HAL open science

Extraction de connaissances agronomiques par fouille des voisinages entre occupations du sol

El Ghali Lazrak, Noémie Schaller, Jean-Francois Mari

To cite this version:

El Ghali Lazrak, Noémie Schaller, Jean-Francois Mari. Extraction de connaissances agronomiques par fouille des voisinages entre occupations du sol. Atelier en marge d'EGC 2011, Jan 2011, Brest, France. inria-00560098

HAL Id: inria-00560098

https://inria.hal.science/inria-00560098v1

Submitted on 27 Jan 2011

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

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

Extraction de connaissances agronomiques par fouille des voisinages entre occupations du sol

El Ghali Lazrak* Noémie Schaller**
Jean-François Mari***

* Inra, UR 055 SAD ASTER, domaine du Joly, F-88500 Mirecourt
lazrak@mirecourt.inra.fr
** Inra/AgroParisTech, UMR 1048 SAD-APT, F-78850 Thiverval-Grignon
noemie.schaller@grignon.inra.fr
*** Loria, UMR CNRS 7503 et INRIA-Grand Est, F-54506 Vandœuvre-lès-Nancy
jfmari@loria.fr,
http://www.loria.fr/

Résumé. Nous modélisons la dynamique d'organisation spatiale et temporelle des paysages agricoles en articulant les échelles de l'exploitation agricole et du paysage. Nous développons une approche combinant deux méthodes : la modélisation des règles de décisions d'agriculteurs obtenues par enquêtes d'une part et, d'autre part, la modélisation de régularités stochastiques sur les proximités des occupations du sol.

1 Introduction

Le paysage agricole peut être perçu comme un assemblage de polygones de tailles différentes – les parcelles – où chaque parcelle porte une occupation du sol (`OCS`). A l'échelle de l'exploitation agricole, la façon dont chaque agriculteur organise son territoire est un processus à la fois temporel et spatial qui modèle le paysage dans son ensemble. D'une façon symétrique, les changements temporels dans la mosaïque paysagère rendent compte de décisions des différents agriculteurs qui, sans concertation systématique mais de manière souvent convergente, mettent en valeur un territoire agricole en répondant à un ensemble de contraintes et opportunités. Nous présentons une méthode de fouille de données à l'aide de modèles stochastiques pour représenter la mosaïque agricole et comprendre son évolution temporelle et spatiale. Cette fouille s'appuie sur des enquêtes en exploitations agricoles qui alimentent les interactions entre l'analyste et les experts du domaine d'étude. Pour analyser les dépendances temporelles et spatiales entre `OCS`, nous nous appuyons sur 2 hypothèses :

hypothèse de champ de Markov : l'`OCS` d'une parcelle dépend de l'`OCS` des parcelles voisines ;

hypothèse de chaîne de Markov : l'`OCS` d'une parcelle une année donnée dépend des `OCS` trouvées sur cette parcelle les années précédentes.

La fouille est dirigée par des experts agronomes qui, dans un premier temps à l'aide d'enquêtes effectuées dans les exploitations agricoles, retrouvent les traces dans la mosaïque paysagère des décisions prises à l'échelle de l'exploitation. Dans un second temps, une approche ascendante constate des régularités stochastiques dans la mosaïque et tente de les généraliser pour extraire des règles de décisions qui n'avaient pas été préalablement énoncées. Cette article est structuré de la façon suivante : nous présentons dans une première partie les données de la fouille constituées d'enquêtes en exploitations agricoles et par un relevé systématique des occupations des parcelles agricoles. Dans une deuxième partie, nous présentons les méthodes mises en œuvre pour nettoyer ces données et réduire la dimension de l'espace de représentation. Nous présentons alors la mesure utilisée pour capturer la dynamique des voisinages entre cultures associées à des parcelles voisines. Les résultats, tirés d'un cas d'étude situé dans la plaine de Niort sont donnés dans la section 4. Enfin, nous discutons de l'intérêt de cette approche hybride qui mêle enquêtes et modèles stochastiques pour fouiller les territoires agricoles et comprendre comment ceux-ci rendent compte des décisions prises, à une autre échelle, dans les exploitations agricoles.

2 Présentation des données

2.1 Constitution d'un corpus d'`OCS`

Le paysage agricole étudié s'étend sur 350 km^2 dans la Plaine de Niort. Depuis plus de 12 ans, la localisation et les occupations des parcelles sont renseignées grâce à des relevés de terrain annuels. Pendant cette période d'étude, le territoire enquêté s'est étendu. Les parcelles nouvellement enquêtées – principalement proches des prairies – ont été étiquetées *indéterminé* les premières années avant de l'être par leur véritable `OCS`. Ces relevés d'`OCS` annuels sont stockés dans un système d'information géographique sous format vectoriel et constituent une couche d'informations temporelles et spatiales.

