

De l'activité agricole au paysage. Une démarche de modélisation.

PIERRET P. (1), PERROT C. (3), THINON P. (4), JOLY D. (2), LANDAIS E. (4)

(1) ENESAD, 26 Bd du Dr Petitjean, B.P. 1607, 21036 DIJON Cédex.

(2) LEP-IRADES / URA 908 CNRS, 32 rue Mégevand, 25030 Besançon Cédex.

(3) Institut de l'élevage, 149 rue de Bercy, 75595 PARIS Cédex 12

(4) INRA SAD, Route de Saint-Cyr, 78026 Versailles.

RÉSUMÉ – Le modèle qui est présenté permet de simuler à l'échelle locale l'évolution conjointe du fonctionnement des exploitations agricoles, de l'organisation de l'espace rural et des paysages, sous l'influence de divers scénarios relatifs à l'environnement technique, économique et réglementaire de l'activité agricole. Il repose sur une formalisation probabiliste des règles d'utilisation des parcelles agricoles, en fonction de leurs caractéristiques et selon le type de fonctionnement de l'exploitation à laquelle elles appartiennent. Le couplage de ce modèle statistique avec un modèle spatial du découpage parcellaire permet de produire des cartes de l'utilisation des sols. D'autres applications SIG débouchent sur des images des paysages obtenus.

From farming activities to landscapes. A modelling approach.

PIERRET P. (1), PERROT C. (3), THINON P. (4), JOLY D. (2), LANDAIS E. (4)

(1) ENESAD, 26 Bd du Dr Petitjean, B.P. 1607, 21036 DIJON Cédex.

SUMMARY – The model presented here offers the possibility of simulating the changes occurring concurrently on a local scale in farm functioning and in the spatial organization of rural lands and landscapes under the influence of diverse scenarios involving the technical, economic and regulatory background of farming activities. The model is based on a probabilistic formalization of the rules of utilization of farm fields in relation with their characteristics and the type of farm functioning they relate to. By coupling this statistical model with a spatial model of field fragmentation patterns, we can produce maps of the agricultural utilization of land. Other Geographic Information Systems applications enable us to produce landscape images from these maps.

INTRODUCTION

Il est devenu banal d'affirmer que les attentes exprimées en matière de gestion de l'espace rural, d'organisation du territoire, de protection de l'environnement, de gestion de la biodiversité et de qualité du paysage désignent de «nouvelles fonctions» à notre agriculture. L'élevage des herbivores, supposé en particulier capable d'entretenir la plupart des espaces dont la vocation productive est limitée, est directement interpellé. La recherche agronomique, comme ses partenaires du Développement, a depuis plusieurs années inscrit ces questions au rang de ses préoccupations (INRA, 1995). La maîtrise de ces nouvelles fonctions passe à l'évidence par celle de la relation qui lie le fonctionnement des systèmes de production agricole à leurs effets sur le territoire et les paysages. Pourtant, rares sont encore les travaux qui se sont penchés sur cette relation.

Face à cette nouvelle demande, le regard que porte l'agronome sur l'espace rural change, car le problème s'inverse (Deffontaines, 1995). Il ne s'agit plus de réfléchir à la manière dont le milieu influe sur l'activité agricole, mais de répondre à la question suivante : comment l'activité agricole contribue-t-elle à l'organisation de l'espace rural et à la production de paysage, ce mot étant pris à la fois au sens que lui donne le Landscape Ecology (Baudry, 1985) et dans son sens commun de paysage sensible? Tel est l'objectif que s'est fixé le pro-

gramme de recherche pluridisciplinaire MAP (Modélisation Agriculture et Paysage), dont sont tirés les travaux présentés ici.

1. PROBLÉMATIQUE ET DÉMARCHE DE MODÉLISATION

PROBLÉMATIQUE

L'objectif du programme MAP consiste à rendre compte à travers la modélisation des relations qui existent entre l'évolution des systèmes techniques de production mis en oeuvre par les exploitations agricoles et les changements induits au niveau de l'organisation du territoire et des paysages produits (Landais et al., 1995). Le modèle en cours de construction et de validation est un modèle dynamique, tourné vers la prospective. Il doit permettre de simuler l'évolution conjointe de l'agriculture locale, de son emprise spatiale et des paysages ruraux sous diverses hypothèses relatives en particulier à l'environnement technique, économique et réglementaire de l'activité agricole. Sa conception s'appuie sur les acquis antérieurs des divers partenaires en matière de typologie du fonctionnement des exploitations agricoles en particulier les typologies à dire d'experts (Perrot, 1991), de trajectoires des exploitations agricoles (Perrot et al, 1995) et de modélisation spatiale (Thinon et al 1995; Brossard et al, 1993; Brossard et al 1995).

Figure 1 : Le cadre conceptuel du projet (adapté de Brossard et Wieber, 1984).

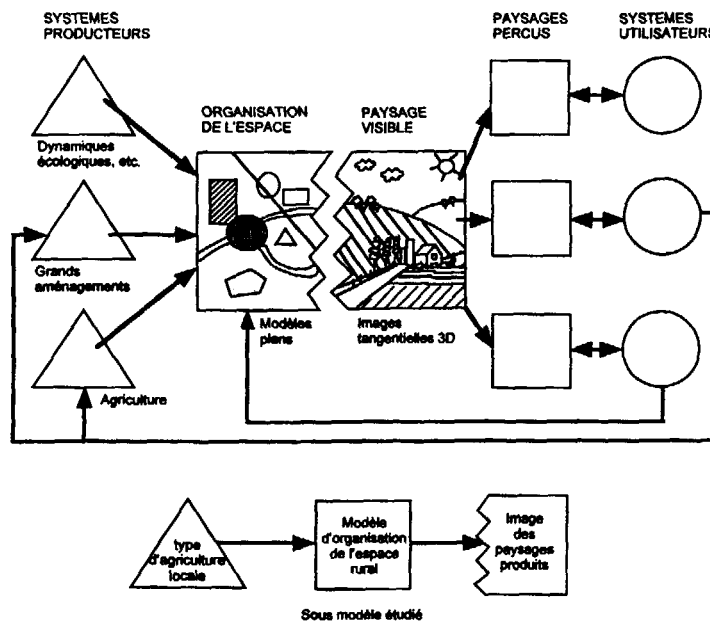
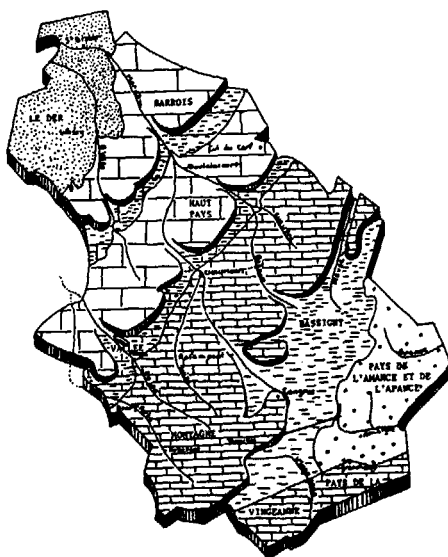
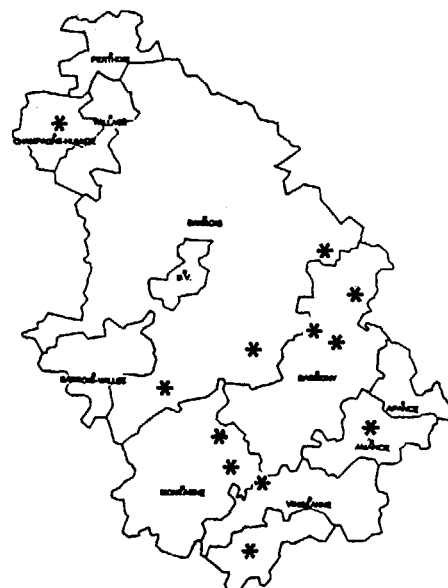


Figure 2 : Le terrain d'étude : le département de la Haute-Marne.



Carte 1 : Grands ensembles géomorphologiques.



Carte 2 : Régions agricoles et situation des communes enquêtées.

