

Modélisation de la gestion territoriale des cultures dans les exploitations agricoles (cas de la grande culture)*

José Barrio

En 1992, la politique agricole communautaire (PAC) s'est orientée vers une régulation de la production agricole dans le cadre de son adaptation aux contraintes du commerce international. La politique de « gel des terres » s'est alors traduite par la mise en jachère de surfaces en COP (céréales, oléagineux et protéagineux). Cette mesure a été considérée moins complexe à mettre en œuvre et à contrôler que l'extensification, par exemple.

En agriculture, les systèmes socio-économiques et écologiques réagissent aux décisions de politique macro-économique à une vitesse et selon une ampleur variables [2]. Il est apparu que le gel des terres provoquait des réactions immédiates dans ces systèmes, mais aussi d'autres plus établies dans le temps. Au premier abord, nous nous sommes interrogés sur ces effets des politiques dans les exploitations agricoles et dans les paysages ruraux. Par ailleurs, nous avons jugé la mise en gel comme un élément d'actualité dont l'intérêt économique et la pérennité allaient être mis en cause

par les évolutions des politiques, mais dont le questionnement scientifique présentait des caractéristiques permanentes, et dépassait la seule discipline agronomique [3].

Une analyse bibliographique du dispositif réglementaire du gel et de son historique a été effectuée (*encadré technique 1*). Elle a permis de préciser les « nouvelles questions scientifiques » dérivées de la réforme (concernant les aspects socio-économique, agronomique et environnemental), et les enjeux pour la société et pour l'aménagement du territoire. Les transformations provoquées suggèrent de nouvelles perspectives pour aborder les relations entre agriculture et territoire, et permettent d'identifier des lacunes de connaissance concernant le comportement des différents systèmes impliqués.

Le but de notre travail a été de rendre compte :

- de la localisation des différents types d'occupation du sol (dont les types de gel) dans une région de grande culture, et dans le parcellaire de ses exploitations ;
- de l'évolution de ces types et de leur distribution spatiale, en fonction des effets entraînés par les changements réglementaires sur le fonctionnement des

exploitations (changements productifs et techniques des systèmes d'exploitation).

Le résultat est, d'une part, une production de connaissances sur les effets du gel de terres (modification des systèmes de culture, répartition spatiale, etc.) et sur les facteurs déterminant sa gestion (règles) et, d'autre part, la production d'une méthode d'enquête et de prospective, couplée à une modélisation, sur la gestion territoriale des occupations du sol et en particulier du gel.

Le Vexin français (département du Val-d'Oise) est un bon terrain pour l'étude de ces réactions, notamment en raison d'une diversité modérée du milieu physique (relief, substrat) qui pouvait être couplée sans trop d'effets particuliers à une diversité des exploitations et des occupations du sol (agricoles, urbaines dans un contexte périurbain) [7]. Il faut signaler également l'abondance en exploitations concernées par le gel dans ce territoire.

L'agriculture du Vexin est influencée par cette diversité territoriale [8-13] : tailles des exploitations, parcellaires, systèmes de production, occupations du sol. Elle présente également une diversité fonctionnelle qui s'exprime dans quelques grandes orientations : « cultures de vente » (orientation dominante), « grandes cultures et lait », « grandes cultures et viande » et « grandes cultures et productions spéciales ». Cette diversité géographique et des systèmes de production est un aspect important de la constitution de notre échantillon d'exploitations agricoles. Sur le plan des données, nous avons inventorié les segmentations

J. Barrio : Institut national de la recherche agronomique, Département Systèmes agraires et développement, Inra-Sad Île-de-France, Rte de St-Cyr, 78026 Versailles Cedex, France. <jose_barrio@hotmail.com>

Tirés à part : J. Barrio

Thèmes : Système agraire ; Économie.

* Document élaboré à partir d'un travail réalisé au Département SAD (Systèmes agraires et développement) de l'Inra dans les années 1994-1999, en liaison avec un programme de modélisation sur les relations entre agriculture et territoire [1].

La réglementation progressive, plus stabilisée à partir de la campagne 1993-1994, permet une grande diversité du gel

La réglementation du gel apparaît dès le départ [4, 5] comme une contrainte nécessaire de régulation tant du point de vue économique qu'agronomique ou environnemental. Ainsi, les techniques culturales doivent-elles « respecter l'environnement et maintenir le potentiel productif des parcelles ». Cette réglementation, tout en régulant le processus de gestion, laisse une marge de liberté assez grande à partir de 1994, lors de l'entrée en vigueur du gel libre. Les aspects concernés par la réglementation à partir de la campagne agricole 1993-1994 sont les suivants :

- Délimitation d'un cadre général (aides compensatoires, exploitations, zones...).
- Précision d'aspects administratifs (rôle de la DDAF), conventions départementales (actions de promotion environnementale).

PARCELLE	TYPE* ET TAUX**	COUVERT	MODALITÉS D'ENTRETIEN
- Critères d'éligibilité	- Tournant (15 %) - Libre (20 %) - Gel maximum primé (30 %) - Durée (15 janvier au 31 août)	- Nu, spontané, implanté - Dates ; espèces, mélanges - Précautions	- Fauche - Fertilisation (dates, quantités) - Désherbants autorisés - Préparation du sol, semis (dates selon cultures) - Utilisation du couvert (dates et modalités)

* Gel tournant : le retour sur la parcelle ne se produit pas avant 5 ans ; gel libre : l'agriculteur localise librement son gel.

** Pourcentages de la campagne 1993-1994.

Dans les faits, il n'est pas toujours simple de concilier les différents objectifs de gestion, dont les agriculteurs vont privilégier notamment les aspects :

- d'ordre économique et de fonctionnement de l'exploitation ;
- et d'ordre agronomique ou contractuel dans le cadre des productions non alimentaires.

Les fonctions traditionnelles de la jachère [6] ne sont pas souvent des déterminants forts de gestion pour les agriculteurs.

Les dispositifs du gel des terres se sont caractérisés par une évolution progressive des normes proposées et des pratiques observées. Les règlements ont évolué tous les ans depuis 1992 (taux de gel, types de gel plus ou moins « tournant » ou « fixe », date d'implantation, couverts, normes de gestion), et ces dispositifs ont été adoptés différemment selon les agriculteurs, et aussi de manière plus ou moins précoce et stable. De plus, il s'est produit une déclinaison différentielle de ces normes et pratiques aux échelons départemental et local, des politiques départementales ayant été élaborées en parallèle à des programmes spécifiques (gel faunistique, opérations agri-environnementales, etc.).

du territoire existantes et utiles à notre travail [7, 10, 14-16].

L'agriculture du Vexin est cependant organisée autour de quelques caractéristiques générales concernant les successions de cultures et les modes de commercialisation, et de quelques grandes tendances : augmentation des surfaces d'exploitation et diminution du nombre de petites exploitations, régression de l'élevage, simplification des productions entraînant une uniformisation du paysage, gestion fréquemment régie par des dispositifs agri-environnementaux, diversification du revenu. La grande culture occupe 80 % de la surface agricole utile (SAU) contre 20 % de polyculture-élevage. Le quota betteravier détermine, en tant que revenu le plus stable, le fonctionnement des exploitations. L'introduction du gel des terres a donné une

certaine valeur à des parcelles médiocres, et entraîné une diversification des occupations du sol dans certaines zones.

Méthode

La recherche a nécessité l'identification de besoins particuliers de modélisation, de traitements de pré-modélisation et d'organisation des données. Le niveau d'analyse privilégié par nos recherches est la parcelle agricole, en tant qu'élément constitutif du maillage rural, et en tant qu'objet situé à l'interface de l'exploitation agricole et du territoire continu. Cette caractéristique en fait un élément central pour l'étude des occupations agricoles du sol, et donc du gel des terres [3, 17-20]. La parcelle agricole est en effet à

la fois une unité de gestion/décision et une unité de fonctionnement territorial. C'est aussi un objet complexe qui est lui-même composé d'objets plus petits (bordures, plantes, etc.), et qui est aussi constitutif d'objets englobants plus larges (écocomplexe, unité d'agropaysage, etc.). Cela nous amène à considérer une problématique fondée sur deux volets :

- l'espace continu, qui traite les relations entre la parcelle et le territoire/paysage (répartition du gel et des autres cultures dans des unités agropaysagères) ;
 - la gestion, qui aborde les relations entre la parcelle et l'exploitation agricole (facteurs déterminants et modélisation des stratégies de gestion des cultures).
- Un troisième volet agro-écologique, qui aurait abordé les niveaux parcellaire et intra-parcellaire, n'a pas pu être développé.

