

# Modélisation multi-agents du changement de pratiques viticoles



photographie : Paysage de vignoble, Laurence Fabbri (Agence Méditerranéenne de l'Environnement, 2003)

**Vincent LAPERRIERE**

Mémoire de DEA  
Structures et Dynamiques Spatiales  
2003-2004

*juin 2004*

Direction UJF – IGA	Laboratoire d'accueil : UMR 3S Structures et Systèmes Spatiaux
Nathalie DUBUS	Jean-Pierre CHERY Flavie CERNESSON

# NOTICE ANALYTIQUE

FILIÈRE :

I.U.P.

Maîtrise

DESS

DEA Gem

DEA Réseau

AUTEUR	NOM		PRÉNOM	
	LAPERRIERE		Vincent	
TITRE	Modélisation multi-agents du changement de pratiques viticoles			
UNIVERSITÉ JOSEPH FOURIER  Institut de Géographie Alpine	Nom et prénom du Directeur de mémoire	Stage sous convention : organisme et lieu	Nom et prénom du Maître de stage	
	DUBUS Nathalie	CEMAGREF UMR 3S Montpellier	CHERY Jean-Pierre	
COLLATION	Nb. de pages	Nb. de volumes	Nb. d'annexes	Nb. de réf. biblio.
	50	1	0	79
MOTS-CLÉS	Modélisation individu-centrée - Systèmes Multi-Agents – Pratiques – Viticulture - Phytoprotecteurs			
TERRAIN D'ÉTUDE OU D'APPLICATION	Languedoc-Roussillon			Année universitaire : 2003-2004

## RÉSUMÉ

Notre réflexion porte sur les pratiques des viticulteurs en matière de désherbage de la vigne, qui présentent un enjeu environnemental fort. Le travail consiste, à partir d'un modèle existant de transfert des produits phytosanitaires de la parcelle au réseau hydrographique, à modéliser le processus de décision individuel de choix d'un mode de désherbage, dans un formalisme SMA. Les Systèmes Multi-Agents sont un outil informatique de modélisation individu-centrée qui permettent de considérer les interactions entre des individus situés dans l'espace et positionnés au sein d'une organisation sociale. Nous formalisons le processus de décision du viticulteur en tenant compte de trois types de paramètres : individuels, selon des critères agronomiques ; relationnels, relatifs à la situation socio-spatiale de l'individu ; contextuels, par l'intermédiaire d'un dispositif institutionnel. Nous optons pour une modélisation expérimentale du changement de pratiques. L'objectif est de tester, au cours des simulations, l'effet sur la qualité de l'eau de différentes règles influençant le changement de pratique.

## Description du stage

Nom et adresse de l'organisme d'accueil : UMR 3S Structures et Systèmes Spatiaux CEMAGREF/ENGREF

Compétences de l'organisme : recherche – formations en géomatique, télédétection, analyse spatiale.

**Responsable du stage** : Jean-Pierre CHERY, Maître de conférences. **Domaine de recherche** : analyse spatiale

**Autre encadrant** : Flavie CERNESSON, Maître de conférences. **Domaine de recherche** : hydrologie spatialisée.

Coordonnées :

UMR 3S

Maison de la Télédétection en Languedoc-Roussillon

500, rue Jean-François Breton

34093 MONTPELLIER Cedex 5

[chery@teledetection.fr](mailto:chery@teledetection.fr)

[flavie.cernesson@teledetection.fr](mailto:flavie.cernesson@teledetection.fr)

## ***Préambule***

*Je remercie toutes celles et ceux qui m'ont aidé dans mon travail, pour les pistes de réflexion qu'ils m'ont données, les corrections qu'ils ont apportées : Nathalie Dubus à Grenoble, Jean-Pierre Chéry, Flavie Cernesson et Pierre Martinand de l'UMR 3S à Montpellier. Je remercie également l'équipe de la formation CORMAS au CIRAD que j'ai beaucoup appréciée sur le plan relationnel et qui, sur le plan pédagogique, m'a beaucoup apporté : Christophe Le Page, Pierre Bommel. Merci enfin à Arnaud Le Beuze, de la Chambre d'Agriculture de l'Hérault, pour ses indications sur les pratiques de désherbage.*

*Cela aura été un grand plaisir pour moi de fréquenter les locaux de la Maison de la Télédétection, d'y rencontrer les autres stagiaires, thésards, post-docs avec qui j'ai partagé des bons moments. Je salue donc : Hector, Eloy, Marina, Lolita, Laurence, Matthieu, Claudia, Renaud, Carole, Lenä c, Richard et j'en oublie.*

*A Johan et David mes colloqs, et Guilhem du restau Le Rollin, où l'on goûte les meilleurs vins...*

# Sommaire

INTRODUCTION_____	1
-------------------	---

## **Première partie : Les pratiques agricoles en général, viticoles en particulier : un objet d'études multi-niveaux et pluridisciplinaire\_\_\_\_\_**

3

### **1. La dimension spatio-temporelle des pratiques agricoles\_\_\_\_\_**

4

1.1 Les pratiques agricoles : objet d'étude de l'agronomie\_\_\_\_\_ 4

1.2 Le système de culture : un concept multi-niveaux\_\_\_\_\_ 5

*1.2.1 Définition*

*1.2.2 Niveaux de pratiques et différenciation spatiale des systèmes de culture*

1.3 Pratiques et systèmes de culture viticoles\_\_\_\_\_ 7

1.4 Qu'apporte l'analyse spatiale des systèmes de culture ?\_\_\_\_\_ 8

### **2. Des pratiques insérées dans une organisation sociale\_\_\_\_\_**

9

2.1 Le concept de système localisé de production\_\_\_\_\_ 9

2.2 La dynamique des systèmes localisés de production viticoles du Languedoc\_\_\_\_\_ 10

*2.2.1 Un contexte : la révolution qualité*

*2.2.2 Le modèle « 20 hectares, un homme seul »*

*2.2.3 Evolution des rapports professionnels en milieu coopératif*

2.3 La dimension spatiale des systèmes localisés de production\_\_\_\_\_ 12

*2.3.1 L'insertion des systèmes localisés de production dans des aires d'appellation plus larges*

*2.3.2 Les concepts de proximité et d'interaction*

### **3. Positionnement par rapport à l'auto-organisation du système\_\_\_\_\_**

14

3.1 Notre objectif de modélisation par rapport à la notion d'organisation\_\_\_\_\_ 14

3.2 L'auto-organisation d'un système\_\_\_\_\_ 15

3.3 L'auto-organisation du changement, ou l'auto-organisation du système d'action innovante\_\_\_\_\_ 15

## **Deuxième partie : Apport des Systèmes Multi-Agents à la modélisation individu-centrée des systèmes auto-organisés\_\_\_\_\_**

17

### **1. La pluralité des approches individus-centrées\_\_\_\_\_**

19

1.1 La méthode synergétique\_\_\_\_\_ 19

1.2 La méthode par la microsimulation\_\_\_\_\_ 19

1.3 Les automates cellulaires\_\_\_\_\_ 19

### **2. Les principes de la modélisation Multi-Agents\_\_\_\_\_**

20

2.1 Définition	20
2.2 Les bases de la programmation objet	20
2.3 Des agents autonomes...	21
2.4 ...en interaction avec leur environnement socio-spatial	21
2.4.1 <i>Les interactions sociales par l'espace</i>	
2.4.2 <i>Les interactions sociales par la communication</i>	
2.5 L'émergence dans les SMA	23

## **Troisième partie : De la conceptualisation à la construction d'un modèle multi-agents de changement de pratiques viticoles** 25

<b>1. Connaissances sur les pratiques de désherbage et les stratégies auxquelles elles se rapportent</b>	27
1.1 Les pratiques retenues dans Phylou	27
1.2 La diversité des pratiques de désherbage	27
1.3 Traduction des pratiques en itinéraire technique	29
<b>2. Conceptualisation du processus de décision individuelle</b>	30
2.1 Le processus de décision individuelle	30
2.1.1 <i>La disposition individuelle à changer</i>	
2.1.2 <i>L'attractivité d'une pratique</i>	
2.2 Les règles d'influence	32
<b>3. Construction du modèle dans Cormas</b>	33
3.1 La programmation dans Cormas	33
3.1.1 <i>L'environnement de programmation</i>	
3.1.2 <i>La programmation</i>	
3.2 Le modèle programmé	34
3.2.1 <i>L'architecture du modèle : diagramme de classe</i>	
3.2.2 <i>La programmation de la simulation : diagramme de séquence</i>	
3.3 Propositions de scénarii de simulation	39
3.3.1 <i>Scénarii portant sur l'initialisation de l'espace et des agents</i>	
3.3.2 <i>Scénarii portant sur les règles influençant le processus de décision</i>	
CONCLUSION	44
TABLES	45
BIBLIOGRAPHIE	46

# Introduction

Caractérisé jusqu'à la fin des années 70 par une production de masse uniformisée, le vignoble languedocien connaît depuis les années 1980 une révolution qualité, qui traduit de profondes mutations concernant tant la dimension technico-productive du système viticole que son organisation sociale et spatiale.

Un premier aspect de cette évolution est la construction de la qualité du vin. Voulue par les consommateurs, incitée par la politique viticole nationale dès les années 1980, la mise en œuvre locale de ce nouveau modèle de production passe par l'arrachage des cépages traditionnels et la plantation de cépages régionaux ou améliorateurs. Ce premier aspect, portant sur le système de production viticole, est à bien distinguer d'un second aspect dont la prise en compte est plus récente, datant d'une dizaine d'années : il met en relation un système de culture et l'environnement naturel et social dans lequel il s'organise. En effet, la viticulture est désormais au centre des nouvelles préoccupations de construction, de valorisation et de protection des territoires, pour lesquelles les caves coopératives semblent devoir jouer un grand rôle.

Ce processus de restructuration régionale a pour origine l'évolution d'un contexte socio-économique, à savoir la diminution de la consommation de vin de table en France, ou encore l'émergence de préoccupations environnementales. Mais il est mis en œuvre localement par des dynamiques d'innovation, considérées comme « le produit d'interactions entre acteurs hétérogènes, reconnus en situation d'interdépendance "stratégique" au sein d'un système localisé de production » (Chiffolleau, 1999). Ces interactions influencent la nature et le rythme des changements de pratiques qui s'opèrent au niveau individuel, au sein de chaque exploitation.

Notre travail porte sur la mise en relation entre des pratiques individuelles de culture de la vigne, l'environnement social dans lequel elles sont décidées, et l'environnement naturel sur lequel elles ont un impact. Il se concentre sur les pratiques des viticulteurs ayant une influence directe sur la qualité de l'eau, dans un contexte de prise de conscience de la nécessité de développer des pratiques plus respectueuses de l'environnement. En effet, en Languedoc-Roussillon, la pollution des eaux, dans des bassins-versants à vocation essentiellement viticole, est principalement due à l'utilisation des produits phytosanitaires pour la vigne.

La considération des pratiques ayant une influence directe sur la pollution diffuse des eaux par les produits phytosanitaires impose de distinguer celles qui déterminent la pression polluante (choix du produit, dose appliquée, date d'application) de celles qui influencent le transfert des polluants de la parcelle au réseau hydrographique. Pour ces dernières, les travaux de l'INRA et du CEMAGREF ont montré le rôle crucial :

- du fonctionnement du réseau de fossés dans lesquels se déversent les eaux de ruissellement des parcelles
- de l'occupation du sol des parcelles, modifiée par les pratiques de désherbage, et des interchamps.

La distribution spatiale et l'évolution dans le temps de ces pratiques individuelles déterminent les flux de polluants dans le réseau hydrographique et leur variation. L'objectif de notre travail est alors de réfléchir aux facteurs qui pèsent sur les décisions du viticulteur de changer ses pratiques de désherbage, pour modéliser l'effet de ces changements sur les modalités de

production et de transfert des polluants. Pour ce faire, notre démarche de modélisation est individu-centrée. Elle consiste à comprendre les systèmes comme des entités auto-organisées dont le fonctionnement et l'évolution sont le produit d'un ensemble d'entités en interaction. Nous appréhendons ainsi l'évolution globale des pratiques viticoles à partir d'une formalisation du processus de décision individuel.

Les Systèmes Multi-Agents sont des outils informatiques qui relèvent d'une telle démarche constructiviste. Un SMA est défini comme « constitué d'un ensemble d'agents autonomes et indépendants en interaction, qui coordonnent leurs actions dans un environnement et forment une "organisation artificielle" » (Ferber, 1995). Les SMA prennent en compte l'individualité des agents et la diversité de leur situation socio-spatiale. Ils considèrent l'autonomie d'entités sociales et spatiales relevant de différents niveaux d'organisation, et offrent la possibilité de développer différentes formes d'interactions entre ces entités.

Notre travail s'inscrit dans la continuité d'un premier travail de modélisation multi-agents représentant le transfert des produits phytosanitaires à l'échelle d'un groupe de parcelles, sur une portion de bassin-versant (Borderelle, 2002). La simulation du transfert porte sur une campagne saisonnière, elle mobilise des agents viticulteurs qui appliquent des produits phytosanitaires sur leur parcelle, différemment selon leur pratique. Les produits sont mobilisés par la pluie, ruissellent en fonction de la topographie, de la pédologie, de l'occupation du sol et la qualité de l'eau est mesurée à l'exutoire. Notre travail consiste à modéliser l'évolution interannuelle des pratiques intra et inter parcellaires pour simuler le transfert à plus long terme.

Cela implique de formuler des hypothèses sur les paramètres qui interviennent dans le processus de décision individuelle. Nous postulons l'intervention de trois types de paramètres traduisant la diversité des situations socio-spatiales des viticulteurs :

- Des paramètres individuels, caractérisant le viticulteur et sa parcelle.
- Des paramètres relationnels, traduisant la proximité socio-spatiale entre viticulteurs au sein d'un réseau socioprofessionnel.
- Des paramètres contextuels, se traduisant au niveau du viticulteur par des influences institutionnelles.

Nous optons pour une modélisation expérimentale. Elle consiste à tester, lors des simulations, l'effet sur l'évolution de la qualité de l'eau de différents scénarii, portant d'une part sur les conditions initiales des agents et de leur environnement socio-spatial, d'autre part sur la formalisation du processus de décision.

Le mémoire sera structuré en trois parties. La première sera organisée autour du concept de pratiques agricoles en général, faisant toutefois référence aux pratiques viticoles dans le contexte de la viticulture languedocienne. Notre objectif de modélisation du processus de décision individuel nécessitera de considérer les rapports entre l'individu et une macrostructure socio-spatiale globale. L'objet de la deuxième partie sera d'exposer les apports des SMA à la modélisation des interactions individu-espace-société. Enfin, la troisième partie sera consacrée à la formalisation du modèle de changement de pratiques en matière de désherbage de la vigne et à la proposition de scénarii de simulation.

**Première partie :**  
**Les pratiques agricoles en général, viticoles en particulier :**  
**un objet d'études multi-niveaux et pluridisciplinaire**



photographie : Paysage de vignoble, Georges Souche (AME, 2003)

L'objet de cette première partie est de présenter le positionnement de différentes disciplines par rapport aux pratiques agricoles, dans un objectif commun de réfléchir aux éléments qui pèsent sur les décisions des agriculteurs. D'ores et déjà, on distingue deux grandes catégories d'études :

- Celles, relevant plutôt de l'agronomie, qui considèrent principalement les pratiques au niveau individuel, dans leur dimension spatio-temporelle.
- Celles, relevant des Sciences Humaines et Sociales, considérant les pratiques individuelles en interaction avec une macrostructure, sociale, économique, ou spatiale.

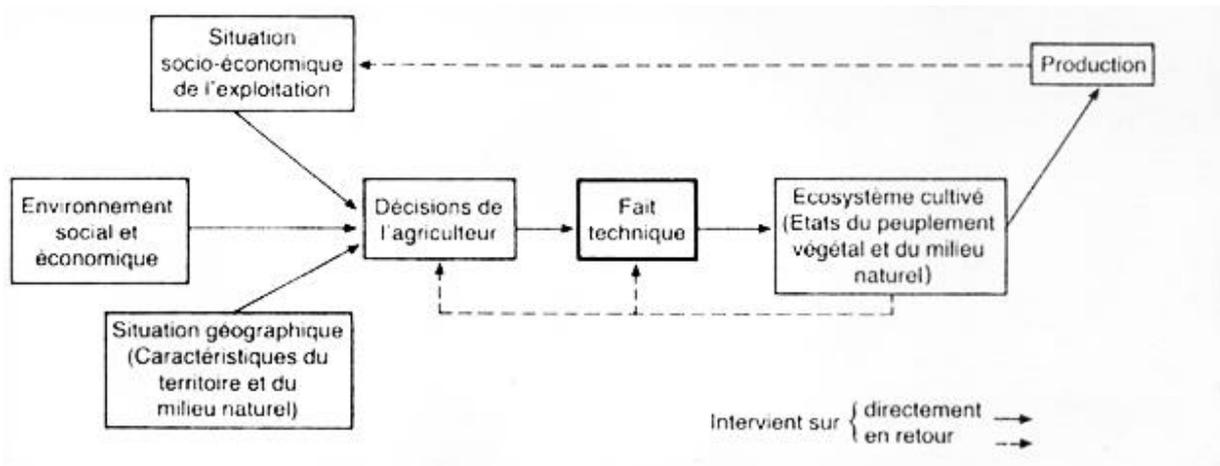
En effet, les sciences sociales, notamment la géographie, connaissent un regain d'intérêt pour le sujet, « dont elles cherchent à interférer les pratiques et représentations avec les structures globales de l'espace et de la société » (Pumain, 2003). Dans cette mouvance, les pratiques agricoles sont étudiées dans une démarche individu-centrée, qui consiste à formaliser les hypothèses de fonctionnement du système au niveau individuel. Dès lors, le questionnement porte plus généralement sur la rétroaction entre niveaux individuel et structurel.

Dans la mesure où les pratiques agricoles sont spatialisées, nous nous demandons quels peuvent être les apports de l'analyse spatiale dans ces deux catégories de travaux.