Les frontières des parcelles changent chaque année en fonction des choix des agriculteurs (cf. Fig. 1 et 2). Pour tenir compte de ce changement, les enquêteurs définissent l'ensemble des micro-parcelles comme étant constituées de l'union de toutes les frontières de parcelles pendant la période d'étude. Il y a environ 20000 micro-parcelles dans le territoire étudié. Tous les points d'une micro-parcelle n'ont hébergé qu'une succession de cultures pendant la période d'étude. Dans la mosaïque parcellaire, le système de voisinage est irrégulier. Une parcelle a un nombre quelconque de parcelles avec lesquelles elle partage une frontière commune. Afin d'éviter la complexité due à l'irrégularité du système de voisinage et à sa variabilité temporelle (cf. Fig. 2), nous avons choisi – dans un premier temps – de rastériser cette couche d'information vectorielle avec une grille de points régulièrement espacés (10m x 10m) dans les 4 directions cardinales. Le corpus résultant est une matrice où les colonnes représentent les `OCS` année par année et les lignes, les différents points d'échantillonnage localisés. Le corpus compte au total 47 modalités d'`OCS` que nous avons regroupées, dans un travail antérieur en 11 `OCS` (Lazrak et al., 2010) suivant une démarche tenant compte des fréquences des `OCS` et de la similitude des conduites culturales. Dans le présent travail, nous nous intéressons aux prairies en tant que voisins du tournesol et du maïs. Nous avons modifié le regroupement en individualisant les prairies et en classant l'orge d'hiver – non central pour cette étude – avec le blé afin de maintenir le même nombre des modalités (Tab. 1).

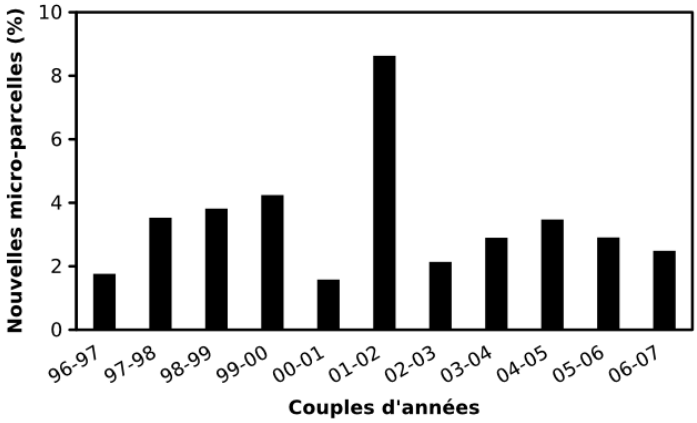

FIG. 1 – *Dynamiques inter-annuelles des frontières parcellaires dans la zone d'étude. Ces dynamiques sont exprimées en nombre de micro-parcelles nouvellement créées par rapport au nombre de parcelles de l'année précédente. Entre 2001 et 2002 plus de* 8% *des parcelles ont été redécoupées*

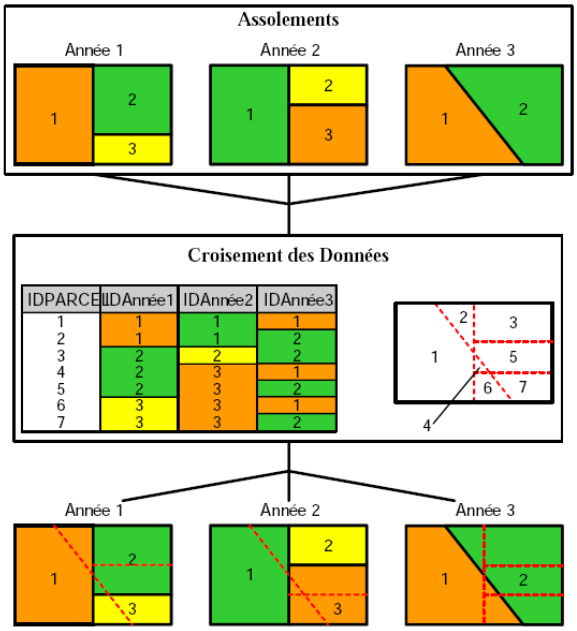

FIG. 2 – *Exemple d'évolution des limites de parcelles pendant trois années successives. L'union spatiale des frontières des parcelles pendant cette période aboutit à la définition de sept micro-parcelles*

OCS initiales	Fréq. cumulée
Blé (B)	0.337
Tournesol (T)	0.476
Colza (C)	0.600
Urbain (U)	0.696
Prairies et Luzernes(P)	0.774
Maïs (M)	0.850
Forêts et friches (F)	0.884
Orge d'hiver (O)	0.918
Ray-grass (R)	0.942
Pois (S)	0.964
Autres (A)	1.000