À la suite des recherches préliminaires sur le gel des terres, il a été possible [8, 16] de construire une classification des parcelles gelées en « types réglementaires » (nous en avons défini 22 en 1994), suivant la durée du gel et sa place dans les successions de cultures, et par extension le type de couvert. Les notions de « type réglementaire » de gel et de « trajectoire réglementaire » (suite de types réglementaires) se sont avérées nécessaires pour comprendre et modéliser le gel dans les systèmes de culture et de production des exploitations agricoles. Ces notions ne recouvrent pas uniquement le choix et l'évolution du type administratif de gel en tant que tel (libre ou tournant) mais supposent une véritable délimitation des possibilités de gestion. Leur choix devient dès lors un sujet de modélisation, et l'un des objectifs de notre travail a été d'éclaircir les règles qui président ce choix.

Afin de mettre en évidence la relation entre les formes de gestion et le fonctionnement agro-écologique de la parcelle, une procédure de reconnaissance des types réglementaires d'après leur physiologie et leur spectre radiométrique a été mise au point, et a débouché sur ce que nous avons appelé un « modèle d'interprétation spectrale » [16].

En parallèle aux procédures de classification, caractérisation et reconnaissance des types de gel, un découpage du Vexin Français en agropaysages a été effectué. Ce découpage est issu d'une combinaison de deux méthodes employant la télédétection, l'une visuelle et l'autre assistée par ordinateur [21]. Le résultat a été utilisé pour l'évaluation ou la caractérisation de zones et d'objets (parcelles, exploitations agricoles, etc.), ainsi que pour l'échantillonnage de ces objets. Il sert aussi à l'étude fine de la distribution des occupations agricoles du sol par leur mise en relation avec les critères du découpage (relief, parcellaire, bois, habitations, etc.).

Cette approche par le territoire montre des localisations privilégiées selon des catégories du territoire. Sans entrer dans le détail, disons que les parcelles gelées ont certaines localisations préférentielles :
 – zones mauvaises pour la culture en raison du relief, de la qualité du sol, de la géométrie des parcelles ;
 – agropaysages de coteaux, lisières ou clairières de bois, pieds de buttes. Le gel est plus fixe près des bois, et loin des plateaux.

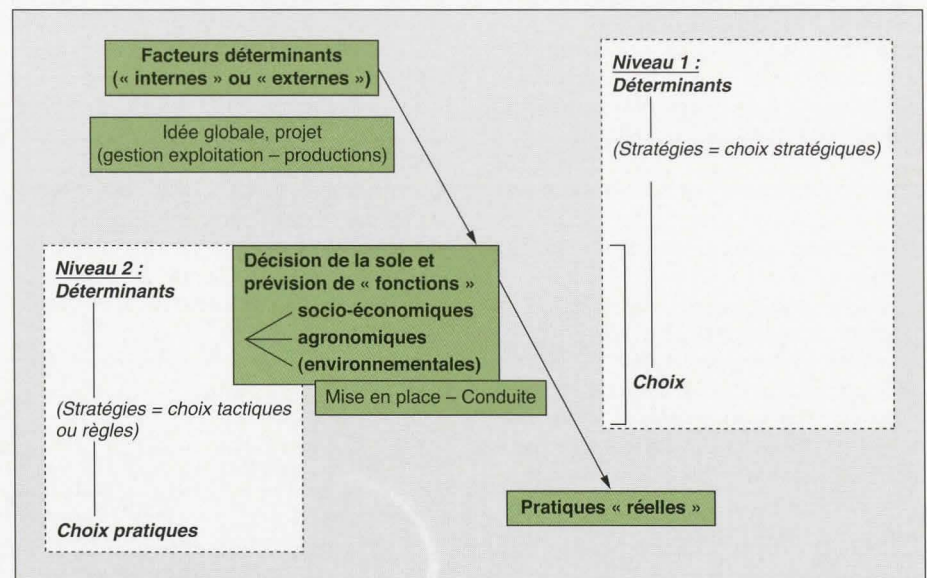
Mais pour comprendre la logique des choix faits par les agriculteurs, il a fallu

développer l'analyse au niveau des exploitations. La description de la chaîne de décision qui affecte la gestion des systèmes techniques (figure 1) a permis de préciser la relation qui rattache l'exploitation à la parcelle, en passant par la sole des cultures [22, 23]. Les décisions ou choix concernent plusieurs niveaux interdépendants : stratégique, tactique et pratique. Des exemples de choix sont : une succession, un assolement et une localisation, une conduite, une commercialisation..., une pratique quelconque.

La considération d'un « système de sole », comme, par exemple, celui de la jachère [6], se fait dans un contexte de systèmes de culture et en relation avec le système d'exploitation et son parcellaire. Ce contexte sert à préciser les stratégies de gestion des soles, considérées en tant que produits des déterminants qui pèsent sur les exploitations. Ce point de vue appliqué à la gestion du gel a guidé un échantillonnage fondé sur la diversité des facteurs déterminants des choix des agriculteurs.

La procédure d'échantillonnage se divise en deux phases. Dans la première, 69 exploitations ont été sélectionnées parmi 310 exploitations connues par enquête indirecte (le territoire en compte

environ 400), sur la base des paramètres élémentaires de leur système de production et de leur taille. Une enquête approfondie a permis de construire une typologie de ces exploitations d'après leur fonctionnement (surface, production, quotas, main-d'œuvre, diversification, etc.) [9]. Nous avons ensuite analysé les quelques variables structurelles considérées comme déterminants primaires de la gestion du gel (comme la taille et la qualité globale du parcellaire ou le poids concurrentiel des betteraves ou de l'élevage), ce qui a permis un tri des exploitations pour la seconde phase de l'échantillonnage (30 exploitations parmi les 69). Finalement, six situations principales ressortent d'une combinaison des modalités des deux variables principales : le parcellaire des exploitations (globalement « bon », « moyen » ou « mauvais »), et la présence ou l'absence de la betterave, qui a une incidence particulière sur les choix de gel. Une étude des exploitations classées dans les six situations permet de préciser le premier niveau des choix (stratégique) : type réglementaire de gel et intégration dans les successions de cultures. Les choix concrets de localisation, de couvert et de conduite sont déterminés par ce premier niveau de choix.



On pourrait différencier, dans le niveau 2, un sous-niveau pour la « mise en place » (type réglementaire de gel, localisation dans un système de culture, localisation dans une parcelle), et un deuxième sous-niveau pour la « conduite » (couvert, itinéraire technique).

Figure 1. Liaisons à deux niveaux entre facteurs déterminants et choix, lors de la prise de décisions ou de l'élaboration de raisonnements stratégiques.

Figure 1. Two-level relationships between decisive factors and choices at decision-making time or when developing strategic approaches.

Les données d'une première enquête réalisée en 1994 sur les 30 exploitations ont permis de préciser les pratiques de gel à une date clé de l'évolution des stratégies de gestion.