## **1. La dimension spatio-temporelle des pratiques agricoles**

### **1.1 Les pratiques agricoles : objet d'étude de l'agronomie**

Les pratiques agricoles, dont l'ensemble constitue « le fait technique » (Gras et al., 1989), sont l'objet d'étude de l'agronomie. Le terme "pratiques" désigne le plus souvent une action, intervention technique faisant passer la culture d'un état A à un état B. Il peut cependant évoquer une manière de faire l'action (« pratiques d'exécution»), ou encore une manière de penser l'organiser (« pratiques de gestion des techniques »). Les agronomes se posent deux grandes catégories de questions à propos des pratiques (figure 1) :



**Figure 1: Position centrale du « fait technique » dans le champ d'étude de l'agronomie (source: Gras et al., 1989).**

- La première concerne les facteurs qui pèsent sur les décisions de l'agriculteur : « quand et comment l'agriculteur met-il en œuvre ses interventions techniques au cours d'une ou de plusieurs campagnes et dans quelles conditions peuvent-elles être modifiées ? »
- La deuxième concerne les conséquences des interventions techniques : « comment caractériser les états de l'écosystème cultivé résultant de sa dynamique propre et des interventions humaines, et comment modifier ces états dans un sens souhaité ? » (Gras et al., 1989).

Les travaux de recherche en agronomie s'effectuent dans la perspective de mettre en évidence les « marges de manœuvre » de l'agriculteur pour améliorer sa productivité et/ou améliorer l'état de l'écosystème cultivé ou encore de l'hydrosystème, et discuter avec lui des « possibilités de faire autrement » (Papy, 2001).

Dans cette perspective de recherche appliquée, l'agronome porte une grande attention aux caractéristiques de l'individu et de sa parcelle ou de son exploitation, qui conditionnent la faisabilité technique des pratiques, sans pour autant les situer dans un environnement social, spatial ou économique plus global. Cependant, si l'agronome reste au niveau de l'individu, il considère ses pratiques à différentes échelles d'espace et de temps. Le concept de système de culture rend compte du caractère multidimensionnel des pratiques agricoles.

## 1.2 Le système de culture : un concept multi-niveaux

### 1.2.1 Définition

Le concept de système de culture est central en agronomie. Il intéresse également le géographe dans la mesure où il définit un système spatial, c'est-à-dire traduit une différenciation de l'espace. M. Sebillotte le définit comme un « sous-ensemble du système de production, surface de terrain traitée de manière homogène, par les cultures pratiquées avec leur ordre de succession et les itinéraires techniques (combinaison logique et ordonnée des techniques culturales) mis en œuvre » (Sebillotte, 1993). En général, il existe plusieurs systèmes de culture au sein d'une exploitation, interdépendants (Papy, 2001).

Le système de culture est donc un sous-ensemble du système de production, qui lui relève de la micro-économie de l'exploitation et est défini comme « la combinaison des productions et des facteurs/moyens de production dans l'exploitation » (Gras et al., 1989). Ainsi, « un système de culture résulte, de la part de l'agriculteur, d'une adaptation des objectifs de production et des manières de les atteindre au milieu dans lequel il est pratiqué, mais aussi d'ajustements réciproques avec les autres systèmes de culture de l'exploitation » (Papy, 2001).

### 1.2.2 Niveaux de pratiques et différenciation spatiale des systèmes de culture

Les pratiques d'un agriculteur portent sur différents pas de temps qui sont la journée, la campagne saisonnière et la suite de campagnes saisonnières. Il existe une relation entre ces pas de temps et les niveaux spatiaux auxquels sont mises en œuvre les pratiques (figure2) :

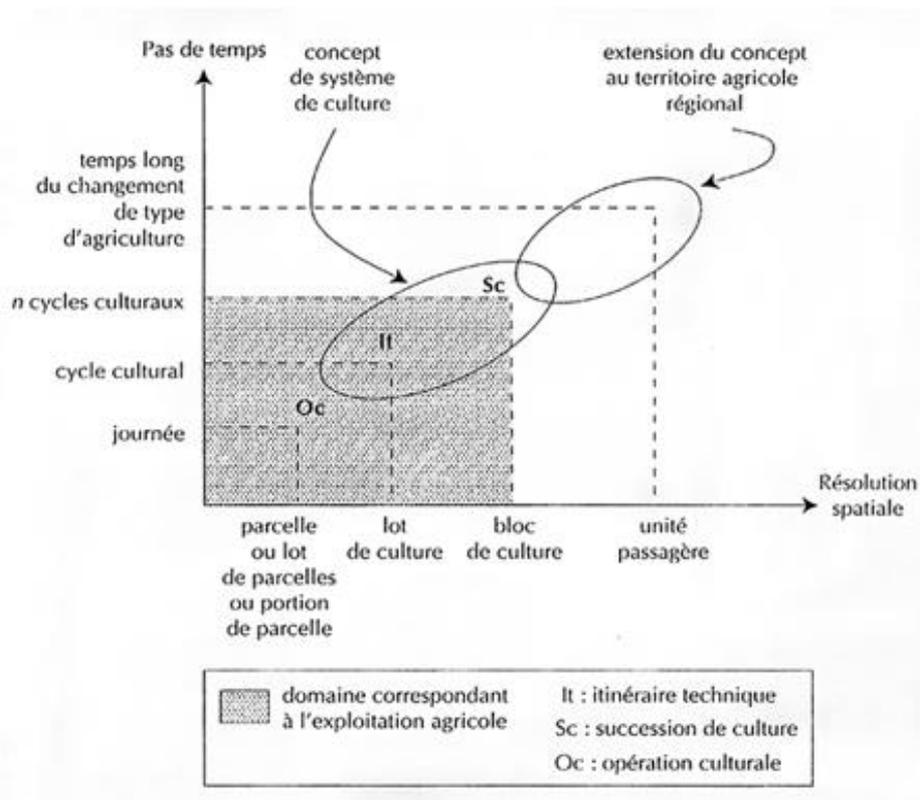


Figure 2 : La dimension spatio-temporelle du concept de système de culture (source: Papy, 2001).

L'itinéraire technique peut ainsi être considéré comme le système de culture opéré sur la période de la campagne saisonnière : « il correspond à la suite logique et ordonnée des opérations culturales appliquées à une espèce végétale cultivée » au pas de temps de l'ordre de la journée (Gras et al., 1989). A cette échelle de temps, la parcelle constitue l'unité d'utilisation, sur laquelle l'application d'un itinéraire technique est homogène et au niveau de laquelle l'agriculteur évalue son rendement. Les parcelles ayant suivi le même itinéraire technique constituent un « lot ».

Le concept de système de culture considéré à un pas de temps annuel pour les cultures annuelles, pluriannuel pour les cultures pérennes, est assimilable à celui de succession de cultures. Les pratiques considérées à ce pas de temps différencient l'espace en « blocs de

parcelles », au niveau d'une partie, tout ou ensemble d'exploitations. Ce niveau correspond à une « unité de gestion », dénommée en agronomie « pièce », ou lieu-dit, pré, Vigne-Basse pour l'agriculteur (Gras et al., 1989), sur laquelle s'appliquent les pratiques de gestion du système de production. Les systèmes de culture se différencient spatialement mais également dans le temps, aussi peut-on dire qu'un système de culture dure une « suite de campagnes », qui désigne une période où « la structure, les objectifs, les moyens de l'exploitation présentent une certaine stabilité » (Gras et al., 1989).

Enfin, le concept de système de culture peut être étendu au niveau du terroir, qui se différencie sensiblement du concept de territoire, dans la mesure où, contrairement au territoire, le terroir n'introduit pas une dimension sociale mais uniquement paysagère, bien que le territoire se construise sur l'image d'un terroir. L'espace, au niveau du terroir, se différencie en unités dénommées « unités agro-physionomiques » par P. Thinon et J.P. Deffontaines parce qu'elles traduisent un « usage agricole homogène à une échelle qui correspond à celle des fonctionnements écologiques » (Thinon, Deffontaines, 2003). Ainsi, « les systèmes de culture ne se localisent pas de façon quelconque dans l'espace, ce qui se traduit à l'échelle du paysage par l'existence de motifs ou d'unités paysagères qui traduisent une similitude d'usage agricole » et qui restent assez stables dans le temps (Buret, Baudry, 1999). Remarquons toutefois qu'il est difficile de considérer des pratiques opérées directement au niveau du terroir, et que ce dernier émerge des pratiques individuelles opérées au niveau de chacune des exploitations.

### **1.3 Pratiques et systèmes de culture viticoles**

« Le vigneron plante, arrache, amollit le sol, désherbe, fertilise la terre, lutte contre les maladies » (Pigeat, 2000). Ces pratiques sont mises en œuvre à différentes échelles d'espace et de temps et différencient les systèmes de culture viticoles. Nous distinguerons quatre niveaux de pratiques de culture de la vigne:

- La vigne est une culture pérenne : les ceps sont plantés, ont une longue durée de vie productive, de l'ordre du demi-siècle voire du siècle, puis sont arrachés. Un premier niveau de pratiques est celui de l'orientation de la production qui implique le choix d'un cépage. Le viticulteur effectue son choix en fonction de la qualité du raisin qu'il souhaite obtenir et la quantité qu'il veut produire. Une orientation de production est décidée sur le long terme. De ce fait, le renouvellement du cépage indique une mutation structurelle de l'exploitation et donc le passage d'un système de culture à un autre. Une exploitation est rarement le siège d'une seule orientation de production. Celle-ci est décidée au niveau d'une parcelle ou d'un bloc de parcelles en considérant leurs caractéristiques physiques.
- La vigne est une liane qui doit être conduite : les pratiques de conduite de la vigne concernent l'espacement des ceps, la taille associée ou non au palissage (structure de maintien de la vigne). Ces pratiques sont principalement décidées au moment de la plantation de la vigne, sauf pour les techniques de taille et de palissage, dont la remise en cause peut se faire annuellement.
- La vigne est fragile : elle doit être protégée des ravageurs et des plantes adventices et donc être traitée par des produits phytosanitaires, son sol doit être fertilisé et travaillé. La combinaison de ces opérations définit l'itinéraire technique appliqué à la parcelle sur une campagne saisonnière. Par ailleurs, les pratiques considérées à cette échelle ne se limitent pas à la parcelle mais concernent également l'entretien des interchamps.

- Enfin, les dates et conditions d'intervention différencient les modalités d'action propres à une opération technique. Elles sont décidées pour la journée et varient d'une parcelle à l'autre.

Selon les niveaux considérés, les pratiques relèvent de choix stratégiques, tactiques ou d'ajustement dont on cherchera à établir certains liens de cohérence. A titre d'exemple, le mode de conduite de la vigne, et notamment l'espacement entre les ceps, autorisera ou non la mécanisation du vignoble et donc orientera les modalités de traitements phytosanitaires appliqués à la parcelle. Cependant, les liens entre niveaux de pratiques ne sont pas si évidents dans la mesure où les objectifs qui les guident et les facteurs qui permettent leur mise en oeuvre sont différents d'un niveau à l'autre. L'agronome, dans sa recherche des marges de man oeuvre dont dispose le viticulteur pour adopter telle ou telle pratique, est amené à prendre en considération des paramètres spatiaux liés à la situation géographique de la parcelle.

#### **1.4 Qu'apporte l'analyse spatiale des systèmes de culture ?**

La géographie et l'agronomie se rejoignent en la « géoagronomie », selon l'expression de J.P. Deffontaines (1998), qui étudie le rapport entre espace et pratiques agricoles. De toute évidence, la géoagronomie s'intéresse à l'espace qui supporte les pratiques agricoles. A partir de là, les travaux diffèrent selon qu'ils considèrent l'espace en tant que facteur ou produit de ces mêmes pratiques.

La démarche fréquente en analyse spatiale est de considérer l'espace comme le produit des pratiques individuelles, voire même le résultat de l'histoire de ces pratiques, si celles-ci marquent durablement l'espace. Il s'agit dès lors de décrire, interpréter la distribution des usages agricoles dans l'espace à différents niveaux et d'en déceler les structures d'organisation. Nous évoquerons un premier type de travaux qui a pour objectif l'identification des systèmes de culture par segmentation de l'espace au moyen notamment d'analyses multi-critères et de la télédétection. A l'échelle régionale, P. Thinon et J.P. Deffontaines ont ainsi développé la démarche UAP (Unités Agro-Physionomiques) qui correspond à « l'identification et au tracé d'unités spatiales agronomiques (UA) en combinant une approche par les champs géographiques et une approche physionomique » (Thinon, 2003). Cette démarche, qui suppose une analyse visuelle, ne peut être mise en oeuvre qu'aux échelles où la différenciation spatiale des systèmes de culture produit des formes géographiques visibles.

D'autres travaux ont analysé l'organisation et la dynamique des systèmes de culture et des structures parcellaires au moyen de la modélisation graphique, à base de chorèmes, en interprétant cette dynamique comme la conséquence de la modification des orientations productives et des pratiques individuelles. La « chorématique » a notamment été utilisée au niveau du territoire de l'exploitation, pour analyser des « trajectoires d'exploitations » engagées dans des dynamiques d'innovations (Capitaine, Benoît, 2001 ; Bonin, 2001). A partir de là, une typologie du fonctionnement spatial des exploitations peut être élaborée pour rendre compte de leur organisation spatiale et de leur logique de gestion (Houdart, Bonin, Saudubray, 2003).

Une autre partie des travaux de la « géoagronomie » est individu-centrée, en opposition à la démarche "spatio-centrée" classique de l'analyse spatiale. Dans ces travaux, l'espace est considéré comme facteur des pratiques agricoles : c'est le rôle de la structure spatiale sur la

prise de décision individuelle qui est étudié. Ce positionnement est classique en agronomie, dans la mesure où l'agronome recherche les atouts et contraintes de l'espace qui supporte l'activité agricole, notamment à travers ses caractéristiques physiques. Il est par ailleurs amené à considérer des paramètres de formes et de distance relatifs aux caractéristiques du parcellaire : l'adoption d'une pratique culturale dépend en effet de la forme de la parcelle sur laquelle elle doit être mise en œuvre, de son éloignement et son accessibilité depuis le siège de l'exploitation, des pratiques mises en œuvre sur les parcelles voisines, en plus de ses caractéristiques physiques. L'approche individus-centrée est récente en analyse spatiale (Bonney, 2003). Elle permet d'articuler le niveau de l'individu et celui de la structure spatiale, en considérant un espace autant facteur que produit des pratiques individuelles.

Finalement, l'analyse spatiale des pratiques agricoles s'oriente autour de deux principaux axes de recherche :

- Le premier est l'analyse de la différenciation spatiale et de l'organisation spatiale des systèmes de culture pris à différentes échelles spatio-temporelles.
- Le deuxième est l'intégration de facteurs spatiaux dans l'analyse des pratiques agricoles et du fonctionnement des exploitations.

Ce deuxième axe nous intéresse particulièrement dans le cadre de notre questionnement sur les changements de pratiques viticoles. Il impose de ne considérer non plus uniquement le niveau de l'individu et de sa parcelle ou son exploitation mais leur rapport avec une structure plus globale. Si la « géoagronomie » intègre les rapports entre systèmes de culture et organisation spatiale, la sociologie et l'économie rurale traitent de la dimension sociale des pratiques agricoles à travers le concept de système localisé de production.

## **2. Des pratiques insérées dans une organisation sociale**

### **2.1 Le concept de système localisé de production**

Sociologie, économie et géographie rurale se retrouvent autour du concept de système localisé de production, qui possède une dimension territoriale et suppose de considérer l'ancrage de l'individu dans le collectif. Le concept a ainsi été développé dans une perspective de recherche sur « l'action innovante » (Chiffolleau, Dreyfus, Touzard, 1999), c'est-à-dire sur les conditions amenant l'agriculteur à adopter des pratiques nouvelles. Celles-ci sont considérées globalement au sein d'une organisation, au sens « d'entité décisionnelle à laquelle il est possible de reconnaître une certaine autonomie et qui, en fonction d'une finalité, coordonne des actions » (Papy, 2001): l'exploitation agricole en est une, le groupement d'agriculteurs (une coopérative, un groupe de collecte) en est une autre. Car en effet, « les décisions culturelles ne sont pas prises sur des portions de territoire indépendantes les unes des autres, mais sur l'ensemble du territoire d'action d'une organisation de production agricole » (Papy, 2001).

Un système localisé de production est donc constitué d'acteurs considérés individuellement, en interaction (qui entretiennent des rapports entre eux) par leur insertion dans des réseaux socio-professionnels. A l'intérieur de ces groupes, on reconnaît des "cliques" (Lazega, 1998) ou "grappes" (Chiffolleau, 2003), sous-unités du groupe où les individus interagissent plus fréquemment, par le biais de relations de dialogues directes (non médiatisées). Ces relations

mobilisent ou portent sur des objets matériels dits intermédiaires, situés (un bâtiment, des outils partagés) voire spatiaux (par exemple un chemin d'accès, un réseau de fossés de drainage). Les grappes ou cliques doivent être bien distingués des "blocs", définis comme des sous-ensembles constitués d'acteurs qui sont soit en situation d'équivalence structurale, par leur profil relationnel, soit en situation d'équivalence stratégique, par leurs pratiques : ils sont alors susceptibles de réagir de la même façon aux changements proposés par les leaders de l'organisation ou par les dispositifs institutionnels.

En effet, si le système local de production se construit à l'échelle locale, il est un système ouvert sur un contexte socio-économique global. Il mobilise donc des éléments extérieurs au système, représentés notamment par les dispositifs institutionnels.

L'aspect structural des systèmes localisés de production ayant été présenté, il reste à en évoquer l'aspect dynamique, à travers le cas de la viticulture languedocienne, en gardant à l'esprit la rétroaction qui existe entre cette dynamique globale et les changements de pratiques qui s'opèrent au niveau individuel.

## **2.2 La dynamique des systèmes localisés de production viticoles du Languedoc**

Présentons les principaux effets du changement de contexte de la viticulture régionale sur les changements de pratiques viticoles individuelles, en relation avec la modification des relations locales entre producteurs.

