

Natures Sciences Sociétés Journées 2002

L'interdisciplinarité vue et pratiquée par les chercheurs en Sciences de la Vie.

Modélisation spatiale et approche agronomique

Sylvie Lardon

INRA-SAD Montpellier & ENGREF POP'TER Clermont-Ferrand

Résumé :

Dans le contexte actuel de transformation de l'agriculture, de diversification des filières de production et d'insertion territoriale des activités, la science agronomique se doit d'accompagner les changements techniques et de faciliter la réalisation des différentes fonctions dévolues à l'agriculture. Pour ce faire, elle a besoin d'enrichir ses connaissances par l'apport d'autres disciplines telles que la géographie pour les aspects spatiaux et l'informatique pour les aspects dynamiques. Nous montrons comment s'est faite concrètement cette articulation entre disciplines dans la problématique de maîtrise de l'embroussaillage par les élevages ovins dans la région des Grands Causses.

Comment ont évolué les systèmes techniques de production agricole sur les trente dernières années et par quelles modalités techniques les exploitations d'élevage ont-elles un impact sur l'espace ? L'approche agronomique est basée sur des enquêtes exhaustives de la soixantaine d'élevages du Causse Méjan à des pas de temps d'une dizaine d'années. Nous avons reconstitué les trajectoires d'évolution des exploitations agricoles en nous appuyant sur le concept de système technique et nous avons analysé les pratiques d'utilisation et de configuration du territoire pour rendre compte de la diversité des logiques techniques. Par leur mode de conduite des troupeaux et leur mode d'organisation spatiale, les élevages ovins apportent des réponses contrastées et complémentaires qui contribuent au maintien de paysages ouverts.

Cette démarche de recherche s'est déroulée sur une dizaine d'années, en trois étapes pour lesquelles les relations avec les autres disciplines ont différé. Dans la première étape qui consiste à comprendre comment l'espace agit sur, et est transformé par, les pratiques agricoles, j'ai assimilé les concepts de la géographie pour extraire les principes organisateurs de l'espace et les concepts de l'informatique pour formaliser les configurations possibles. Dans la seconde étape de simulation des dynamiques d'embroussaillage, j'ai confronté des méthodes avec celles des géographes pour l'analyse des milieux ou des comportements et produit des outils informatiques mobilisant la statistique stochastique ou la modélisation multi-agents. Dans la troisième étape, j'ai rendu intelligibles les logiques des exploitations agricoles et les pratiques spatiales pour la formation d'enseignants agricoles et j'ai alimenté la réflexion sur les processus cognitifs d'apprentissage du raisonnement spatial.

Partant d'une approche agronomique, les relations établies avec les disciplines géographiques et informatiques ont été de plusieurs ordres. Ces interactions entre disciplines requièrent des compétences spécifiques pour tirer parti des complémentarités et s'enrichir mutuellement. Elles correspondent à des moments différents dans le déroulement de la démarche et demandent un environnement institutionnel adéquat. Cette expérience singulière montre la richesse de l'interdisciplinarité et le besoin de définir des règles du jeu pour améliorer les pratiques de recherche.

Mots clés :

Modèle, organisation spatiale, itinéraire méthodologique, activité agricole, embroussaillage

Je relate ici un itinéraire de recherche qui, sur plus d'une dizaine d'années, s'est construit par l'interaction entre plusieurs disciplines dont l'agronomie, la géographie et l'informatique. Je vais montrer quels sont les points forts de cette interdisciplinarité et ce qu'elle a produit. Les recherches portent sur la dynamique des activités agricoles et leur inscription territoriale. La problématique est centrée sur la maîtrise de l'embroussaillage par les élevages ovins dans la région des Grands Causses.

I. De l'agronomie des façons de produire à l'agronomie des territoires

L'agronomie est une science des techniques agricoles à l'interface entre les sciences de la vie et les sciences humaines. *C'est un corpus de connaissances techniques et pratiques dans la perspective d'aide à l'exercice de production en agriculture et à l'accomplissement des diverses fonctions qui lui sont associées* (Deffontaines, 2001). Les enjeux actuels de multifonctionnalité de l'agriculture sont pris en compte dans la nouvelle loi d'orientation agricole et de développement durable des territoires de 1999, qui met l'accent sur la responsabilisation de la sphère agricole et sa nécessaire implication dans les organisations territoriales, tant sociales que spatiales. L'agronomie est ainsi amenée à renforcer ses connaissances dans deux domaines, les façons de produire et le territoire. *L'agronomie des façons de produire, c'est une science de l'action, appliquée à la production de peuplements cultivés, à la protection des ressources renouvelables et à l'aménagement des territoires agricoles* (Deffontaines, 2001). Elle s'inscrit dans un objectif de développement durable, même si ce terme fait l'objet de nombreuses interprétations et laisse le champ libre à divers points de vue (Landais, 1998). *L'agronomie des territoires s'attache à formaliser les déterminants des systèmes de culture et des configurations paysagères et envisage la réponse aux divers objectifs à satisfaire et les marges de manœuvre* des agriculteurs pour modifier les manières de produire (Papy, 2001). Au-delà de la parcelle et de l'exploitation, elle s'applique à différentes entités territoriales et appelle à des préoccupations de développement régional (Sébillotte, 2001).

C'est dans ce courant de pensée du département SAD de l'INRA que je m'inscris, en m'appuyant sur mes compétences initiales en biométrie et en développant les concepts, méthodes et outils de la modélisation spatiale (Lardon, 1999). De 1991 à 2001, avec P. L. Osty, agronome, nous avons analysé et formalisé **l'organisation spatiale des activités d'élevage**. L'organisation spatiale des activités d'élevage, c'est la façon dont les agriculteurs conçoivent leur système technique de production tout en répondant à des enjeux de gestion environnementale et de développement territorial. Pour l'étudier, nous avons associé agronomie et modélisation spatiale, tant il est vrai que l'agronomie ne peut être productive sans une compréhension des dimensions spatiales des processus agricoles et que la modélisation spatiale ne peut s'appliquer qu'à un domaine d'activités. Nous nous référons à l'agronomie et non pas à la zootechnie, alors que nous étudions les activités d'élevage, parce que nous travaillons au niveau des exploitations agricoles, à rechercher les logiques des exploitants et les cohérences des systèmes techniques de production (Osty, 1994). Nous prenons le point de vue de la modélisation spatiale et non pas de la biométrie, parce que nous nous positionnons à un niveau intégré, celui des faits techniques, dont nous recherchons les principes organisateurs et les modalités de maîtrise des phénomènes, plus qu'à leur mesure (Lardon *et al.*, 1990). Notre problématique articule composantes techniques et propriétés de l'espace pour accompagner le changement technique (Lardon *et al.*, 2001a).

Nous étudions la région des Grands Causses, zone de montagne du Massif Central éloignée des dynamiques urbaines et soumise à des phénomènes d'embroussaillage et de fermeture du paysage. On attend du maillage des exploitations agricole une certaine pérennité de l'occupation humaine et du maintien des activités et des usages, un certain contrôle de l'espace. Nous utilisons l'approche classique des agronomes qui consiste à mener des enquêtes en exploitation et à réaliser un travail de terrain, pour analyser les pratiques et comprendre les logiques des exploitants agricoles. Cette entrée par les activités est insérée dans une approche spatiale et temporelle qui emprunte à la géographie et à l'informatique des concepts, méthodes et outils. Comment ont évolué les systèmes techniques de production agricole ces trente dernières années ? Par quelles modalités techniques les exploitations d'élevage ont-elles un impact sur l'espace ? Telles sont les questions que nous nous sommes posées en analysant les élevages ovins extensifs du Causse Méjan et leur évolution par des enquêtes exhaustives

en exploitation (une soixantaine) à plusieurs dates (1974, 1982, 1991, 1997). Nous avons rendu intelligibles les activités d'élevage et les marges de manœuvre des exploitations agricoles pour maîtriser les processus d'embroussaillage, en les positionnant selon leurs logiques de production et leurs formes d'organisation.