La seconde enquête, réalisée en 1996 sur le même échantillon, répond à des objectifs d'acquisition et d'actualisation des données. Elle a permis d'intégrer avec précision à la fois sur les plans spatial et temporel, les variables déterminantes, les raisonnements des agriculteurs, les règles et tactiques, et plus globalement les stratégies, et ainsi de préciser les périodes de gestion que l'on appelle périodes-tactiques [22, 23]. La gestion de l'information était structurée en six points :

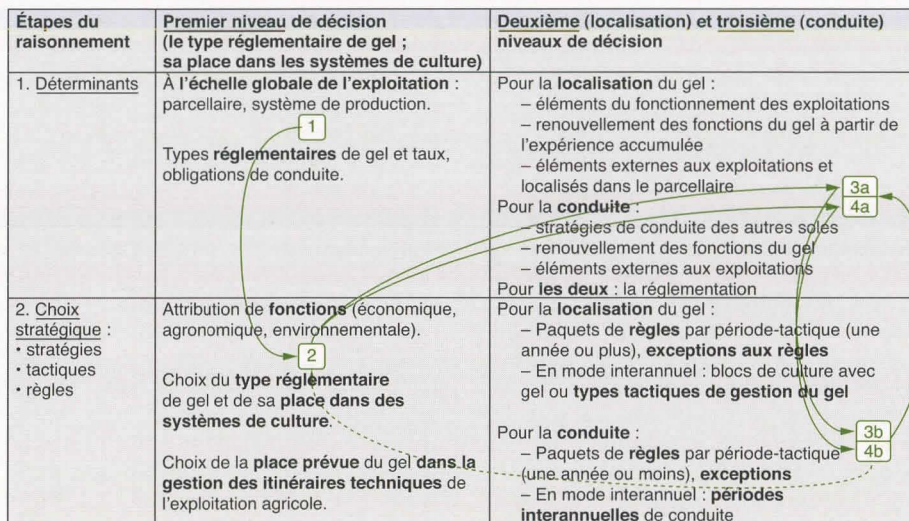
- la structure et l'histoire de l'exploitation et des productions ;
- le parcellaire, l'évaluation et la gestion des parcelles ;
- les successions à partir de la campagne 1991-1992 ;
- les couverts et les pratiques sur le gel ;
- des questions ouvertes sur la gestion du gel à plusieurs niveaux (l'exploitation, le système de culture, la parcelle) ;
- une analyse des raisonnements de localisation et de conduite par confrontation avec les pratiques réelles, et une analyse de leur évolution.

Des analyses monographiques (par exploitation agricole), avant et après enquête, ont concerné surtout les facteurs jugés utiles pour la modélisation de la gestion du gel : variables structurelles, successions et systèmes de cultures, et type stratégique de gestion du gel.

L'étude des règles de localisation et de conduite du gel dans une exploitation donnée implique trois étapes d'analyse de la chaîne « déterminants ⇒ stratégies (tactiques) ⇒ choix » [8] :

- analyse des stratégies et tactiques, en fonction des pratiques observées ;
- analyse globale des enquêtes et éventuelle restitution aux agriculteurs ;
- modèle explicatif des choix de gestion du gel en fonction des facteurs déterminants et des stratégies et tactiques d'agriculteurs (figure 2).

Enfin, les traitements ont nécessité une organisation et une informatisation des données : définition d'une structure théorique pour la base de données, établissement de listes de variables avec leurs niveaux sémantiques et obtention des données manquantes. Le résultat est une base de données à la fois « exploitations » (trois niveaux : 310, 69, 30) et « parcelles » (866 parcelles correspondant aux 30 exploitations).



1 2 3a 3b 4a 4b Phases de modélisation, issues de la combinaison entre les étapes du raisonnement et les niveaux de décision

Figure 2. Schéma explicatif des choix de gestion du gel en fonction des facteurs déterminants et des stratégies et tactiques des agriculteurs.

Figure 2. Diagram explaining set-aside management choices in relation to determining factors and to farmers' strategies and tactics.

Ces ensembles de traitements et d'observations nous ont permis de disposer des informations nécessaires :

- au développement et à la validation d'un modèle mathématique de nature probabiliste qui prédit les successions de cultures en fonction des caractéristiques des parcelles et pour un type d'exploitation donné ;
- à l'inventaire des observations d'enquête structurées en règles de type « déterminant ⇒ stratégie (tactique) ⇒ choix ». C'est la confrontation et la complémentarité des règles issues du modèle avec celles issues de l'enquête, qui permettra d'expliquer les écarts entre le modèle et l'observation, et de présenter l'ensemble

de règles en jeu pour la localisation des successions de cultures dans les parcelles.

Résultats

Les types stratégiques de gestion du gel

Le modèle général de localisation du gel en grande culture, qui a été validé sur d'autres territoires [24], distingue trois modalités de choix stratégique de gestion du gel, ou types de gestion du gel (figure 3) :

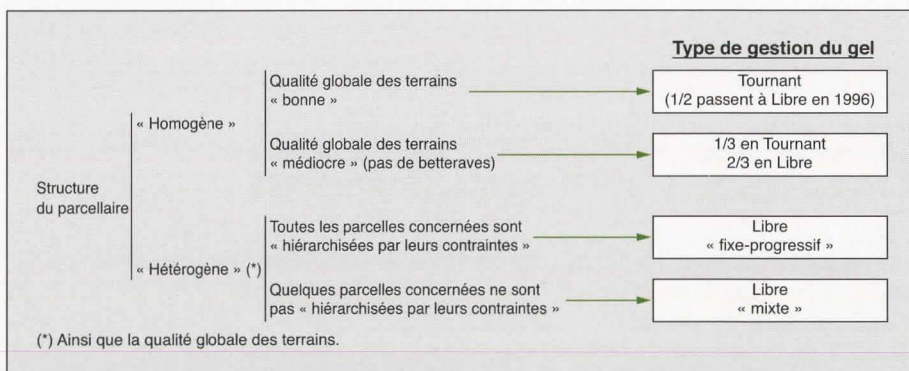


Figure 3. Modèle général de la localisation du gel.

Figure 3. General model of the set-aside localization.

• Libre pratiqué en « fixe-progressif » : gel fixé ou « progressif » (c'est-à-dire, présent ou absent en fonction du taux réglementaire de l'année) ; trajectoire réglementaire des quatre campagnes agricoles 1992-1993 à 1995-1996 « TLLL » (T = Tournant ; L = Libre) ou « TTLL » ; localisé selon le niveau de contraintes des parcelles, avec élimination et déplacement de cultures.

• Tournant : trajectoire réglementaire « TTTT » ; localisé chaque année selon les assolements (parfois ajusté à des rotations plus élaborées), à la place d'une tête d'assolement, avec élimination de cultures peu rentables comme le maïs, tournesol, colza, orge, blé (on vérifie aussi certains déplacements de cultures).

• Libre pratiqué en « mixte » : gel fixé, « progressif » ou tournant ; trajectoire réglementaire « TLLL » ou « TTLL » ; localisé selon qu'il s'agit d'une gestion en fixe-progressif ou en tournant.

Il a été montré [8] qu'à une échelle régionale, on peut assigner à chaque type de gestion du gel une série de blocs de culture avec gel, localisés selon des règles plus ou moins définies. Ces règles et leurs marges d'erreur seront précisées au cours de la modélisation.

Les composantes du modèle de la localisation des cultures et leur pouvoir discriminant

Le modèle proposé discrimine l'utilisation des parcelles agricoles et la localisation du gel, en fonction des types d'exploitation et des caractéristiques de leurs parcelles. Le modèle s'alimente donc de trois composantes [8] (*encadré technique 2*) : le parcellaire et les parcelles, les successions de cultures et les types d'exploitation agricole que nous construisons en combinant les types de gestion du gel et les types de fonctionnement des exploitations. On a choisi de centrer la construction de ce « modèle discriminant » sur les successions de cultures parce que le niveau de détail des assolements impose de sérieuses difficultés en raison de sa complexité [25-28].

Une fois précisées les composantes du modèle, il est devenu possible d'analyser le pouvoir discriminant de l'ensemble des variables impliquées [8]. Les variables parcellaires qui discriminent le mieux les successions sont les variables de qualité

Encadré technique 2

Les composantes du modèle discriminant

On a considéré la parcelle élémentaire comme un morceau de terrain continu soumis à une gestion homogène pendant la période étudiée (une seule culture par parcelle élémentaire et par an). Une fois délimitées ces parcelles, nous avons fait une analyse approfondie des **variables « parcellaires »** discriminantes ou explicatives des successions de cultures, c'est-à-dire les variables :

- de qualité (agropaysagère, du sol, voisinage d'un bois) ;
- de géométrie (superficie, forme) ;

- de distance (éloignement du siège, appartenance à un bloc de parcelles). Nous avons choisi une homogénéisation de la distribution de ces variables au moyen de leur découpage en un nombre réduit de modalités de population égale, ce qui a permis un équilibrage de leur poids pour la modélisation malgré une perte en précision. L'étude des relations entre variables (χ^2 de Pearson) a montré que les variables qui apportaient l'information la plus originale étaient les variables de distance (éloignement du siège d'exploitation, structure en blocs de parcelles), puis celles de géométrie (taille, forme).