Le projet MAP s'inscrit dans une hypothèse d'ensemble que résume la figure 1. Les travaux de modélisation entrepris dans ce cadre s'intéressent plus particulièrement, au sein de cette hypothèse globale, aux relations qui unissent :

i) *l'agriculture locale*, considérée comme le principal «système producteur de paysage» dans les zones rurales de la Haute-Marne qui constituent notre premier terrain d'étude. L'exploitation agricole est considérée comme l'unité élémentaire de production de paysage.

ii) *l'organisation de l'espace rural*, entendue comme l'ensemble des relations spatiales et fonctionnelles qui relient un certain nombre d'objets dotés d'attributs visibles qui entrent dans la composition des paysages. Le modèle est centré sur la production de *l'organisation de l'espace agricole*, sous-ensemble de l'espace rural que nous définissons comme l'espace laissé libre par les objets «non agricoles» (massifs forestiers, zones urbanisées, grands aménagements, réseau hydrographique, etc.), dont les caractéristiques spatiales et visuelles sont des données exogènes pour le modèle. Cet espace agricole est intégralement occupé par une mosaïque de parcelles culturelles caractérisées sur le plan paysager par leur forme, leurs dimensions, l'aspect de leur couvert végétal et les «objets paysagers» qui leur sont associés (arbres, bosquets, clôtures, bâti, etc.).

iii) *les paysages visibles*, c'est-à-dire potentiellement offerts à la vue d'un observateur virtuel ubiquiste qui verrait depuis tous les points d'un espace donné (Wieber, 1984). Le paysage ainsi conçu n'intègre pas encore l'approche sensible ou esthétique dont le traitement

nécessitera d'autres méthodes et d'autres partenaires. Le modèle présenté ici se limite donc à cet observateur virtuel, qui est informé sur le paysage par un système d'information géographique paysager (SIG paysager) renseignant l'altitude (modèle numérique de terrain), les occupations du sol et les objets paysagers (Vuillot, 1995).

DÉMARCHE DE MODÉLISATION

La principale difficulté de la modélisation entreprise réside dans la mise en relation d'entités fonctionnelles en termes d'activité agricole et d'entités d'organisation spatiale. Nous avons retenu cinq niveaux d'organisation successifs : le département, la commune, l'exploitation agricole, l'îlot et la parcelle.

Le département est le niveau d'intégration des résultats. Sa pertinence pour nos recherches tient au fait que beaucoup des services administratifs et des organismes ayant compétence en matière de développement agricole et d'aménagement du territoire sont organisés au niveau départemental.

La commune n'est pas en soi un niveau d'organisation de l'activité agricole. Néanmoins, diverses études ont souligné l'importance des dynamiques locales de développement, qui prennent souvent naissance à l'échelle du village ; ces effets sont particulièrement marqués dans les régions où, comme dans le quart Nord-Est de la France, l'habitat est fortement groupé (Benoît, 1985 ; Moisan, 1988 ; Maigrot, 1989). Par ailleurs, la commune représente, au plan statistique, un échelon commode et précis pour situer géographiquement le siège des exploitations.

Tableau 1 : Les variables explicatives

Variables explicatives		
Variables intrinsèques	Obtention et unités	Code et mise en classes
Géométrie et position		
Distances au village	Distance centre parcelle - centre du village sur la carte (en m)	DV1 < 500 m DV2 500 - 1500 DV3 > 1500 m
Surface	en ha	SU1 < 2 ha SU2 2 - 7 ha SU3 > 7 ha
Elongation	Plus grande longueur en m / surface en ha	e1 < 70 e2 70 - 120 e3 > 120
Forme	jugée qualitativement à partir de la carte	bonne 1 moyenne 2 mauvaise 3
Milieu physique		
Types de sol	A dire d'agriculteur	So1 Argilo-calcaire superficiel 2 Argilo-calcaire moyen 3 Argilo-calcaire profond 4 Sableux 5 Limons 6 Argile 7 Herbu 8 Rouget 9 Hétérogène
Hydromorphie	A dire d'agriculteur	H1 Absence H2 Mouillères H3 sur toute la parcelle
Sensibilité à la sécheresse	A dire d'agriculteur	Se1 non séchant Se2 séchant
Pente	A dire d'agriculteur	Pe1 non pentu Pe2 pentu
UAP	Expertise	25 types d'UAP, 9 types regroupés retenus
Variables fonctionnelles		
	Obtention et unités	Code et mise en classes
Îlot	Ensemble de parcelles contiguës sans obstacle d'un même exploitant	Traitement spécifique : typologie des îlots : 5 types
Type d'exploitation	Parcelle appartenant à une exploitation classée dans la typologie de fonctionnement	16 types, 8 types regroupés retenus
Distance au siège	Évaluée par le plus court chemin entre siège et entrée de la parcelle (en m)	DS1 < 500 m DS2 500 - 1500 m DS3 > 1500 m

L'exploitation agricole est le niveau d'organisation principal de l'activité agricole. Notre modèle s'appuie sur la théorie systémique du fonctionnement technico-économique de l'exploitation, qui a inspiré de nombreux travaux de recherche au sein de l'INRA-SAD. La parcelle culturale, dotée d'attributs fonctionnels, spatiaux et visuels, répond parfaitement à notre projet de modélisation. Elle peut en effet être considérée, comme le produit d'un découpage complet et sans recouvrement de l'espace agricole défini plus haut, comme l'entité fonctionnelle de base de l'activité agricole et de l'utilisation des sols et comme le support des objets paysagers constitutifs des paysages ruraux. La parcelle représente à ce titre un niveau privilégié pour l'articulation entre l'approche fonctionnelle de l'activité agricole et l'approche spatiale de l'organisation de l'espace agricole.

L'îlot. Les parcelles d'une même exploitation agricole sont réparties en plusieurs îlots séparés dans l'espace. Chacun constitue un territoire d'un seul tenant (1), composé d'un nombre variable de parcelles. Pour des raisons tenant notamment à l'organisation du travail, l'appartenance à un îlot s'avère un facteur explicatif important de l'utilisation des parcelles (cf. par exemple Josien et al., 1994). Chacun des niveaux d'organisation que nous venons d'évoquer possède un attribut territorial clairement identifié. Pour le département, la commune et la parcelle, il s'agit de territoires continus. Le parcellaire des exploitations agricoles, structuré en îlots et en parcelles, est en revanche éclaté dans l'espace et ne respecte pas les limites des communes (ni celles des départements). Pour reconstituer un territoire continu de surface suffisante, dont on puisse caractériser l'organisation de manière opératoire, il est nécessaire d'agréger les parcellaires d'exploitations voisines. Cette opération est effectuée au niveau du territoire communal. L'espace agricole de la commune et le territoire géré par les exploitations qui y ont leur siège ne coïncide pas : certaines parcelles situées sur le territoire de la commune sont rattachées à des exploitations qui n'y ont pas leur siège et inversement, les agriculteurs de la commune exploitent un certain nombre de parcelles situées au-delà de ses limites. L'étude des règles d'utilisation de ces parcelles (hors commune) est en cours en vue d'améliorer le modèle.

Le modèle associe donc des niveaux d'organisation et des échelles spatiales très diverses (les échelles cartographiques utilisées varient du 1/200 000 pour le département au 1/5 000 pour la commune, en passant par le 1/25 000 et le 1/50 000 pour les découpages intermédiaires). L'espace départemental est découpé en ensembles de communes homogènes à partir d'une analyse de la diversité des types d'exploitations représentés dans chaque commune d'une part, des caractéristiques agro-écologiques du territoire d'autre part. Ce découpage en cours de validation a été utilisé pour échantillonner les communes enquêtées. Il servira ultérieurement de base pour l'extension du modèle au niveau du département et la généralisation des résultats.

La démarche consiste dans un premier temps à formaliser, à partir d'une étude statistique des données collectées dans la totalité des exploitations d'un échantillon de 12 communes, les règles qui rendent compte de l'utilisation des parcelles agricoles dans ces communes (1). Les résultats obtenus par un modèle simulant l'application de ces règles sont ensuite projetés sur une carte (2). Cette carte permet grâce à l'utilisation d'un système d'information géographique, d'obtenir diverses représentations virtuelles des paysages associés (3). Enfin le modèle peut être utilisé pour tester les effets spatiaux et paysagers d'un scénario d'évolution des exploitations agricoles (4).

Nous n'exposerons ici, après une rapide présentation de notre terrain d'étude, que les parties du modèle qui concernent le territoire communal.