Le **système technique de production** est une *représentation de l'ensemble organisé de lois, de règles et de choix qui sont impliqués dans la constitution et le fonctionnement du système de production* (Osty *et al.*, 1998). Il est caractérisé selon cinq rubriques : les intrants et les extrants, l'espace utilisé, l'ensemble des moyens de production (cheptel, installations et équipements majeurs), le travail et les résultats autres que monétaires. Cette cohérence fonctionnelle s'inscrit sur le long terme dans une cohérence stratégique : s'insérer dans des micro-filières, gérer les multi-usages de l'espace, gérer des équipements communs, vivre de l'agriculture dans ses systèmes d'activités et son genre de vie.

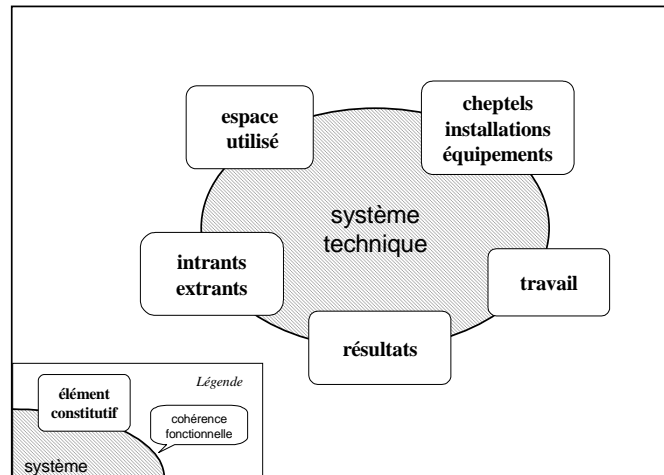


Figure 1. Système technique

Les **modes de conduite des troupeaux** différencient les exploitations selon deux axes (Osty & Lardon, 2000). Le premier axe, selon que les objectifs de production des éleveurs s'ajustent à l'offre d'herbe ou répondent à un programme de production animale, conduit à une évolution tendancielle d'un *mode rustique* à un *mode fourrager*. Si la sécurisation par la constitution des stocks accompagne cette tendance, on observe des modes de valorisation de la ressource au pâturage, par des pratiques selon un *mode pastoral* ou selon une combinaison production animale-stock-pâturage que nous avons qualifiée de *mode complet*. Ces modes de conduite répondent à une augmentation de la taille des troupeaux, la constitution de lots d'animaux et des décalages saisonniers de production.

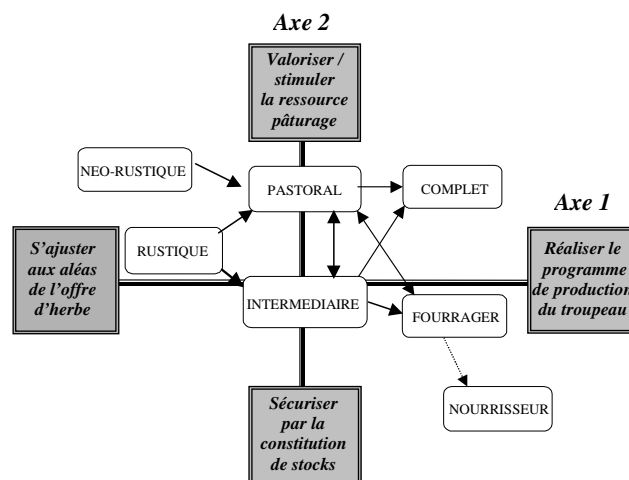


Figure 2. Modes de conduite des troupeaux et possibilités d'évolution d'un mode à l'autre

Les **modes d'organisation spatiale** répondent à deux grands principes, celui de polarité et celui de contraste, correspondant aux modalités de circulation des animaux et aux modes de répartition des surfaces (Naïtlho & Lardon, 2000). La circulation des animaux peut-être organisée autour d'un centre, qui est la bergerie, selon un *mode radial* ou on peut s'en affranchir, par exemple en jouant sur la contiguïté des parcelles, selon un *mode en enfilade*. Les surfaces utilisées peuvent être différenciées ou non et l'on peut amplifier cette hétérogénéité, par exemple en constituant des lots d'animaux et en spécialisant l'utilisation selon les saisons, comme dans le *mode mosaïque*, ou la répartir selon la distance, comme dans le *mode en auréole*. Selon la constitution des troupeaux, les objectifs de production, les aménagements réalisés, tous les modes d'organisation spatiale ne sont pas possibles et l'impact sur le paysage est différent.

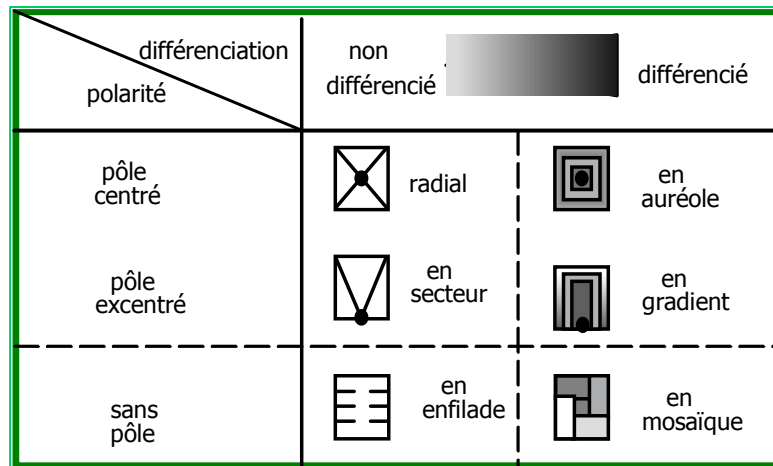


Figure 3. Modes d'organisation spatiale

Ces grilles d'analyse permettent de répondre à des questions actuelles sur la contribution des élevages ovins des causes à la maîtrise de l'embroussaillage et à la production de paysages ouverts¹. Les concepts s'inspirent d'une approche système où *la réalité est replacée dans son environnement et les sous-systèmes sont distinguables, mais non dissociables* (Godard & Legay, 1992a). La complexité des systèmes est abordée par l'analyse des organisations (Le Moigne, 1990). La méthode des modèles est utilisée pour analyser les interactions entre la société, le milieu et la technique, dans leurs dimensions spatiales et temporelles (Legay, 1986). Les modèles sont progressivement articulés dans un itinéraire méthodologique où l'agronomie est à l'interface de la géographie et de l'informatique.

II. Un itinéraire méthodologique articulant modèles agronomiques, géographiques et informatiques

Il ne s'agit pas pour moi de construire un modèle unique, incluant les différentes dimensions des phénomènes étudiés et répondant à une question globale, mais plutôt de générer une séquence de modèles spécifiques, se répondant les uns les autres et éclairant telle ou telle facette du problème. Ainsi, la modélisation n'est pas considérée comme une fin en soi, mais comme un processus de production, itératif et interactif. Les modèles sont mis en relation soit par les concepts qu'ils formalisent, soit par les données qu'ils mobilisent, soit par les procédures de traitements qu'ils réalisent, mais dans tous les cas, ils sont décomposés et recomposés pour s'adapter aux problèmes posés. Je m'appuie pour cela sur la grille de croisement espace-temps que nous avons conçue pour ajuster modèles, données et questions dans l'analyse des phénomènes spatio-temporels (Faivre *et al.*, 1999). L'itinéraire méthodologique qui résulte de ce processus de modélisation sur une dizaine d'années peut se relire selon trois étapes successives où les objectifs visés, les questions posées et les rapports aux disciplines diffèrent.

¹ Programmes de recherche du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement : « Recréer la nature » (1997-1999), « Politiques publiques et paysage » (1999-2002).