### *2.2.1 Un contexte : la révolution qualité*

La restructuration du vignoble a porté dès le début des années 80 sur la construction de la qualité du vin, à l'origine d'une diminution de la surface cultivée en vigne pour le Languedoc-Roussillon, passée de 450000 ha en 1975 à 298000 ha en 2000 (Agreste, 2001). Dans le même temps, l'encépagement a évolué, incité par la politique de l'Etat grâce aux primes à l'arrachage des cépages traditionnels (aramont et alicante). Seulement 45 % des vignes arrachées en 20 ans ont été replantés, en cépages régionaux traditionnels (carignan, cinsault, grenache, syrah) pour les AOC en coteaux, en cépages améliorateurs (cabernet franc, cabernet sauvignon) pour les "nouveaux" vins de pays de la plaine littorale.

### *2.2.2 Le modèle « 20 hectares, un homme seul »*

Parallèlement à la construction de la qualité du vin, ces 20 dernières années ont été celles de la mécanisation du vignoble avec l'introduction d'innovations techniques telles que la machine à vendanger ou le pulvérisateur à canon. Pour être mécanisable, la vigne doit être taillée en guyot, et l'espace entre les rangs doit être suffisant. Ainsi, en même temps que les vignes sont renouvelées, les pratiques de conduite de la vigne évoluent. La mécanisation du vignoble pousse les viticulteurs à étendre leur exploitation, par les gains de temps qu'elle génère, mais également pour une question de rentabilisation des investissements. Sous l'effet du modèle « 20 ha, un homme seul » (Chiffolleau, 1998), l'exploitation est passée d'une moyenne régionale de 6,8 ha en vigne en 1988 à 9,5 ha au dernier recensement agricole de 2000 (Agreste, 2001). Les contraintes de temps et d'argent ont par ailleurs poussé le viticulteur à modifier ses pratiques de traitement et d'entretien de la vigne à la parcelle: il a été incité à adopter le désherbage chimique total (sur le rang et l'inter-rang), nouveau, rapide et à moindre coût, de même qu'il a été amené à négliger l'entretien des interchamps et

notamment des fossés. Par conséquent, le modèle « 20 ha, un homme seul » a nuit à la qualité de l'environnement.

### 2.2.3 *Evolution des rapports professionnels en milieu coopératif*

Le modèle « 20 ha, un homme seul » a donc conduit à des pratiques au sein de l'exploitation globalement plus économes en temps de travail, plus exigeantes en technicité, en investissements mais il a également modifié les relations au sein d'une organisation sociale marquée par le système coopératif. En effet, la coopération occupe une place essentielle dans la viticulture languedocienne où elle vinifie les trois quarts de la récolte (Agreste, 2001) et rassemble plus de 90 % des viticulteurs. L'évolution des rapports socio-professionnels au sein des coopératives languedociennes a été étudiée par les chercheurs de l'UMR Innovation de l'INRA (Touzard, Chiffolleau, 2003). Ils ont constaté un relâchement des relations de dialogue entre viticulteurs qu'ils ont interprété par « une crise de la norme » : en effet, l'inégale adhésion des viticulteurs à la révolution qualité et au modèle « 20 hectares, un homme seul » a conduit à une diversification des pratiques qui fait que " finalement, chacun fait bien comme il veut " (Chiffolleau, 1998). De plus, des tensions ont pu apparaître au sein des coopératives à propos des critères de qualité retenus pour établir le système de rémunération de la production.

Malgré la diminution des relations de dialogue entre viticulteurs, celles-ci concernent davantage des individus aux pratiques différentes, motivés par des objectifs différents, sur des enjeux nouveaux qui ne concernent plus seulement la viticulture mais le développement local des territoires. Les caves coopératives participent au processus de construction territoriale autour de deux domaines principaux :

- La recherche d'une identité au vignoble, qui sert autant à l'image du vin produit qu'au resserrement des liens entre viticulteurs.
- La promotion de pratiques plus respectueuses de l'environnement (qui sert aussi à l'image du produit).

Dans ce deuxième domaine, les viticulteurs se voient proposer un ensemble de spécifications par des organisations professionnelles, collectivités publiques, grande distribution, engageant plus ou moins le viticulteur : signature d'un contrat pour l'agriculture biologique, simple engagement moral (charte conduite raisonnée en Languedoc-Roussillon), incitations financières et mesures personnalisées pour les ex-CTE (Contrats Territoriaux d'Exploitation). La cave coopérative peut jouer un rôle dans la mise en œuvre de ces dispositifs. Par exemple, elle se constitue porteuse du projet de mise en place d'un CTE, qui se déclinera ensuite différemment selon les choix des viticulteurs. Toutes ces démarches préconisent, selon un degré plus ou moins fort, des mesures sur les traitements phytosanitaires mais encore des opérations d'aménagement des interchamps.

Finalement, le contexte socio-économique global de la viticulture a contribué à des changements de pratiques individuelles, motivés par la construction de la qualité du vin. Entre ces deux niveaux global et individuel, se situe le niveau territorial, auquel renvoie le concept de système localisé de production. L'importance de la coopération dans la viticulture languedocienne nous invite à ne pas sous-estimer le poids des interactions sociales sur les décisions individuelles de changer de pratiques. Or, les changements de pratiques modifient les positions sociales des viticulteurs au sein du système localisé de production et donc participent à sa dynamique globale. Il semble d'ailleurs que la recherche de la qualité du

territoire dans lequel s'organise la production, dans un but de valorisation et de protection, soit le nouveau mot d'ordre, relevant du niveau local cette fois, qui motive les changements de pratiques individuelles (Fabbri, 2003).

### 2.3 La dimension spatiale des systèmes localisés de production

Comment s'organisent spatialement les systèmes productifs locaux viticoles et quel en est l'impact sur la spatialité des interactions sociales en leur sein ? Telle est la question que se pose le géographe, utilisant le concept de territoire, face aux recherches menées en sociologie et en économie rurale.

#### 2.3.1 *L'insertion des systèmes localisés de production dans des aires d'appellation plus larges*

La construction de la qualité du vin autour de la notion de terroir conduit à une diversification et à une hiérarchisation des vins par origine. Cela se traduit spatialement par la délimitation d'aires d'appellation d'origine contrôlée, définissant des champs géographiques (figure 3). La délimitation se fait par la reconnaissance de terroirs plus ou moins typiques. Les vins de pays, eux, renseignent sur la provenance géographique de la production (vin de pays d'Oc, vin de département) sans référer à un terroir délimité.

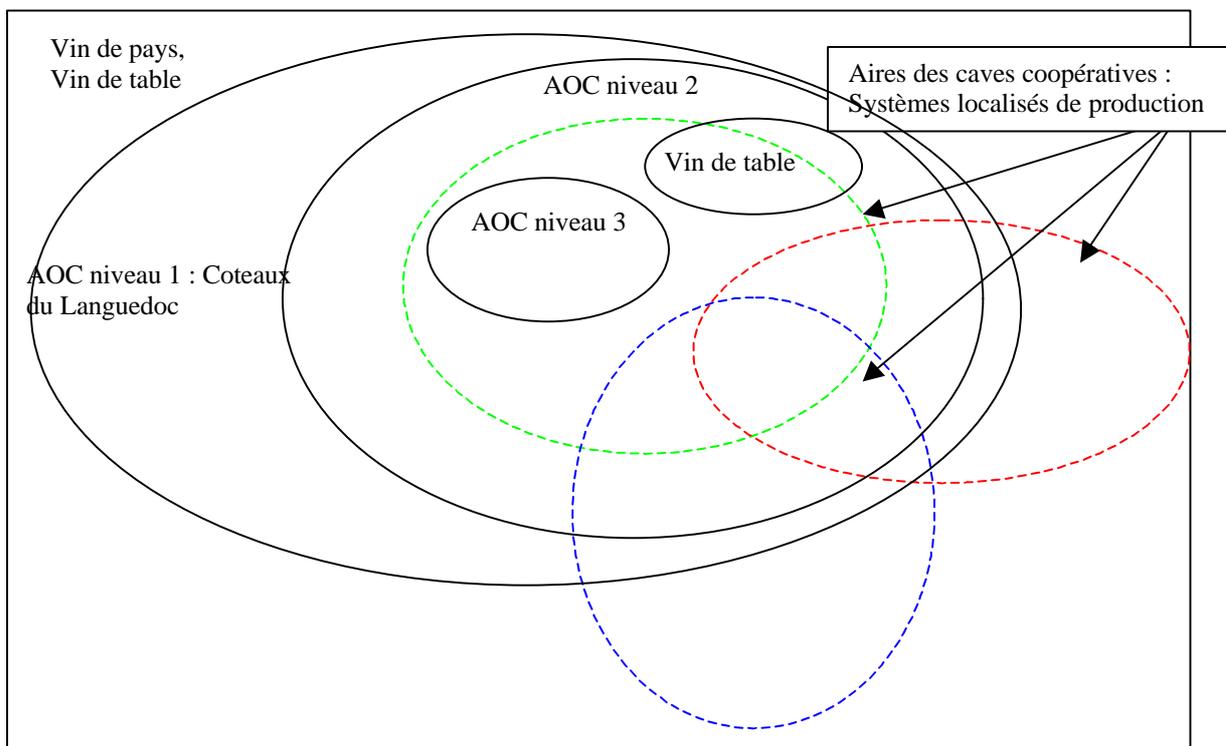


Figure 3 : Insertion des systèmes localisés de production dans des aires d'appellation hiérarchisées.

Dans le Languedoc, on distingue trois niveaux d'appellation d'origine contrôlée : l'AOC niveau 1 est à l'échelle régionale (Coteaux du Languedoc), celle de niveau 2 (Saint-Chinian, Faugères,...) est à l'échelle d'un terroir plus ou moins étendu, enfin l'AOC de niveau 3 reconnaît la typicité d'un terroir délimité à l'échelle du lieu-dit ou du domaine. Les formes de ces aires AOC présentent des vacuités internes voire même sont morcelées (c'est la cas de l'AOC Coteaux du Languedoc), du fait de la présence de parcelles ne répondant pas aux exigences de l'AOC quant à l'orientation de la production et au mode de conduite.

Les systèmes localisés de production définissent d'autres formes spatiales, reconnaissables par la délimitation des bassins d'alimentation des caves coopératives. Elles même sont morcelées et présentent des vacuités internes liées à la présence des viticulteurs produisant en cave particulière. Elles sont en outre enchevêtrées, se recoupant partiellement.

Le système localisé de production désignant une organisation sociale, la géographie propose l'étude de sa spatialité, se fondant sur le postulat fondamental que les positions relatives (ou situations géographiques) des individus, membres de groupes, déterminent en partie la forme et l'intensité des interactions sociales.

Un premier travail d'analyse spatiale des formes prises par les systèmes localisés de production pourrait être de les caractériser et de les mettre en relation: une forme, compacte ou éclatée, intersectant avec une autre, renseigne sur l'intensité des interactions sociales au sein du groupe et donc sur le poids du groupe sur les changements de pratiques individuelles. Un deuxième travail serait d'analyser l'agencement des mêmes formes avec les aires d'appellation de différents niveaux. De cette manière, on obtiendrait une indication supplémentaire sur la cohésion interne du groupe par rapport aux stratégies d'orientation de la production. Un autre travail serait d'analyser plus précisément les positions spatiales des individus au sein d'un même système localisé de production, ce qui renvoie aux concepts de proximité et d'interaction.

### *2.3.2 Les concepts de proximité et d'interaction*

Traditionnellement, l'analyse spatiale étudie des relations entre des lieux, usant du concept d'interaction spatiale, défini comme l'étude de l'influence de la proximité spatiale des lieux sur l'intensité des relations qui peuvent se constituer entre eux (Grasland, cours en ligne, 2001-2002). Les relations entre lieux ont alors trait à des agrégats sociaux ou économiques localisés dont on considère le comportement moyen résumant celui des individus. Dans la démarche individu-centrée qui est la notre, l'étude de la spatialité des interactions sociales, au sein d'une organisation sociale (ou réseau social), revient à considérer les relations de proximité entre des individus situés dans l'espace.

Le concept de proximité est défini « comme un jugement de valeur qui porte sur une perception de la distance entre deux objets distincts » (Le Boulch, 2001), en l'occurrence deux individus. Ce jugement de valeur est porté soit par l'individu qui évalue sa position par rapport aux autres, soit par le chercheur qui étudie l'organisation sociale. Ainsi, la proximité qualifie la distance, qui « caractérise quantitativement par la mesure à partir d'une unité arbitrairement définie le rapport entre deux objets distincts » (Le Boulch, 2001). Aussi la distance est-elle multiple : spatiale, sociale, temporelle. Le sociologue cherchera à caractériser la proximité sociale entre individus, tandis que le géographe, dans son étude de la spatialité des réseaux sociaux, identifiera deux types de proximité (Grasland, hypergéogéographie, encyclopédie en ligne) entre individus ou lieux appartenant à ces individus, c'est-à-dire leur propriété:

- La proximité spatiale renvoie à la notion de voisinage. Elle caractérise la distance entre individus, se rapportant soit à une distance métrique, soit à une mesure des relations topologiques, dont la relation de contiguïté (Pumain, hypergéométrie). L'interaction spatiale désigne alors le fait que deux individus/lieux proches sont en moyenne plus en relation que deux individus/lieux spatialement éloignés (Grasland, cours en ligne).
- C. Grasland définit la proximité territoriale comme « une forme particulière de proximité où la distance entre deux lieux/individus est liée à leur appartenance à des entités territoriales de niveau supérieur ». L'interaction territoriale se rapporte alors au fait que deux individus/lieux appartenant à une même maille territoriale ont en moyenne plus de relation que deux individus/lieux appartenant à deux mailles différentes. Dans l'étude de la spatialité des systèmes localisés de production, la prise en compte des interactions territoriales suppose de confronter les formes de ces systèmes aux aires territoriales que sont les aires d'appellation, ou encore le maillage communal.

En conclusion, au sein des systèmes localisés de production, les changements individuels de pratiques sont influencés par des paramètres de proximité sociale, déterminant les interactions sociales. La spatialité de ces interactions sociales, plus ou moins évidente, est due à la plus ou moins grande importance qu'ont les relations de proximité spatiale et territoriale entre acteurs.

### **3. Positionnement par rapport à l'auto-organisation du système**

#### **3.1 Notre objectif de modélisation par rapport à la notion d'organisation**

Le système localisé de production a été défini comme une organisation sociale, composée d'individus situés, en interaction et insérés dans un contexte socio-économique et institutionnel global. Notre questionnement porte alors sur la prise de décision de viticulteurs de changer de pratiques culturelles, à partir de la considération de paramètres de situation et de contraintes individuelles d'une part, de leur situation au sein d'un système localisé de production d'autre part. Cela nous amène à considérer les influences et/ou les contraintes relationnelles et institutionnelles qui pèsent sur les décisions individuelles.

Notre positionnement est donc de considérer les changements de pratiques individuelles en interaction avec une structure socio-spatiale. Il apparaît alors fondamental de distinguer deux usages de la notion d'organisation :

- L'organisation du système localisé de production, qui renvoie à sa structure, sociale et spatiale.
- L'organisation du changement de pratiques qui s'effectue au sein du système localisé de production, lorsque ce changement réfère à des pratiques innovantes.

Dans notre travail de modélisation, l'organisation sociale du système localisé de production sera considérée *a priori* et pèsera sur les décisions des individus, sans que ceux-ci modifient leur position au sein du réseau social. La structure spatiale référant à l'organisation du parcellaire sera quant à elle considérée comme stable. Nous axerons alors nos réflexions sur l'organisation du changement de pratiques, ce changement constituant un « système d'action innovante », entendu comme « une séquence d'actions et d'interactions qui engagent

des individus intégrés mais aussi extérieurs au système de production localisé » (Chiffolleau et al., 1999). Dans quelle mesure peut-on considérer un « système d'action innovante » comme un système auto-organisé ?

### **3.2 L'auto-organisation d'un système**

L'auto-organisation d'un système est définie comme « la propriété attribuée à un système dont l'organisation ne résulte pas de forces extérieures, mais de l'interaction de ses éléments » (Dauphiné, 2003). Une loi commune aux systèmes auto-organisés est « qu'ils ne subissent aucune contrainte externe en provenance de leur environnement, bien qu'ils soient ouverts sur cet environnement » (Dauphiné, 2003), ce qui signifie qu'ils échangent de la matière et/ou de l'énergie avec l'extérieur, mais qu'en aucun cas cet environnement extérieur ne contraint les interactions internes. A cette propriété caractérisant le processus d'auto-organisation, s'ajoute celle de l'état stationnaire du système qui en résulte : un système est auto-organisé dès lors qu'il se conserve, que « toutes les entités du système sont quasi-déterminées à l'égard d'un état particulier » (Phipps, Langlois, 1997). Cependant, la configuration stationnaire observée n'est que l'une des configurations stationnaires qui étaient possibles à partir du jeu des interactions locales. Le système peut bifurquer vers l'une ou l'autre de ces configurations stables (attracteurs) à partir de l'amplification d'une faible fluctuation (Pumain, 1989).

### **3.3 L'auto-organisation du changement, ou l'auto-organisation du système d'action innovante**

A partir de ces considérations sur les propriétés des systèmes auto-organisés, on se pose alors deux questions : un système d'action innovante, qui se met en place dans un système localisé de production réagissant à un contexte socio-économique et politique changeant, peut-il relever de l'auto-organisation ? Doit-on considérer l'environnement extérieur au système, qui serait représenté par un dispositif institutionnel, comme organisateur du processus d'innovation locale ? En somme, l'intention relève-t-elle de l'institution ou de l'individu ?

Dans le cas où l'on considère que l'intention relève de l'institution, les changements de pratiques s'étudient dans un schéma diffusionniste, les pratiques innovantes étant introduites par le haut au sein d'un groupe. Or, même dans ce cas, selon E. Daudé (2004), « la nature décentralisée des phénomènes auto-organisés est en partie vérifiée pour les phénomènes de diffusion, car les exemples de diffusion totalement planifiée se conformant avec précision aux plans originels sont peu nombreux ».

A l'inverse du schéma diffusionniste, dans le schéma "émergentiste", l'intention de changer de pratiques provient uniquement de l'individu. Les pratiques innovantes sont alors « le produit d'interactions entre acteurs hétérogènes reconnus en situation d'interdépendance stratégique au sein d'un système localisé de production » (Chiffolleau et al., 1999). Le processus d'auto-organisation du système d'action innovante suppose que les règles d'interaction entre individus « soient exécutées à partir d'informations strictement locales, sans référence ou intervention du modèle global ni même de l'extérieur, du moins pas principalement » (Daudé, 2004). L'état auto-organisé du système s'obtient quand se stabilisent les processus d'innovation, quand chaque individu est conditionné à une pratique qu'il conserve. Le système d'action innovante se désactive alors.