2. LE TERRAIN D'ÉTUDE : LE DÉPARTEMENT DE LA HAUTE-MARNE

Le département de Haute-Marne appartient à l'unité physique du Bassin Parisien. Un système de «cuvettes» géologiques emboîtées (figure 2, carte 1) crée une série de côtes orientées Nord-Est/Sud-Ouest entrecoupant des plateaux dont le pendage est tourné vers le Nord-Ouest (Rameau et Royer, 1972). Ces côtes sont elles-mêmes entaillées par des vallées de différents cours d'eau dont la Marne. Les auréoles créées par les côtes découpent le département en 6 grands ensembles : une dépression marneuse au Nord-Ouest (Champagne Humide), une auréole marno-calcaire (Haut-Pays et Barrois), une auréole de plateaux calcaires (Montagne et Plateau de Langres), une auréole marneuse du Lias (Bassigny) et enfin une auréole de grès Rhétien du Trias (Pays d'Amance et d'Apance). Cette structure

géomorphologique contribue, avec un climat contrasté, à créer des situations pédoclimatiques diversifiées d'une zone à une autre mais également à l'intérieur des communes dont le territoire peut combiner des vallées, des côtes et des plateaux déterminant des utilisations agricoles variées : cultures sur les plateaux calcaires, herbe ou maïs sur les terres hydromorphes. Le découpage INSEE en 10 régions agricoles s'appuie largement sur les régions naturelles (figure 2, carte 2). Une certaine spécialisation grandes cultures apparaît dans le Barrois. Le Der, le Bassigny et les Pays d'Amance et d'Apance sont plus orientés sur l'élevage, bovin-lait en particulier, du fait de sols plus hydromorphes. La Montagne apparaît comme une région de Polyculture-élevage.

Les 12 communes retenues pour notre enquête (cf. infra) sont représentatives des régions les plus orientées vers l'élevage (figure 2, carte 2) ; les systèmes céréaliers spécialisés sont quasi-absents de notre échantillon.

3. CONSTRUCTION D'UN MODÈLE DE PRÉVISION DE L'UTILISATION DES PARCELLES AGRICOLES

LES DONNÉES

Une enquête exhaustive menée dans ces 12 communes auprès de 69 agriculteurs nous a permis de constituer une base de données relatives à plus de 1100 parcelles culturales (parcelles situées dans la commune du siège). Ces parcelles sont décrites à la fois sous l'angle de l'utilisation du sol (variable à expliquer) et par un ensemble de caractéristiques que nous avons considéré comme des déterminants potentiels de cette utilisation (variables explicatives : tableau 1). Ces dernières variables sont regroupées en variables «intrinsèques», propres à la parcelle considérée, et en variables «fonctionnelles», ou caractéristiques d'appartenance, qui sont liées à l'exploitation agricole (type d'îlot, distance de la parcelle au siège de l'exploitation, type de fonctionnement de l'exploitation).

La première étape du traitement a consisté à homogénéiser et à réduire l'information à traiter : les variables quantitatives (surface, élongation, distance au village ou au siège d'exploitation) ont été mises en classes après examen des distributions et en tenant compte d'éventuels seuils techniques. Un prétraitement a été effectué pour caractériser le type d'îlot dans lequel s'insère chaque parcelle.

Une procédure multivariée adaptée a permis de réduire le nombre des modalités initialement attaché aux variables «type d'exploitations» (15 modalités) et «mode d'utilisation des parcelles» (15 modalités), qui rendait improbable la discrimination de certains de ces types. Pour les prairies permanentes par exemple, les mode d'utilisation codés «pâturage» et «fauche suivie de pâturage» ont été regroupés, l'enquête ayant montré que certaines parcelles étaient susceptibles d'évoluer d'un mode d'utilisation à l'autre en fonction du déroulement de la campagne. De même, pour les exploitations agricoles, des regroupements ont été opérés entre des types de fonctionnement voisins. Nous retenons en définitive 8 modes d'utilisation du sol et 8 types de fonctionnement (tableau 2).

Tableau 2 :
Modalités simplifiées des variables « Type d'exploitations » et
« Utilisation du sol » retenues pour la modélisation

Types de fonctionnement	Modes d'utilisation du sol
1 Sociétaire lait - viande - céréales	1 Pâturage vaches laitières
2 Céréales - vaches allaitantes	2 Pâturage autres herbivores
3 Lait intensif - céréales	3 Fauche exclusive
4 Céréaliers avec ou sans viande	4 Céréales à paille
5 Lait traditionnel - céréales	5 Maïs monoculture
6 Lait intensif spécialisé	6 Rotation maïs / paille
7 Herbager lait	7 Rotation ootza / blé / orge
8 Herbager viande	8 Rotation luz. ou prairie temp. / paille

CHOIX D'UN MODÈLE

Nous avons mis en oeuvre sur ces données une analyse factorielle discriminante (AFD), qui nous permet non seulement d'identifier les facteurs qui discriminent le plus efficacement chaque type d'utilisation du sol mais aussi de proposer une formalisation mathématique des règles sous-jacentes, grâce aux fonctions discriminantes (combinaisons linéaires des facteurs les plus discriminants) et de calculer pour chaque parcelle i le vecteur $(P_{i,j})$ représentant les probabilités qu'a cette parcelle de recevoir le type d'utilisation j . Nous sommes dans un cas limite d'application de cette méthode, initialement développée pour traiter des variables explicatives quantitatives et que nous l'appliquons à des variables booléennes issues

(1) Ceci signifie qu'aucun obstacle (routes à grande circulation, voies ferrées, cours d'eau, etc.) ne doit s'opposer à la circulation directe du matériel agricole (tracteurs, remorques, etc.), voire des troupeaux, entre les parcelles qui le composent.

d'un recodage disjonctif complet des variables qualitatives ou quantitatives que nous souhaitions utiliser. On peut cependant montrer que cette application et les résultats obtenus conservent un sens (Celeux et Nakache, 1994).

Comme pour tout modèle d'analyse, l'étape de construction initiale consiste à sélectionner un nombre restreint de variables conduisant à une discrimination efficace et pertinente. La procédure de sélection repose sur un critère de qualité du modèle. Dans le cas où l'on souhaite pouvoir reclasser au mieux de nouveaux individus (ici des parcelles dont on souhaite prédire l'utilisation la plus probable), la stratégie recommandée (Celeux et Nakache, op. cit.) consiste à minimiser le risque d'erreur évalué par validation croisée (pourcentage d'observations mal reclassées par une règle discriminante établie sur l'ensemble des observations moins l'individu à classer, chaque observation jouant à son tour le rôle d'individu supplémentaire). C'est la procédure que nous avons adoptée, en retenant la plus forte probabilité pour déterminer le mode d'utilisation du sol prédit et calculer le taux d'erreur de classement (Tomassone, 1988).

Une première série de modèles a été testée en ne considérant comme variables explicatives que les «caractéristiques intrinsèques» des parcelles (distance au village, surface, élongation, forme, type de sol, hydromorphie, sensibilité à la sécheresse, pente) ainsi que l'appartenance à un type d'îlot donné (1).

Cette première analyse conduit à proposer une première hiérarchisation du pouvoir discriminant des variables : le type de sol arrive nettement en tête, suivi par le type d'îlot, la distance au village, la pente, puis la surface (critère déjà présent en partie dans le type

d'îlot) et l'hydromorphie, enfin la forme, l'élongation et la sensibilité à la sécheresse.

Conformément à notre hypothèse de départ (le paysage produit par l'agriculture évolue sous l'effet des changements qui affectent la démographie et le fonctionnement des exploitations), nous avons ensuite introduit dans le modèle la variable «type de fonctionnement de l'exploitation» en cherchant à lui accorder un statut particulier. La solution que nous avons finalement adoptée consiste à réaliser des analyses discriminantes séparées pour chaque type d'exploitation, seule façon que nous avons trouvée pour traduire l'existence de règles spécifiques. La distance au siège a été intégrée à ce stade au modèle d'analyse, en tant que nouvelle variable explicative.

PREMIERS RÉSULTATS

La prise en compte du type d'exploitation améliore sensiblement le modèle, qui parvient à un taux d'erreur estimé par validation croisée de 59 %. Calculé par la méthode dite de resubstitution, qui travaille sur l'échantillon complet, ce taux d'erreur n'est que de 38%. Cette différence importante met en évidence l'instabilité des fonctions discriminantes dans certains types d'exploitations pour lesquels le nombre des parcelles enquêtées est insuffisant (<40).