1. La première étape vise à comprendre la dynamique des systèmes techniques

Quelles sont les logiques de fonctionnement des exploitations agricoles ? Comment l'espace agit sur et est transformé par les pratiques agricoles ? Quelles sont les évolutions dans la durée ?

En complément des apports de l'agronomie, je suis allée chercher deux concepts dans les disciplines voisines, les modèles graphiques en géographie et les modèles objets en informatique, pour les adapter à la problématique agronomique.

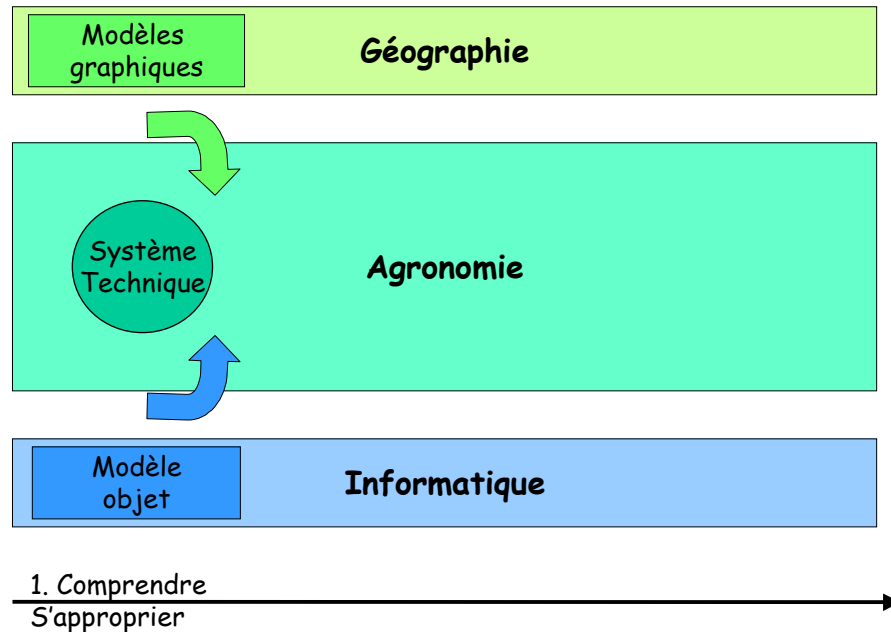


Figure 4. Première étape

Le premier concept relève de la géographie des organisations qui recherche dans l'espace les principes organisateurs pour rendre intelligibles les observations et fournir un référentiel de modèles élémentaires, appelés chorèmes. *Un Chorème est une structure élémentaire de l'espace, qui se représente par un modèle graphique Toute configuration spatiale relève de la combinaison, éventuellement très complexe, de mécanismes simples. Ceux-ci correspondent aux solutions que trouvent les sociétés à des problèmes de maîtrise de l'espace : appropriation, gestion, partition, drainage et irrigation, conquête; et aux forces physiques avec lesquelles les sociétés ont à composer : pentes, gradients, étagements, dissymétries, gravité et gravitation.* (Brunet, 1986). Les modèles centre-périphérie, en secteur ou en archipel, ... élaborés pour rendre compte des organisations géographiques comme la ville et son bassin d'attraction, la ségrégation des quartiers urbains ou le réseau de petites villes, ... répondent à des principes de hiérarchie, différenciation, distance ... On retrouve ces mêmes principes dans l'organisation des activités agricoles (Deffontaines *et al.*, 1990). C'est ainsi que nous avons adapté la grille des chorèmes élémentaires pour rendre compte de la diversification des activités et des pratiques de gestion de l'espace des exploitations agricoles (Bonin & Lardon, 2002).

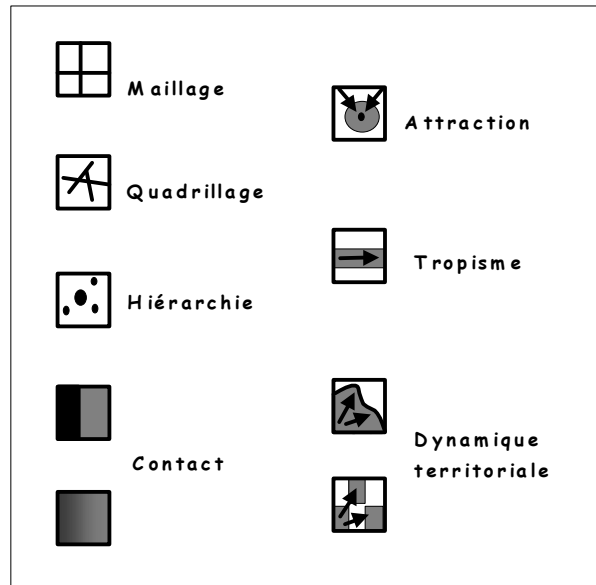


Figure 5. Grille des chorèmes

L'autre concept relève de la conception informatique qui s'attache à définir et mettre en relation des objets qui ont une signification. La modélisation orientée objet facilite la représentation des processus, en encapsulant données et traitements des données dans des objets formalisés. Les entités géographiques sont distinguées selon qu'elles sont fixes, modifiables, déformables ou transformables et renvoient à des opérateurs spatio-temporels génériques de vie, de mouvement et de généalogie (Lardon *et al.*, 1999). C'est ainsi que nous avons formalisé les propriétés d'agrégation et de généralisation spatiales et représenté la dynamique dans les SIG (Bommel *et al.*, 2000).

ESPACE TEMPS	Entités d'un espace partitionné (contraintes topologiques)	Entités localisées (pas de contraintes)
Permanence des Identifiants	<p style="text-align: center;">VIE</p> <p style="text-align: center;">Entités fixes</p>	<p style="text-align: center;">MOUVEMENT</p> <p style="text-align: center;">Entités déformables</p>
Filiation des Identifiants	<p style="text-align: center;">GENEALOGIE</p> <p style="text-align: center;">Entités modifiables</p>	<p style="text-align: center;">Entités transformables</p>

Figure 6. Tableau des entités et des filiations.

C'est donc par analogie que j'ai procédé pour m'approprier les concepts de la géographie et de l'informatique et les adapter à une problématique agronomique. Cela demande des capacités d'exploration dans des disciplines proches, mais qui ont leur propre langage, ainsi que des capacités d'abstraction à partir d'objets similaires, mais qui relèvent de différentes problématiques. Paradoxalement, il ressort à l'expérience que ce ne sont pas les interactions prévues qui ont le mieux fonctionné. Mon objectif était d'aller chercher dans les disciplines connexes des concepts pour que l'agronomie s'en empare et les fasse siens. Force est de constater que l'assimilation n'est pas encore réalisée, peu d'agronomes de l'INRA utilisant les formalismes proposés. Par contre, les collègues géographes et informaticiens ont trouvé dans les objets de l'agronomie matière à collaborer et à

publier, peut-être parce qu'une communauté scientifique en géomatique existe, en particulier au sein du GdR CNRS SIGMA-CASSINI². De surcroît, si j'enseigne ces résultats de la recherche dans différents DEA et DESS, et que j'encadre des élèves, c'est moins en agronomie qu'en géographie ou en informatique³.

2. La seconde étape consiste à simuler la dynamique d'embroussaillage

Quelles sont les trajectoires d'évolution des systèmes techniques ? Quelles sont les interactions entre la dynamique de végétation et la dynamique de pâturage ? Comment les activités d'élevage produisent-elles du paysage ?