Les **successions de cultures** (variable à expliquer) ont été obtenues au moyen d'une classification raisonnée « par décalage des années », dans un canevas typologique défini au préalable (13 grands types de successions), ce qui a permis d'identifier des blocs de culture stables [27]. Ce classement a été obtenu à partir de l'inventaire complet des 524 successions observées sur six ans dans un échantillon de 807 parcelles élémentaires, et issues de la combinaison de 18 occupations du sol. Un choix a été porté sur la différenciation des successions avec gel, suite à la distinction de 6 « types tactiques de gestion du gel » comme étape préalable [8]. Pour la modélisation, nous avons retenu un regroupement en 7 types, dont 2 avec gel : (Succ 7) alternance de cultures hiver-printemps (délai de retour de la betterave ≥ 6 ans) ; (Succ 6) idem (DR de la betterave de 3 ou 4 ans) ; (Succ 5) monoculture de maïs ; (Succ 4) cultures d'hiver dominantes ou exclusives ; (Succ 3) prairie permanente ; (Succ 2) gel tournant ou « progressif » (1 ou 2 ans) sur une succession de type 7, 6, 5 ou 4 ; (Succ 1) gel fixé (2 à 4 ans) sur une succession de type 6, 5 ou 4. Le classement des parcelles dans cette typologie a été validé à l'aide d'une analyse factorielle discriminante (AFD) sur les cultures présentes.

Le **type d'exploitation agricole** (variable explicative) est issu de la combinaison de trois grands types de fonctionnement des exploitations avec les trois types de gestion du gel que nous avons vu. Les types de fonctionnement, construits en tenant compte du système de production, sont susceptibles de mieux expliquer les successions sans gel, tandis que les types de gestion du gel, plus dépendants de la structure du parcellaire, les successions avec gel. Les trois types de fonctionnement sont obtenus par regroupement, au moyen d'une double analyse multivariée (AFCM + CAH ; ACP), de neuf types appartenant à la typologie de fonctionnement existante [9, 11]. Le nombre a été réduit à trois en raison des exigences de taille de notre échantillon de 30 exploitations :

- diversification du travail (élevage, entreprise, activité salariée) ;
- grandes cultures diversifiées (vente à la ferme, tourisme, élevage) ;
- grandes cultures spécialisées et productions particulières (contrats, valorisation des bâtiments et du matériel).

Quant au classement des exploitations dans les trois types de gestion du gel, il a été validé au moyen d'une AFD des six types tactiques de gestion du gel. Sur les neuf types d'exploitation agricole finalement possibles (3×3) nous n'en avons retenu que cinq, issus de la combinaison du type de gestion du gel le plus représenté (gel libre pratiqué en « fixe-progressif ») avec les trois types de fonctionnement, plus les deux autres types de gestion du gel non décomposés par types de fonctionnement. Nous privilégions ainsi la modélisation des successions avec gel, sauf pour les exploitations au type de gestion du gel le plus représenté.

(agropaysagère ou en termes globaux, qualité des terres à dire d'agriculteur, qualité du sol), puis les variables de géométrie (surtout la taille de la parcelle), et finalement les variables de distance (surtout l'éloignement au siège d'exploitation). Celles qui discriminent le mieux les types d'exploitation agricole sont les variables de qualité (soit en termes globaux, soit du sol), puis celles de distance (surtout l'éloignement au siège d'exploitation). Les caractéristiques des parcelles sont statistiquement liées aux types d'exploitation, ce qui confirme que parcellaires et parcelles ont un lien de fait avec les choix stratégiques et les évolutions historiques qui sont en rapport avec l'assignation d'une exploitation à un type. Nous avons finalement trouvé que le type d'exploitation agricole est plus déterminant que les caractéristiques parcellaires dans la localisation des types de succession de cultures [8]. Cette affirmation, probablement généralisable aux autres régions de grandes cultures, signifie que lorsqu'on est en présence de parcelles dont le potentiel est différent mais qui appartiennent à un même type d'exploitation, deux parcelles de caractéristiques différentes auront tendance à porter des successions semblables si leur position relative dans chacun des parcellaires est équivalente.

Une conclusion de cette analyse est l'intérêt de la prise en compte de la variable « type d'exploitation agricole » dans le modèle. Cela permet de situer les règles associées au modèle dans un cadre à la fois physique (le parcellaire contenu dans les types de gestion du gel) et fonctionnel (le système de production contenu dans les types de fonctionnement des exploitations).

Le modèle mathématique par type d'exploitation agricole

Comme on l'a dit, la méthode de modélisation repose sur le niveau des systèmes de culture. Nous nous intéressons non seulement à leur localisation, mais aussi à leur construction dans le temps. Les hypothèses sur l'existence de règles identifiables, sur le rôle conjoint du fonctionnement des exploitations, de leur parcellaire et des caractéristiques des parcelles, forment un tout cohérent dans la démarche de modélisation [29, 30].

La modélisation mathématique (discriminante) est une étape intermédiaire

dans la recherche des règles de décision et dans leur formalisation. L'analyse discriminante [31-33] et la construction du modèle suivant une procédure d'approches successives, afin d'optimiser l'ajustement de l'outil et de sonder ses résultats techniques, sont précisément décrites par Barrio [8].

Le pouvoir prédictif du modèle discriminant amélioré par rapport à de précédentes tentatives [29] est finalement de 48 % des parcelles directement bien classées par le modèle. Par type d'exploitation agricole, ce pouvoir prédictif est le suivant (TG = type de gestion du gel ; TF = type de fonctionnement de l'exploitation ; cf. encadré technique 2) :

1. TG libre pratiqué en « fixe-progressif », TF diversification du travail : 47 %.

2. TG libre pratiqué en « fixe-progressif », TF grandes cultures diversifiées : 54 %.

3. TG libre pratiqué en « fixe-progressif », TF grandes cultures spécialisées et productions particulières : 59 %.

4. TG libre pratiqué en « mixte » (tous TF confondus) : 41 %.

5. TG tournant (tous TF confondus) : 41 %.

La procédure de validation est inspirée de Pierret [29]. Elle permet de discuter ce qui doit être interprété comme un « écart » fort au modèle (à ses règles) ou comme une « souplesse d'utilisation » (concurrence entre règles). Cela est fait en précisant la nature des différences « réel-prédit », puis en utilisant la relation probabiliste fournie par le modèle entre chaque parcelle et chacune des différentes successions.

Pour cela, nous pouvons distinguer deux grandes classes de successions (les prairies n'étant pas en nombre suffisant), l'une agrégée autour des successions avec gel, et l'autre autour des successions en alternance hiver-printemps (avec ou sans betteraves). Un modèle très simplifié avec ces deux grandes classes prédirait correctement 78 % des parcelles de l'échantillon. Leur utilisation permet d'étudier la nature des erreurs de classement, c'est-à-dire de distinguer les confusions des types de successions réels avec des types assez proches (confusions « intra-classes ») de celles avec des types plus éloignés (« inter-classes »). Cette analyse a été faite par successions, mais aussi par type d'exploitation agricole. L'existence de résidus inter-classes, notamment, confirme toujours une certaine polyvalence du parcellaire, où des choix fon-

ctionnels prennent le pas sur les caractéristiques des parcelles. Ensuite, nous précisons les parcelles « vraiment » mal ou bien classées, lorsque les probabilités assignées aux différentes successions sont suffisamment significatives.

Comme résultat, 52 % des parcelles sont plus ou moins mal classées, mais seulement 9 % du total (73 parcelles sur 807) sont complètement non prévues par le modèle. De même, seulement 35 % sont complètement bien classées. Les types de successions qui présentent entre eux les plus fortes erreurs de classement sont les successions avec gel (notamment tournant), et les parcelles où alternent les cultures d'hiver et de printemps (sans betteraves).