L'examen de la matrice de confusion montre que la plupart des erreurs de classement concernent des types d'utilisation assez proches ou correspondent à certaines logiques de comportement des agriculteurs.

Ainsi, une bonne partie des confusions a lieu entre les différentes utilisations des prairies permanentes, particulièrement entre «pâturage vaches laitières» et «autres herbivores» ou entre «autres herbivores» et «fauche exclusive» (tableau 3).

Tableau 3 : Effectif des parcelles bien et mal classées selon l'utilisation réelle et l'utilisation prédite par le modèle.

utilisation réelle prédite	pâtur. vl	pâtur. autres	fauche exclus.	monoc. maïs	maïs paille	colza blé.orge	pailles seules	prairies tempor. - paille	total
pâtur. VL	103	52	18	6	21	4	1	7	212
pâtur. autres	34	124	33	11	32	18	9	11	272
fauche exclus.	11	38	35	3	13	6	5	5	116
monoc. maïs	2	9	2	4	13	1	1	1	33
maïs paille	16	29	20	13	83	21	12	8	202
colza. blé.orge	9	21	16	1	33	81	18	6	185
pailles seules	3	14	6	1	14	13	17	4	72
prairies tempor. - paille	5	8	6	0	7	6	6	11	49
total	183	295	136	39	216	150	69	53	1141

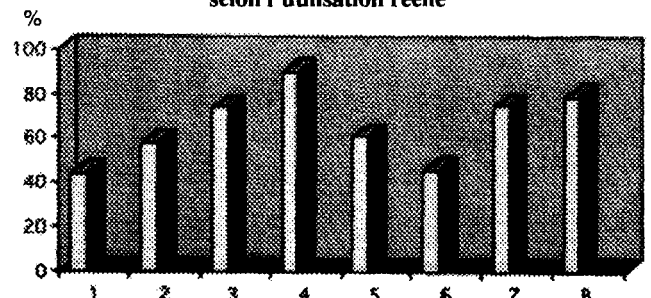
Les autres erreurs de classement traduisent principalement la difficulté du modèle à prédire trois modes d'utilisation (figure 3) : le maïs en monoculture, les successions de céréales à paille (fréquemment confondues avec les autres cultures), et les successions prairie temporaire (notamment luzerne)-céréale à paille (confondues tantôt avec des utilisations de type prairies, tantôt avec des utilisations de type culture).

En dehors du type de fonctionnement «producteurs spécialisés de viande à l'herbe», qui n'utilise ses parcelles qu'en prairies pâturées et/ou fauchées, ou plus rarement en céréales, pour lequel le taux d'erreur n'est que de 30 %, il est très difficile de se prononcer sur les différences de taux d'erreur entre types d'exploitations, du fait de l'instabilité des fonctions discriminantes dans les types insuffisamment renseignés. Dans les autres types, le taux d'erreur est voisin de la moyenne (60%).

Les utilisations mal classées ne résultent pas en général d'une erreur aléatoire, mais semblent provenir en grande partie de décisions individuelles d'exploitants, qui tiennent compte de paramètres qui ne sont pas intégrés au modèle actuel, au premier rang desquels figurent les contraintes ou potentialités particulières qui résultent de la structure des parcelles individuelles. Tel type de parcellaire très contraignant conduira par exemple à utiliser en pâturage vaches laitières ou en maïs des terres que les exploitations du même type n'auraient pas,

en moyenne, utilisé ainsi. C'est ainsi, parce qu'elle répond à des logiques ou à des contraintes individuelles, que l'utilisation «maïs en monoculture» est mal prédite. La caractérisation de l'effet du type de parcellaire constitue l'un des objectifs des recherches en cours.

Figure 3 : Proportion de parcelles dont le mode d'utilisation prédit par le modèle ne correspond pas à l'utilisation réelle, selon l'utilisation réelle



1. Pâturage vaches laitières ;
2. Pâturage autre herbivores ;
3. Fauche exclusive ;
4. Monoculture maïs ;
5. Maïs-paille ;
6. Colza-blé-orge ;
7. Paille seule ;
8. Prairies temporaires-paille.

(1) Nous assimilons ainsi la variable «appartenance à un type d'îlot» à une caractéristique quasi permanente de la parcelle bien qu'elle découle de l'appartenance à une exploitation. En effet, lorsqu'une parcelle change de main, c'est généralement l'ensemble de l'îlot qui est concerné, que ce soit dans les cas de démembrement ou de reprise d'exploitations.

Les résultats tirés des analyses discriminantes sont multiples. Outre l'étude des écarts au modèle, que nous venons d'évoquer, l'analyse des fonctions discriminantes (en cours) révèle la nature des règles mises en oeuvre par les agriculteurs pour projeter leur activité dans l'espace. Par exemple, dans les exploitations de polyculture-élevage laitier intensif, pour une parcelle donnée, une faible distance au siège va entraîner une augmentation significative de la probabilité d'être utilisée comme pâture pour les vaches laitières ; une contrainte de pente va accroître la probabilité d'être utilisée comme pâture pour les génisses ou de vaches allaitantes ; une sensibilité à la sécheresse va orienter vers des successions de type luzerne-céréales ; l'appartenance au type d'ilot «grande parcelle isolée» vers des successions colza-blé-orge ; l'appartenance au type d'ilot «parcelle moyenne isolée» vers la prairie uniquement fauchée ; etc. Toutes ces tendances sont en bon accord avec nos connaissances antérieures de la logique de fonctionnement des exploitations, ce qui confirme la qualité de l'étalonnage des fonctions discriminantes pour les types d'exploitations les mieux renseignés.

L'évaluation des probabilités attachées à chaque parcelle est une mesure intéressante de l'aptitude des différentes parcelles à porter telle ou telle utilisation. On constate ainsi :

- que pratiquement aucune parcelle n'a d'aptitude particulière à être utilisée en maïs monoculture ou luzerne-céréale ;
- que de nombreuses parcelles ont une aptitude moyenne à être utilisée comme pré de fauche, mais qu'aucune n'a une très forte probabilité d'être utilisée ainsi ;
- qu'un nombre significatif de parcelles a une forte probabilité d'être utilisée en pâturage pour vaches laitières.

Comme on pouvait le prévoir, plus la probabilité est faible et plus le risque d'erreur dans la prévision est grand, et ceci tient non à une faiblesse du modèle, mais à une indétermination de la règle. Cependant, pour un nombre non négligeable de parcelles, une erreur est associée à une utilisation préférentielle exprimée par une probabilité très élevée. Il s'agit de cas bien caractérisés d'écart à la règle, dont l'analyse est riche d'enseignements.

4. REPRÉSENTATION CARTOGRAPHIQUE DU MODÈLE

Pour illustrer cartographiquement les résultats obtenus à partir du modèle, nous retenons l'exemple de la commune de G., située en zone herbagère dans le nord du Bassigny.

Le couplage du modèle à un système d'information géographique communal permet une comparaison entre les modes d'utilisation du sol réels et les modes d'utilisation prédits à partir d'une carte des écarts (figure 4).

Par ailleurs, nous pouvons produire pour chaque mode d'utilisation du sol une carte des probabilités de présence (figure 5). Un exemple sur quatre modes d'utilisation montre que le modèle affecte essentiellement l'utilisation «pâturage vaches laitières» à des parcelles situées en fond de vallée, à proximité du village, qui s'allonge parallèlement à la vallée. Depuis un récent remembrement, deux exploitations ont reconstruit des stabulations à l'extérieur de l'agglomération, ce qui explique que des parcelles plus éloignées de l'axe de la vallée aient une forte probabilité d'être exploitées pour le pâturage des vaches laitières. Le mode d'utilisation «autres herbivores» complète le mode d'utilisation «vaches laitières» et concerne préférentiellement les parcelles des deux coteaux qui bordent la vallée. Les utilisations «maïs paille» et «colza-blé-orge», fortement concurrencées par la prairie permanente, apparaissent peu probables pour le modèle, ce qui souligne le caractère atypique des cultures implantées dans cette commune par les grandes exploitations qui associent lait et céréales (cf. figure 4.3).

5. SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE COMMUNAL ET PAYSAGE VISIBLE

DE LA CARTE AU PAYSAGE

Le système d'information géographique communal est construit à partir d'une série d'informations localisées sur la carte, dont l'occupation du sol. Le modèle numérique de terrain (MNT), modèle de représentation de l'altitude selon un maillage carré de 50 mètres, permet de dessiner le relief en trois dimensions. Le drapage sur cette figure de la structure du parcellaire agricole à l'aide de couleurs figurant les différentes cultures en place lors de l'enquête (1992) permet une représentation modélisée du paysage (figure 6). L'ajout des objets paysagers et leur localisation complète cette représentation (ceux-ci ne sont pas retenus dans cet exposé). Le passage de la vision zénithale à la vision tangentielle change complètement l'objet étudié. Le résultat virtuel dépend de la position de l'observateur, qui voit des objets (situés dans une infinité de plans successifs mais visuellement fusionnés) à des échelles différentes, alors que dans la

vision cartographique, il y a une seule représentation et une seule échelle (Brossard et Wieber, 1984). Le paysage visible ne se réduit donc pas à la stricte localisation des objets, il faut prendre en compte en outre la topologie, les effets d'écrans et la perspective. Pour l'aménageur, le problème est de restituer le paysage le plus fidèlement possible à partir de l'information disponible sur la carte. Il s'agit d'un problème de représentation graphique. La représentation la plus souvent utilisée (Josselin et al., 1995) est une pseudo-représentation en trois dimension (2,5 D), obtenue par une inclinaison fictive de la carte en relief que l'on obtient avec certains logiciels. C'est cette méthode qui est illustrée sur la figure 6 pour la commune de G., le logiciel utilisé étant le module SEM (Structured Elevation Model) de Arc-Info. La maille est développée selon un système de triangulation à partir du MNT de l'IGN (Institut Géographique National). On notera que ce mode de représentation considère un observateur virtuel situé en altitude, ce qui ne correspond évidemment pas au promeneur moyen.

DU PAYSAGE À LA CARTE

Au-delà de la stricte localisation des surfaces et des objets, au-delà de la représentation la plus réaliste possible des paysages visibles, nous nous sommes posé la question, comme d'autres auteurs (Brossard et Wieber, 1984; Ormaux, 1986), de la cartographie des paysages, qui revient fondamentalement à remettre en deux dimensions une information qui n'a de sens qu'en trois dimensions ! En pratique, il s'agit de répondre à des questions telles que : quelles sont les zones depuis lesquelles tel type de paysage est visible ? Quelles sont les zones les plus ou les moins visibles dans le paysage ? Quelles sont les zones les plus sensibles sur le plan paysager, c'est-à-dire celles où le paysage visible est le plus susceptible de changer dans un scénario donné ? Pour y répondre, le géographe cherche à identifier, en tenant compte des effets de relief, d'écran et de perspective, la nature des objets qui peuvent être vus depuis chaque point de l'espace étudié, afin de repérer des régularités permettant de typer les paysages offerts à la vue tangentielle d'un observateur virtuel situé au sol. Il s'agit donc de modéliser la diversité des paysages visibles, puis de cartographier les résultats du modèle (Vuillot, 1994).

Pour atteindre cet objectif, nous proposons une méthode reposant sur la discrétisation de l'espace en un fin carroyage (pixels) puis sur un échantillonnage spatial systématique qui permet d'identifier statistiquement la nature des objets offerts à la vue d'un observateur virtuel situé en un point quelconque, dans des plans rapprochés puis de plus en plus lointains. Les données ainsi obtenues sont susceptibles de nombreux traitements statistiques, les individus étant les pixels.

Pour illustrer notre propos, nous présentons (figure 7.1) la carte des altitudes de la commune de G., qui permet de construire, à partir de la carte de l'utilisation des sols (figure 6.1) des cartes des combinaisons des thèmes vus, en l'occurrence les types d'utilisation du sol (figures 7.2 et 7.3). Ces cartes résumant la nature des utilisations du sol vues depuis chaque pixel observateur, en fonction des masques et du relief. Dans l'exemple choisi d'un paysage de printemps-été, neuf thèmes paysagers ont été retenus (céréale à paille, maïs ou tournesol, colza, herbe pâturée, herbe fauchée, forêt, routes, bâti, bosquets). Vingt-trois combinaisons représentatives de ces thèmes ont été identifiées et cartographiées. Un autre type de carte, non représenté ici, représente le nombre de fois où chaque pixel est vu par l'ensemble des pixels observateurs. Ces cartes de «soumission à la vue» mettent en évidence la «sensibilité visuelle» liée à certaines portions de territoire particulièrement visibles.

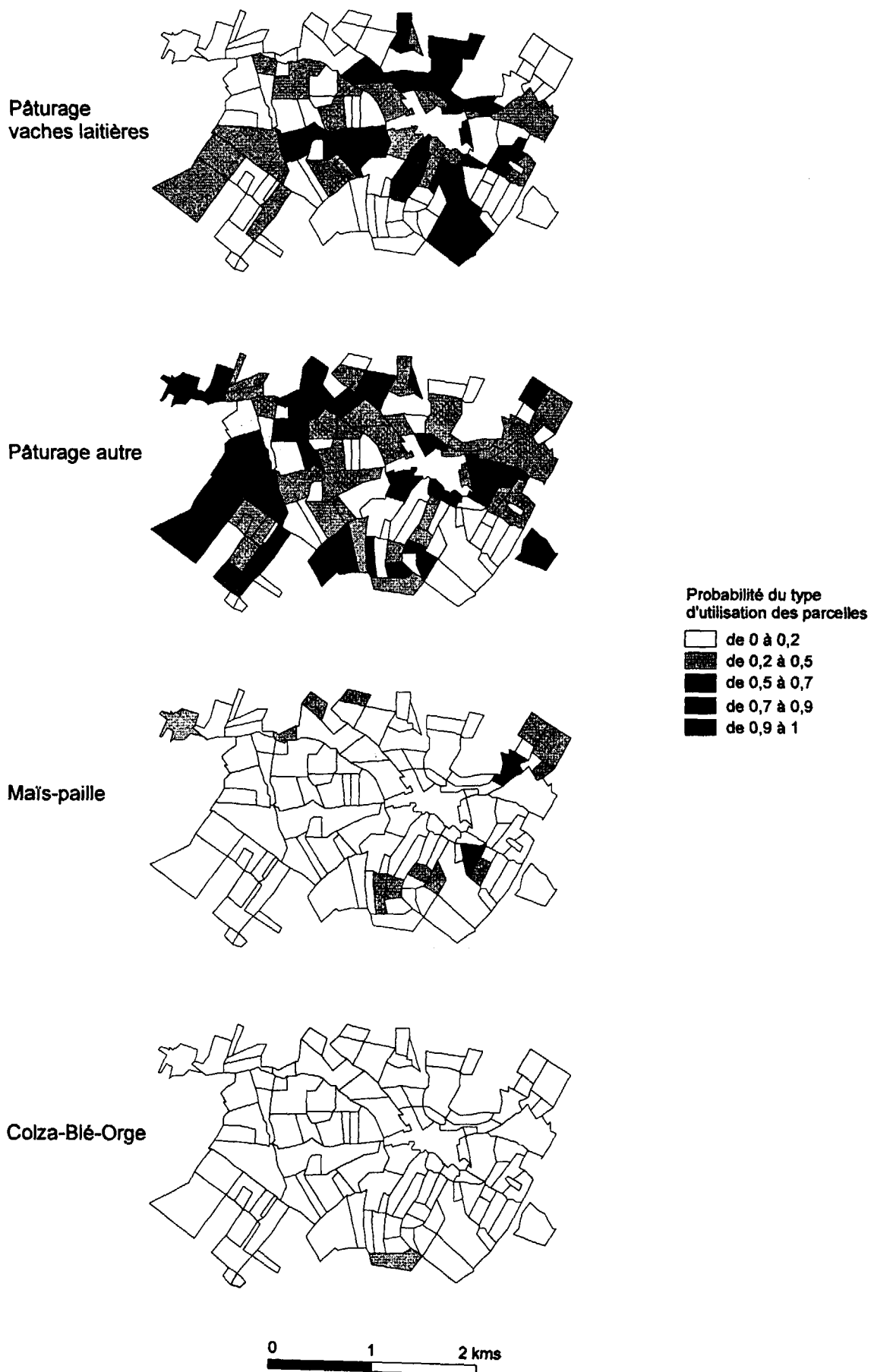
Ces différents types de cartes illustrent bien le fait que le paysage visible n'est pas réductible à la localisation des objets et l'occupations du sol (Brossard et Wieber, 1984).