OCS dans les enquêtes	Fréq. cumulée
Blé (B)	0.372
Tournesol (T)	0.511
Colza (C)	0.635
Urbain (U)	0.730
Maïs (M)	0.806
Prairies (P)	0.861
Forêts et friches (F)	0.896
Luzernes (L)	0.922
Ray-grass (R)	0.946
Pois (S)	0.968
Autres (A)	1.000

TAB. 1 – *Les OCS du paysage et leurs fréquences moyennes sur la période d'étude. Les enquêtes en exploitations ont nécessité de revoir les regroupements. A gauche le regroupement selon Lazrak et al. (2010). A droite le regroupement revu.*

2.2 Les enquêtes en exploitations agricoles

Afin d'analyser les logiques individuelles des agriculteurs, nous avons combiné deux modélisations conceptuelles : le "modèle pour l'action" d'une part (Sebillotte et Soler, 1990) et le modèle d'utilisation des ressources dans l'exploitation d'autre part (Aubry et al., 1998). A partir de ces modèles, nous avons construit un cadre conceptuel générique pour modéliser les décisions des agriculteurs à travers les variables de décision, les déterminants et les règles de décisions (Schaller et al., 2010b).

Les variables de décision permettent de décrire le contenu de la décision et donner une réponse à la question : "En quoi consiste la décision ?"

Les déterminants sont tous les éléments qui influencent les variables de décision. Ils peuvent être de différentes natures : quantitatifs ou qualitatifs, internes (par exemple les ressources de l'exploitation agricole) ou externes à l'exploitation agricole (par exemple les conditions du marché, le climat, ...).

Les règles de décision sont les règles qu'un agriculteur définit et suit, en fonction des déterminants, pour faire son choix et donner une valeur à chacune des variables de décision.

Pour une exploitation, les variables de décision relatives à l'allocation des cultures aux parcelles sont : (i) la zone cultivable de la culture définie par l'ensemble des parcelles adaptées à cette culture, (ii) la taille de la sole définie comme la surface totale d'une culture une année donnée sur l'exploitation, (iii) le délai de retour défini comme le temps minimum à attendre avant de replanter la même culture sur la même parcelle – et (iv) les couples de cultures précédent / suivant acceptables (Maxime et al., 1995; Navarrete et Le Bail, 2007; Merot et al., 2008).

Entre 2006 et 2010, nous avons réalisé 67 enquêtes parmi les 185 exploitations ayant toute leur surface dans la zone d'étude. Les enquêtes visaient à comprendre le fonctionnement global de l'exploitation agricole. Nous avons distingué quatre objectifs spécifiques, qui ont été atteints grâce à quatre sessions successives d'enquêtes :

– 22 enquêtes en 2006 et 19 enquêtes en 2007 ont porté respectivement sur les stratégies des éleveurs et des agriculteurs pour faire face aux sécheresses estivales et aux interdictions d'irrigation (Havet et al., 2010) ;
– 12 enquêtes en 2009 ont porté sur les décisions des agriculteurs relatives à l'allocation des cultures dans les parcelles et au découpage des parcelles ;
– 14 enquêtes en 2010 ont porté sur l'évolution dans le temps des assolements annuels choisis par l'exploitant.

Les enquêtes étaient semi-structurées pour encourager l'agriculteur à expliciter les raisons de ses choix et leur évolution au fil du temps, notamment la façon d'allouer les successions de cultures dans les parcelles.

3 Méthodes

3.1 Choix de l'observation élémentaire

Le choix de l'observation élémentaire permet de définir les modalités d'un pixel de l'image représentant la mosaïque agricole. Plusieurs observations élémentaires sont envisageables :

1. l'`OCS` en un point d'une parcelle représentant son occupation ;
2. la succession d'`OCS` en un point d'une parcelle sur deux ou plusieurs années successives. L'observation élémentaire est un n-uplet d'`OCS` se chevauchant temporellement ;
3. l'`OCS` en un point d'une parcelle augmenté de ses 4 voisins du premier ordre : Nord (N), Sud (S), Est (E), Ouest (W). Les observations élémentaires sont des quintuplés d'`OCS` se chevauchant spatialement ;
4. le couple (`OCS`, `OCS` d'une parcelle voisine). Les observations élémentaires sont les configurations des cliques – deux sites voisins – se chevauchant spatialement.

La première observation est pratique pour calculer l'assolement moyen et l'évolution temporelle de celui-ci (Mari et Le Ber, 2006; Mignolet et al., 2007)

La seconde observation est utile pour retrouver les successions dominantes selon la méthode de fouille développée par (Le Ber et al., 2006; Lazrak et al., 2010).