Identification des règles de gestion et de localisation des successions

Nous proposons une méthode de formalisation des règles issues du modèle discriminant (règles de localisation des successions dans les parcelles des différents types d'exploitation agricole). Cette méthode repose sur le protocole d'agrégation autour de pôles proposé par Perrot [34], mais elle module les coefficients au moyen des « probabilités » des classements obtenues lors de la modélisation discriminante. Dans notre cas, il s'agit de coefficients de correspondance des parcelles aux successions (équivalents aux coefficients de ressemblance entre exploitations et types d'exploitation de Perrot : nous adaptons la terminologie car une parcelle ne peut pas « ressembler » à une succession).

Cette première batterie de règles consiste à assigner à une succession, et pour un type d'exploitation agricole donné, une série de modalités des variables des parcelles, rangées selon une hiérarchie pondérée. Au sein d'un type d'exploitation agricole, les types de succession sont en concurrence plus ou moins forte sur les parcelles selon que leurs règles de localisation se ressemblent plus ou moins.

Un exemple de règle, pour les exploitations du type « 1 » d'exploitation agricole (gestion du gel en libre pratiqué en fixe-progressif x fonctionnement fondé sur une diversification du travail), est celle qui concerne la localisation des successions avec gel long (Succ1). Ces successions (figure 4) occupent plutôt des parcelles de mauvaise qualité, forte-

ment éloignées, situées en blocs de deux ou trois parcelles, avec accessoirement une faible surface et une forme triangulaire ou polygonale. Les successions avec gel court (Succ2) sont plutôt dans des parcelles de qualité mauvaise à moyenne, isolées ou situées en blocs de deux ou trois, avec un éloignement variable, et accessoirement une faible surface et une forme triangulaire-polygonale à irrégulière. Les successions avec betterave (Succ7) sont plutôt dans des parcelles de bonne qualité, éventuellement proches d'un bois, regroupées en blocs de plus

de trois, et accessoirement moyennement éloignées, grandes, et à forme régulière.

La suite des analyses vise à rendre compte de l'ensemble des règles appliquées à la gestion et la localisation des successions : à la fois celles du modèle discriminant et celles provenant des analyses d'enquêtes. Pour cela, nous avons sélectionné trois exploitations qui fonctionnent comme des archétypes de la combinaison des trois types de gestion du gel avec le type de fonctionnement le plus courant (« diversification du travail »).

Les résultats du modèle discriminant ont permis d'identifier, pour les trois exploitations, les groupes de parcelles plus ou moins bien classées, et de préciser ainsi les indéterminations et les écarts aux règles du modèle discriminant. Des tableaux avec les parcelles rangées d'après cette qualité de leur classement ont été utilisés pour relier les successions réellement mises sur les parcelles à l'ensemble de règles et exceptions aux règles, qu'il s'agisse de revenir sur celles du modèle discriminant, ou de préciser d'autres règles ou exceptions trouvées au moyen

La règle est produite par le calcul des profils de modalités de variables (qualitatives ou rendues telles) qui maximisent la correspondance d'une parcelle à un type de succession, tout en diminuant la correspondance aux autres types.

Dans le cas du type « Succ 1 », l'étude de cette distribution des variables parcellaires discriminantes en termes de probabilités d'apparition des différentes modalités, permet de dégager les règles de localisation de ce type de succession issues de la modélisation discriminante. Les graphiques sont issus des résultats du modèle discriminant effectué pour le type d'exploitation « 1 » :

– Type de gestion du gel : libre fixe-progressif

– Type de fonctionnement : diversification du travail (cultures de vente exclusives avec ou sans betteraves ; 1 UTA)

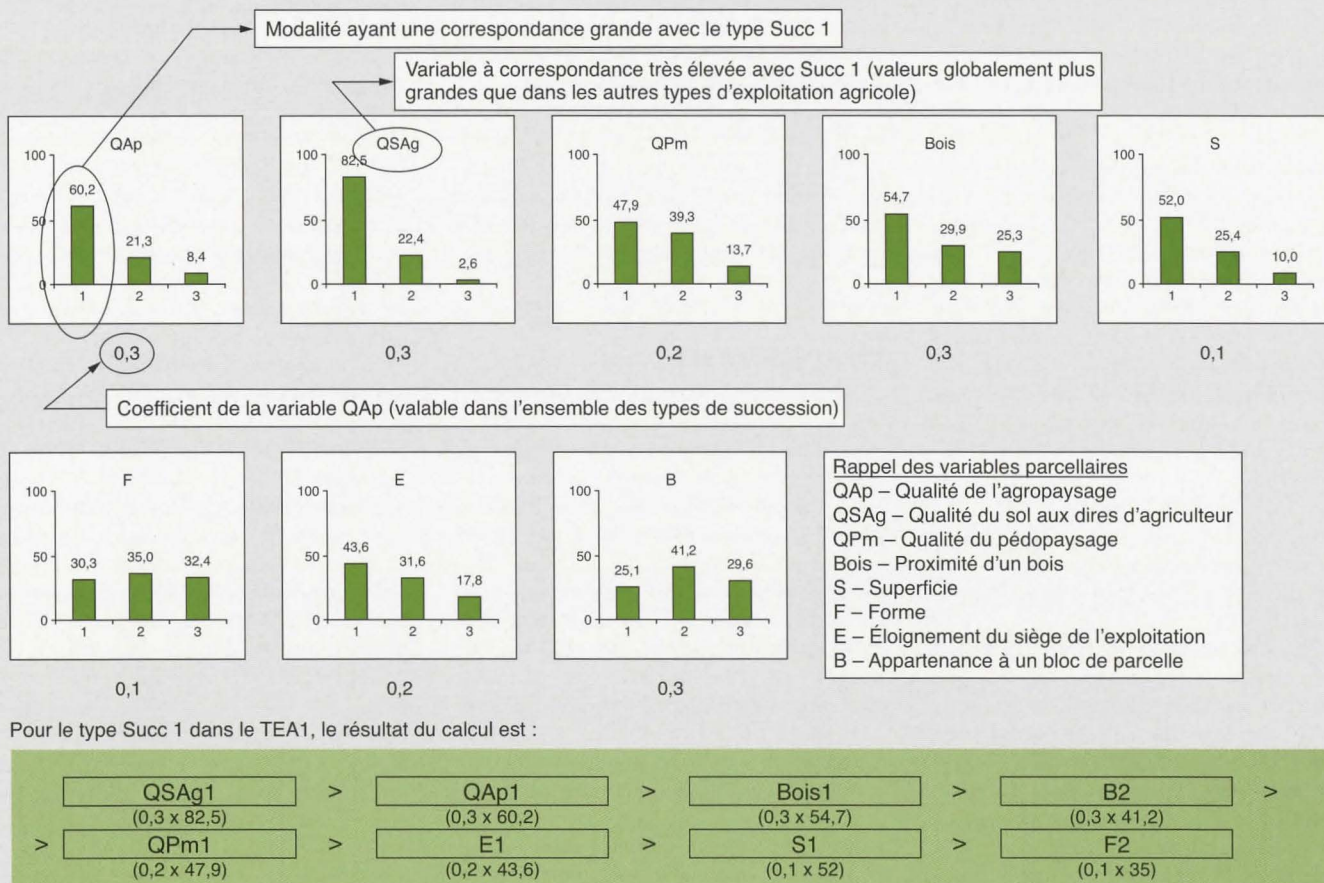


Figure 4. Règles issues de l'application du modèle discriminant (exploitations du type « 1 » d'exploitation agricole, successions du type Succ 1).

Figure 4. Rules from the discriminant model (type "1" farms, Succ 1 type crop successions).

de l'analyse des enquêtes. Cette analyse d'enquête résultait en un inventaire d'un ensemble de règles tenant compte du système d'exploitation, et que l'on reliait aux différents systèmes de culture et parcelles, pour une période définie [22, 35-37].

Par exemple, les règles trouvées par l'enquête de l'exploitation-archétype du type « 1 » d'exploitation agricole, concernant la construction et la localisation des systèmes de culture sont :

– l'hétérogénéité du territoire d'exploitation entraîne une diversification des grandes cultures ;

– le gel provoque une disparition du tournesol et de l'orge de printemps, et une diminution des cultures d'hiver ;

– pour alléger le travail et réduire les charges, on choisit un gel ajusté au taux, rémunéré et localisé sur les mauvaises terres et les petites parcelles (gel de type « libre-progressif ») ;

– pour des raisons agronomiques, le gel est mis entre deux blés, sauf exception ;

– comme la quantité en colza est suffisante, on ne s'intéresse pas au gel industriel.