6. UN OUTIL DE PROSPECTIVE

Pour illustrer le caractère dynamique du modèle, nous avons appliqué à la commune de G. deux scénarios issus d'une précédente étude sur les «trajectoires» technico-économiques les plus fréquemment parcourues par les exploitations agricoles de Haute-Marne entre 1987 et 1992 (Perrot et al., 1995). Cette commune comptait en 1992 sept exploitations dont trois du type herbager, une de type mixte Lait-Céréales C, une de type laitier traditionnel peu modernisé et deux exploitations non typées (l'une proche du type Sociétaire, l'autre d'un fonctionnement naisseur-herbager peu représenté en Haute-Marne). Sur ces sept exploitations, trois sont sans successeur, et l'une apparaît difficilement viable en raison de sa petite taille.

Un premier scénario, intitulé «tout sociétaire», simule la poursuite du processus de concentration foncière et d'agrandissement en cours, avec constitution d'exploitations de forme sociétaire combinant viande, lait et cultures. Ce scénario prévoit la survie de trois

Figure 5 :
Probabilités des différents types d'utilisation des parcelles de la commune de G.



exploitations sur sept. Le deuxième scénario, intitulé «tout herbage», simule les effets d'une augmentation significative de la prime à l'herbe, qui permettrait la survie de quatre exploitations et inciterait les agriculteurs en question à adopter des systèmes herbagers. Dans les deux scénarios, la répartition des terres a été raisonnée en fonction de la localisation relative des îlots à reprendre et des sièges des exploitations candidates à la reprise. Les quotas laitiers ont été répartis au prorata des terres reprises, comme le prévoit la réglementation. Le modèle permet de prévoir les modifications les plus probables de l'occupation du sol et l'évolution par rapport à la situation de départ (figures 8.1 et 8.2).

Le scénario 1 aboutit à l'utilisation de toutes les parcelles plates par des rotations à base de maïs, les parcelles utilisées pour le pâturage des vaches laitières étant nettement regroupées autour du village. Dans le scénario 2, les parcelles initialement en maïs-paille sont mises en herbe. Le résultat est un territoire restructuré dans lequel les éleveurs déplacent assez facilement leurs vaches laitières au pâturage jusqu'à des distances importantes. Ces résultats pourraient par exemple, grâce au SIG, être mis en relation avec la carte de sensibilité visuelle ou avec un modèle de prédiction de la pollution azotée dans les bassins d'alimentation hydrique concernés.

CONCLUSION

Compte tenu de l'objectif de cette communication, nous ne discutons pas ici des multiples limites d'un modèle encore exploratoire et largement perfectible. A l'heure actuelle, les résultats obtenus semblent confirmer la faisabilité et l'intérêt d'une semblable démarche de modélisation. L'une des principales difficultés, qui tenait à la conception du dispositif nécessaire pour passer de l'échelle du département à celle de la commune (échantillonnage) et vice-versa (extrapolation des résultats), est en voie d'être résolue, en sorte que le département pourra bientôt être modélisé par agrégation d'un ensemble de modèles communaux représentatifs des situations agro-géographiques rencontrées. De multiples problèmes restent néanmoins à régler avant que nous puissions passer à l'étape suivante, qui sera la mise à l'épreuve du modèle par des utilisateurs potentiels, en vue de la construction d'outils opératoires d'aide à la décision.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Y.M. Chatelin et C. Lopez, du service Biométrie de l'Institut de l'Élevage, ainsi que J.B. Denis, du laboratoire de Biométrie de l'INRA Versailles, pour leurs conseils en matière de traitements statistiques.

RÉFÉRENCES

- BAUDRY J., 1985. Utilisation des concepts de landscape ecology pour l'analyse de l'espace rural. Utilisation du sol et bocages. Thèse de doctorat d'état. Université de Rennes.
- BENOÎT M., 1985. La gestion territoriale des activités agricoles. L'exploitation et le village : deux échelles d'analyse en zone d'élevage. Cas de la Lorraine, région de Neufchâteau. Thèse Doct. Ing. INA P.-G./INRA-SAD Versailles, 186 p. + annexes.
- BROSSARD T., WIEBER J.C., 1984. Le paysage : trois définitions, un mode d'analyse et de cartographie. L'espace géographique, 1, t. XIII : 10-12.
- BROSSARD T., JOLY D., PIERRET P., 1993. Déprise agricole et fermeture des paysages. Mappemonde, 3 : 17-21.
- CELEUX G., NAKACHE J.-P. (éds.), 1994. Analyse discriminante sur variables qualitatives. Paris, Polytechnica, 253 p.
- DEFFONTAINES J.P., 1995. Dynamique physiognomique d'un paysage rural. Essai de modélisation de la composante agricole. Cahiers Agricultures 1995, 4 : 434-439.
- INRA, 1995. L'environnement à l'INRA, INRA
- JOSIEN E., DEDIEU B., CHASSAING C., 1994. Etude de l'utilisation du territoire en élevage herbager. L'exemple du réseau extensif Limousin. Fourrages, 138 : 115-134.
- JOSSELIN D., ORSIER B., CHALIER S., HAFFNER D., 1995. Représentation virtuelle d'un paysage et modélisation de la déprise agricole, une expérience. Dossier de la revue de géographie alpine, 5 : 85-98.
- LANDAIS E., PERROT C., PIERRET P., MAIGROT J.L., MIGNOLET C., ZANCHI E., 1996. Systèmes techniques agricoles, organisations de l'espace rural et production de paysage. Le projet MAP (Modélisation, Agriculture et Paysage). Communication «Tendances nouvelles en modélisation pour l'environnement», CNRS, 15-16-17 janvier 1996, cité des Sciences et de l'Industrie, Paris.
- MAIGROT J.L., 1989. A l'échelle du village. Une méthode d'approche historique et géographique de l'activité agricole locale en région d'habitat groupé. INRA Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement, 13, 48 p.
- MOISAN H., 1988. Développement agricole et localité. Chemin critique d'une pratique de recherche sociologique dans les territoires villageois de la plaine ouest des Vosges. Thèse 3e cycle, Université Paris X-Nanterre/INRA-SAD Versailles, 313 p.
- ORMAUX S., 1986. Paysages et géotypes, quelques exemples entre Somme et Scarpe. Thèse de l'Université de Franche Comté, Besançon.
- PERROT C., 1991. Un système d'information construit à dire d'experts pour le conseil technico-économique aux éleveurs de bovins. Thèse Doct. Ing. INA P.-G. Paris, Institut de l'élevage/INRA-SAD, 211 p. + annexes
- PERROT C., PIERRET P., LANDAIS E., 1995. L'analyse des trajectoires des exploitations agricoles. Une méthode pour actualiser les modèles typologiques et étudier l'évolution de l'agriculture locale. Economie Rurale, 228 : 35-47.
- RAMEAU J.C., ROYER J.M., 1972. Les plateaux jurassiques haut marnais. CDDP, Chaumont.
- TOMASSONE R., 1988. Comment interpréter les résultats d'une analyse factorielle discriminante? I.T.C.F., 56 pages.
- THINON P., SAVINI S., DEFFONTAINES J.P., 1995. Relations territoire, agriculture et urbanisation. Recherche d'unités de gestion territoriale, le cas du Vexin Français. INRA-SAD, Versailles.
- VUILLOT P., 1994. Paysage visible et aménagement : modélisations cartographiques et test sur le Haut Jura. Thèse de doctorat université de Franche-Comté.
- WIEBER J.C., 1984. Appréhension et compréhension des paysages. In : La recherche géographique française, XXV è Congrès International de Géographie, p. 91-97.

Liste des logiciels utilisés

Arc Info, module SEM et ArcView
 ESRI France, Meudon
 EDAP : Joly Daniel, CNRS Besançon

Figure 4. Types d'utilisation des parcelles de la commune de G.