La troisième observation permet de calculer l'information mutuelle spécifique entre `OCS` voisines (cf. 3.3.1), de tester l'isotropie du paysage et de déterminer la résolution spatiale optimale en fonction de la diversité des observations (Figure 3).

Enfin, l'utilisation de couples (`OCS`, `OCS` d'une parcelle voisine) permet de fouiller les voisinages entre `OCS` et leurs évolutions d'une façon efficace lorsque le milieu est isotrope. Cette information élémentaire permet de réduire significativement le nombre d'observations différentes, et de diminuer l'encombrement mémoire nécessaire pour représenter les distributions d'observations dans les modèles stochastiques de fouille élaborés.

3.2 Segmentation temporelle par modélisation stochastique à l'aide de `HMM2`

Afin d'éviter le biais introduit par la modalité *indéterminé* au voisinage des prairies pendant les premières années de l'étude, nous effectuons une segmentation des séquences d'`OCS`

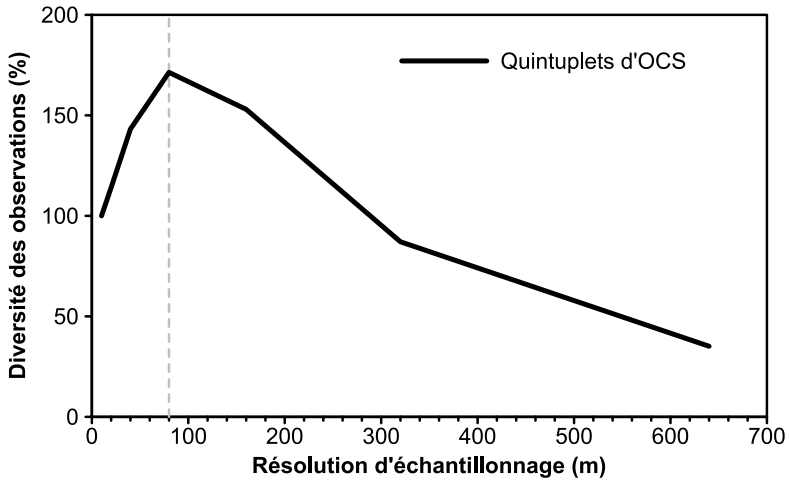

FIG. 3 – *Nombre de quintuplés (la configuration d'un site augmenté de ses 4 voisins) suivant la résolution spatiale. Le nombre de quintuplés à 10 m est considéré comme référence (100%). La courbe montre les mêmes propriétés qu'en analyse de textures d'images numériques . Quatre-vingts mètres est la résolution spatiale donnant la plus grande diversité de voisinages et sera retenue dans la suite de cette étude*

par un HMM2 afin d'isoler ce segment temporel d'*indéterminé*. Nous effectuons un alignement élastique de la séquence des 12 OCS avec un HMM2 linéaire chargé de capturer les OCS *indéterminé* dans ses premiers états. Nous utilisons des modèles de Markov cachés du second ordre HMM2 (Mari et Le Ber, 2006) pour représenter la dynamique temporelle des voisinages représentés par des quintuplés d'OCS. Chaque année t, pendant une période de 12 ans, un site S_t et ses 4 voisins (Nord, Sud, Est, Ouest) prennent 12 valeurs de quintuplés différentes représentées par les 5 variables aléatoires : $S_t, No_t, So_t, Es_t, We_t, \quad t = 1, 12$. Nous modélisons cette suite à l'aide d'un HMM2 linéaire estimé sur tous les sites du territoire étudié. La modélisation reprend les principes donnés dans (Le Ber et al., 2006; Mari et Le Ber, 2006) et cherche à segmenter la période en autant de classes que d'états. Nous cherchons des segments temporels non chevauchants pendant lesquels la distribution des quintuplés est stationnaire. L'estimation se fait selon le maximum de vraisemblance en utilisant l'algorithme forward-backward. La figure 4 montre les différentes associations des années avec les états du HMM2 suivant le nombre d'états. Par exemple, cette figure montre qu'un modèle de 7 états permet une association bi-univoque entre les états et les segments et d'associer chaque état à un seul segment temporel d'une durée moyenne de 2 ans. La proportion d'*indéterminé* est maximale dans les premiers états. Les segments temporels associés sont ignorés.