Nous avons élaboré plusieurs modèles de simulation au cours de différents programmes de recherche pluridisciplinaires. Nous avons confronté différents points de vue disciplinaires pour élaborer progressivement des réponses adaptées à l'évolution des problématiques. Les acquis de l'étape précédente ont été mobilisés pour faciliter l'anticipation et l'intégration. En effet, conformément à nos objectifs d'agronomes, nos simulations n'ont pas pour but de reproduire une dynamique passée, mais d'imaginer des scénarios futurs possibles à partir des configurations spatiales et des dynamiques actuelles de la végétation, combinées à des modes d'organisation des pratiques adaptées aux logiques de production des éleveurs. De même, elles ne cherchent pas à caractériser la plus petite entité élémentaire, mais considèrent les entités spatiales qui ont du sens soit par rapport à la dynamique de végétation, comme par exemple les unités de végétation en bois, landes ou pelouses, soit par rapport aux dynamiques de pâturage, comme les blocs de parcelles, les parcelles ou les unités pâturées, selon le niveau de prise en compte par les éleveurs.

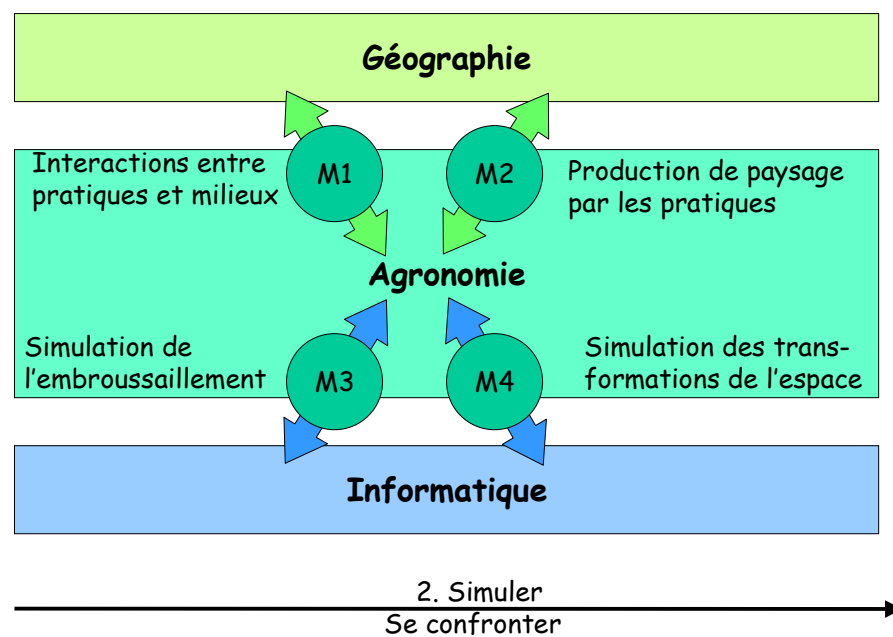


Figure 7. Seconde étape.

Les simulations ont permis d'expérimenter et de tester des hypothèses. Confrontés aux autres disciplines, nous avons mieux argumenté nos raisonnements sur les dynamiques d'embroussaillage et évalué les évolutions possibles du paysage. Nous avons transformé nos oppositions et divergences

² Le groupement de recherche CASSINI a fonctionné de 1992 à 2000. Il nous a fourni l'occasion de travailler en interdisciplinarité sur la représentation de l'espace et du temps dans les SIG (Cheylan et al., 1999). Depuis 2000, les journées annuelles de la recherche CASSINI balisent les avancées du groupement de recherche SIGMA. Voir <http://www.cassini2001.teledetection.fr> ; <http://cassini2002.ecole-navale.fr/>.

³ DEA Structures et dynamiques spatiales (Avignon), Mutations spatiales (Montpellier), DESS Informatique appliquée aux organisations (Montpellier).

en propositions et dépassements, par l'intermédiaire des modèles de simulation que nous avons élaborés ensemble, sur des objets communs que nous avons progressivement transformés.

Avec la géographie des milieux, l'opposition a principalement porté sur le sens du questionnement à poser. Le programme de recherche du PIR Environnement du CNRS analysait les interactions entre *Usage des sols, pratiques des éleveurs, représentations de la nature et dynamique des milieux et des ressources*⁴. Plutôt que l'impact des pratiques sur la végétation, nous avons pris en compte l'hétérogénéité de la végétation dans l'organisation des pratiques. Plutôt que la recherche de corrélations entre évolution des pratiques et évolution des milieux nous avons caractérisé les pratiques et les milieux ainsi que leurs interactions au cours du temps, au niveau de l'exploitation. Nous avons montré la diversité des pratiques et des réponses apportées par les exploitants au problème d'embroussaillage (Cohen, 2003). Il n'y a pas qu'un seul modèle d'exploitation possible et l'impact est différencié selon les modes de conduite et les modes d'organisation des systèmes techniques.

Avec la géographie des comportements, l'opposition a porté sur les entités de base à considérer. Dans le programme de recherche ARCHAEOMEDES⁵ *Policy-relevant models of the natural and anthropogenic dynamics of degradation and desertification and their spatio-temporal manifestations*, nous avons étudié la production de paysage par les pratiques agricoles. Or l'équipe de géographes suédois se référait à la Time-geographie, qui suit les individus dans le temps et dans l'espace, alors que les agronomes français se référait à la farming System Research, pour formaliser des activités dans le temps et dans l'espace pour des entités agrégées. Nous avons utilisé un modèle de micro-simulation aux niveaux où s'organisent les activités agricoles, les trajectoires d'évolution des systèmes techniques, les changements de génération d'exploitants, les lieux-dits où sont localisées les exploitations. Nous avons ainsi simulé des réponses différenciées, en fonction des logiques des exploitants, aux politiques agricoles et à la fermeture des paysages, (Oberg *et al.*, 2000).

Avec la statistique stochastique, dans l'AIP INRA-Ecospace⁶, *Embroussaillage des parcours et pratiques pastorales dans les montagnes sèches du sud de la France. Vers une modélisation de la dynamique d'embroussaillage*, les divergences ont également porté sur les niveaux d'organisation à considérer. En nous appuyant sur la grille de croisement espace-temps (Faivre *et al.*, 1997), nous avons considéré plusieurs niveaux de prise en compte des phénomènes : le niveau très local, de l'ordre de la placette, pour combiner les paramètres biologiques de diffusion du buis, un niveau plus large, de l'ordre du bloc de parcelles, pour combiner les paramètres du milieu physique et les pratiques pastorales. Le modèle de simulation des processus ponctuels a été appliqué à des taches, correspondant aux buissons de buis, en distinguant leur mode de répartition initiale, en linéaire le long des limites de parcelles, en rond dans les pierriers ou en semis dans les affleurements rocheux. Nous avons mis en évidence des effets de saturation à l'échelle des parcelles et des évolutions différenciées selon les configurations initiales (Lardon *et al.*, 2003).

⁴ M. Cohen & S. Lardon (resp.) (1992- 1995).

⁵ Van Der Leeuw (resp.) (1996-1999).

⁶ J. Chadœuf (resp.) (1995-1998).