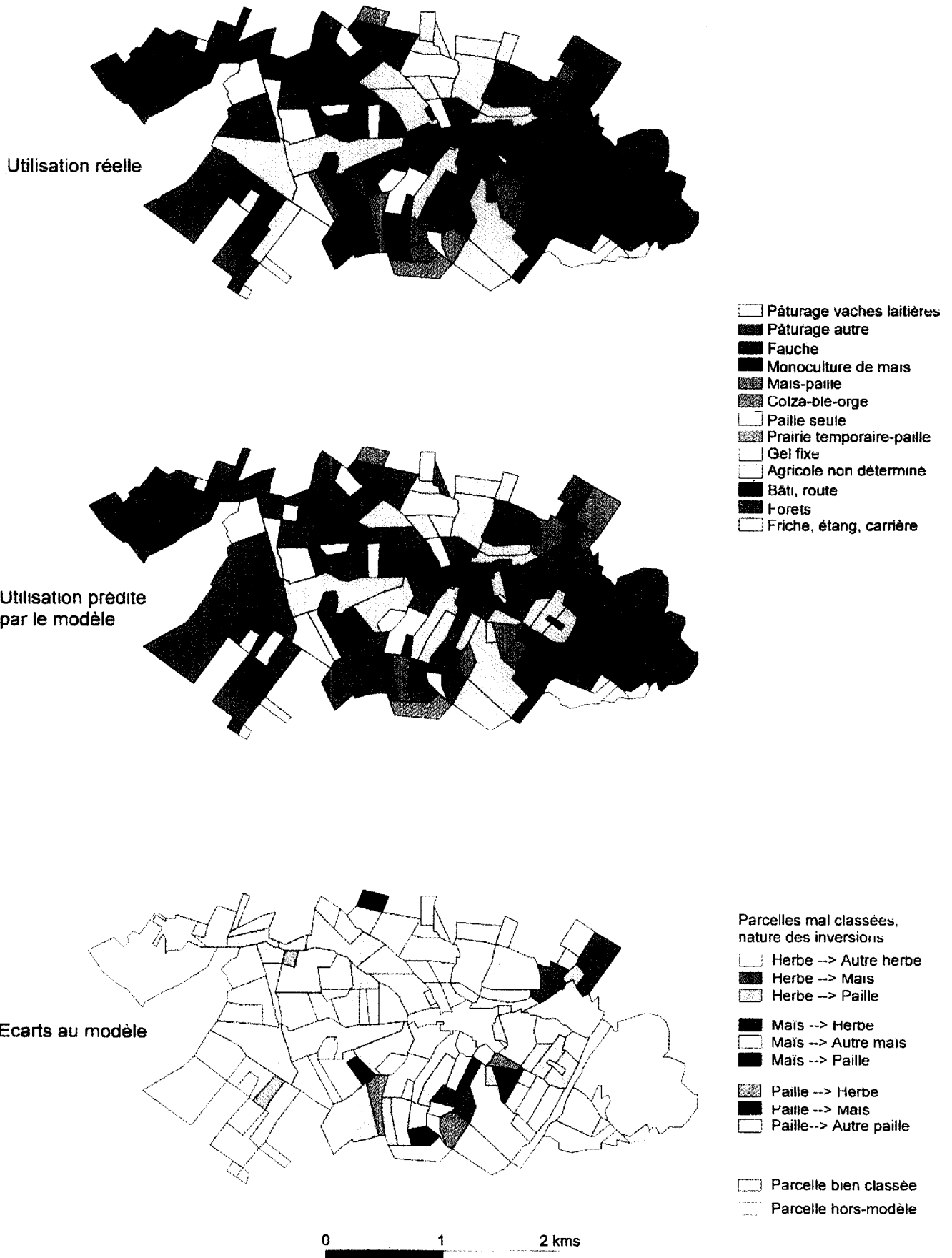
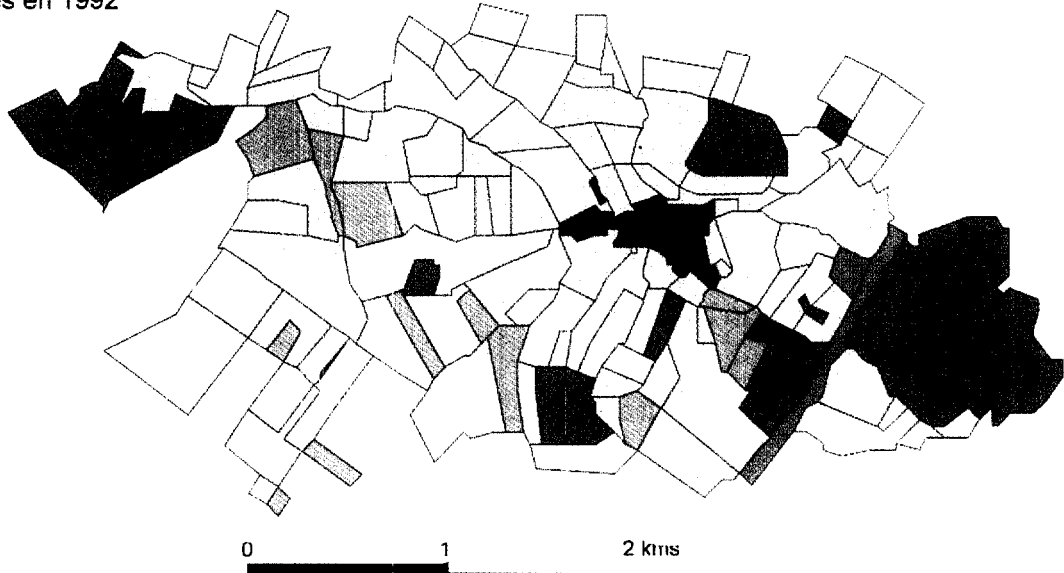


Figure 6. De la carte au paysage (commune de G.)