3.3 Voisinages et cliques

Pour représenter la relation de voisinage entre sites, nous estimons la probabilité conditionnelle $P(V/S)$ représentant la probabilité d'avoir l'OCS x sur le site voisin – $(V = x)$ – sachant le site actuel occupé par l'OCS y : $(S = y)$. Ces probabilités sont estimées à partir des

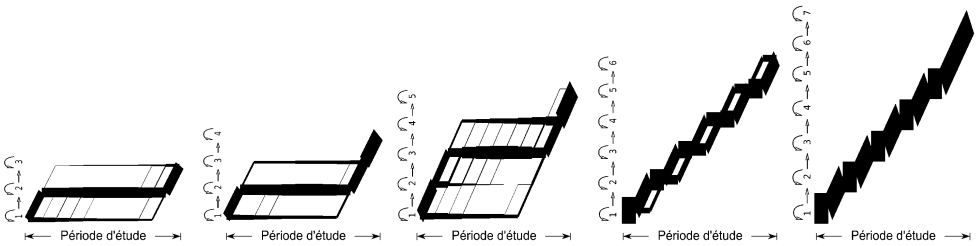

FIG. 4 – *Recherche d'une segmentation satisfaisante de la période d'étude avec des* `HMM2` *linéaires ayant un nombre croissant d'état. L'épaisseur des traits est proportionnelle à la probabilité a posteriori des états du* `HMM2`*. La segmentation recherchée comporte au moins 2 périodes de plusieurs années ne se recouvrant pas et ne contenant pas l'*`OCS` indéterminé. *Dans un* `HMM2` *de 6 états, les états 2 et 5 identifient deux périodes disjointes*

lois marginales des distributions des quintuplés. Si les distributions jointes $P(S, V)$ sont les mêmes quelle que soit la direction de voisinages – No, So, Es, We – la mosaïque agricole est dite isotrope. La distance entre deux distributions est calculée à l'aide de la divergence (Tou et Gonzales, 1974)

$$div(f, g) = \frac{1}{2} \sum_{x} (f(x) - g(x)) \log \frac{f(x)}{g(x)} \tag{1}$$

quand f et g sont deux distributions discrètes sur le même espace décrit par x.

A la dernière itération de l'algorithme *Forward-backward*, les comptes de quintuplés sont calculés sur chaque état et permettent le calcul des comptes des cliques Nord (S, No), Sud (S, So), Est (S, Es) et Ouest (S, We). A partir de ces comptes, on estime les lois marginales $P(S)$ et $P(V, S)$.

Les seules cliques que nous considérons sont constituées de deux sites voisins – soit horizontalement, soit verticalement – de configurations différentes : on ignore les cliques "plein champ" dont la configuration est faite de deux `OCS` identiques. Cela revient à n'échantillonner le territoire que le long des frontières des parcelles occupées par des `OCS` différentes. Une fois l'isotropie du paysage démontrée, nous considérons que l'orientation ne porte plus d'information et nous utilisons la clique d'`OCS` comme observation élémentaire pour fouiller les relations de voisinages entre cultures et leur évolution.

3.3.1 Information mutuelle spécifique

La probabilité du voisinage $P(V/S)$ n'est pas une bonne mesure pour évaluer la co-localisation de deux `OCS` car elle dépend des probabilités marginales des `OCS`. Nous utilisons l'information mutuelle spécifique (PMI comme Pointwise Mutual Information) (Novovičová et al., 2004) définie de la façon suivante :

$$PMI(x, y) = \log(\frac{P(V = x/S = y)}{P(V = x)}) = \log(\frac{P(V = x, S = y)}{P(V = x) \times P(S = y)}) \tag{2}$$

Cette quantité représente l'information apportée par la connaissance d'une variable sur l'autre. Une valeur positive signifie que le couple d'`OCS` (x, y) est co-localisé : les `OCS` x et y s'attirent.

L'expert du domaine (l'agronome) peut dans ce cas rechercher les règles de décisions des agriculteurs qui expliquent cette co-localisation. Une valeur nulle signifie que les variables V et S sont indépendantes. Une valeur négative signifie que les `OCS` se repoussent, l'agronome peut dans ce cas expliquer ou rechercher par enquêtes auprès des agriculteurs la (les) raison(s) d'éviter de mettre ces `OCS` côte à côte.

La PMI est une mesure qui se rencontre dans d'autres domaines : dans l'analyse du texte écrit (Schneider, 2005) pour la recherche des couples de mots co-localisés, et aussi en analyse d'images (Mounir Ait kerroum et Aboutajdine, 2010) quand il est question d'étude des voisinages ou des textures.

4 Résultats

4.1 Segmentation temporelle

En fonction des résultats donnés Fig. 3, nous choisissons une résolution de 80 m qui donne la plus grande diversité de voisinages, représentées par environ 40000 quintuplés différents d'`OCS`. A cette résolution, l'ensemble des sites est utilisé pour l'apprentissage de différents `HMM2`, comme le montre la figure 4. Sur chacun des états, nous calculons les lois marginales $P(V, S)$ dans chaque direction. La matrice des divergences obtenue est nulle (de l'ordre de 10^{-2}) sur chacun des états et confirme l'hypothèse d'isotropie de la mosaïque agricole. Par la suite, nous estimons un `HMM2` à l'aide de cliques d'`OCS` comme observations élémentaires sans tenir compte de leur orientation. Nous calculons la PMI à partir des comptes des cliques sur les états sélectionnés. Le `HMM2` linéaire retenu comporte 6 états et permet de définir 6 périodes différentes parmi lesquelles les périodes correspondants aux états 2 et 5 ne se recouvrent pas. L'état 2 correspond à la période 1998 à 2000, et l'état 5 correspond à la période de 2004 à 2006. Nous avons choisi ces états pour comparer les relations de voisinages du tournesol et du maïs sur deux périodes distinctes encadrant une période de sécheresse qui a influencé le raisonnement des agriculteurs.

