement des monocultures de maïs (plus de trois années de suite du maïs dans la même parcelle). Cette dernière dynamique est particulièrement préjudiciable à la qualité des eaux produites sous ces surfaces cultivées (Benoît et al., 1995).

La poursuite du travail sur de grands lots de données nécessitera des regroupements a priori et un choix de valeurs initiales des états et des transitions avec l'aide des experts pour guider la recherche. Ainsi, les experts agricoles interviendront à deux périodes-clés de notre processus de recherche : validation des successions culturales et validation des découpages en régions agricoles.

Le travail sur l'identification des successions culturales et de leur évolution nous donnera une base de tri des entités sur lesquelles sera calculée les balances azotées. Suite à l'identification des dynamiques localisées par PRA/canton des successions culturales, nous poursuivrons la recherche des

variables d'entrée des modèles STICS par l'évaluation des balances azotées par succession. A partir des enquêtes culturales, réalisées chaque année par les services statistiques du Ministère de l'Agriculture, pour les principales cultures sur un échantillon d'exploitations, il sera extrait:

- une évaluation des balances azotées pour les principales cultures et successions culturales (apports d'engrais et déjections - exportations par les récoltes),
- une évolution de ces balances par canton/PRA, en prenant les surfaces des diverses successions.

L'évolution de ces balances sera restituée par grands types de successions culturales. En effet, une balance azotée sur un couvert permanent de prairies permanentes aura un effet atténué sur le risque de pollution nitrique en comparaison à une valeur semblable sur une succession comportant un grand nombre de cultures de printemps.

### **2.3 Qualification et cartographie des régions agricoles à base de diagnostics d'experts :**

L'objectif est de parvenir à élaborer une carte synthétique et argumentée des zones agricoles par département, ces zones étant définies par les dynamiques des exploitations et des systèmes de culture (successions culturales et pratiques de fertilisation).

Les hypothèses qui soutendent cette qualification de l'évolution de l'agriculture à dire d'expert sont :

- il existe des articulations fortes entre l'évolution du fonctionnement de l'agriculture et certaines caractéristiques fortes du milieu (physique et humain) de petits territoires,
- les experts (conseillers agricoles, responsables des approvisionnement à l'agriculture, responsables professionnels agricoles) peuvent rendre compte de ces relations qu'ils appréhendent quotidiennement dans leur travail,
- les représentations cartographiques de ces connaissances sont susceptibles d'améliorer les capacités d'action des experts.

En utilisant un fond de carte contenant uniquement les limites communales ( au 1/100000), les divers experts de l'évolution de l'agriculture des départements délimitent les zones où ils qualifient les dynamiques des systèmes techniques. Nous tentons ainsi d'obtenir non seulement des informations sur les "comment?" mais également sur les "pourquoi?" de ces dynamiques.

Les différentes cartes et les descriptions des dynamiques afférentes sont comparées. Nous en déduisons un corps des règles où il y a accord entre experts. Nous procédons de même pour les désaccords.

Un travail exploratoire mené en Haute-Marne a permis d'obtenir une délimitation des zones reconnues par les experts. A partir de l'enregistrement des 30 expertises réalisées, nous pouvons définir 5 régions reconnues par les experts et leur "taux de reconnaissance": les Bassigny ( 25/30), Der (22/30), Montagne-Plateau de Langres (20/30), Barrois (15/30), Région de Poissons (12/30). Autant la région du Bassigny se caractérise par une relative stabilité longue de ses couverts prairiaux très récemment perturbée, autant le Der est reconnu pour avoir "basculé vers le maïs en retournant les prairies" dès les années 70. Les dépouillements fins sont en cours, et la transcription cartographique des zones reconnues se fera sous Arc-Info.

### 3 Conclusions

Les données traitées permettent de **disposer d'un corpus des évolutions des systèmes de culture** composant un SIG. Cette phase permettra de disposer d'un outil interdisciplinaire de travail entre collègues de ce programme de recherche, Inra et Ecole des Mines (modélisation des transferts de nitrates sous influences agricole à l'échelle du bassin).