Dans notre travail de modélisation, notre position ne sera pas tranchée entre schéma diffusionniste et schéma émergentiste. Selon le poids donné aux paramètres relationnels, de

proximité socio-spatiale, ou aux paramètres contextuels par l'intermédiaire d'un dispositif institutionnel, l'un ou l'autre de ces schémas sera privilégié.

\*\*\*\*

Nous posons le niveau individuel comme le niveau pertinent d'analyse des pratiques agricoles en général, viticoles en particulier. Outre le fait que ces pratiques se hiérarchisent en fonction de leur portée spatio-temporelle, une réflexion sur les facteurs qui pèsent sur les changements de pratiques suppose de ne pas considérer l'individu comme une entité isolée, mais située dans un environnement socio-spatial plus global.

Si le champ de l'agronomie se limite à l'analyse des déterminants qui pèsent sur le processus de décision individuelle, la géographie et la sociologie posent la question de la réciprocité entre le niveau individuel et celui de la structure spatiale et sociale, ce qui suppose de prendre en compte des interactions socio-spatiales déterminées par des paramètres de proximité dans l'espace d'une part, au sein d'un groupe d'autre part.

Le concept d'auto-organisation réfère à la notion d'émergence d'une macroconfiguration, (structure spatiale et/ou sociale) stable à partir de l'interaction entre ses éléments. Or, la structure produite exerce une rétroaction sur les comportements individuels, induisant une émergence de second ordre selon l'expression de N. Gilbert (Gilbert, 1995).

Ainsi, il s'agit de voir, dans la deuxième partie, comment les différentes approches de modélisation individu-centrées, qui reposent sur le paradigme de l'auto-organisation, prennent en compte la réciprocité entre le niveau individuel et le niveau structurel.

**Deuxième partie :**  
**Apport des Systèmes Multi-Agents à la modélisation**  
**individu-centrée des systèmes auto-organisés**

Les travaux de modélisation individu-centrés formalisent les liens entre les unités élémentaires d'un système et son organisation globale. Ces travaux mettent en évidence la complexité des systèmes, dont la structure globale est un tout qui est plus que la somme des composantes, et dont la dynamique de fonctionnement global est difficilement prédictible à partir de l'analyse des interactions élémentaires entre les composantes (AC SHS, 2004).

L'objet de cette deuxième partie est de présenter et comparer différentes approches de modélisation individu-centrée, reposant sur le paradigme d'auto-organisation et sous-tendant les concepts d'interaction entre entités et d'émergence de structure. En effet, deux grandes approches se distinguent, la première fondée sur une formalisation mathématique et la deuxième sur la programmation de règles informatiques.

Les Systèmes Multi-Agents relèvent de cette deuxième approche. Cet outil de modélisation informatique, issu de l'Intelligence Artificielle Distribuée (Ferber, 1995), offre une grande souplesse pour gérer les interactions entre les objets de différents niveaux d'organisation. Ressortant d'une approche constructiviste s'opposant à l'approche analytique, les SMA intéressent les disciplines des sciences humaines et sociales en considérant l'importance des actions individuelles qui concourent à l'émergence de la structure et donc à l'organisation du système en tant que tel.

Nous développerons cette deuxième partie en considérant, d'une manière générale, des travaux de modélisation qui portent sur l'auto-organisation de trois grands types de systèmes :

- L'auto-organisation d'un système spatial, qui relie des individus à des lieux, les individus choisissant de migrer d'un lieu vers un autre.
- L'auto-organisation d'un système social, qui relie des individus à des groupes sociaux.
- L'auto-organisation d'un système d'action, d'ordre plus général que les deux premiers, qui relie des individus à des stratégies d'action, ou à des groupes caractérisés par la même stratégie.

La macroconfiguration observée sera la population (nombres d'individus) recensés en chaque lieu ou dans chaque groupe.

Notre travail de modélisation des changements de pratiques viticoles, ou du « système d'action innovante », porte exclusivement sur le troisième type, bien que les deuxième et troisième types puissent être considérés simultanément. Quant au premier type, il suppose de considérer des déplacements de l'individu dans l'espace, ce qui n'est pas le cas au sein d'un système localisé de production où les individus sont considérés comme fixes. Cependant, gardons bien à l'esprit qu'un travail de modélisation relevant du troisième type n'exclut pas de situer l'individu dans une structure socio-spatiale, qui, par contre, sera définie *a priori*.

# 1. La pluralité des approches individu-centrées

## 1.1 La méthode synergétique

S'inspirant de la théorie synergétique (Haken, 1983), très proche du concept d'auto-organisation, la méthode de modélisation synergétique, développée par W. Weidlich et G. Haag (Weidlich-Haag, 1983), est individu-centrée dans la mesure où elle se fonde sur une description stochastique des processus de décision individuelle. Elle a été appliquée en géographie pour l'analyse de systèmes de peuplement (Sanders, 1992). Le passage du niveau de décision individuelle à la dynamique de la macrostructure se fait par l'intermédiaire d'équations différentielles, les équations maîtresses, continues dans le temps, qui expriment la probabilité d'avoir une configuration donnée en fonction du taux de transition individuel. Cependant, les décisions individuelles sont expliquées par des facteurs macroscopiques si bien que les comportements des individus sont indifférenciés.

## 1.2 La méthode par la microsimulation

Une autre approche mathématique est la microsimulation, qui a été utilisée en géographie pour modéliser des migrations intraurbaines (Tannier et al., 2001 ; Sanders, 1999) : elle formalise le processus de décision individuelle par la probabilité qu'un individu fasse le choix  $k$  au temps  $t+\Delta t$  sachant qu'il avait fait le choix  $j$  au temps  $t$ . Par cette méthode, les variables individuelles différencient des types d'individus qui évaluent différemment les choix possibles. L'approche probabiliste du choix fait que les individus ont des comportements différents. Cependant, par cette approche comme par l'approche synergétique, les individus sont indépendants, les décisions ne sont pas influencées par des facteurs de proximité sociale et encore moins spatiale.

En effet, dans ces deux approches mathématiques, l'espace n'est pas pris en compte, à moins de l'assimiler à un paramètre qui caractérise globalement le système, mais qui n'est en aucun cas modifié. Ces approches ne considèrent ni l'interaction entre l'individu et son environnement<sup>1</sup> ni l'inscription spatiale de ses actions. De ce fait, si une macrostructure émerge de la somme des actions individuelles, celle-ci ne rétroagit pas en retour sur l'individu.

## 1.3 Les automates cellulaires

Un automate cellulaire est un outil informatique de modélisation individu-centrée pour laquelle les individus ne sont pas directement représentés, mais dont on considère l'inscription de leurs comportements au niveau d'entités spatiales élémentaires (les cellules). A la différence des approches mathématiques, l'environnement spatial du système est représenté par une grille de cellules dont le modélisateur définit des règles d'évolution selon le principe de l'autocorrélation spatio-temporelle : l'état d'une cellule au temps  $t+1$  dépend de l'état de cette cellule et de son voisinage au temps  $t$ . Ainsi, la dynamique du système repose sur les interactions locales entre entités spatiales voisines.

---

<sup>1</sup> L'interaction entre les individus (approche synergétique) ou l'individu (approche par la microsimulation) et l'environnement socio-spatial du système est prise en compte globalement dans l'évaluation de l'attractivité pour les différents lieux du système.

De ce fait, les automates cellulaires intègrent les interactions sociales de manière agrégée au niveau des entités spatiales, ce qui signifie d'une part que les individus ont un comportement homogène au sein de ces niveaux élémentaires, d'autre part que leurs interactions se limitent à des relations de proximité spatiale. On comprend qu'il s'agit là d'une approche "sur-spatialisatrice" ou "normative", selon l'expression de R. Burt, reprise par J.L. Bonnefoy (Bonnefoy, 2003).

Ainsi, la présentation des différentes approches de modélisation individu-centrée met en évidence la difficile prise en compte des interactions sociales entre les individus du système : les approches mathématiques considèrent les décisions individuelles comme indépendantes, uniquement liées à la perception des attributs des lieux par un (microsimulation) ou par tout (synergétique) individu. Le système n'étant pas spatialisé, la structure globale ne rétroagit pas sur les comportements individuels. L'approche par les automates cellulaires pallie à ce défaut, mais du même coup agrège le niveau individuel au niveau des entités spatiales élémentaires, si bien que « la structure spatiale s'impose aux individus » (Bonnefoy, 2003). Les interactions sociales se limitent alors à des relations de voisinage spatial. Dans la suite du texte, nous présenterons les apports des Systèmes Multi-Agents pour une meilleure prise en compte des interactions individus-espace-société (Bonnefoy, 2001).

## **2. Les principes de la modélisation Multi-Agents**

Nous commencerons par présenter les SMA dans leur aspect technique, en tant qu'outil informatique, afin d'en faire ressortir les possibilités d'implémentation des principes théoriques relatifs à l'approche individu-centrée.

### **2.1 Définition**

Un Système Multi-Agents est défini par J. Ferber comme « constitué d'un ensemble d'agents autonomes et indépendants en interaction, qui coordonnent leurs actions dans un environnement et forment une organisation artificielle » (Ferber, 1995). D'un point de vue informatique, tout comme les automates cellulaires, les SMA relèvent de l'Intelligence Artificielle Distribuée, qui consiste à résoudre un problème en le découpant en tâches qui sont traitées par un ensemble de programmes informatiques, les agents, se déroulant en même temps, partageant des ressources communes et communiquant entre eux. Les deux grands domaines d'utilisation des SMA sont la résolution de problèmes informatiques et la simulation de systèmes complexes, mettant en œuvre le concept d'émergence.

### **2.2 Les bases de la programmation objet**

Nous nous limiterons à présenter dans ce paragraphe les principes d'une programmation objet telle qu'elle est utilisée sur certaines plates formes multi-agents<sup>2</sup>. Les objets sont des entités caractérisées par une structure (des attributs) et par des mécanismes d'exécution (méthodes ou règles) (Ferber, 1995).

Un premier grand principe de programmation est la relation classe-objet : les objets sont les instances d'une classe : une classe est caractérisée par ses attributs, dont les modalités sont prises par chaque instance de la classe, et par ses méthodes (ou règles) qui définissent ce que

---

<sup>2</sup> Notamment la plate-forme Cormas développée au CIRAD-Montpellier.

« peut faire » chaque instance. Par exemple, la classe "Voiture" compte tous les objets "voiture" caractérisés par leurs marques, leur propriétaire, etc., capables de démarrer, de rouler, de tomber en panne, etc.

La programmation se fonde sur trois types de relations définies entre les classes :

- Des relations de spécialisation de classes (héritage) : « est un type de ». Une sous-classe hérite de tous les attributs et méthodes d'une super-classe.
- Des relations d'association entre instances (objets) de classes différentes : « agit sur, interagit avec ».
- Des relations d'agrégation, qui sont des associations particulières : « est composée de ».

De ces principes de programmation découlent plusieurs considérations quant aux apports de l'approche multi-agents pour la simulation des systèmes auto-organisés.

### **2.3 Des agents autonomes...**

Le premier apport des SMA par rapport aux automates cellulaires est de considérer l'individualité des agents, ce qui donne la possibilité de modéliser directement leur comportement. Un agent est autonome par rapport à son environnement spatial. En effet, la relation de hiérarchie entre classes permet de considérer au moins deux grands types de classes, les entités spatiales et les entités sociales. Une association entre ces deux types de classes permet la situation, la perception et l'action des agents dans leur environnement. Un agent est par ailleurs autonome par rapport aux autres agents : il est doté d'attributs qui en font un individu unique aux objectifs propres.

La relation d'agrégation entre classes permet d'autre part d'appréhender les entités spatiales et sociales à différents niveaux d'organisation, caractérisées par des variables et des processus qui leur confèrent une autonomie dans le système. Cette approche multi-niveaux permet de définir l'environnement social d'un agent : un agent peut être membre d'un groupe, les autres membres du groupe constituant ses accointances.

Ce premier grand principe d'autonomie des individus par rapport à l'espace et au groupe social rompt avec l'approche "surspatialisante" des automates cellulaires. Il permet de « relier de manière explicite des évolutions macro-géographiques, non plus aux seules interactions entre des unités méso-géographiques, mais aussi à des comportements individuels » (Pumain, 2001). Chaque individu possède son environnement, spatial s'il est situé (au sens de localisé), social s'il est communicant.

Chaque agent interprète et agit dans/sur son environnement suivant ses moyens limités, par les méthodes que lui donne le modélisateur. On distingue toute une gradation entre l'agent réactif qui ne réagit qu'à des stimuli de son environnement socio-spatial et l'agent cognitif capable de raisonner et planifier ses actions.

### **2.4 ...en interaction avec leur environnement socio-spatial**

L'interaction étant définie comme une action réciproque entre deux ou plusieurs acteurs ou lieux (Brunet, 1992), les SMA permettent la prise en compte de différents types d'interaction :

- Des interactions entre entités spatiales, comme dans un automate cellulaire, sur lesquelles nous ne reviendrons pas.
- Des interactions entre individus et espace, par les mécanismes de perception et d'action située.
- Des interactions sociales entre agents :
  - d'une même classe, par le biais des accointances
  - de classes différentes, par exemple une interaction entre un agent agriculteur et un agent éleveur
  - de classes différentes correspondant à deux niveaux d'organisation sociale : interaction entre un individu et un groupe social.

Les interactions sociales se font selon deux principaux modes : indirectement par un biais spatial ou directement par communication entre agents.

#### *2.4.1 Les interactions sociales par l'espace*

Les SMA permettent de prendre en compte un premier type d'interactions sociales, celles n'ayant pas forcément un caractère intentionnel. Des influences sociales s'exercent par les mécanismes individuels de perception des objets spatiaux et d'actions situées, que le géographe nomme pratiques spatiales. Nous distinguerons parmi ces pratiques d'une part les actions de mobilité, d'autre part les actions d'exploitation, de modification ou de déplacement des objets spatiaux. Pour les premières, la structure spatiale n'est pas forcément modifiée, mais la simple position relative des autres individus dans l'espace constitue une certaine forme d'interaction sociale qui oriente le processus individuel. Pour les actions modificatrices de la structure spatiale, « chacun agit sur l'espace en fonction de sa représentation et modifie l'espace pour les autres » (Bonnefoy, 2001, 2003).

Ainsi, dans les SMA où les agents sont situés mais non communicants, les interactions sociales se font par l'espace, plus précisément par l'intermédiaire des rapports individuels à l'espace. Les mécanismes de perception des lieux et de leur voisinage fréquentés (pratiqués) par un individu permettent la construction de représentations, généralement sous la forme de mémoire (stockage des informations relatives à ces lieux). Des représentations collectives peuvent également être construites, correspondant alors à la moyenne des représentations individuelles. Les représentations sont rendues évolutives d'une part par l'apprentissage individuel de l'espace au gré des pratiques spatiales, d'autre part par l'évolution de la structure spatiale elle-même ou de la valeur des lieux<sup>3</sup> (Bonnefoy, 2001).

#### *2.4.2 Les interactions sociales par la communication*

Une autre forme d'interaction sociale développée dans les SMA, est celle qui concerne les communications directes entre agents. Les relations entre individus et espace, dans cette forme d'interaction, ne sont alors plus des relations entre individus par l'espace, mais à propos de l'espace. La communication se fait par messages, impliquant un agent envoyeur et un autre receveur. Les deux sont associés à une entité ni sociale, ni spatiale, dite passive : la classe "Message", qui peut elle-même être située. Cette forme d'interaction permet des s'affranchir des contraintes de situation des agents : un agent peut interagir avec n'importe quel autre, relevant du niveau individuel ou du groupe.

---

<sup>3</sup> Nous renvoyons au modèle de ségrégation de J.L Bonnefoy, dans lequel les individus, par leurs pratiques de l'espace, le "marquent" d'une valeur de prestige, qui sert à la construction de représentations, individuelles et collectives. Celles-ci orientent les pratiques individuelles.

Les motifs de la communication sont divers : le plus simple est la diffusion d'une information (notamment spatiale), parce qu'elle peut s'établir entre des agents réactifs. Un autre motif est l'allocation de tâches ou de rôles au sein d'une organisation. On réservera là le terme d'organisation pour désigner les modes de coopération entre acteurs dans des contextes où ceux-ci ne sont pas mus par leurs seuls intérêts personnels mais lorsqu'il existe un intérêt à agir collectivement : c'est le cas des problématiques de gestion des ressources naturelles en quantité limitée (Weber, 1995). Plus spécifiquement, le terme coopération sous-entend différents types d'interaction : une collaboration, désignant la répartition des tâches, une coordination, définissant l'ordre des actions à effectuer, une résolution de conflits, par arbitrage ou négociation (Ferber, 1995). La mise en œuvre de telles interactions exige le développement de protocoles de communication entre agents cognitifs, capables de raisonner.

## 2.5 L'émergence dans les SMA

Les interactions définies au niveau individuel entre les agents du système, qu'elles soient intentionnelles ou non intentionnelles, par l'espace ou à propos de l'espace, font émerger une structure spatiale, *a priori* non perçue dans son ensemble par les agents, mais dont la modification exerce une influence sur les pratiques spatiales, par le biais des représentations. Nous remarquerons qu'il peut paraître abusif de parler d'émergence pour une structure spatiale qui se modifie, alors que le concept a été défini pour désigner des configurations particulières, montrant une certaine stabilité ou une régularité au niveau global (Jean, 1997). Mais passons outre cette ambiguïté, en considérant l'émergence dans un sens plus "commun". Les SMA permettent ainsi de considérer la rétroaction entre le niveau de la structure spatiale et celui de l'individu, sans que celle-ci s'impose à lui, ce qui constitue un apport majeur par rapport aux approches individus-centrées développées en analyse spatiale et présentées plus haut.