4.2 Impact des décisions prises au niveau des exploitations sur le paysage agricole

Dans cette étude, le cadre conceptuel des enquêtes (variable, déterminant, règle) et le cadre Markovien sont liés. Le cadre formel des enquêtes a fait apparaître des règles de décisions chez les agriculteurs dont l'impact dans le paysage est évalué par la modélisation markovienne.

- Les variables "couples précédent/suivant" et "délai de retour" permettent d'explorer la dimension temporelle des décisions, et donc des régularités en termes de successions de cultures ;
- la variable "zone cultivable" permet d'explorer la dimension spatiale des décisions, et donc des régularités en termes de voisinage de cultures ;
- la variable "taille de sole", permet, le cas échéant, d'explorer l'évolution au cours du temps des surfaces des catégories de cultures.

Dans un premier temps, les méthodes d'enquêtes ont révélé une règle de décision commune entre exploitations agricoles concernant la localisation de la culture de tournesol : les agriculteurs évitent de cultiver le tournesol à proximité des forêts et bosquets en raison des

dégâts plus fréquents causés par les ravageurs (lapins, corbeaux). La figure 5 montre que le voisinage entre tournesol et forêts (T-F) est moins fréquent au cours de la période 2004-2006 (état 5 du HMM2) qu'en 1998-2000 (état 3 du HMM2) contrairement aux voisinages avec les cultures de vente telles que blé (T-B) ou colza (T-C).

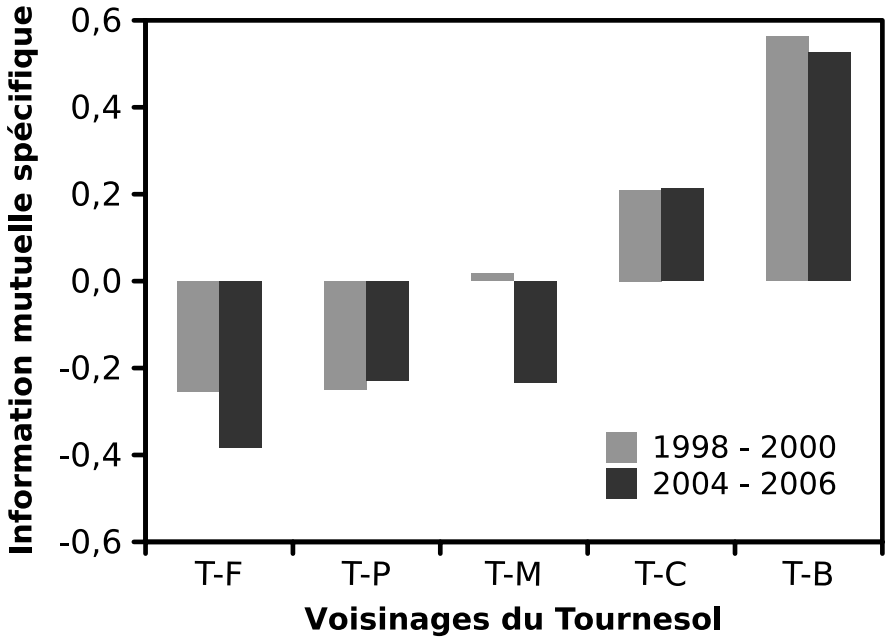

FIG. 5 – *Évolution de l'information mutuelle spécifique entre le tournesol (T), les forêts (F), les prairies (P), le colza (C) et le blé (B). Plus la PMI est élevée, plus les cultures sont fréquemment voisines*

4.3 Apparition de nouvelles règles de décisions par fouille des voisinages

La modélisation stochastique a également permis d'identifier une régularité d'évolution du voisinage entre maïs et prairies. Ces deux OCS ont tendance à être de plus en plus fréquemment voisines tandis que maïs et colza ou tournesol sont de moins en moins fréquemment voisins (Figure 6).

Cette régularité semble cohérente avec une règle de décision commune identifiée concernant le maïs : les agriculteurs réduisent les surfaces en maïs en raison des risques de sécheresse estivale et le concentrent dans les terrains les plus humides, fréquemment à proximité de prairies. Les éleveurs étendent même la surface des prairies pour sécuriser la production de fourrages dans le cas où la production de maïs serait insuffisante, d'où la co-localisation de ces deux OCS.