Nous tentons de **construire un tableau de bord des indicateurs de risque et de leur spatialisation sur le bassin de la Seine** : les évolutions relevées permettront d'identifier les variables-clés ayant une dynamique récente forte. Leur mise en forme sera à mener pour permettre aux partenaires du PIREN-Seine (Agence de l'Eau Seine-Normandie, SAGEP,...) de disposer d'un produit de nos recherches les aidant dans leurs décisions.

REMERCIEMENTS : Nous remercions l'équipe statistique de la DRAF de Lorraine pour les informations fournies et les discussions riches suite au traitement des données.

### 4 Références Bibliographiques

Auzet V., Boiffin J., Papy F., Maucorps J. et Ouvry J.-F., 1990. An approach to assessment of erosion forms and erosion risks on agricultural land in the northern Paris Basin . In : Soil erosion on agricultural land, ed. par Boardman J., Foster I.D.L. et Dearing J.A., pp. 383-400. John Wiley and Sons, New York, Chichester, Brisbane.

Aycard O., Charpillat F., Fohr D., Mari J.F., 1997. Place learning and recognition using Hidden Markov Models. Proceedings IEEE-RSJ on International Conference on Intelligent Robots and Systems, pages 1741-1746, Grenoble, France, Septembre 1997.

Benoît M., Saintôt D., Gaury F., 1995. Mesures en parcelles d'agriculteurs des pertes en nitrates. Variabilité sous divers systèmes de culture et modélisation de la qualité de l'eau d'un bassin d'alimentation. C.R. Acad. Agric. Fr., 81, n°4 : 175-188.

Benoît M., Papy F., 1997. Pratiques agricoles et qualité de l'eau sur le territoire alimentant un captage. In : Riou C., Bonhomme R., Chassin P., Neveu A., Papy F. (Eds.), 1997 : *L'eau dans l'espace rural-production végétale et qualité de l'eau*. Paris. INRA Editions. pp. 323-338.

Deffontaines J-P., Benoît M., Brossier J., Chia E., Gras F., Roux M. M. (Ed.), 1993. *Agriculture et qualité des eaux ; diagnostic et propositions pour un périmètre de protection*. INRA-SAD, 334 pages.

Dempster A.P., Laird N.M. et Rubin D.B., 1977. Maximum-likelihood from incomplete data via the EM algorithm. Journal of Royal Statistic Society, ser. B(methodological), 39 :1-38, 1977.

Garnier et Billen, 1998. In rapport PIREN-Seine (1994-1998).

Gaury F., 1992. Systèmes de culture et teneurs en nitrates des eaux souterraines. Dynamique passée et actuelle en région de polyculture-élevage sur le périmètre d'un gîte hydrominéral. Thèse de doctorat de l'ENSA Rennes, Sciences agronomiques : 229 pages + annexes.

Hughey R. et Krogh A., 1996. Hidden Markov Models for Sequence Analysis : Extension and Analysis of the Basic Method. Computer Applications in the Biosciences, 12 (2) :95 -107, April 1996.

Jelinek, 1976. Continuous Speech Recognition by Statistical Methods. IEEE Trans. on ASSP, 64(4):532-556, April 1976.

Mari J.F. et Napoli A., 1997. Modèles stochastiques pour la classification de signaux temporels. Actes des cinquièmes rencontres de la société francophone de classification, pages 51-54, Lyon, France, Septembre 1997.

Mari J.-F., Le Ber F., Benoît M., 1998. Reconnaissance de successions culturales par modèles de Markov : une étude préliminaire. Document de travail. 6 pages. INRA-LORIA.

Regnard, 1996 Constitution d'un observatoire de la qualité des eaux issues des systèmes de culture lorrains à partir de parcelles drainées sélectionnées chez les agriculteurs. Mémoire de fin d'études, ISAB : 47 pages + annexes. INRA SAD Mirecourt.

Sommaire  général

**Introduction du thème :  
Transferts d'azote**

**Les principes du modèle couplé  
Illustration sur le bassin du Rhône  
Etat d'avancement sur le bassin de la Seine**

**La démarche de modélisation régionale des écoulements d'eau, de  
la production et du transfert d'azote sur le bassin de la Seine,  
structure du modèle d'écoulement**

**Spatialisation de la dynamique des activités agricoles dans le  
bassin de la Seine**

**Bilan des transferts d'azote dans le bassin de la Seine:  
l'approche du modèle SENEQUE**