\*\*\*\*

Tout l'intérêt des Systèmes Multi-Agents, pour appréhender les systèmes sociaux spatialisés, provient du fait qu'ils considèrent les interactions entre des individus localisés dans l'espace, que ces individus ne perçoivent l'espace que localement et qu'ils sont en relation avec un nombre limité d'autres individus.

Le rapport de l'individu à son environnement n'est pas considéré dans les approches mathématiques individus-centrées. Dans la méthode synergétique, les comportements individuels sont considérés, mais expliqués par des facteurs macroscopiques qui agrègent les interactions entre les individus et l'espace. Par la microsimulation, les individus perçoivent les attributs des lieux (pour un système spatial), d'un groupe (pour un système social), d'une stratégie (pour un système d'action) différemment, en fonction de leur type, mais globalement, indépendamment de leur position par rapport à ces lieux ou dans le groupe. Un individu de type *i* percevra toujours un attribut d'un lieu/groupe *j* de la même manière. En effet dans ces approches, les attributs des lieux/groupes n'évoluent pas, sauf leur taille : en géographie, elles ont surtout été développées pour modéliser des systèmes de peuplement, considérant les mobilités sur un espace stable, dont la configuration globale est donnée par la répartition de la population en chaque lieu.

Par rapport aux automates cellulaires, les SMA améliorent la prise en compte de l'individualité, et du même coup, des interactions sociales. Certaines plates-formes, dont Cormas, permettent en effet de donner une autonomie à des entités sociales et spatiales relevant de différents niveaux, associées par des relations d'agrégation, ce qui autorise une approche multi-niveaux.

D'autre part, les formes d'interaction implémentables diffèrent : les interactions entre agents se font soit directement par la communication, soit indirectement par modification ou marquage de l'espace. De ces interactions émerge une structure sociale et ou spatiale globale qui rétroagit sur les comportements des individus, par le biais de leurs perception de l'espace et de leurs accointances.

Finalement, les SMA se rattachent aux modèles d'auto-organisation dans la mesure où « seules les règles locales sont édictées, et les comportements globaux en découlent » (Sanders, 1998). Quand la dynamique globale se stabilise, on peut véritablement utiliser le concept d'émergence d'une structure.

**Troisième partie :**  
**De la conceptualisation à la construction d'un modèle**  
**multi-agents de changement de pratiques viticoles**



photographie : vigne de Saint-Chinian, Carole Delenne, Cemagref, juin 2004

Notre travail est l'extension d'un premier modèle, Phylou, mettant en relation pratiques viticoles et environnement naturel. Il s'agit d'un modèle qualitatif de transfert des produits phytosanitaires de la parcelle au réseau hydrographique, essentiellement basé sur des règles empiriques (Borderelle, 2002). Le transfert des molécules est déterminé par des facteurs d'ordre édaphique, topographique, et d'occupation du sol. Le modèle a été développé à partir d'une plate-forme multi-agents qui offre la possibilité de visualiser le flux de polluants dans l'espace, à l'échelle d'un bloc de parcelles et le temps d'une campagne saisonnière. Si le processus physique est déjà formalisé, les SMA permettent de développer le processus de changement de pratique sans difficulté.

Le modèle Phylou a été développé dans un contexte d'incitation institutionnelle à adopter des pratiques plus respectueuses de l'environnement. Il a été conçu dans l'objectif de favoriser la communication et la négociation entre acteurs, dans une démarche de modélisation d'accompagnement, précisée dans la charte ComMod (ComMod, 2004): cette charte, adoptée notamment par des chercheurs du Cirad et du Cemagref pour des questions relatives à la gestion des ressources naturelles et des hydrosystèmes, pose le principe de construire un outil basé sur « la représentation la plus fidèle du réel ». Le modèle se nourrit du terrain par une opération d'abstraction, d'extraction d'éléments du réel considérés pertinents pour permettre d'avancer vers l'objectif de départ qui est « l'amélioration de la qualité de prise de décision collective ». Considérant que cette prise de décision est le résultat d'une « dynamique d'interactions entre acteurs, les apports de cette démarche peuvent être de trois types :

- modification des perceptions des acteurs de leurs actions et des actions des autres
- modification de leur façon d'interagir
- modification des actions qu'ils entreprennent ».

Notre travail s'inscrit quant à lui dans une démarche de modélisation expérimentale différente de la modélisation d'accompagnement: la modélisation multi-agents apparaît dans cette démarche comme un laboratoire virtuel qui autorise l'expérimentation. Elle est utilisée ici non pas pour favoriser l'émergence, au sein d'un système localisé de production, d'un système d'action innovante en matière d'utilisation des produits phytosanitaires, mais pour simuler, selon différents scénarii, l'effet d'un système d'action innovante sur la pollution de l'eau. Nous proposerons différentes règles d'interactions entre viticulteurs et d'influence institutionnelle influençant le processus de décision, sans que celles-ci aient été validées ou réfutées par des enquêtes auprès de viticulteurs.

Aussi peut-on envisager de développer des simulations sur un espace géographique abstrait, tandis que le modèle Phylou fonctionnait jusqu'ici sur un bloc de parcelles représentatif, en proportion d'occupation du sol et des pratiques de traitement, de la situation de paysages-types du bassin-versant du Taurou, situé dans le Languedoc.

# **1. Connaissances sur les pratiques de désherbage et les stratégies auxquelles elles se rapportent**

## **1.1 Les pratiques retenues dans Phylou**

Les pratiques ayant une influence directe sur la pollution des eaux sont d'une part celles qui déterminent la quantité de produits phytosanitaires susceptible d'être mobilisés par la pluie, d'autre part celles qui modifient les conditions de transfert de ces produits. Les diagnostics réalisés dans la région Languedoc montrent que les herbicides utilisés en viticulture font partie des molécules les plus régulièrement détectées dans les eaux. Outre le fait que les pratiques de désherbage déterminent la quantité de produit mobilisable, celles-ci modifient l'état de surface et favorisent le ruissellement. Par ailleurs, l'occupation du sol des bordures des parcelles et le fonctionnement des réseaux de fossés dans lesquels se déversent les eaux de ruissellement jouent un rôle primordial sur le transfert des polluants vers le réseau hydrographique.

Les pratiques qui ont été retenues dans le modèle Phylou sont les pratiques de désherbage (Borderelle, 2002). Elles se traduisent par un itinéraire technique appliqué à la parcelle, différenciable par :

- Le choix du produit
- La dose appliquée
- La date d'application.

Ainsi, dans Phylou, l'itinéraire technique en terme de désherbage constitue la variable d'entrée du processus de transfert des polluants, la pluie étant la variable de forçage. L'hypothèse retenue est la similitude entre la dynamique de l'eau est celle des polluants : la fonction de production, de type hortonien, détermine la part de produits qui va être transférée. Le transfert des polluants se fait selon la ligne de plus grande pente et tient compte aussi de la pédologie et de l'occupation du sol. Deux autres processus déterminent le flux de polluants : le premier est la rétention par le sol, fonction de la pédologie et de la solubilité du produit, le deuxième est la dégradation du produit, selon une décroissance exponentielle (Borderelle, 2002).

## **1.2 La diversité des pratiques de désherbage**

Une réflexion sur les facteurs influençant les changements de pratiques de désherbage nécessite de connaître les critères agronomiques qui justifient leur mise en œuvre. Ainsi, nous mettrons en évidence les liens entre une pratique de désherbage et la/les stratégies qui s'y rattachent, traduisant les objectifs du viticulteur. Les connaissances introduites ici sont à dire d'experts, issues de nos lectures bibliographiques (CORPEN, 1996, 1999 ; JADE 2002 ; ITV 2002) complétées d'un entretien avec A. Le Beuze, ingénieur agronome à la Chambre d'Agriculture de l'Hérault.

Nous distinguons quatre principaux types de pratiques de désherbage (tableau 1) différenciées selon la technique utilisée d'une part (chimique ou mécanique), la surface désherbée d'autre part (désherbage total ou enherbement de l'inter-rang).

<b>Pratique</b> Critères	<b>bio: aucun traitement chimique</b>	<b>Labour inter-rang</b>	<b>Enherbement inter-rang</b>	<b>Désherbage en plein</b>
<b>Faisabilité technique</b>	Même contraintes que pour le labour (très pratiqué)	Nécessite un écartement des rangs suffisant et une pente pas trop forte		Convient pour les vignes étroites en gobelet
<b>Micro-climat</b>	Augmente le risque de gelée (enherbement pratiqué)	Augmente le risque de gelée		Diminue le risque de gelée
<b>Sol, érosion</b>	Tout est fait pour améliorer la structure du sol (très travaillé)	Diminue le ruissellement mais augmente le risque d'érosion en cas de pluies intenses. Diminue la portance du sol, améliore sa structure	Diminue le ruissellement et le risque d'érosion. Améliore la portance et la structure du sol	Non travail du sol : l'imperméabilise et augmente le ruissellement
<b>Vigueur vigne = rendement</b>	Limiter volontairement la vigueur de la vigne	Ne diminue pas la vigueur ni donc le rendement	Diminue la vigueur de la vigne, si le sol est peu profond. Se traduit par une diminution du rendement (Lafosse, 2001)	Pas de lien direct
<b>Qualité</b>	Pas de lien direct	Pas de lien direct	Améliore la qualité des moûts si la vigne est modérément stressée	Pas de lien direct
<b>Pression parasitaire</b>	Maîtrisée car biodiversité respectée plus interception de la pluie	Difficile à évaluer	Mieux maîtrisée car interception de la pluie (pas d'effet splash)	Difficile à évaluer
<b>Coût (matériel, produits, temps)</b>	Beaucoup de travail mais pas de coût d'intrants	Globalement plus cher que l'enherbement (temps de travail)	Investissement au départ (semoir, gyrobroyeur) mais moins de travail que pour le labour	Le plus rapide et le moins cher

**Tableau 1 : Caractérisation des pratiques de désherbage (Sources : JADE, 2002 ; ITV, 2002 ; entretien A. Le Beuze, mai 2004).**

En zone méditerranéenne, un des objectifs majeurs est de limiter la concurrence hydrique de l'herbe avec la vigne durant l'été. Aussi le désherbage chimique sur le rang est-il pratiqué par la quasi-totalité des viticulteurs, mis à part les viticulteurs en agriculture biologique qui n'utilisent aucun intrant chimique et pratiquent donc un désherbage mécanique.

Dans les années 80, le désherbage chimique en plein (sur le rang et l'inter-rang) constituait une pratique innovante, permettant de travailler rapidement et à moindre coût. Or aujourd'hui, des pratiques alternatives se développent et sont préconisées (Chambres d'Agriculture, 2004), qui consistent à limiter le désherbage chimique de l'inter-rang. Contrairement à la stratégie de labour de l'inter-rang, la stratégie d'enherbement peut avoir un effet direct de diminution du rendement de la vigne et d'amélioration de la qualité du raisin. Il est pratiqué tout ou partie de l'année (temporaire ou permanent), sur tous les inter-rangs ou tous les deux inter-rangs. L'enherbement et le labour ont par ailleurs un effet positif sur la structure du sol, le premier limitant davantage le risque d'érosion que le second.

Cependant, la faisabilité technique des pratiques alternatives au désherbage chimique total est conditionnée par le mode de conduite de la vigne. En effet, les vignes en gobelet ne sont pas mécanisables (du fait de la plantation des ceps), si bien que le désherbage chimique, par canon, est majoritairement pratiqué.

A partir du tableau 1 présentant les avantages et inconvénients de chaque pratique par rapport à différents critères, on établit un lien entre une pratique de désherbage et la stratégie, ou l'état d'esprit du viticulteur qui la met en œuvre (tableau 2):

Pratique	Bio	Labour inter-rang	Enherbement inter-rang	Désherbage chimique en plein
<b>Etat d'esprit/ Stratégie du viticulteur</b>	Nécessite un "état d'esprit" : Préoccupation environnementale (au détriment du rendement voire de la qualité du vin)	- Attentif à la qualité du sol - Conscient des nuisances environnementales du tout chimique - Ne souhaite pas réduire sa production.	En coteau : diminuer le risque d'érosion ou réduire la production dans un but qualitatif.  En plaine : stress optimal de la vigne dans un but de limitation des rendements et/ou d'augmentation de la qualité	En vigne palissée : travailler rapidement à moindre coût.  En vigne en gobelet : pour des raisons de faisabilité technique avant tout.

Tableau 2 : Profils de viticulteurs selon les pratiques de désherbage (source : entretien A. Le Beuze).

### 1.3 Traduction des pratiques en itinéraire technique

Notre travail se fonde sur une première version de Phylou, modélisant le transfert, qui différenciait cinq types d'itinéraires techniques. Nous cherchons à les faire correspondre avec les quatre types de pratiques distingués plus haut (tableau 3):

Dénomination dans Phylou	ITINERAIRE TECHNIQUE		PRATIQUE
	Dose appliquée	Dates d'application	
« plein »	Deux doses	En février et en mai, 3 jours au minimum après la pluie	Désherbage chimique en plein sans respect de la dose
« pluri »	Une dose	Deux fois entre février et mai, sans tenir compte des aléas climatiques	Désherbage chimique en plein sans respect des dates
« rangPlein »	Une dose	En février et en mai, 3 jours au minimum après la pluie	Désherbage chimique en plein ou sur le rang mais sans respect de la dose
« rang »	1/3 de dose	En février et en mai, 3 jours au minimum après la pluie	Labour ou enherbement de l'inter-rang
« bio »	Aucune dose		Biologique

Tableau 3 : Itinéraire technique des pratiques de désherbage retenues dans Phylou (Borderelle, 2002).

Les pratiques de labour et d'enherbement de l'inter-rang sont équivalentes en termes de pression polluante, donc ne sont pas différenciées dans Phylou. Par ailleurs, le choix du produit n'est pas un critère de différenciation des itinéraires techniques. Les viticulteurs appliquent en égale proportion un produit A (à longue demi-vie, faible solubilité) et un produit B (à courte demi-vie et forte solubilité), quelle que soit leur pratique.

## 2. Conceptualisation du processus de décision individuel

### 2.1 Le processus de décision individuel

Nous dissocions le processus de décision individuel en deux phases : une première phase traduisant la disposition du viticulteur à changer de pratique, une deuxième phase de choix de la pratique la plus attractive. Les paramètres intervenant dans le processus de décision sont de trois ordres, qui seront explicités dans la suite de ce paragraphe :

- Les paramètres individuels
  - De situation du viticulteur et de sa parcelle
  - De sensibilité du viticulteur aux critères caractérisant une pratique
- Les paramètres de proximité sociale, spatiale, territoriale.
- Les paramètres contextuels, par l'intermédiaire d'un dispositif institutionnel.

#### 2.1.1 La disposition individuelle à changer

Nous considérons la disposition à changer pour telle ou telle pratique comme strictement individuelle, relative à la situation démographique du viticulteur : les deux critères retenus sont l'âge et la situation professionnelle, pluriactif ou à temps plein, du viticulteur. Ainsi, un viticulteur âgé ou pluriactif peut être attiré par une pratique alternative, sans pour autant être disposé (ou motivé) à changer de pratique. Par ailleurs, la disposition à changer est fonction de la date du dernier changement réalisé. Aussi la disposition à changer évolue-t-elle dans le temps.

#### 2.1.2 L'attractivité d'une pratique

A partir du tableau 2 reliant les pratiques de désherbage à une stratégie (ou un état d'esprit), nous déduisons trois principaux paramètres de sensibilité du viticulteur qui déterminent son attirance pour telle ou telle pratique (tableau 4). Chaque viticulteur est ainsi caractérisé par un niveau de sensibilité :

- au coût (temps de travail, investissements, intrants) – paramètre "sensibCout".
- à la qualité du sol (structure, risque d'érosion) – paramètre "sensibSol".
- à la qualité de l'environnement (en l'occurrence la qualité de l'eau) paramètre "sensibPollu".

Une contrainte de faisabilité technique retenue, qui oriente le processus de décision individuel, est le mode de conduite de la vigne. Nous avons considéré qu'une vigne conduite en gobelet, difficilement mécanisable, est peu compatible avec un labour ou enherbement de l'inter-rang, sauf dans le cas d'une agriculture biologique. Selon nos critères, cette orientation nécessite une sensibilité maximale à la qualité de l'environnement et du sol et une sensibilité minimale au coût.

La sensibilité au coût est par ailleurs déterminante pour différencier les pratiques "plein", "rangPlein" et "pluri" : le désherbage chimique total, respectant les doses et les dates d'application (trois jours au minimum après la dernière pluie) sera pratiqué par un viticulteur très sensible au coût. Même s'il est sensibilisé à la pollution et à la qualité du sol, si sa sensibilité au coût n'évolue pas, le viticulteur continuera à désherber tout chimiquement. Parmi ceux qui désherbent tout chimiquement, ceux qui ne respectent pas les dates

d'application sont ceux dont la sensibilité à la pollution est la plus faible, tandis que ceux qui doublent les doses sont nécessairement peu attentifs au coût.

Pratique (selon mode de conduite)	"Bio"	"Plein"		"Rang" : vigne palissée uniquement			"RangPlein"	"Pluri"
		vigne en gobelet	vigne palissée	1 <sup>er</sup> cas	2 <sup>ème</sup> cas	3 <sup>ème</sup> cas		
sensibPollu	5	1 à 5	1 à 3	1 à 5	4 ou 5	4 ou 5	1 à 5	1
sensibSol	5	1 à 5	1 à 3	4 ou 5	1 à 5	4 ou 5	1 à 5	1 à 5
sensibCout	1	1 à 3	1 à 3	1 à 3	1 à 3	1 à 3	4 ou 5	5

Tableau 4: Critères retenus pour la détermination de l'attractivité d'une pratique pour les trois paramètres de sensibilité.

Dans le cas d'une vigne palissée, le labour ou l'enherbement de l'inter-rang est possible : il sera mis en œuvre par des viticulteurs peu sensibles au coût et sensibles soit à la pollution, soit à la qualité du sol, soit aux deux à la fois.

Les critères de mise en œuvre de ces différents types de pratiques n'ont pas été validés par des experts. Pour cette raison, ils sont amenés à être reconsidérés. Quoi qu'il en soit, les paramètres de sensibilité du viticulteur et donc son attirance pour un type de pratique, sont rendus évolutifs par les diverses influences qu'il subit (figure 4). Finalement, au moment de la décision, le viticulteur change de pratique d'une part en fonction de sa disposition à changer, d'autre part s'il est attiré par une pratique autre que celle qu'il mettait en œuvre auparavant.