Ainsi, les résultats obtenus par enquêtes et modélisation stochastique apparaissent cohérents, ce qui suggère une bonne complémentarité entre les deux méthodes pour modéliser les

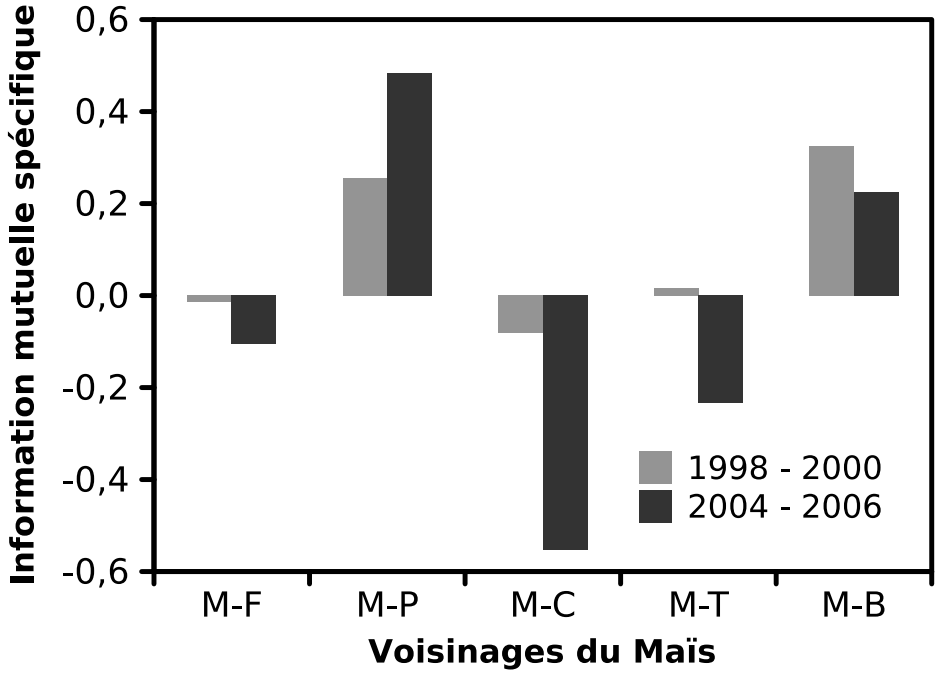

FIG. 6 – *Évolution de l'information mutuelle spécifique du maïs avec les autres* `OCS`*. Celui ci s'éloigne des forêts qui abritent les ravageurs. On remarque aussi l'évolution vers une co-localisation avec les prairies (P) et sa disparition des terres "à colza" (C). Ces dernières sont des terres de plaine, séchantes, et peu adaptées à la culture de maïs sans irrigation non restreinte*

dynamiques d'organisation spatiale des paysages. Les règles de décisions identifiées à l'échelle de l'exploitation peuvent être évaluées à l'échelle du paysage, tandis que les régularités stochastiques du paysage pourraient être en partie expliquées par des règles de décisions d'agriculteurs.

5 Conclusions

Nous avons présenté une méthode de fouille de données complexes pour identifier et modéliser des règles de décisions d'agriculteurs à l'échelle de l'exploitation agricole concernant l'assolement et retrouver leurs impacts dans le paysage sous forme de régularités stochastiques.

Les données de la fouille provenaient de deux sources différentes : une source est constituée d'enquêtes effectuées sur un échantillon d'exploitations agricoles portant sur des variables, déterminants et règles représentant les décisions d'assolement et l'autre source constituée de relevés exhaustifs d'occupation du territoire qui rendent compte de la variabilité dans le temps

et l'espace des parcelles agricoles et leurs occupations. L'information traitée se situait à deux niveaux d'échelle.

Pour contrer le fait que le territoire d'étude n'a pas été enquêté uniformément dans le temps, nous avons segmenté la période d'étude en plusieurs sous périodes par un HMM2 qui permet d'isoler les OCS "indéterminées" et de déterminer deux périodes d'étude non chevauchantes. Après avoir montré que le territoire est isotrope vis à vis des OCS, le calcul de la PMI sur les configurations des cliques a permis de montrer les tendances aux rapprochements entre OCS (phénomène de co-localisation) ou d'éloignement, que des enquêtes dans les exploitations ont expliquées en partie.