Utilisation réelle des parcelles en 1992



Drapage de la carte précédente sur un modèle numérique de terrain

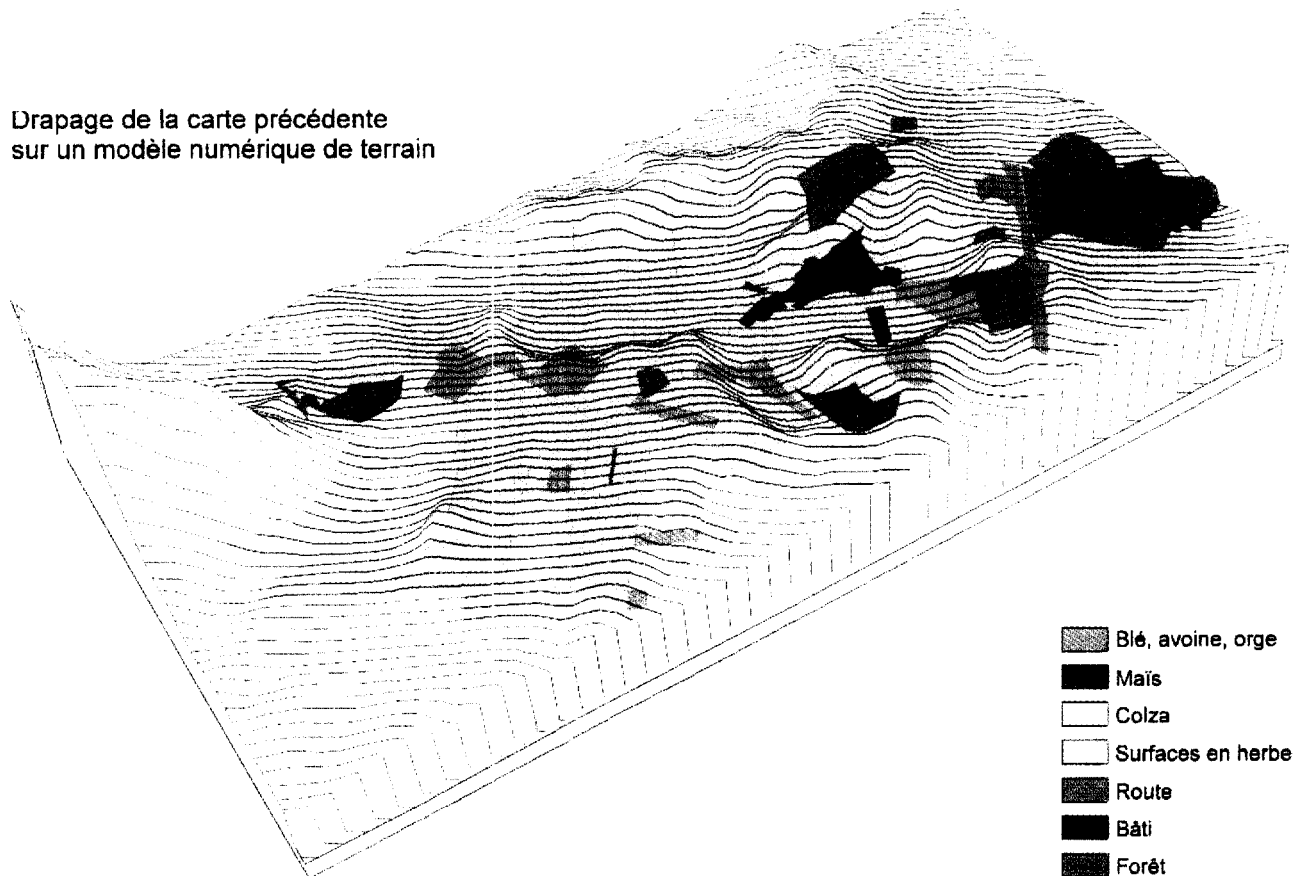
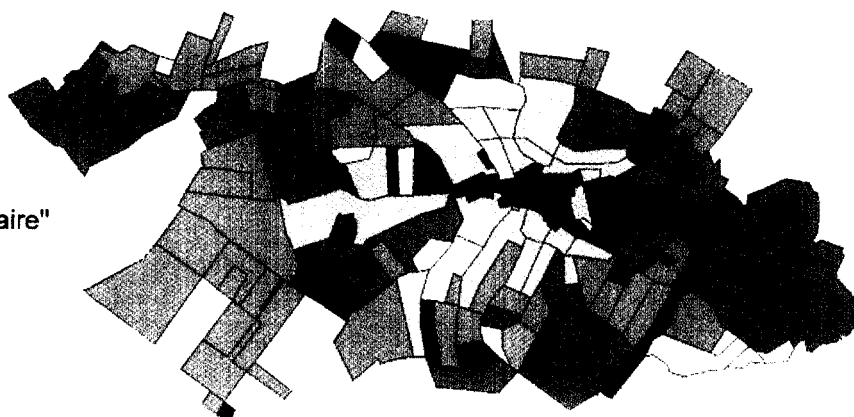
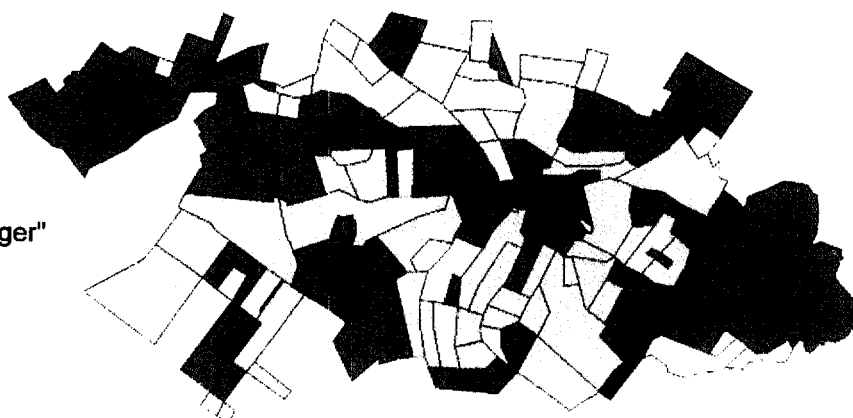


Figure 8. Scénarios d'évolution de l'utilisation des parcelles de la commune de G.

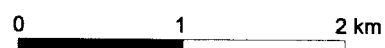
Scénario "tout sociétaire"



Scénario "tout herbager"



-  Pâturage vaches laitières
-  Pâturage autre
-  Fauche
-  Monoculture de maïs
-  Maïs-paille
-  Colza-blé-orge
-  Paille seule
-  Prairie temporaire-paille
-  Gel fixe
-  Agricole non déterminé
-  Bâti, route
-  Forêts
-  Friche, étang, carrière



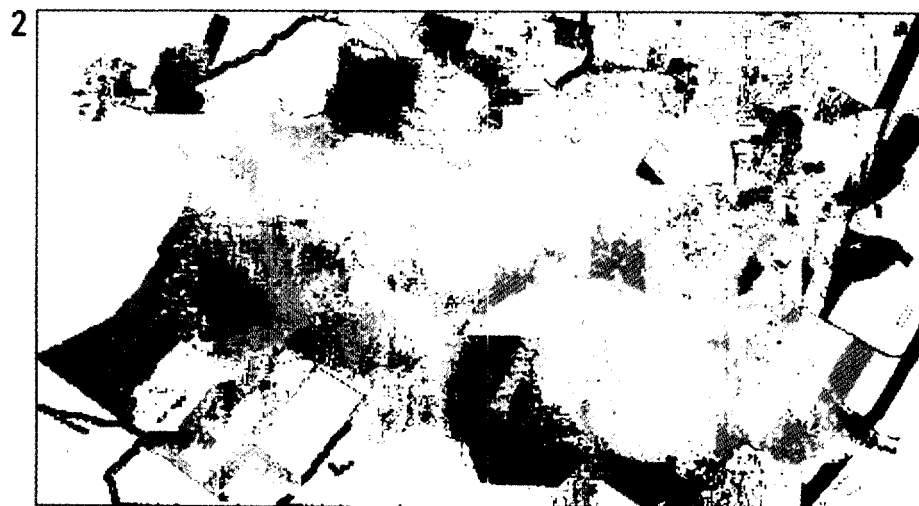
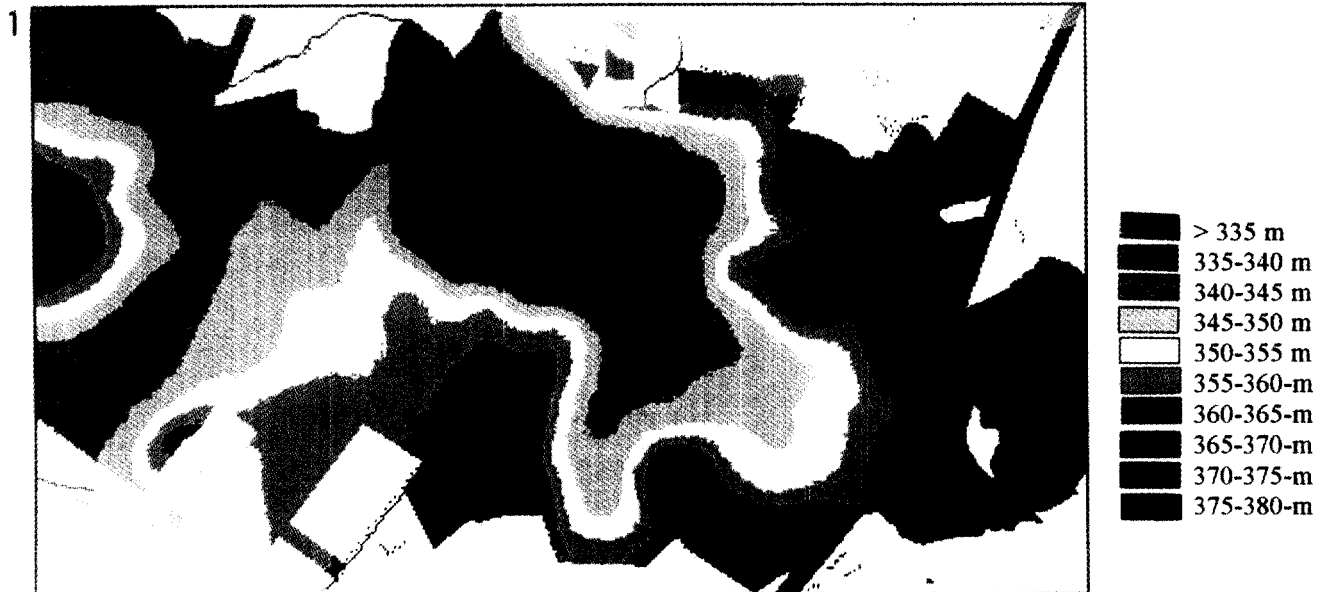


Figure 7. Du paysage à la carte (commune de G.)

1. carte des altitudes
2. carte des combinaisons de thèmes vus (printemps-été) : combinaisons les moins fréquentes
3. carte des combinaisons de thèmes vus (printemps-été) : combinaisons les plus fréquentes