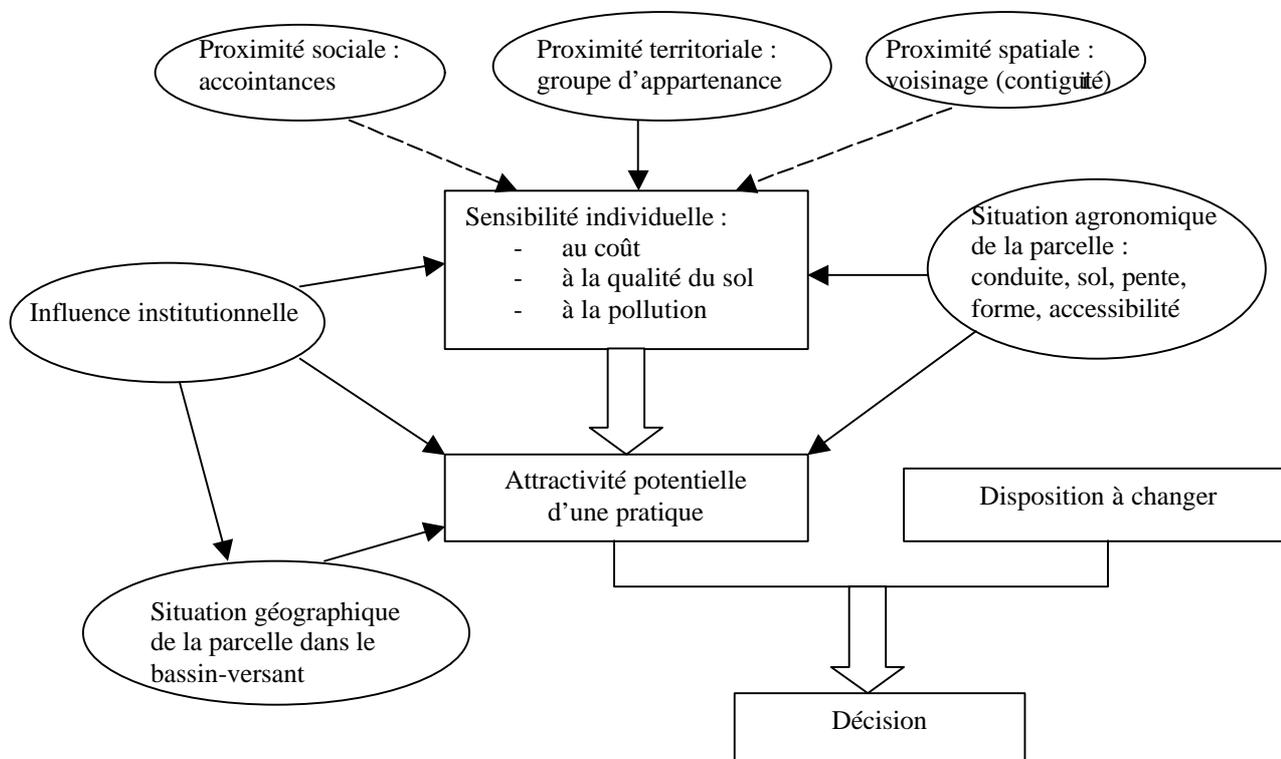


Figure 4 : Paramètres influençant le processus de décision.

## 2.2 Les règles d'influence

Les règles d'influence envisagées ont été regroupées dans le tableau 5.

Influence de Sur les décisions de	Individu		Groupe social : Cave coopérative	Institution
	du voisinage spatial (amont/aval)	du groupe social : accointances		
Individu	Observation du voisin, sans forcément de dialogue :	Communication de gré à gré : dialogue	Sensibilisation ciblée: Socialement spatialement Réglementation ciblée : Socialement Spatialement	Sensibilisation ciblée: Socialement spatialement Réglementation ciblée : Socialement Spatialement
Groupe		Influence du "leader"	Sensibilisation interne Réglementation interne	Sensibilisation groupée Réglementation groupée

**Tableau 5 : Règles d'influence socio-institutionnelle sur le processus de décision individuel.**

Distinguons bien les termes d'influence et d'interaction : les interactions sociales désignent pour nous des influences réciproques entre deux individus, proches socialement (au sein d'un même groupe) et/ou proches spatialement. Elles s'effectuent directement par le dialogue, ou par un biais spatial, lorsque les actions d'un individu sont visibles et sont perçues par son voisin. Cependant, la réciprocité des interactions sociales n'est pas évidente dans la mesure où les positions des individus au sein du groupe ne sont pas équivalentes : certains individus (les "leaders") sont très influents, d'autres sont très influençables tandis que les individus "en marge" se laissent peu influencer.

Selon A. Le Beuze, les viticulteurs échangent très peu sur les motifs (ou stratégies) qui guident leurs choix de pratiques. Les dialogues, observations de voisinage, portent davantage sur les choix tactiques, relatifs à l'itinéraire technique : choix du produit, modalités, dates d'application. Pour cette raison, il paraît osé de considérer que les relations de proximité socio-spatiale puissent influencer les sensibilités individuelles, d'où les flèches tiretées de la figure 4.

Les pratiques sont plus assurément influencées par un ensemble de spécifications, mises en œuvre au sein d'un système localisé de production (groupe social). Elles émanent souvent d'une institution extérieure. Ces spécifications sont plus ou moins ciblées socialement : elles s'adressent à un individu ou engagent le groupe : par exemple, une cave coopérative décidera d'adhérer à la charte de conduite du vignoble impliquant des préconisations sur les pratiques de désherbage. Des actions peuvent être également ciblées spatialement (figure 4, tableau 5) : en effet, la situation géographique des parcelles fait que celles-ci ont, pour un même itinéraire technique, une contribution inégale à la pollution de l'eau.

La formalisation du processus de décision nous permet de considérer deux degrés d'influence possibles de l'organisation sociale ou de l'institution : un premier de sensibilisation, une autre d'imposition de la pratique à adopter (figure 4, tableau 5).

### 3. Construction du modèle dans Cormas

#### 3.1 La programmation dans Cormas

##### 3.1.1 L'environnement de programmation

La plate-forme multi-agents Cormas constitue un méta-système dont le modélisateur spécialise, par la relation d'héritage, les entités génériques pour développer son modèle. Cormas est basée sur l'environnement de programmation VisualWorks, qui utilise le langage objet Smalltalk. Dans Cormas sont prédéfinies trois classes génériques d'objets (figure 5) :

- Des entités spatiales
- Des entités sociales
- Des entités passives

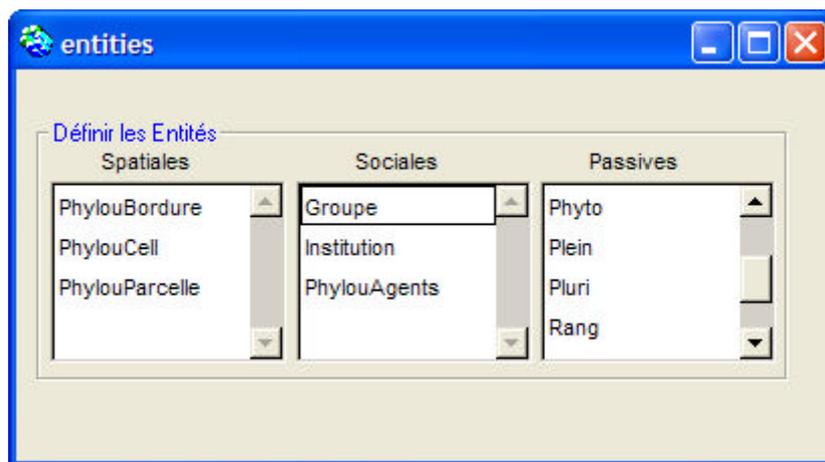


Figure 5 : Interface de programmation des entités dans Cormas

Cormas permet de considérer l'autonomie d'entités relevant de différents niveaux d'organisation : le modélisateur peut créer une classe "Agrégat" ou une classe "Groupe", associées aux classes des entités élémentaires par une relation d'agrégation.

##### 3.1.2 La programmation

La construction d'un modèle, quelle que soit la plate-forme de programmation utilisée, passe par trois phases de programmation (figure 6) :

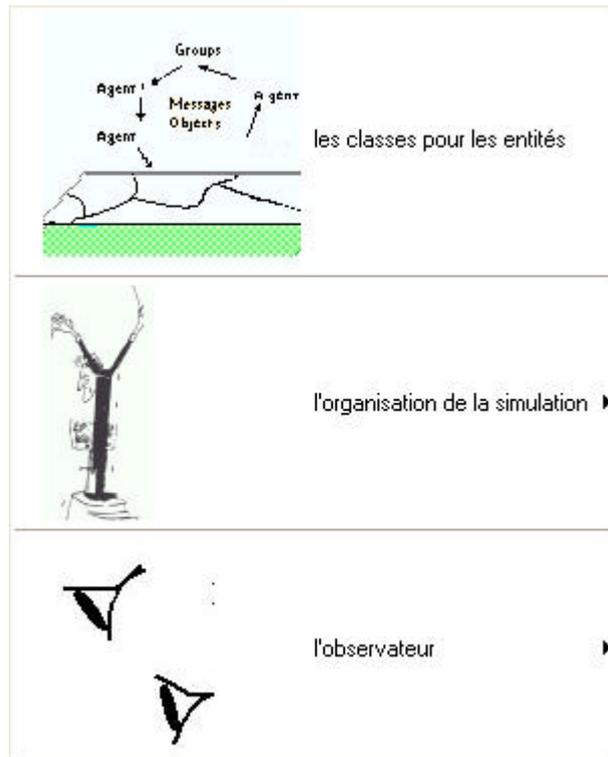


Figure 6 : Interface de programmation dans Cormas

- La programmation des entités : leurs attributs, leurs méthodes.
- Celle de l'organisation de la simulation, qui passe par :
  - l'initialisation de l'espace et des agents (méthode "init")
  - l'ordonnancement des actions à effectuer (méthode "step").

Précisons que cette phase est programmée dans Cormas dans une classe "Modèle", automatiquement associée aux entités sociales, spatiales, passives créées par le modélisateur.

- Celle des outils permettant la visualisation de la simulation : visualisation spatiale des attributs ("les points de vue"), ou graphique (sondes ou "probes").

### 3.2 Le modèle programmé

#### 3.2.1 L'architecture du modèle : diagramme de classe

L'architecture du modèle est décrite dans le langage UML (Unified Modelling Language). UML est avant tout un support de communication, qui facilite la représentation et la compréhension de solutions objet : l'aspect formel de sa notation graphique limite les ambiguïtés, son indépendance par rapport aux langages de programmation en fait un langage universel.

La figure 8 présente le diagramme de classe du modèle Phylou tel que nous l'avons modifié, qui décrit le système en termes de classes et d'association entre ces classes. Seule la partie définie par le modélisateur est représentée ici, puisque chaque classe hérite des attributs et des méthodes de sa classe mère, appartenant au "package entities", prédéfini dans Cormas (figure 7).



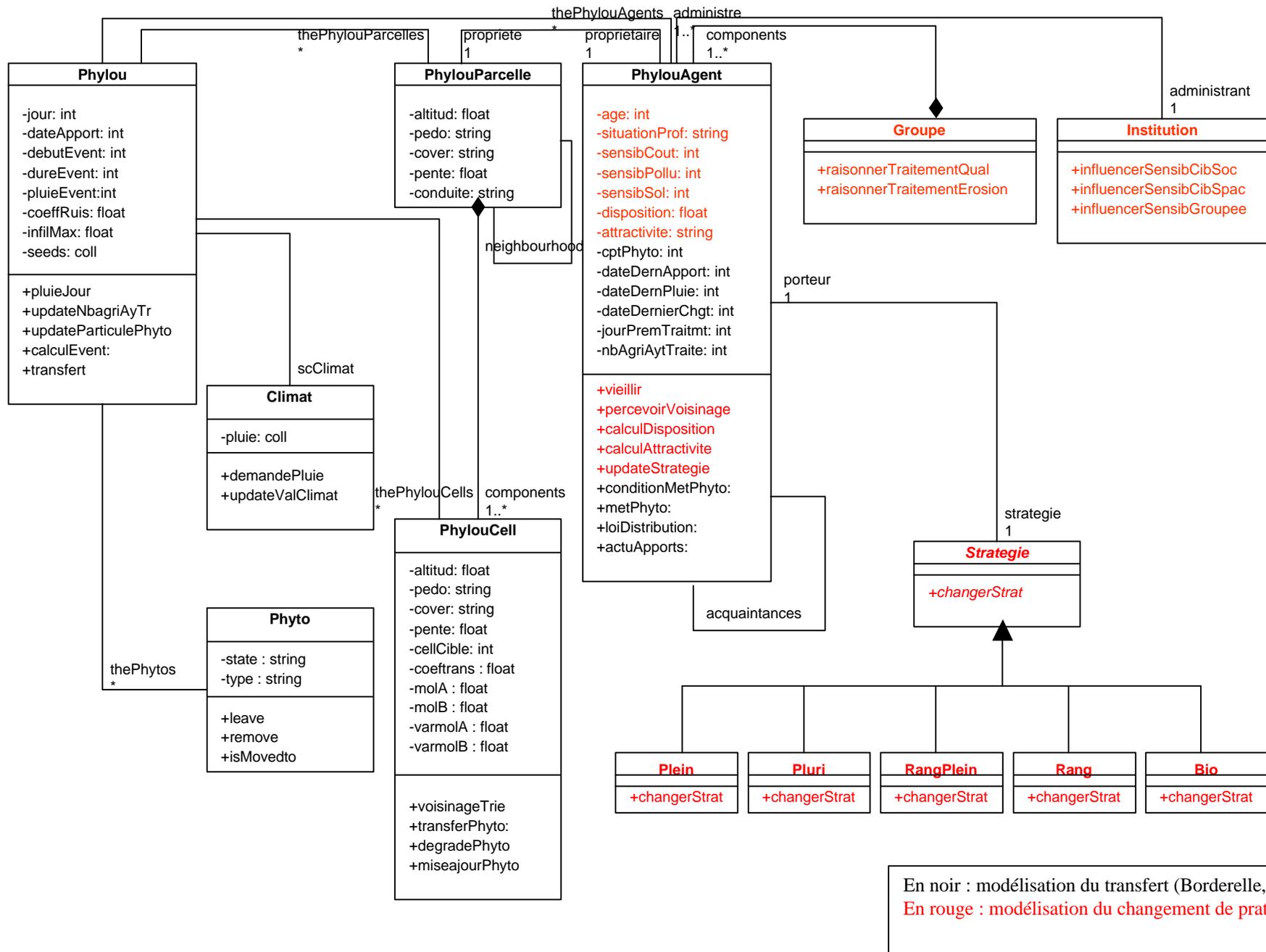


Figure 8 : Diagramme de classe UML du modèle Phylou modifié

Les classes "PhylouAgents" (viticulteurs), "Groupe" et "Institution" sont des entités sociales situées et communicantes, héritant des attributs et des méthodes de la classe "AgentCommLocation". Le groupe, autonome, est constitué d'un "agrégat" de viticulteurs. Chaque viticulteur possède ses accointances, autres viticulteurs avec lesquels il peut communiquer. A chaque viticulteur est associée une parcelle, de taille et de forme variable, constituée elle-même d'un agrégat de cellules élémentaires.

Le type de désherbage pratiqué par le viticulteur n'est pas un attribut mais une classe, la classe "Stratégie", associée à son "porteur". La méthode "changerStrat" est définie au niveau de cinq classes spécialisées. L'avantage de définir un lien vers une la classe "Stratégie" plutôt qu'un attribut "stratégie" propre au viticulteur, est que l'on rend possible la caractérisation de chaque type de pratique par d'éventuels attributs, par exemple son « image ». Cette possibilité n'a pas été utilisée dans le cadre de notre travail.

Par ailleurs, nous aurions pu créé une classe "Message", entité passive, à laquelle auraient été associées les entités sociales du système, chaque entité étant capable d'envoyer, de recevoir et de lire les messages. Or, dans notre travail, la communication proprement dite entre les différentes entités n'est pas modélisée. Nous en considérons simplement l'influence sur les différents attributs des agents, en particulier leur sensibilité. Nous ouvrons là une piste pour une complexification du modèle, qui prendrait en compte l'inégale implication des viticulteurs dans les relations de dialogue, certains étant plus actifs et réactifs que d'autres. En l'état actuel du modèle, les viticulteurs sont tous autant influençables.

### 3.2.2 La programmation de la simulation : diagramme de séquence

#### 3.2.2.1 L'initialisation

L'organisation de la simulation passe par une première phase d'initialisation de l'espace et des agents. Elle nécessite de créer les classes, de les associer entre elles par des liens, d'affecter une valeur à leurs attributs.

L'espace est représenté par une grille de 20 \* 24 cellules, chaque cellule couvrant dans la réalité 625 m<sup>2</sup>, soit un espace d'une surface totale de 30 ha (Borderelle, 2002). La topographie et la pédologie sont des informations fixes stockées dans un fichier d'extension .env, chargé en début de simulation. Il n'en est pas de même pour le parcellaire qui est initialisé aléatoirement par la méthode de "l'expansion de graines" : 20 graines sont disposées aléatoirement sur la grille, à partir desquelles se construisent des agrégats parcelles dont la surface et la forme sont inégales. L'occupation du sol (en vigne, prairie ou forêt) et le mode de conduite de la vigne au niveau des parcelles sont déterminés selon des probabilités déterminées après un tirage aléatoire.

A chaque parcelle en vigne est associé un agent viticulteur, dont l'âge et la situation professionnelle sont également déterminés selon des probabilités. Dans la version réalisée, les pratiques initiales des agents sont donné *a priori*, selon des proportions déterminées. Les sensibilités des agents au coût, à la pollution, à la qualité du sol sont initialisées en conséquence. Dans une autre version, l'initialisation des sensibilités des agents pourrait se faire avant celle de leur pratique. Enfin, un ou plusieurs groupes sont créés à partir d'une collection d'agents, tandis que l'agent institution est localisé à l'exutoire du bassin-versant d'où il mesurera le flux de polluants.