Les dynamiques d'organisation spatiale des paysages agricoles impactent de nombreux processus environnementaux. Modéliser les paysages agricoles est donc une étape clé pour pouvoir décrire et comprendre ces dynamiques d'organisation spatiale des paysages, ainsi que leurs conséquences environnementales. En plus du travail d'extraction de connaissances, une perspective importante de ce travail est ainsi d'utiliser les règles de décisions d'agriculteurs et les régularités stochastiques pour générer des paysages agricoles et tester des scénarios. A terme, cette perspective pourrait permettre aux gestionnaires des territoires agricoles d'agir sur les décisions des agriculteurs afin d'orienter favorablement les dynamiques d'organisation spatiale des paysages pour des questions environnementales locales.

Remerciements

Nous remercions le Centre d'étude biologique de Chizé (CEBC UPR 1934 CNRS), les régions Lorraine et Île de France, l'ANR BiodivAgrim et l'API Ecoger pour leurs supports.

Références

Aubry, C., A. Biarnes, F. Maxime, et F. Papy (1998). Modélisation de l'organisation technique de la production dans l'exploitation agricole : la constitution de système de culture. *Etud Rech Syst Agraires Dév* (31), 25–43.

Havet, A., P. Martin, M. Laurent, et B. Lelaure (2010). Adaptation des exploitations laitières aux incertitudes climatiques et aux nouvelles réglementations. le cas des productions bovines et caprines en plaine de niort. *Fourrages 202*, 145–151.

Lazrak, E., J.-F. Mari, et M. Benoît (2010). Landscape regularity modelling for environmental challenges in agriculture. *Landscape Ecology 25*(2), 169 – 183. http ://hal.inria.fr/inria-00419952/en/.

Le Ber, F., M. Benoît, C. Schott, J.-F. Mari, et C. Mignolet (2006). Studying Crop Sequences With CarrotAge, a HMM-Based Data Mining Software. *Ecological Modelling 191*(1), 170 – 185. http ://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00017169/fr/.

Mari, J.-F. et F. Le Ber (2006). Temporal and Spatial Data Mining with Second-Order Hidden Markov Models. *Soft Computing 10*(5), 406 – 414. http ://hal.inria.fr/inria-00000197.

Maxime, F., J. Mollet, et F. Papy (1995). Aide au raisonnement de l'assolement en grande culture. *Cah Agri* (4), 351–362.

Merot, A., J. Bergez, A. Capillon, et J. Wery (2008). Analysing farming practices to develop a numerical, operational model of farmers' decision-making processes : An irrigated hay cropping system in France. *Agricultural Systems 98*(2), 108–118.

Mignolet, C., C. Schott, et M. Benoît (2007). Spatial dynamics of farming practices in the Seine basin : Methods for agronomic approaches on a regional scale. *Science of The Total Environment 375*(1–3), 13–32. http ://www.sciencedirect.com/science/article/B6V78-4N3P539-2/2/562034987911fb9545be7fda6dd914a8.

Mounir Ait kerroum, A. H. et D. Aboutajdine (2010). Input Textural Feature Selection By Mutual Information For Multispectral Image Classification. *International Journal of Information and Communication Engineering 6*(1).

Navarrete, M. et M. Le Bail (2007). Saladplan : a model of the decision-making process in lettuce and endive cropping. *Agron Sust Dev 3*(27), 209–221.

Novovičová, J., A. Malik, et P. Pudil (2004). Feature selection using improved mutual information for text classification. In A. Fred, T. Caelli, R. P. W. Duin, A. Campilho, et D. d. Ridder (Eds.), *Structural, Syntactic, and Statistical Pattern Recognition*, Volume 3138 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 1010–1017. Springer Berlin / Heidelberg. $10.1007/978-3-540-27868-9_111$.

Schaller, N., C. Aubry, A. Havet, et P. Martin (2010b). Diversity of farmers' adaptation strategies in a context of changes and consequences on land-use dynamics : a methodological approach. In *Proceedings of the 1st Latin American and European congress on co-innovation of sustainable rural livelihood systems (Eulacias project)*, Uruguay, pp. 189–192.

Schaller, N., C. Aubry, et P. Martin (2010a). Modelling farmers' decisions of splitting agricultural plots at different time scales : a contribution for modelling landscape spatial configuration. In *Proceedings of 'Agro2010 the XIth ESA Congress*, Montpellier, France, pp. 879–880.

Schneider, K.-M. (2005). Weighted Average Pointwise Mutual Information for Feature Selection in Text Categorization. pp. 252–263.

Sebillotte, M. et Soler (1990). *Modélisation systémique et systèmes agraires*, Chapter Les processus de décision des agriculteurs : acquis et questions vives, pp. 93–102. INRA Paris.

Tou, J. T. et R. Gonzales (1974). *Pattern Recognition Principles*. Addison-Wesley.

Summary

We model the dynamics of spatial and temporal organization of agricultural landscapes by articulating the farm and landscape levels. We develop an approach combining two methods: the modeling of the decision rules of farmers acquired by on farm surveys and the stochastic modeling of neighborhood regularities.