Cette deuxième batterie de règles explique donc les souplesses (indéterminations) et les écarts identifiés par rapport aux règles du modèle discriminant. Ces règles peuvent être précisées et analysées dans le temps (périodes-tactiques) pour les successions les mieux connues (avec gel). Ainsi, l'analyse au niveau des périodes-tactiques pour l'exploitation citée produit les règles suivantes :

– pendant toute la période (1993 à 1996), geler les mauvaises parcelles, proches des bois, et quelques-unes de moyenne qualité et de petite taille ;

– au début (1993 et 1994) faire peu de gel tout en raisonnant sa localisation ;

– ensuite (1995 et 1996) simplifier la localisation ;

– pendant toute la période (1993 à 1996), ajuster le gel au taux.

Pour ces successions avec gel, une analyse des fréquences des différents facteurs déterminants a permis d'identifier le rapport entre les règles et leurs facteurs déterminants. Cette étude approfondie des facteurs déterminants concerne notamment la localisation spatio-temporelle du gel, mais aussi le choix stratégique au niveau de l'exploitation et de la conduite, tout cela sur trois plans (figure 2) :

– stratégie au niveau de l'exploitation ;
– renouvellement des fonctions assignées au gel ;

– déterminants externes aux exploitations et ponctuels (interdits ou accords de gestion).

Cette dernière étude a été généralisée aux types d'exploitation agricole, ce qui a permis de situer les archétypes par rapport à leur type d'exploitation agricole.

En synthèse, nous différencions :

• Les règles fortes, qui sont par exemple les choix stratégiques de gestion du gel, mais plus généralement les règles applicables à un type d'exploitation. Ces règles nous permettent de comprendre ou d'expliquer sommairement les choix pratiques sous la forme de « tendances ».

• Les règles particulières aux exploitations (ou les décisions exceptionnelles qui peuvent apparaître dans les analyses au niveau parcellaire) qui sont des règles sans valeur typologique.

• Les décisions tactiques qui sont des pseudo-règles structurées dans le temps, au cours des périodes-tactiques. Ces règles, combinées aux règles antérieures, permettent des analyses poussées au niveau de la parcelle, pour expliquer la localisation précise des successions.

Les aspects particuliers sont plus ou moins présents et entremêlés aux aspects généraux (typologiques) dans les processus de décision. Seule une analyse fine permet d'en faire la part au niveau de la gestion d'une parcelle agricole.

Discussion

Sur le plan méthodologique, il apparaît nécessaire de reconnaître les spécificités réglementaires, fonctionnelles et socio-économiques du gel des terres. La complexité fonctionnelle et technique du gel en tant qu'objet de modélisation est intimement liée à l'aspect réglementaire qui en établit un cadre. Contrairement à la jachère traditionnelle, le gel est une imposition, et comme telle son rôle n'est pas égal à celui des autres cultures. Les spécificités du gel nous obligent à adapter les méthodes et les modèles généralement utilisés pour les autres occupations du sol.

L'étude fine de la distribution spatiale du gel est limitée par les possibilités de reconnaissance des types de gel, lesquels sont soumis à des variations importantes. Pour une bonne reconnaissance, il est souhaitable de perfectionner le modèle d'interprétation spectrale, mais surtout d'adapter la méthode de classification des images satellitaires au problème posé.

Le gel et les autres occupations agricoles pourraient, dans une extension de ces travaux, être mis en relation avec des critères du découpage de l'espace en agropaysages [8].

Concernant les relations entre le système d'exploitation et la parcelle, sur le plan méthodologique, il faut signaler combien il est important de tenir compte des parcelles d'exploitation lors de leur échantillonnage, et non pas seulement de paramètres plus classiques comme les systèmes de production et les surfaces d'exploitation.

Nous avons évoqué les difficultés méthodologiques rencontrées pour modéliser la localisation des productions une année donnée (assolements). Ces difficultés viennent de l'imprécision des relations entre les types d'exploitations ou les types de successions retenus par l'agriculteur et le choix concret des assolements. La méconnaissance de la culture précédente ajoute à la difficulté. Le développement de méthodes permettant une approche de la dimension annuelle est donc un enjeu de modélisation.

Il est possible aussi de préciser l'étude des successions (*encadré technique 2*). Par exemple, une procédure de « synthèse » des successions par exploitation agricole a permis de mieux préciser les successions à l'intérieur des grands types de succession ou d'exploitation agricole : diversité, suites caractéristiques de cultures, relations avec les catégories de terrains, etc.

Sur les typologies d'exploitation et le développement des modèles, trois idées peuvent être signalées (*encadré technique 2*) :

– l'échantillonnage des exploitations a privilégié la diversité de la gestion du gel et du fonctionnement des exploitations ;

– l'étude monographique des exploitations en 1994 et en 1996 a été utile pour comprendre la dynamique des périodes-tactiques et leurs règles de décision ;

– la combinaison type de gestion x type de fonctionnement, incomplète en raison de la taille réduite de l'échantillon, a fait que le modèle est plus performant pour les 20 exploitations agricoles du type de gestion du gel en fixe-progressif, où cette combinaison était possible.

Il faut rappeler enfin la difficulté de traduire dans le temps la spécificité des mécanismes en jeu dans la gestion du gel, une fois que l'on veut préciser sous forme de règles le niveau stratégique du « modèle général » de gestion. La restitu-

tion des résultats aux agriculteurs devrait permettre, non seulement de valider les monographies d'exploitation, mais aussi de confirmer la pertinence des « périodes-tactiques » avec leurs ébauches de règles, au moyen d'une reconstitution dans le temps des successions avec gel.

Nous avons levé certaines des limites de la modélisation cités par Pierret [29]. C'est le cas par exemple :

- des effectifs de parcelles trop faibles pour certains modèles (types d'exploitation agricole), qui expliquaient leur trop faible performance sur des nouvelles parcelles n'ayant pas participé à la construction des modèles [33] ;
- des échantillonnages et parcellaires d'exploitations exclusivement intra-communales ;
- des limites de parcelles établies sur une seule année ;
- de la non-prise en compte du parcellaire dans l'élaboration des types d'exploitation ;
- de la nécessité de prise en compte globale des probabilités des classements et des chances d'erreur ;
- du besoin de cartographie des résultats du modèle [8] (occupation réelle, qualité du classement, nature des erreurs de classement, probabilités, etc.), avec localisation des exploitations et de certaines variables explicatives.

Il n'en est pas encore de même pour d'autres limites concernant la partie cartographique et l'intégration des résultats dans un Système d'information géographique (SIG). Nous confirmons l'intérêt du développement d'interfaces entre modèles et cartographie. Il faudrait pouvoir consulter efficacement, non seulement les variables explicatives et les résultats bruts de la modélisation, mais aussi les fonctions discriminantes, les probabilités, la nature des classements, et (au-delà) les différentes règles et pratiques identifiées. Les recherches sur l'espace continu, comme par exemple l'étude de la distribution spatiale des différents types de structures et fonctionnement des exploitations agricoles à partir de leurs paramètres géographiques (taille, type de parcellaire) ou de leurs systèmes de production, seraient aussi un prolongement de ces développements cartographiques.