### 3.2.2.2 L'ordonnancement de la simulation

Le diagramme de séquence décrit l'enchaînement des principales opérations effectuées au niveau des différentes classes sur un pas de temps de simulation (figure 9).

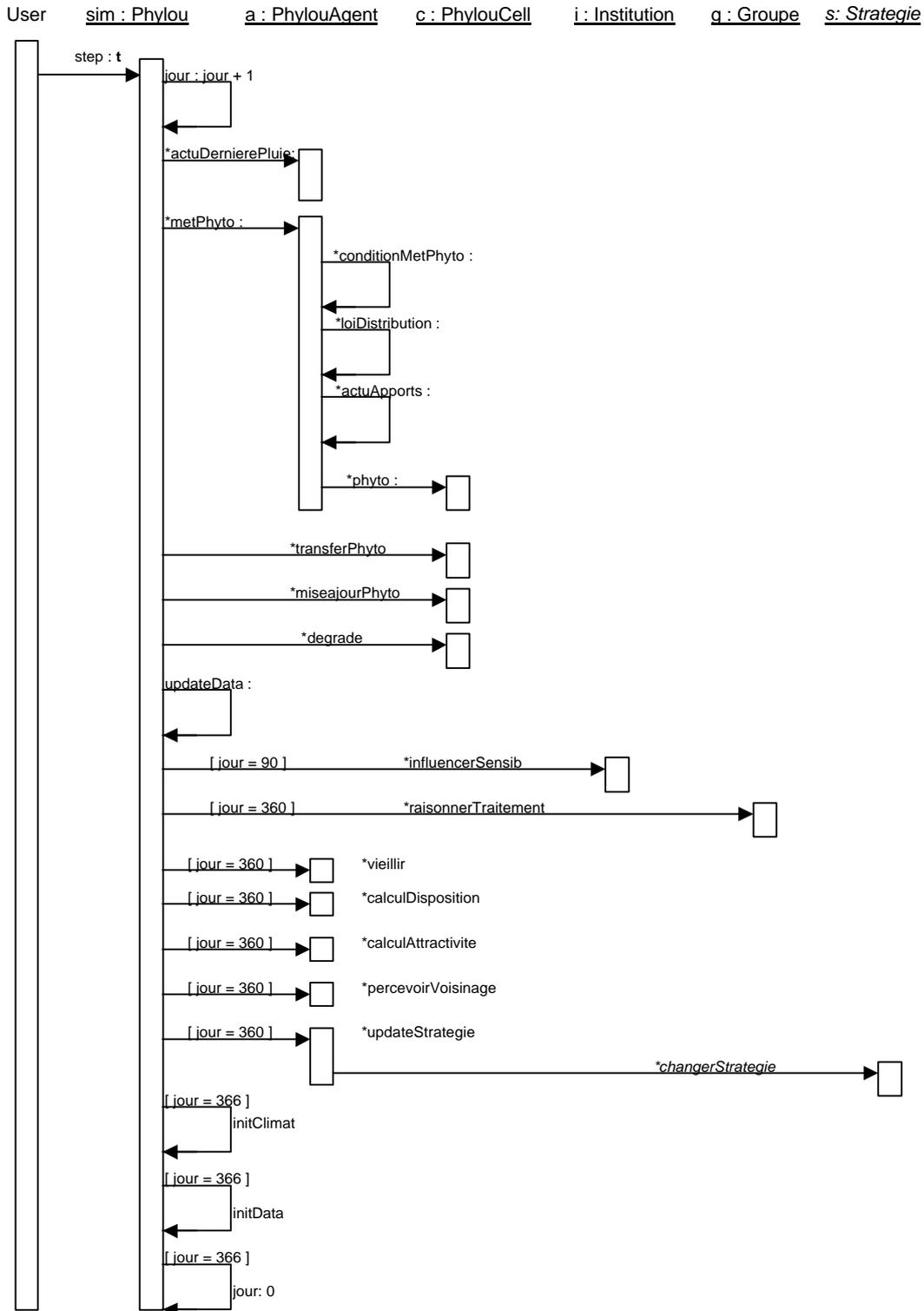


Figure 9 : Diagramme de séquence UML du modèle Phylou modifié

Le pas de temps de simulation de Phylou est le jour. Toutefois, les processus de production, de transfert des produits phytosanitaires et de décision de changement de pratique s'effectuent à des échelles de temps différentes, gérées de la manière suivante : l'application des produits sur la parcelle (méthode "metPhyto") se fait au pas de temps journalier. Lors des événements pluvieux, le pas de temps journalier est décomposé. Les précipitations, lues sur un fichier Excel, sont connues à un pas de temps de trois heures, tandis que le ruissellement des produits (méthode "transfertPhyto") est calculé à un pas de temps de six minutes (Borderelle, 2002). Le processus de décision individuel, ainsi que les règles qui l'influencent, interviennent eux à un pas de temps annuel, entre deux campagnes saisonnières : une condition est posée sur le jour d'exécution des méthodes correspondantes. En l'occurrence, le changement se fait au .

Dans la première version de Phylou, la simulation durait une année, commençant le 1<sup>er</sup> février et se terminant le 31 janvier de l'année suivante. La modélisation des changements de pratiques impose de faire durer la simulation sur plusieurs années. Pour ce faire, une boucle est instaurée afin que la modélisation du transfert puisse se poursuivre au-delà d'un an, intégrant l'évolution des pratiques. Au jour 366, le climat ainsi que les différents paramètres intervenant dans le transfert sont réinitialisés et l'attribut "jour" est remis à 0. Les conditions climatiques et de transfert restant équivalentes d'une année sur l'autre, une simulation sur plusieurs années permet de suivre l'impact des changements de pratique sur la pollution de l'eau en différents points du bassin-versant, en particulier à l'exutoire.

### **3.3 Propositions de scénarii de simulation**

La phase de simulation intervient après celle de construction du modèle. Nous proposons d'expérimenter, par la simulation, deux grands types de scénarii de modélisation, portant sur :

- l'initialisation de l'espace et des agents
- les règles d'influence du processus de décision.

Par manque de temps, ces simulations n'ont pas été réalisées au jour de la rédaction du mémoire. Par conséquent, nous présenterons dans ce paragraphe les résultats d'une seule simulation d'un scénario implémenté. Les observations relevées lors de la simulation concernent d'une part l'évolution globale des différents types de pratiques de désherbage et les trajectoires individuelles de changement de pratiques, d'autre part l'effet des différents scénarii implémentés sur la qualité de l'eau mesurée à l'exutoire.

#### *3.3.1 Scénarii portant sur l'initialisation de l'espace et des agents*

Une première série de tests pourrait expérimenter les stratégies initiales des agents et leur localisation dans le bassin-versant, déterminant la quantité de produits phytosanitaires appliquée. Une autre pourrait tester l'effet de la configuration spatiale du parcellaire et de l'occupation du sol, sur le processus de transfert des produits phytosanitaires dans le bassin-versant. Enfin, plusieurs scénarii de configuration des groupes sont à simuler, un groupe se référant à un système localisé de production, une cave coopérative par exemple. Trois paramètres sont à déterminer au moment de l'initialisation des groupes:

- le nombre de groupes
- la constitution des groupes
- les relations privilégiées au sein de ces groupes, déterminant les accointances individuelles.

Dans le scénario "simpliste" que nous avons considéré, les stratégies initiales des agents sont déterminées dans des proportions inégales, les viticulteurs désherbant tout chimiquement étant largement majoritaires (figure 12). Deux systèmes localisés de production (caves coopératives) sont créés selon des critères relatifs au terroir, fonction de la pédologie (figure 10), partitionnant l'espace en deux aires territoriales contiguës. Il est important de noter que les accointances d'un viticulteur sont l'ensemble des autres membres du groupe, si bien qu'il n'existe pas de relation privilégiées au sein du groupe : la proximité sociale n'est pas prise en compte dans le scénario.

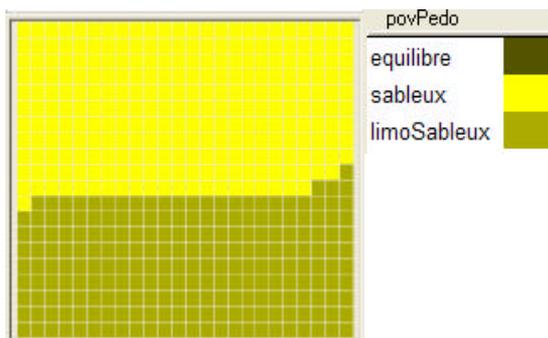


Figure 10 : Initialisation de la pédologie.

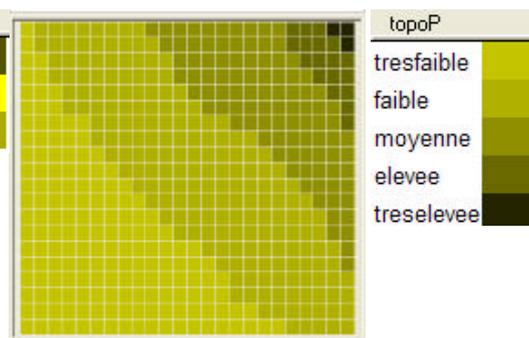


Figure 11 : Initialisation de la topographie.

Pour les besoins de la visualisation, des classes d'altitude ont été créées. Pour cette raison, les aspérités du relief n'apparaissent pas.

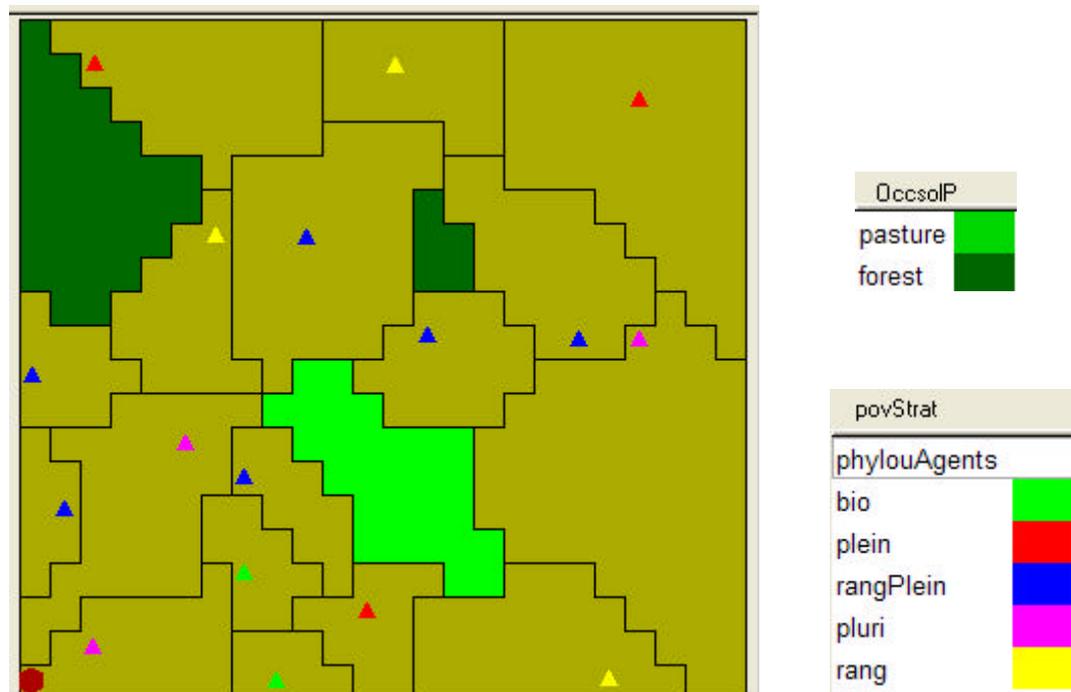


Figure 12 : Initialisation du parcellaire et des stratégies des agents pour le scénario implémenté.

### 3.3.2 Scénarii portant sur les règles influençant le processus de décision

Le processus de décision du viticulteur est influencé par les relations de proximité sociale, spatiale, territoriale entre viticulteurs d'une part, par le dispositif institutionnel d'autre part. Les scénarii qui pourraient être simulés concernent dès lors les règles envisagées précédemment (tableau 6). Elles portent sur :

- Les interactions impliquant deux individus localisés spatialement et positionnés au sein d'un système localisé de production.
- Les actions plus ou moins ciblées de sensibilisation ou de réglementation émanant de la politique de la cave coopérative ou du dispositif institutionnel.

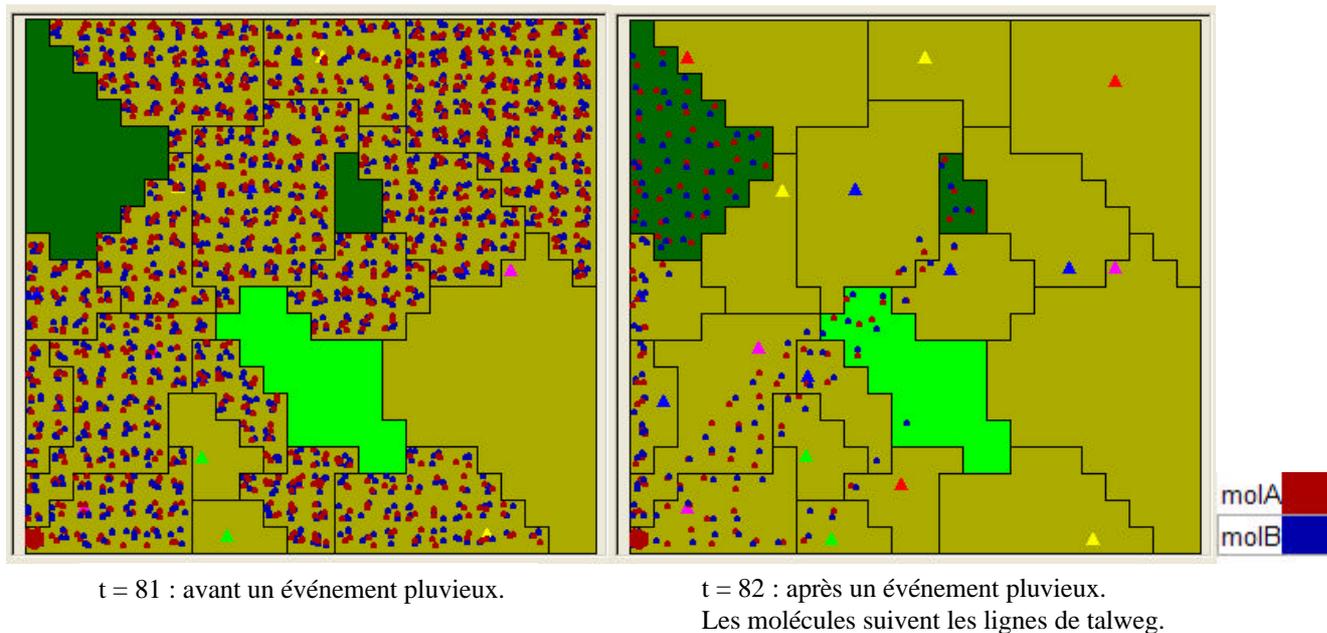
Dans le scénario que nous avons implémenté, la communication de gré à gré entre individus n'est pas prise en compte, pour une raison que nous avons évoquée plus haut (paragraphe 2.2) : les sujets abordés dans les conversations influencent davantage les choix tactiques d'itinéraires techniques que les choix stratégiques de pratiques. Seul un paramètre de proximité spatiale a été testé, celui des relations amont-aval entre deux parcelles, pouvant générer des conflits de voisinage, autant que des situations d'imitation. Le cas retenu est celui d'une incompatibilité entre, à l'aval, une parcelle en agriculture biologique et, à l'amont, une parcelle désherbée tout chimiquement à double dose.

Par ailleurs dans notre scénario, nous développons le cas de deux actions de sensibilisation menées auprès des viticulteurs :

La première est décidée au sein du conseil d'administration d'une des deux caves coopératives et s'adresse à l'ensemble de ses adhérents, qui par ailleurs, sont tous influençables de la même façon (paragraphe 3.2.1). Cette action, répétée annuellement, vise à développer l'enherbement ou le labour de l'inter-rang, conformément aux préconisations de la Charte Conduite Raisonnée du Vignoble (Chambres d'Agriculture, 2004). Pour cela, la cave choisit de sensibiliser ses adhérents à l'importance de la qualité du sol, en particulier aux problèmes d'érosion. L'action a pour effet l'incrémentation du niveau de sensibilité du viticulteur. Un autre scénario pourrait être le cas où la cave se constitue porteuse du projet de mise en place d'un Contrat d'Agriculture Durable, assorti d'aides financières. Dans ce cas, la sensibilisation porterait sur le coût de mise en œuvre des pratiques de désherbage.