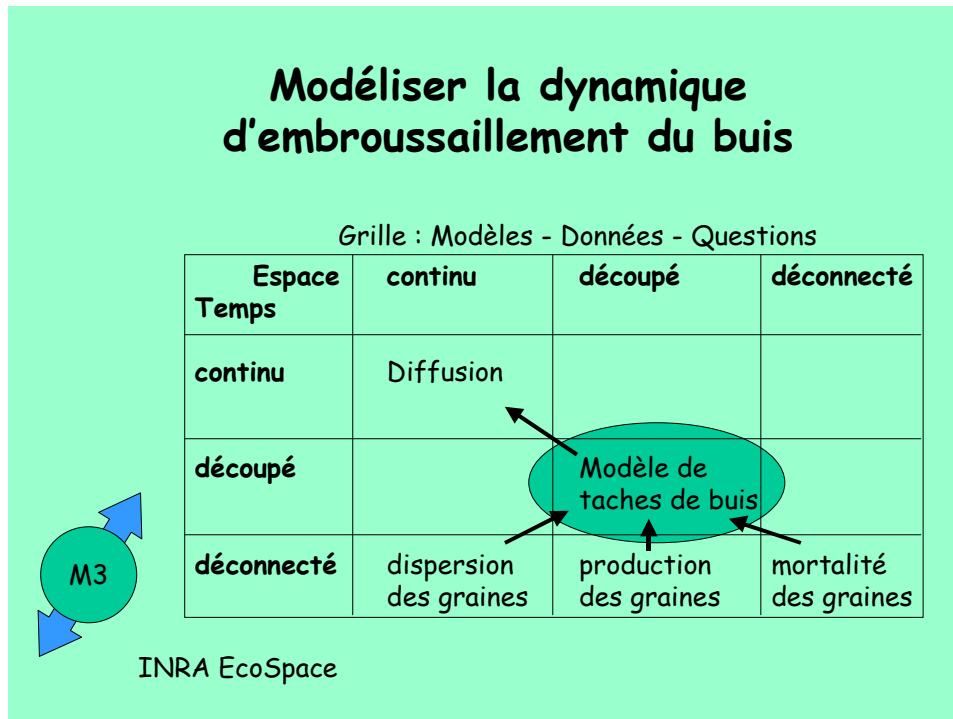


Figure 8. Modèle de simulation de l'embroussaillage

La question initiale portait sur le processus de diffusion de l'embroussaillage (temps et espace continu). Les données écologiques disponibles concernaient des données échantillonnées dans le temps (temps déconnecté) : dispersion des graines (continu dans l'espace), production des graines (découpé dans l'espace) et mortalité des graines (déconnecté dans l'espace). C'est en combinant ces données écologiques dans un modèle statistique de taches de buis (modèle de simulation découpé dans le temps et dans l'espace) qui nous avons pu donner une réponse à la question initiale. Ce modèle s'interprète aussi en fonction des pratiques pastorales (connecté dans le temps et dans l'espace).

Avec l'informatique distribuée, dans le réseau des Systèmes Multi-Agents Spatialisés⁷ les divergences ont porté sur les objectifs de la simulation. Il ne s'agissait pas de faire émerger des comportements nouveaux des agents dans des organisations (Ferber & Gutknecht, 1998), ni même de suivre les dynamiques d'agents situés (Bousquet *et al.*, 2001), mais de générer des organisations spatiales, de façon à assurer la filiation des objets et de leurs caractéristiques dans l'espace (Lardon *et al.*, 2000). Le modèle de simulation Forpast (Bommel & Lardon, 2000) a validé nos hypothèses agronomiques. Il est nécessaire d'adapter les pratiques à la vitesse d'évolution de la végétation, la même stratégie obtenant des résultats différents selon l'état initial d'embroussaillage. Les pratiques ciblées mais agrégées sont plus efficaces que les pratiques uniformes ou élémentaires, pour garder une certaine ouverture du paysage.

⁷ Réseau constitué à partir de 1997, autour de la plate-forme CORMAS, du Cirad-Tera. Voir <http://cormas.cirad.fr/indexeng.htm>.

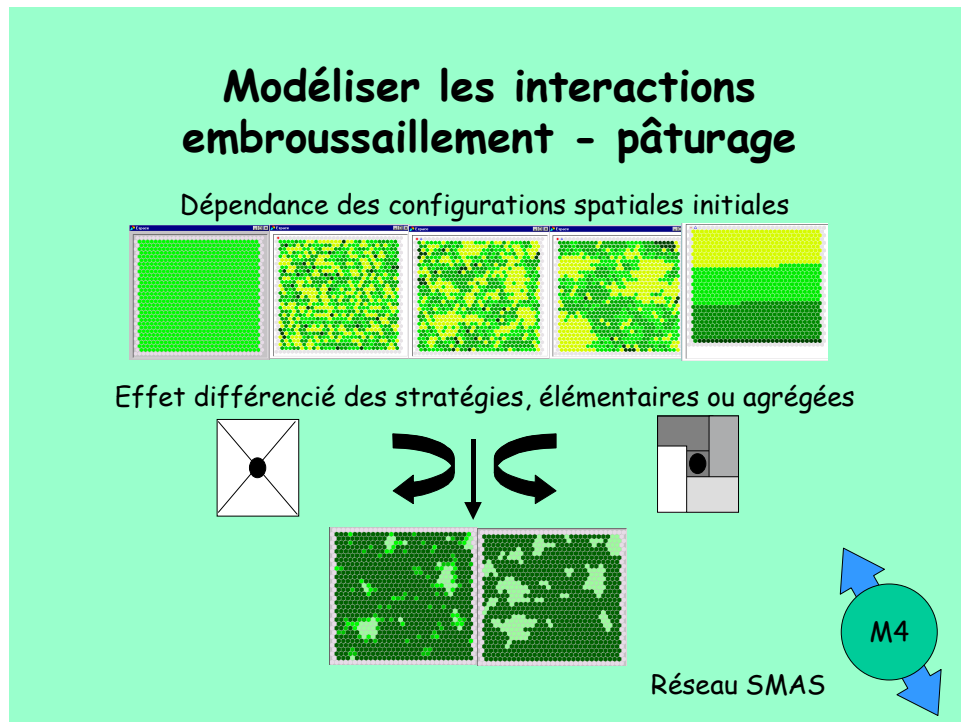


Figure 9. Modèle de simulation de la transformation de l'espace

Les configurations initiales de la végétation ont été simulées selon des lois mathématiques : distribution des indices de végétation entre 1 et 30, répartition uniforme, aléatoire, en agrégat de taille 4, en agrégat de taille 12, en plaque. Les stratégies de pâturage ont également été simulées, par exemple par une répartition aléatoire pour la stratégie radiale ou une répartition plus forte et ciblée sur les pelouses pour la stratégie en mosaïque (Cf référence aux chorèmes de la figure 3). Les configurations spatiales après 50 pas de simulation dépendent de l'interaction entre configuration initiale et stratégie, les stratégies agrégées (en mosaïque) maintenant mieux les zones ouvertes.

Les modèles de simulation servent ici à explorer le champ des possibles. Ils ne font pas le tour d'une problématique, mais instruisent plus spécifiquement une question, qui n'est pas obligatoirement celle avancée au début de la recherche. Ainsi, c'est plus dans la démarche de modélisation elle-même que dans chaque modèle pris séparément ; c'est plus dans les écarts aux modèles que dans le modèle lui-même que l'on produit des réponses aux questions posées (Durand-Dastès, 1992). Souvent, un modèle sert à mieux formuler le problème, à tester les limites des concepts mobilisés, à cibler les données à recueillir et les conditions initiales à considérer. Les modèles sont le support d'une approche plus qualitative que quantitative, mais qui aide à définir les ordres de grandeurs des phénomènes observés et à hiérarchiser les facteurs à prendre en compte. On se retrouve bien dans la même situation que celle décrite par Godard & Legay (1992b). *Les démarches recourent à des modèles qualitatifs, des schémas et des diagrammes fléchés, des protocoles communs de recueil et de codage de l'information, des cadres comptables. Des modèles spécialisés à l'interdisciplinarité limitée sont plus en prise avec les besoins de la recherche qu'une modélisation globale interdisciplinaire quantifiée.* Cependant, l'articulation de ces modèles dans un itinéraire méthodologique permet de franchir un pas de plus. Il s'avère que les modèles servent à se valider l'un l'autre, les conclusions de l'un servant d'hypothèse à tester pour le second, les résultats du troisième ne prenant leur sens qu'avec le parti-pris du quatrième, ...

3. La troisième étape est la traduction des formes d'organisation

Comment donner à voir les logiques des exploitations agricoles ? Quelles explications sont associées aux modalités de gestion de l'espace ? Comment aider les agriculteurs à s'adapter aux changements ?