Conclusion

La présente étude développe un dispositif de modélisation de la relation entre

Summary

Modelling of territorial crop management by farms (the case of cash cropping)

J. Barrio

This work aims at understanding and modelling the management and location of fallows (set-aside) among other types of agricultural land use in the Vexin Français ("départements" of Val-d'Oise and Yvelines), an area of large-scale farming. Our study was conducted within the context of the new functions of agriculture, more specifically that of the management of rural and periurban spaces, and of the regulation of such spaces, in particular the common agricultural policy regulations (Box 1). It is part of a research program aimed at modelling the relationships between agriculture and the territory. Our analysis was focused on the field parcel level which is approached from two viewpoints. In the first one the parcel was considered as a portion of a continuous geographical space. The area was subdivided into agricultural landscape units, and each unit was characterized. We showed that set-aside was distributed preferentially in certain agricultural landscapes, but the analysis did not enable us to grasp the management logic underpinning this distribution. This is investigated in the second viewpoint on the parcel: a field parcel is an element of both the farm area and the farm production system. Surveys carried out in 1994 and 1996 on a sample of 30 farms (866 parcels) allowed us to analyse the decision processes related to set-aside land management and to parcel use. In other words, the decision processes consist of different levels of choices (Figure 1, Figure 2) such as: strategies, tactics and practices. We introduced the notion of tactical periods, in order to acknowledge the way choices are organized in time. A mathematical model, viz. Fisher's discriminant analysis, was used and enabled us to determine the rules of crop succession location, with and without set-aside, taking into account parcel characteristics and farming types (functioning, field pattern, set aside land management, Figure 3, Box 2). The information collected in the surveys was associated with the model. This enabled us to complete the rules which dictate the development and location of the crop systems.

Certain rules characterize the farming types. For example, one notices that in the type of farm occurring most frequently (Figure 4), crop successions with long term set-aside are located in poor quality parcels, remote places, and inside blocks of two or three parcels. Crop successions with short term set-aside are found in medium - to low - quality parcels, isolated places or located inside blocks of two or three parcels, at variable distances from the farms. Each individual farm, however, also retains its own management rules.

Our research represents a step towards the design of tools to help decision making in farming activities linked to rural space organization. These tools are obtained through functional and spatial approaches. This initiative takes a special interest with the increasing development within the framework of the European Union common agricultural policy of the notion of multifunctionality in agriculture.

Cahiers Agricultures 2002 ; 12 : 403-13.

l'activité agricole et l'espace continu (territoire/paysage) et discontinu (parcellaire d'exploitation). Pour cela, nous nous sommes appuyés sur une analyse de la diversité de la gestion et de la localisation des occupations du sol dans les exploitations agricoles, à l'échelle de la parcelle agricole. Nous avons particularisé nos analyses sur la jachère-gel définie par la PAC à partir de 1992-1993. À partir des résultats obtenus, nous pouvons retirer les conclusions suivantes :

- Une approche par le territoire montre que la distribution des systèmes de culture dépend des catégories de territoire, mais

la compréhension des logiques de gestion nécessite une analyse au niveau des exploitations agricoles.

- Pour chaque type d'exploitation, on peut définir des blocs ou systèmes de culture et distinguer des règles de gestion. Dans la discrimination des systèmes de culture, le type d'exploitation prédomine sur les caractéristiques précises des parcelles.

- Le modèle mathématique discriminant des successions de cultures en fonction de paramètres territoriaux (types d'exploitations, caractéristiques des parcelles) prédit, après perfectionnement (fondements, composantes, formalisation

des règles), environ 50 % des occupations des parcelles. Les cas d'écart à la règle de ce modèle typologique peuvent être étudiés à travers les enquêtes effectuées auprès des agriculteurs.

Ces travaux ont permis de valider trois grands principes :

- le territoire et les paysages ruraux dépendent à terme des facteurs déterminants de la construction et de l'évolution des successions de culture, puisque les choix de gestion à divers niveaux (culture, parcelle, exploitation agricole) ont une influence dans l'efficacité globale d'actions concertées, tout en déterminant des risques sur l'environnement ;
- des variations structurelles et conjoncturelles à divers niveaux (politique, économique, social, etc.) déterminent l'activité agricole ;
- la modélisation de la relation agriculture-territoire est utile à la connaissance, à la prédiction, et à l'élaboration de références.

Un outil issu de cette modélisation devrait servir à l'implémentation de politiques et de procédures de développement durable, respectueuses à la fois de critères d'environnement ou de société, et de critères de viabilité technico-économique de l'activité agricole.

Or, peu d'outils existent pour aider les agriculteurs à réaliser des choix pluriannuels concernant l'ensemble hétérogène de l'espace qu'ils cultivent [24, 38, 39]. Le gel des terres, participant de la coordination entre systèmes de culture dans l'exploitation, a servi de révélateur de cette carence. Le gel a contribué à une redistribution des usages du territoire, en modifiant les attitudes et les décisions en complément à d'autres facteurs d'évolution (trajectoire d'exploitation, réforme de la PAC dans son ensemble). Le gel interroge fortement sur la manipulation dans l'espace et dans le temps d'un appareil de production caractérisé entre autres par un ensemble de terrains, un parcellaire, des cultures possibles [40].

Nous nous interrogeons alors sur les modalités de traitement de ces redistributions des usages du territoire, afin de produire une gestion satisfaisante au niveau des soles, de l'exploitation, ou de l'espace rural dans son ensemble. Le parti de ce travail est clairement méthodologique :

- Permettre la mise en relation d'espaces à aménager et d'exploitations agricoles, et mieux comprendre-maîtriser le processus de production de territoire/paysage par les agriculteurs (systèmes de culture, sys-

tèmes techniques). Contribuer à l'établissement d'un diagnostic ou état des lieux préalable aux opérations d'aménagement (forestier, urbain) ou d'environnement (biodiversité, érosion, pollution, paysage perçu), concernant l'espace des cultures. Dans une démarche prospective :

- mieux évaluer les effets de mesures réglementaires sur le territoire ;
- mieux raisonner les évolutions de la localisation ou de la gestion des cultures ou leurs impacts, dans le cadre d'une opération ou d'un plan d'aménagement.
- Les résultats méthodologiques et de modélisation dépassent le cadre particulier du gel et intéressent la gestion de l'espace continu :
- relations entre territoire, parcelle et exploitation ;
- gestion et localisation des successions de culture ■

Références

1. Landais E, Perrot C, Pierret P, Maigrot JL. Systèmes techniques agricoles, organisation de l'espace rural et production de paysage : le projet MAP (Modélisation, Agriculture et Paysage). In : CNRS, éd. *Tendances nouvelles en modélisation pour l'environnement*, journées du Programme Environnement, Vie et Sociétés (PEVS) du CNRS, Paris, 15-17 janvier 1996 : 105-14.
2. Osty PL, de Sainte-Marie C, Lardon S, Lasneur J. *Les systèmes techniques de production : réactions et adaptations à de nouveaux contextes*. Colloque Inra Nouvelles fonctions de l'agriculture et de l'espace rural : enjeux et défis identifiés par la recherche, actes de l'Action Incitative 1993-1995, Toulouse, 17-18 décembre 1996 : 187-99.
3. Doré T, Dulout A. Le gel des terres : mesure administrative et nouvelles questions agronomiques. *Cahiers Agricultures* 1996 ; 5 : 450-9.
4. Règlement CEE n° 1765/92 du Conseil, du 30 juin, instituant un régime de soutien aux producteurs de certaines cultures arables. *JOCE* L181, 1 juillet 1992. Modifié par le règlement CEE n° 2467/92. *JOCE* L246, 27 août 1992.
5. Règlement CEE n° 762/94 de la Commission, portant modalités d'application du règlement n° 1765/92 du Conseil, en ce qui concerne le gel des terres. *JOCE* 1994.
6. Sebillotte M. La jachère : éléments pour une théorie. In : Orstom éd. *À travers champs, agronomes et géographes*. Paris : Orstom, 1985 : 175-229.
7. Institut d'architecture et d'urbanisme de la région Île-de-France (IAURIF). *Étude préalable à la création du Parc naturel régional du Vexin français ; fascicules 4 et 3 : Le développement économique local (l'agriculture p. 1-58) et Le patrimoine et l'environnement (le patrimoine naturel et les paysages p. 3-94)*. 1991.
8. Barrio J. *Modélisation de la gestion et de la localisation du gel des terres dans les exploitations agricoles du Vexin Français. La parcelle agricole considérée à l'interface de l'exploitation et du territoire/paysage*. Thèse doctorale Inra-PG et Inra-Sad, soutenue le 16 février 1999, Paris ; 354 p. + annexes.

9. David G. *L'agriculture du Vexin Français. diversité des systèmes de production, insertion dans les filières, perspectives*. Paris : Inra-PG, Inra-Sad, PNR du Vexin Français, 1995 ; 39 p + annexes.