Le langage graphique des chorèmes rend compte des principes organisateurs de l'espace et met en évidence les logiques et les cohérences techniques. La méthodologie orientée objet donne les outils de formalisation des processus et d'analyse des dynamiques. Les modèles de simulation font émerger progressivement les niveaux d'organisation pertinents et le moyen de passer de l'un à l'autre pour rendre compte des phénomènes. Il reste à rendre intelligible à d'autres ces formes d'organisation et de transformation de l'espace. Nous le faisons dans deux types de dispositifs d'apprentissage collectif, la formation et la conception.

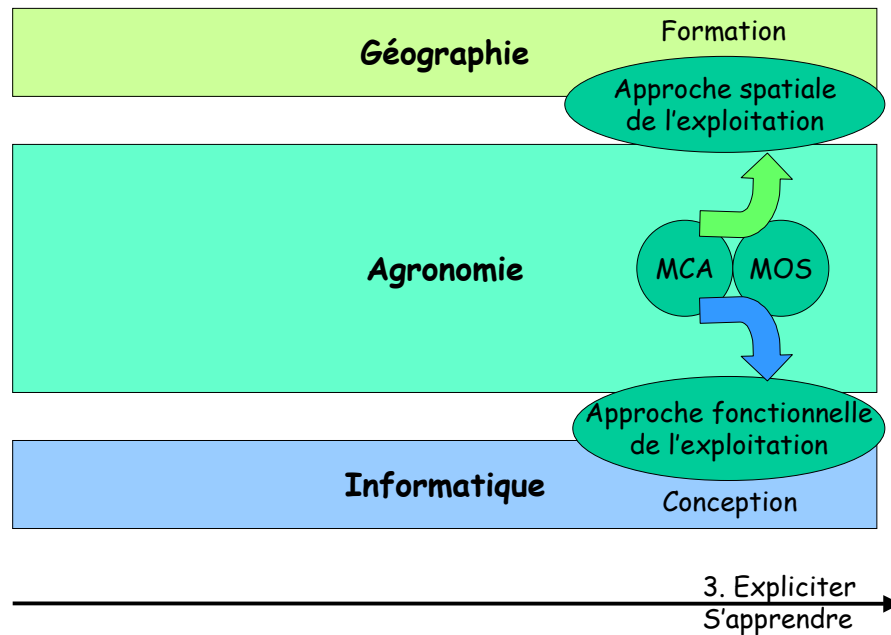


Figure 10. Etape 3

Nous proposons un outil pédagogique à destination en particulier des enseignants de lycées agricoles, pour une approche globale de l'exploitation agricole prenant en compte les dimensions spatiales. La traduction d'une méthode de recherche en une méthode opérationnelle pour la formation et l'action dépend en grande partie de la capacité à créer des ponts entre disciplines et entre praticiens (Lardon *et al.*, 2002). Nous avons trouvé auprès des formateurs du CEP de Florac les bons interlocuteurs pour produire un guide méthodologique sur l'approche spatiale de l'exploitation agricole (Naïlho *et al.*, 2003). Des sessions de formation sont maintenant proposées aux formateurs et acteurs du développement agricole.

Nous utilisons un outil cognitif, pour échanger entre disciplines agronomique et informatique, par l'intermédiaire du langage graphique des chorèmes et des graphes (Capitaine *et al.*, 2001). Les chorèmes fournissent une interprétation fonctionnelle aux organisations spatiales. Les graphes facilitent la comparaison des exploitations agricoles par reconnaissance des formes d'organisation et attribution des explications associées. Les interactions entre disciplines et points de vue se jouent dans ce dialogue entre différentes formes d'acquisition de connaissances (Brassac & Grégori, 2000). Dans cette activité de conception, les objets graphiques constituent des objets intermédiaires (Vinck, 1999). Nous les analysons dans différents itinéraires méthodologiques en nous interrogeant sur les fonctionnalités des NTIC pour accompagner ces apprentissages collectifs⁸.

⁸ Programme CNRS Société de l'information, projet JOYSTIC Usage raisonné des représentations spatiales comme objets intermédiaires dans des projets de développement participatif. (resp. S. Lardon, 2002-2004).

Cette démarche de recherche exige d'explicitier nos modèles sous-jacents, d'assurer la traduction entre différents langages, de déconstruire et de reconstruire nos représentations. Elle produit de nouveaux objets, à l'interface entre plusieurs disciplines. On peut considérer qu'elle apporte des réponses opératoires. Elle est reproductible, enseignable et appropriable par d'autres. Elle participe d'une géo-agronomie en émergence. Jean-Pierre Deffontaines (1998) la définit comme *un ensemble de questions sur l'articulation entre des faits techniques et des faits spatiaux. Son but est d'étudier la façon dont les agriculteurs présents sur un territoire organisent les occupations du sol et les usages en fonction d'objectifs propres à chaque exploitation et des interactions avec les autres exploitations et avec les autres modes d'usage du territoire.* Muriel Bonin (2003) y contribue dans sa thèse qui manie l'ensemble des concepts, outils et méthodes présentés ici, pour articuler niveaux d'organisation, approches spatiale et fonctionnelle, matérialités et représentations de l'espace. Pour elle, *la géo-agronomie ne peut pas se limiter à la spatialisation des pratiques, à la prise en compte de la répartition spatiale des systèmes de culture et à leurs coordinations, ni se limiter à la seule production agricole. Des niveaux d'organisation supérieurs sont nécessaires afin d'appréhender les liens entre agriculteurs et autres usagers de l'espace, la place de l'agriculture dans les projets de territoire, les facteurs économiques et politiques. Ces niveaux supérieurs peuvent conduire à reconsidérer les analyses conduites aux niveaux les plus fins...* Patrick Caron (2002) établit une typologie des approches agronomiques et définit l'agronomie territoriale comme *l'analyse de la contribution du fait technique, comme processeur de changement, à la production du territoire. L'agronome intégrateur territorial élabore les cadres d'analyse régionale, identifie les niveaux d'organisation qui ont du sens et hiérarchise les moyens d'action faisant le lien entre processus biophysiques, procédures techniques et dynamiques sociales.* Espérons que les agronomes sauront s'engager, avec d'autres, dans cette ouverture aux problématiques territoriales.

III. Retour sur des pratiques inter-disciplinaires

Mon itinéraire de recherche a croisé plusieurs disciplines, avec lesquelles j'ai interagi différemment, selon les moments de la démarche et les buts à atteindre. Les relations avec les autres disciplines sont de plusieurs ordres, elles ne sont pas établies une fois pour toutes et répondent à des fonctions spécifiques qui correspondent ici aux trois étapes de la démarche.

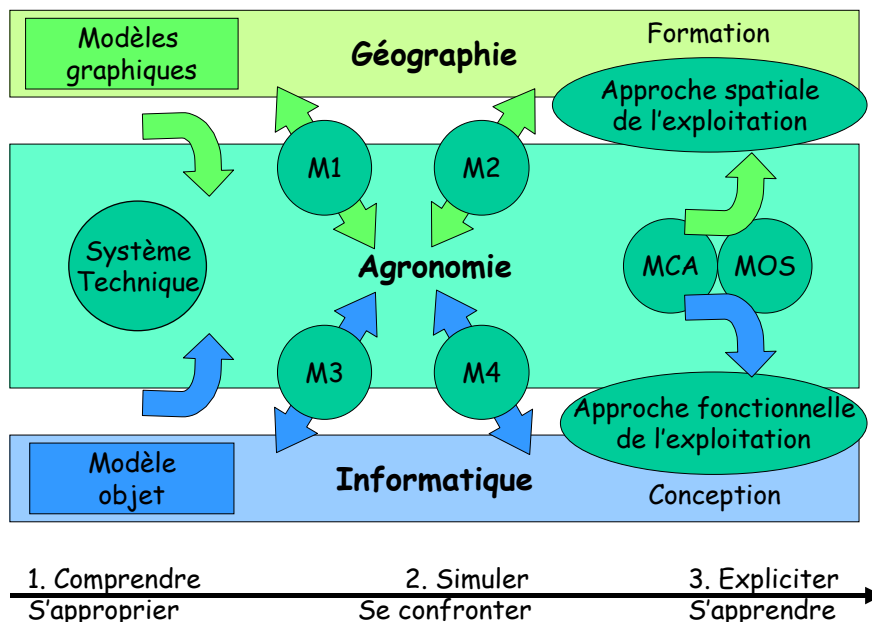


Figure 11. La démarche de modélisation

- Tout d'abord, il s'agit d'aller chercher des concepts dans d'autres disciplines pour les adapter à une problématique spécifique. Cela demande des capacités d'identification, de classement

générique des problèmes et de conceptualisation suffisante pour trouver les analogies, au delà de la différence des informations à traiter. Cependant, le fil directeur doit être ancré dans une discipline bien identifiée, ici l'agronomie, et s'inscrire dans le temps long de l'élaboration de concepts.

- Ensuite, une fois établie l'orientation de la recherche, il s'agit de la confronter à d'autres points de vue disciplinaires, pour un enrichissement mutuel ou un approfondissement justifié. Cela demande des capacités d'argumentation, d'explicitation, pour ne pas en rester aux contradictions apparentes, mais les assumer et pour mieux jouer sur les synergies possibles. L'utilisation des modèles permet d'articuler ces points de vue et d'interagir autour d'objets construits en commun.
- Enfin, lorsque le raisonnement prend de la consistance, qu'il paraît cohérent et pertinent, la mise à l'épreuve se fait par la mise à disposition des concepts et des méthodes dans des dispositifs adaptés de formation ou de conception collaborative. Cela demande des capacités d'hybridation, de conceptualisation pour passer d'une discipline à l'autre. Les outils produits dépassent les disciplines et s'inscrivent dans l'action.

De cette expérience, on peut retenir trois enseignements, concernant le temps, les modèles et les dispositifs, qui interrogent nos pratiques interdisciplinaires.

- Le temps : Ce type de recherche s'inscrit dans la durée, avec ses temps forts et ses moments de ralenti, qui ne sont pas pour autant des moments perdus. Il y a des rythmes à respecter, en particulier celui du terrain qui lui-même évolue. Les problématiques changent, les outils d'analyse aussi. Ainsi, la problématique de l'embroussaillement n'était pas explicitement présente au début de la recherche, elle s'est construite progressivement, en partie alimentée par les premiers résultats. De même, l'enjeu d'une lisibilité des pratiques agricoles a émergé récemment, suite aux crises agricoles de ces dernières années et l'action de rendre intelligibles les pratiques que nous observons s'est révélée indispensable. Pourtant, la recherche se doit d'anticiper et d'accompagner le changement.

On peut se demander s'il ne conviendrait pas d'imaginer des programmes de recherche interdisciplinaires, avec une contribution des disciplines décalées dans le temps, d'inventer un système de relais où l'instruction d'une question de recherche serait façonnée progressivement par des sciences complémentaires et serait mise régulièrement en débat. Cela éviterait une focalisation trop rapide sur une question commune qu'il est difficile de faire émerger d'un collectif aux disciplines contrastées et mettrait en perspective les préoccupations des uns et des autres, par la confrontation aux réalités de terrain.

- Les modèles : Ils ne sont pas statiques mais ne couvrent pas non plus toute l'étendue du champ de recherche. Ils servent à construire de nouveaux objets, à faire émerger de nouvelles questions et de nouvelles hypothèses. Ainsi, l'embroussaillement a tour à tour été vu comme un processus contraint, le résultat d'une production, dépendant de configurations initiales, générateur de formes maîtrisables. Un seul modèle ne peut en rendre compte, il convient d'articuler des modèles, de les combiner dans le temps pour valoriser progressivement les acquis.

Dans les recherches interdisciplinaires, il faudrait donner aux modèles le rôle d'objets intermédiaires, appropriables par chaque discipline et transformés par chacune d'elle. La confrontation ne se ferait pas par opposition de concepts ou divergence de méthodes, mais par construction progressive d'artefacts qui, par leur consistance, obligerait à argumenter et à affiner les raisonnements. La modélisation serait alors l'invention d'un langage de formes, une sorte d'ingénierie de la connaissance s'appliquant à des objets modulables et modelables.

- Les dispositifs : Le rôle des disciplines n'est pas identique, ni dans les rapports des unes aux autres, ni par rapport aux différents moments de la recherche. Le cadre institutionnel varie également. Ainsi, si l'exploration de nouveaux concepts peut se faire dans un dispositif souple de séminaires croisés, la confrontation des méthodes nécessite un programme plus pérenne ; si les échanges sont facilités dans les réseaux, la concrétisation se fait dans des groupes de travail plus ciblés. Les dispositifs sont donc à construire et à adapter aux nécessités de la recherche.

Faut-il passer des contrats entre disciplines, généraliser les appels d'offres, inventer de nouvelles règles du jeu ? Il existe des analogies entre le processus de construction d'un projet de recherche et celui de la conception d'un projet de territoire. Ce dernier a été impulsé par les politiques publiques, il fait l'objet de procédures institutionnelles faisant la part des initiatives locales, il s'inscrit dans la durée

et prépare les innovations de demain. De même que le territoire fait émerger de nouveaux acteurs, de nouveaux usages, de nouvelles activités, de même nous devons renouveler nos pratiques interdisciplinaires en faisant émerger de nouveaux objets, de nouveaux modèles, de nouvelles représentations.

Mes recherches portent maintenant sur les représentations spatiales pour le développement territorial (Lardon *et al.*, 2001b). Cette expérience sur la problématique de l'embroussaillage m'a beaucoup apporté, tant pour l'apprentissage de pratiques interdisciplinaires que pour la capacité de prise de recul et de mise à l'épreuve. Les compétences qui m'ont permis de mener à bien cette progression, je les ai acquises initialement dans le champ des Sciences de la Vie, au sein desquelles j'ai été formée à la diversité du vivant et à la modélisation.

Références

- Bommel P., Libourel T., Lardon S., 2000. Conception objet dans le cadre des systèmes d'information spatiaux. Agrégation spatiale et généralisation. *Conférence INFORSID* (Lyon, Mai 2000), 14 p.
- Bonin M., Lardon S., 2002. Recomposition des exploitations agricoles et diversification des pratiques de gestion de l'espace. 23 p. *Etud. Rech. Syst. Agraires Dév.*, **33**, pp 133-150.
- Bonin M., 2003. Inscription territoriale des recompositions agricoles. Caractérisation et modélisation dans les Monts d'Ardèche. Doctorat de géographie, Université d'Avignon et des pays de Vaucluse. 602p.
- Bousquet, F., Le Page, C., Bakam, I. and Takforyan, A. 2001. A spatially explicit individual-based model of blue duikers population dynamics: multi-agent simulation of bushmeat hunting in an eastern cameronian village. *Ecological Modelling*, 138(1-3): 331-346.
- Brassac Ch. et Grégori, N., 2000. Situated and Distributed Design of a Computer Teaching Device. *Journal of Design Sciences and Technology*, Volume 8, n°2, 11-31.
- Brunet R., 1986. La carte-modèle et les chorèmes. *Mappemonde* 86/4 : 3-6.
- Caron P., 2002. Quels agronomes pour quels territoires ? Interstices d'une ambition intégratrice ou perspectives d'un projet unifié ? *In : Agronomes et territoires* (2^e Journées Olivier de Serres, Le Pradel 12-13 septembre 2002), 21p.
- Capitaine M., Lardon S., Le Ber F., Metzger J. L., 2001. Chorèmes et graphes pour modéliser les interactions entre organisation spatiale et fonctionnement des exploitations agricoles. *In : Libourel T. & Maurel P. (eds) Géomatique et espace rural* (Journées de la recherche CASSINI Montpellier, 25-27 Septembre 2001), Editions CIRAD, pp. 145-163.
- Cheylyan J. P., Gautier D., Lardon S., Libourel T., Mathian H., Motet S., Sanders L., 1999. Les mots du traitement de l'information géographique. *Rev. Internat. Géomatique*, 99/1 : 11-23.
- Cohen M. (dir.), 2003. La brousse et le berger. Une approche interdisciplinaire de l'embroussaillage des parcours. CNRS Editions (collection espaces et milieux).
- Deffontaines J. P., 2001. Introduction. Une agronomie en questionnement. Les entretiens du Pradel, 1^o édition "Autour d'Olivier de Serres : Pratiques agricoles et pensées agronomiques", Partie Agronomique. *C. R. Acad. Agri*, N°2001-4, pp 115-119.
- Deffontaines J. P., Cheylyan J. P. & Lardon S., Théry H., 1993. Managing rural areas. From practices to model. *In : Brossier J., de Bonneval L. & Landais E. (ed) : Systems studies in agriculture and rural development*. Paris, INRA (Science Update), pp. 383-392.
- Deffontaines J.P., 1998. Enjeux spatiaux en agronomie. *In : Les sentiers d'un geoagronome*. Editions Arguments, pp 64-71.
- Durand-Dastès F., 1992. Les modèles en Géographie. *In : Bailly, Ferras, Pumain (Eds.), Encyclopédie de la géographie*.