10. Thion P, Savini I, Deffontaines JP. *Relations territoire, agriculture et urbanisation, recherche d'unités de gestion territoriale : le cas du Vexin Français*. Versailles : Inra-Sad/DERF-Ministère de l'Agriculture, 1996 ; 77 p + biblio + annexes.

11. Mathieu A. *Comment passer d'une typologie de fonctionnement des exploitations agricoles à une typologie par agrégation : exemple du Vexin. Rapport Inra-Sad*. Versailles : Inra-Sad, 1995 ; 4 p + tableaux et figures.

12. Capillon A, David G. Exploitations de grande culture et espace périurbain dans le Vexin Français. *Cahiers Agricultures* 1996 ; 5 : 77-82.

13. Fleury A. L'agriculture périurbaine de l'Île-de-France. *Cahiers Agricultures* 1996 ; 5 : 69-70.

14. Birard C. *Analyse spatiale écologique (application au Vexin Français)*. DESS Espace et Milieu (Paris VII), OGE, 1992 ; 61 p + biblio + annexes.

15. Favrot JC, Arrouays D, Bornand M, Girard MC, Hardy R. Informatisation et spatialisation de la ressource sol : le programme IGCS (Inventaire, Gestion et Conservation des Sols). *Cahiers Agricultures* 1994 ; 3 : 237-46.

16. Barrio J. *Diversité et localisation des jachères : typologie physiologique et radiométrique en vue de l'étude de la distribution des jachères dans les agropaysages du Vexin Français, télédétection sur des images SPOT de mars et de juin*. DEA Structures et dynamiques spatiales, Université d'Avignon, Inra-Sad, Inra-PG. Montpellier : éd. du Reclus. 1995 ; 49 p + annexes.

17. Deffontaines JP. L'agronomie, science du champ ; le champ, lieu d'interdisciplinarité : de l'écophysiologie aux sciences humaines. *Agro-nomie* 1991 ; 11 : 581-91.

18. Sebillotte M, Allain S, Doré T, Meynard JM. La jachère et ses fonctions agronomiques, économiques et environnementales : diagnostic actuel. *Courrier de l'Environnement INRA*, 1993 ; 20 : 11-22.

19. Coulomb P. La jachère contre la friche. *Études Foncières* 1993 ; 60 : 28-32.

20. Thenail C, Baudry J. *Méthodes d'étude des relations entre activités agricoles et paysages*. Symposium Recherches-système en agriculture et développement rural, Montpellier, 21-25 novembre 1995 : 316-21.

21. Barrio J. *Cartographie du paysage par association de deux méthodes utilisant la télédétection (exemple sur le Vexin Français)*. Colloque étude des Phénomènes Spatiaux en Agriculture, La Rochelle, 6-8 décembre 1995. Paris : Inra, 1996 : 119-28.

22. Girard N. Une expérience de formalisation de connaissances à l'interface entre système fourrager et système d'élevage. In : Inra, éd. *AIP : Systèmes d'élevage et pratiques de pâturage*. Paris : Inra, 1995 ; 6 p. + bibliographie.

23. Benoît M. *La gestion territoriale des activités agricoles ; l'exploitation et le village : deux échelles d'analyse en zone d'élevage*. Thèse Inra-PG, 18 septembre 1985 ; 160 p + biblio + annexes.

24. Bellon S, Doré T, Chabert JP, Barrio J. *Agriculteurs et agronomes face à la politique agricole commune de jachère-gel*. Colloque Inra Nouvelles fonctions de l'agriculture et de l'espace rural : enjeux et défis identifiés par la recherche, actes de l'Action Incitative 1993-1995, Toulouse, 17-18 décembre 1996 : 139-58.

25. Maxime F, Mollet JM, Papy F. Aide au raisonnement de l'assolement en grande culture. *Cahiers Agricultures* 1995 ; 4 : 351-62.

26. Maxime F, Nicoletti JP, Leroy P, Papy F. Donner de la souplesse au choix d'assolement par des rotations-cadres. Colloque Aide à la décision et choix de stratégies dans les entreprises agricoles, Laon, Inra et Conseil régional de Picardie, 10 et 11 décembre 1996 : 85-99.

27. Marty JR. Approche par simulation du choix des assolements. In : Combe L, Picard D, coord. *Un point sur... les systèmes de culture*. Paris : Inra, 1990 : 81-106.

28. Rellier JP, Marcaillou JC. Modèles de raisonnement en conduite de cultures et conséquences pour les systèmes d'aide à la décision. *Agronomie* 1990 ; 6 : 487-98.

29. Pierret P. *Activité agricole, organisation de l'espace rural et production de paysage ; une démarche de modélisation multi-échelle testée dans le département de la Haute-Marne*. Thèse Université de Bourgogne, 1996 ; 214 p + biblio + annexes.

30. Brossier J, Vissac B, Le Moigne JL, eds. *Modélisation systémique et système agraire ; décision et organisation*. Inra, actes de séminaire, Saint-Maximin, 2-3 mars 1989, 1990 ; 360 p.

31. Judez Asensio L. *Técnicas de análisis de datos multidimensionales*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Secretaría General Técnica, 1989 : 292 p + biblio.

32. Celeux G, Nakache JP. *Analyse discriminante sur variables qualitatives*. Paris : Polytechnica, 1994 ; 253 p + biblio.

33. Tomassone R. *Comment interpréter les résultats d'une analyse factorielle discriminante ?* Paris : ITCF, 1988 ; 56 p.

34. Perrot C. Typologie d'exploitations construite par agrégation autour de pôles définis à dire d'experts ; proposition méthodologique et premiers résultats obtenus en Haute-Marne. *Productions Animales* 1990 ; 3 : 51-66.

35. Girard N, Hubert B. *Modélisation à base de connaissances de systèmes d'élevage en région méditerranéenne*. Third International Livestock Farming Systems Symposium, Aberdeen, 1-2 september 1994.

36. Girard N, Havet A, Chatelin MH, Gibon A, Hubert B, Rellier JP. *Formalisation des relations entre stratégie et pilotage dans les systèmes fourragers : propositions pour la conception d'instruments d'aide à la décision*. Symposium Recherches-système en agriculture et développement rural, Montpellier, 21-25 novembre 1995 : 223-9.

37. Sainte Marie C, Casabianca F. Innover dans des productions patrimoniales : génération

d'objets techniques et émergence de règles dans les processus d'organisation. *Cahiers d'Économie et Sociologie Rurales* 1995 ; 37 : 149-75.

38. Keating BA, McCown RL. Advances in farming systems analysis and intervention. *Agricultural Systems* 2001 ; 70 : 555-79.

39. Stoorvogel JJ, Antle JM. Regional land use analysis: the development of operational tools. *Agricultural Systems* 2001 ; 70 : 623-40.

40. Oreade-Breche. *Évaluation de l'impact des mesures communautaires concernant le gel des terres. Rapport final d'évaluation*. Auzeville : Oreade-Breche, 2002 ; 108 p.

Résumé

L'objectif de ce travail est de modéliser la gestion et la localisation du gel des terres, parmi les autres occupations agricoles du sol, dans une région de grande culture. Le contexte est celui des nouvelles fonctions socio-économiques et environnementalistes de l'agriculture, et des mesures de réglementation sur l'espace agraire. Les recherches réalisées ont permis d'analyser le processus de décision relative à la gestion du gel et à l'affectation des parcelles, c'est-à-dire les différents niveaux de choix. Un modèle mathématique (analyse discriminante de Fisher) permet de préciser des règles de localisation des successions de cultures, en tenant compte des caractéristiques des parcelles et des types d'exploitation (fonctionnement, parcellaire, gestion du gel). En associant au modèle les informations recueillies lors des enquêtes, on complète les règles qui interviennent dans l'élaboration et la localisation des systèmes de cultures. Certaines règles caractérisent les types d'exploitation, mais chaque exploitation conserve aussi des règles qui lui sont propres. Cette recherche représente une étape vers la conception d'outils d'aide à la décision, concernant l'activité agricole dans ses relations avec l'organisation de l'espace rural.