- Faivre R., Lardon S., Monestiez P., Triboulet P., 1999. Formalisme M-D-Q pour les processus spatio-temporels. *Rev. Internat. Géomatique*, 99/1 : 101-121.
- Ferber J., Gutknecht O., 1998. A metamodel for the analysis and design of organizations in multi-agent systems. In *Third International Conference on Multi-Agent systems (ICMAS'98) Proc.*, pp 128-135. IEEE Computer Society.
- Godard O. & Legay J. M., 1992a. Entre disciplines et réalités, l'artifice des systèmes. In : Jollivet M. (dir.) *Sciences de la nature, sciences de la société. Les passeurs de frontières*. Paris, CNRS Editions, pp 243-257.
- Godard O. & Legay J. M., 1992b. Modélisation et simulation : une approche de la prédictivité. In : Jollivet M. (dir.) *Sciences de la nature, sciences de la société. Les passeurs de frontières*. Paris, CNRS Editions, pp 491-507.
- Landais E., 1998. Agriculture durable : les fondements d'un nouveau contrat social. *Le courrier de l'Environnement*, Paris, Editions INRA, **33**, 5-22.
- Lardon S., Deffontaines J.-P., Baudry J., Benoît M., 1990. L'espace est aussi ailleurs. In : Brossier J., Vissac B. & Le Moigne J.-L. (éd.) *Modélisation systémique et système agraire. Décision et organisation*, Paris, INRA-SAD, pp. 321-337.
- Lardon S., 1999. Modélisation spatiale des dynamiques territoriales. Mémoire d'*Habilitation à Diriger des Recherches* en Biométrie, Université Cl. Bernard, LYON I. Mémoire 105 p. + Dossier 27 p. + Illustrations 25 p.
- Lardon S., Libourel T., Cheylan J. P., 1999. Représentation du changement : Conceptualiser la dynamique des entités spatio-temporelles. *Rev. Internat. Géomatique* 99/1 : 45-65.
- Lardon S, Bommel P., Bousquet F., le Page C., Libourel T., Lifran R., Osty P. L., 2000. De la simulation de l'embroussaillage à un outil d'aide à la gestion de l'espace. Un modèle de transformation de l'espace. In S. Pesty & C. Sayettat-Fau, 8^e Journées JFIADSM, Saint-Jean sur Vêtré, 2-4 Octobre 2000. Hermès Sciences Publications, 357-374.
- Lardon S., Deffontaines J.P., Osty P. L., 2001a. Pour une agronomie du territoire : prendre en compte l'espace pour accompagner le changement technique. Les entretiens du Pradel, 1^o édition "Autour d'Olivier de Serres : Pratiques agricoles et pensées agronomiques", Partie Agronomique. *C. R. Acad. Agri*, N°2001-4, pp 187-198.
- Lardon S., Maurel P., Piveteau V. (ed.), 2001. Représentations spatiales et développement territorial. Editions Hermès, 437p + cahier couleur 26p.
- Lardon S., Osty P.-L., Naïtlho M., Capitaine M., Piveteau V., 2002. Comprendre l'organisation spatiale des exploitations et des territoires : une recherche/formation. In : *Agronomes et territoires* (2^e Journées Olivier de Serres, Le Pradel 12-13 septembre 2002).
- Lardon S., Triboulet P., Chadoeuf J., Duvernoy I., Lepart J., Osty P.-L. , Rousset O., 2003. Embroussaillage des parcours : observation et simulation de la progression du buis entre 1948 et 1989. Analyse critique. In : Monestiez P., Lardon S. & Seguin B. (éd.) *Organisation spatiale des activités agricoles et processus environnementaux*. Paris, Editions INRA, Collection Science Update (à paraître).
- Legay J. M., 1986. Méthodes et modèles dans l'étude des systèmes complexes. *Cahiers de la recherche développement*, **11**, 1-6.
- Le Moigne J. L., 1990. La modélisation des systèmes complexes. Afcet Systems. Paris. Dunod. 178 p.
- Naïtlho M., Lardon S., 2000. Representing spatial organisation in extensive livestock farming. In : *Integrating Animal Science Advances into the Search of Sustainability*, 5th Inter. Livestock Farming Systems Symposium, Posieux (Fribourg), Switzerland, 19-20 August 1999, pp 187-190.
- Naïtlho M., Lardon S., Yotte M., 2003. Approche spatiale de l'exploitation agricole. Modélisation de l'organisation spatiale d'une exploitation. Livret méthodologique. Educagri Editions. 111p.

Oberg S., Lardon S., Holm E., Mattson K., Osty P.-L., Gautier D., Duvernoy I., Triboulet P., Lhuiller C., O'Rourke E., 2000. Landscape production and farming practices: simulating micro-processes on the Causse Méjan (France). In: Van der Leeuw S. E., Garenne-Marot L., (eds.). *Policy relevant models of the natural and anthropogenic dynamics of degradation and desertification and their spatio-temporal manifestations*. Draft final report of the ARCHAEOMEDES II research project submitted to DG XII of the European Commission.

Osty P. L., 1994. The farm enterprise in its environment. proposals for structuring an appraisal of strategy. In: Brossier J., Bonneval L. de & Landais E. (eds) *Systems studies in agriculture and rural development*. Paris, INRA Editions, (Science Update): 259-268.

Osty P.L., Lardon S., de Sainte-Marie C., 1998. Comment analyser les transformations de l'activité productive des agriculteurs : propositions à partir des systèmes techniques de production. *Étud. Rech. Syst. Agraires Dév.* 31 : 397-413.

Osty P. L., Lardon S., 2000. Livestock rearing modes to characterize the long-term change in sheep farming in less-favoured areas. In : *Integrating Animal Science Advances into the Search of Sustainability* (5th Inter. Livestock Farming Systems Symposium, Posieux (Fribourg), Switzerland, 19-20 August 1999, pp 194-197.

Papy F., 2001. Pour une théorie du ménage des champs : l'agronomie des territoires. Les entretiens du Pradel, 1^o édition "*Autour d'Olivier de Serres : Pratiques agricoles et pensées agronomiques*", Partie Agronomique. *C. R. Acad. Agri*, N°2001-4, pp 139-149.

Sébillotte M., 2001. Des recherches en partenariat "pour" et "sur" le développement régional à l'INRA. *Economie Rurale*, N°261, pp 50-53.

Vinck D. (dir.), 1999. *Ingénieurs au quotidien. Ethnographie de l'activité de conception et d'innovation*, Grenoble, PUG, 232 p.