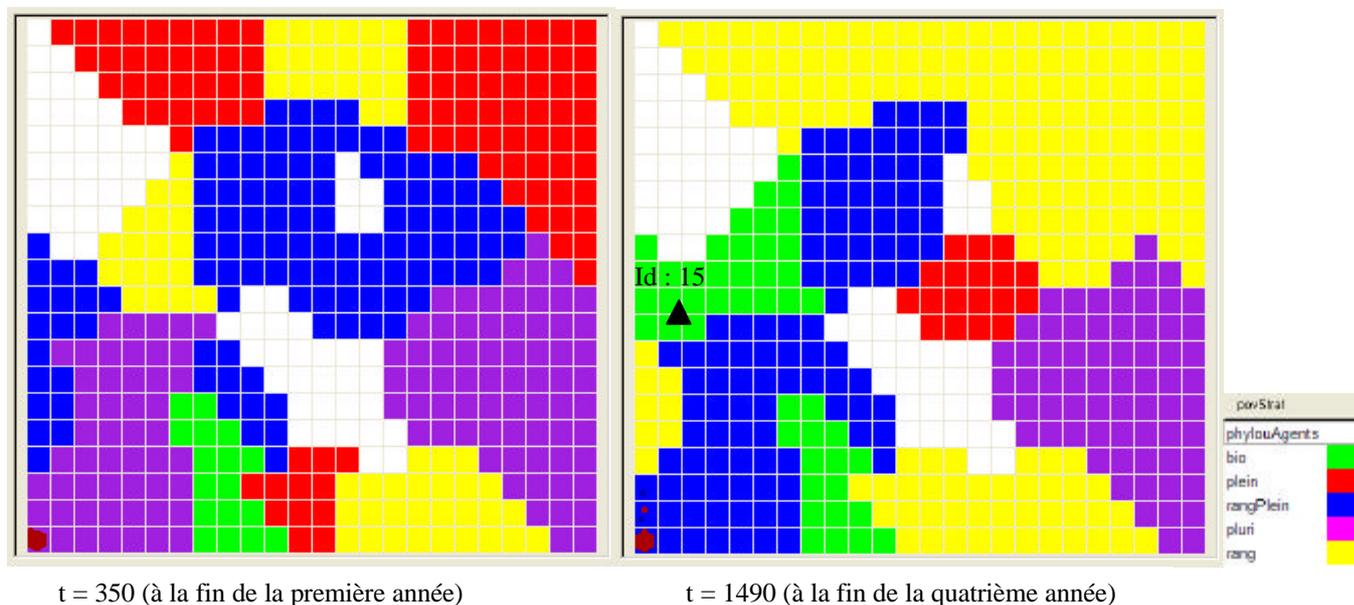
La deuxième action de sensibilisation émane d'une institution extérieure au système localisé de production. Un agent de la police de l'eau mesure la qualité de l'eau à l'exutoire, à une date donnée. Si la pollution dépasse un certain seuil, l'institution mène une action de sensibilisation, qu'elle peut cibler socialement, par exemple en sensibilisant les viticulteurs dont les pratiques sont les plus polluantes. Elle peut choisir également une stratégie ciblée spatialement, en fonction de la position des parcelles par rapport au réseau hydrographique. Dans notre cas, l'institution sensibilise à la pollution les viticulteurs les plus proches de l'exutoire.

Les figures qui suivent illustrent le déroulement et les résultats de la simulation, pour le scénario que nous avons implémenté. La figure 13 illustre le processus de transfert des produits phytosanitaires, avant et après un événement pluvieux.



**Figure 13 : Le processus de transfert des produits phytosanitaires.**

Afin de mieux visualiser le changement de pratiques des viticulteurs, un point de vue sur les pratiques a été défini au niveau des parcelles (figure 14).



**Figure 14 : Le processus de changement de pratiques des viticulteurs, pour le scénario implémenté.**

Enfin, les résultats de la simulation apparaissent sous la forme de graphiques. Un premier graphique montre l'évolution de la quantité de polluants mesurée à l'exutoire du bassin-versant au cours des sept années de simulation (figure 15). On cherchera à comparer cette évolution globale à l'évolution du nombre de viticulteurs adhérents à chaque type de pratique (figures 16 à 20). Une analyse plus fine de la simulation se fera à partir des graphiques montrant les trajectoires individuelles (figure 21).

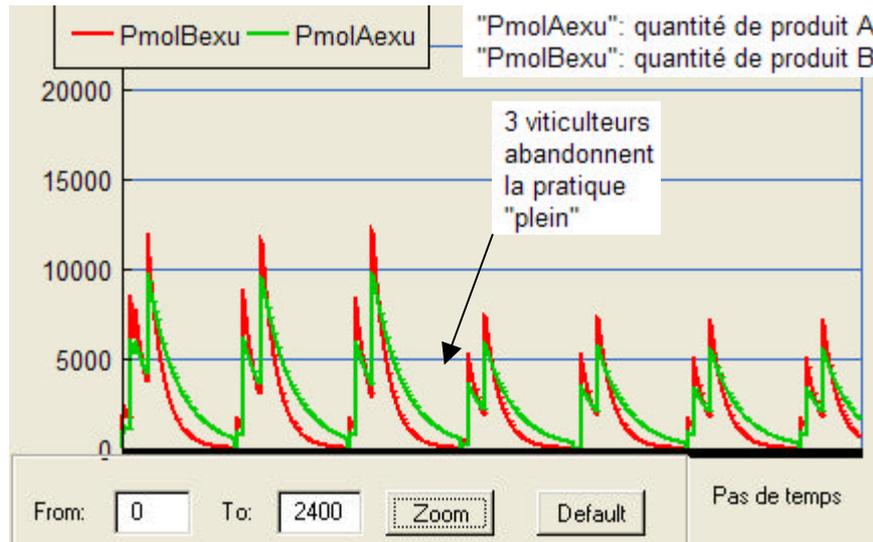


Figure 15 : Qualité de l'eau mesurée à l'exutoire du bassin-versant

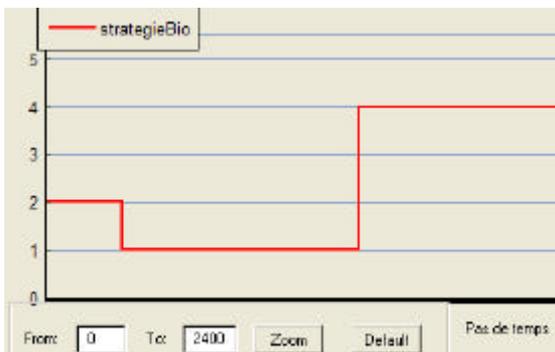


Figure 16 : nombre d'adhérents à la pratique "bio"



Figure 17 : nombre d'adhérents à la pratique "plein"

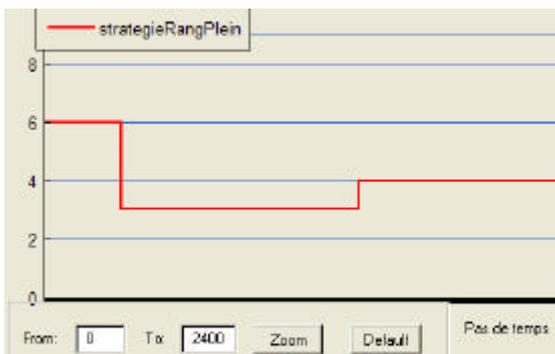


Figure 18 : nombre d'adhérents à la pratique "rangPlein"

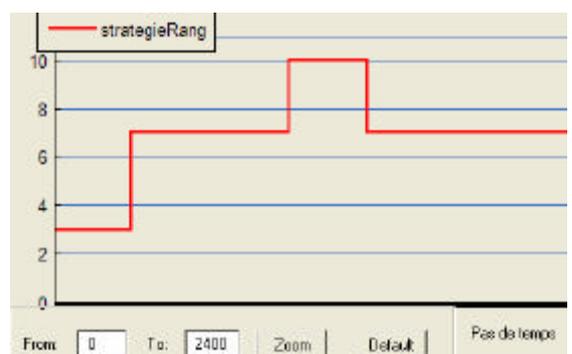


Figure 19 : nombre d'adhérents à la pratique "rang"

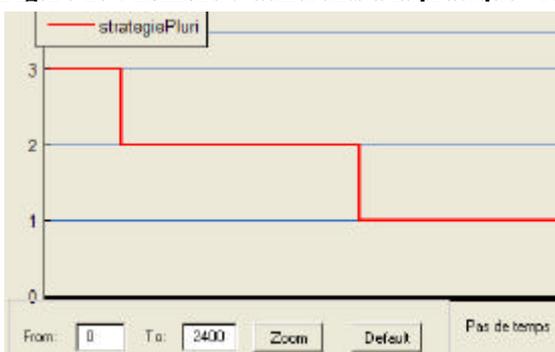


Figure 20 : nombre d'adhérents à la pratique "pluri"

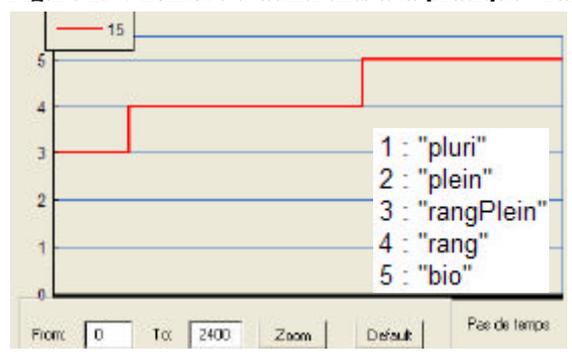


Figure 21 : trajectoire du viticulteur d'identifiant 15

## Conclusion

Notre travail consistait, à partir d'un modèle de transfert de produits phytosanitaires existant, à modéliser le processus de décision individuel de changement de pratique de désherbage dans un formalisme SMA. Nous avons tenu compte de trois types de paramètres : individuels, selon des critères agronomiques, relationnels, relatifs à la situation socio-spatiale de l'individu, et contextuels, par l'intermédiaire d'un dispositif institutionnel. Au terme de ce travail, revenons sur ce qui a été fait, par rapport à ce que les Systèmes Multi-Agents permettent de faire.

La décision individuelle, telle que nous l'avons formalisée, est largement fonction de la sensibilité du viticulteur à trois critères caractérisant chaque type de pratique : la qualité du sol, la pollution, le coût de mise en oeuvre. D'autres paramètres, de faisabilité technique, relative au mode de conduite de la vigne, de disposition à changer, fonction de la situation démographique du viticulteur, interviennent dans le processus de décision.

Pour le scénario construit, les sensibilités individuelles sont influencées annuellement par le système localisé de production auquel appartient le viticulteur (dans notre cas une cave coopérative) et par un dispositif institutionnel, après mesure de la qualité de l'eau à l'exutoire du bassin-versant. Les paramètres de proximité socio-spatiale, relatifs aux accointances de l'individu et à son voisinage spatial, ont été peu pris en compte dans la construction du modèle, pour une raison de temps imparti : en tenir compte supposerait de faire porter les influences de proximité non pas sur le choix stratégique d'un type de pratique, mais sur le choix tactique des modalités d'application des désherbants, pour un même type de pratique. Cela suppose par ailleurs de faire des hypothèses sur qui influence qui, comment et à propos de quoi. Tout l'intérêt des SMA, dans un objectif de modélisation à partir d'un tel questionnement, est de considérer l'individu en rapport avec SON environnement socio-spatial : situé et communicant, l'individu perçoit l'espace localement et est en relation avec un nombre limité d'autres individus. Tandis que dans le scénario implémenté, les groupes existent et demeurent stables, les SMA offrent la possibilité de les voir évoluer.

La considération de ces principes amène le géographe à réfléchir aux facteurs spatiaux et territoriaux qui pèsent sur les comportements individuels, selon deux perspectives :

La première est axée sur les pratiques agricoles et consiste à dégager les facteurs spatiaux qui pèsent sur le processus de décision individuel. Dans le cas de la viticulture languedocienne, des réflexions ont été développées par des géographes (Maby, 1995 ; Fabbri, 2002) autour des enjeux territoriaux de la construction de la qualité du vin, mais à un niveau agrégé. La perspective que nous soulevons porterait sur la décision individuelle d'orientation de la production.

La deuxième perspective de recherche n'est pas directement centrée sur les pratiques agricoles mais porte sur l'organisation socio-spatiale des systèmes localisés de production. Dans cette perspective, l'espace intervient en tant que facteur orientant les interactions sociales entre agriculteurs. Or, il semble que la spatialité des systèmes localisés de production dans le cas de la viticulture languedocienne ait été encore peu étudiée.

# Tables

## Figures

Figure 4: Position centrale du « fait technique » dans le champ d'étude de l'agronomie (source: Gras et al., 1989)	5
Figure 5 : La dimension spatio-temporelle du concept de système de culture (source: Papy, 2001)	6
Figure 6 : Insertion des systèmes localisés de production dans des aires d'appellation hiérarchisées	12
Figure 4 : Paramètres influençant le processus de décision	31
Figure 5 : Interface de programmation des entités dans Cormas	33
Figure 6 : Interface de programmation dans Cormas	34
Figure 7 : Diagramme de classe UML "du package Entities" dans Cormas (source : P. Bommel, Ch. Le Page, support de la formation Cormas 2004)	35
Figure 8 : Diagramme de classe UML du modèle Phylou modifié	36
Figure 9 : Diagramme de séquence UML du modèle Phylou modifié	38
Figure 10 : Initialisation de la pédologie	40
Figure 11 : Initialisation de la topographie	40
Figure 12 : Initialisation du parcellaire et des stratégies des agents pour le scénario implémenté	40
Figure 13 : Le processus de transfert des produits phytosanitaires	42
Figure 14 : Le processus de changement de pratiques des viticulteurs, pour le scénario implémenté	42
Figure 15 à 21 : Résultats de la simulation pour le scénario implémenté	44

## Tableaux

Tableau 1 : Caractérisation des pratiques de désherbage (sources : JADE, 2002 ; ITV, 2002 ; entretien A. Le Beuze)	28
Tableau 2 : Profils de viticulteurs selon les pratiques de désherbage (source : entretien A. Le Beuze)	29
Tableau 3 : Itinéraire technique des pratiques de désherbage retenues dans Phylou (source : Borderelle, 2002)	29
Tableau 4: Critères retenus pour la détermination de l'attractivité d'une pratique	31
Tableau 5 : Règles d'influence sur le processus de décision individuel	32

# Bibliographie

## Ouvrages généraux

Brunet (dir.), 1992, *Les mots de la géographie*, Montpellier, éd. Reclus ; Paris, La Documentation Française, 470 p.

## Transfert des produits phytosanitaires et pratiques viticoles

Borderelle, 2002, *Vers un modèle qualitatif de transfert des produits phytosanitaires, cas du bassin-versant du Taurou*, mém. DEA Sciences de l'Eau dans l'Environnement Continental, Univ. Montpellier II/ENGREF, 147 p.

Carlier, Gouy (dir.), 2001, *Transfert des produits phytosanitaires, diagnostic de pollution et solutions correctives*, actes du XXXI<sup>e</sup> Congrès du Groupe Français des Pesticides, Lyon les 15, 16, 17 mai 2001, Cemagref éditions, 419 p.

Chambre Régionale d'Agriculture du Languedoc-Roussillon, 1998, *La conduite du vignoble en L-R*, 63 p.

Chambres d'Agriculture, 2004, *Charte Conduite Raisonnée du Vignoble en Rhône-Méditerranée, volet : technique, référentiel pour la campagne 2004*, 11 p.

CORPEN, 1996, *Qualité des eaux et produits phytosanitaires*, Ministère de l'Environnement, Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation, 120 p.

CORPEN, 1999, *Désherbage ; éléments de raisonnement pour une maîtrise des adventices limitant les risques de pollution des eaux par les produits phytosanitaires*, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 162 p.

Galet, 1993, *Précis de viticulture*, Montpellier, éd. Dehan, 582 p.

ITV France, 2002, *L'enherbement permanent de la vigne*, Les Cahiers Itinéraires n°4, 16 p.

JADE, 2002, *Comment concilier viticulture et qualité des eaux ? La question des produits phytosanitaires*, actes du séminaire agro-environnement, 28 février 2002, ENSAM Montpellier, 112 p.

Lagacherie, Louchart, Moussa, Rio, Frot, Le Forner, Andrieux, Voltz, non daté, *Essai de couplage d'un modèle hydrologique et d'un modèle agro-économique en vue d'analyser l'impact de mesures d'orientation de la viticulture méridionale sur la qualité des eaux à l'exutoire d'un bassin-versant viticole*, np.

Le Coz, Tassin, Thevenot, *Transferts de polluants dans les hydrosystèmes*, Presses de l'ENPC, 140 p.

Rio, Causeret, Andrieux, Dejean, Frot, Louchard, non daté, *Choix de pratique culturale en présence d'incitations à la réduction des émissions d'herbicides : une simulation en milieu viticole méditerranéen*, in Organisation spatiale et conduite de culture, parution non précisée, np.

Voltz, Lennartz, Andrieux, Louchart, Roger, Luttrincer, non daté, *Transfert de produits phytosanitaires dans un bassin-versant cultivé méditerranéen*, np.

## Mutations du vignoble languedocien

AGRESTE Languedoc-Roussillon, juin 2001, *Contribution à la connaissance de la viticulture régionale*, DRAF-SRSA, 128 p.

Agence Méditerranéenne de l'Environnement, 2003, *Paysages de vignoble*, 64 p.

Auriac, 1983, *Système économique et espace : le vignoble languedocien*, thèse de doctorat, Montpellier.

Coma-Fortin, Argillier, 1999, *Gestion environnementale des terroirs viticoles méditerranéens*, Chambre d'Agriculture Hérault, 55 p.

Chiffolleau, 1998, *Politique de qualité et modification des rapports professionnels en milieu coopératif viticole languedocien : premiers résultats à Puisserguier/Maureilhan et perspectives de recherche/action*, INRA/SAD-LECSA, Montpellier, 28 p.

Chiffolleau, Dreyfus, Touzard, 1999, *Systèmes d'action innovante, système localisé de production : une approche pluridisciplinaire de la transformation de la viticulture en Languedoc-Roussillon*, Ecole-Chercheur « Economie régionale, économie spatiale », INRA, Le Croisic, 8-10 décembre 1999, 15 p.

Chiffolleau, 2003, *Innovations et dynamique des réseaux en coopérative viticole languedocienne*, in Touzard (dir.), 2003, *Les coopératives, entre territoires et mondialisation*, pp 183-199.

Detambel, Jouanard, Rouanet et al., 2003, *Vigne en Languedoc-Roussillon, parcours paysagers*, Agence Méditerranéenne de l'Environnement, Montpellier, éd. Cardabelle, 157 p.

Fabbi, 2002, *Dynamiques qualitatives des territoires viticoles*, thèse de doctorat de géographie, Université Paul Valéry Montpellier III.

Fabbi, 2001, *Exploitations viticoles du Languedoc-Roussillon ; approches des stratégies territoriales*, in AGRESTE Languedoc-Roussillon, *Contributions à la connaissance de la viticulture régionale*, Draf-Srsa, pp. 67-76.

Lifran, 1979, *La différenciation spatiale du vignoble héraultais ; deux méthodes d'analyse et leurs résultats*, Série études et recherches, Station d'économie et de sociologie rurale, Montpellier, ENSAM-INRA, 28 p.

Maby, 1995, *La trame du vignoble : géographie d'une réussite en vallée du Rhône*, thèse de doctorat, Avignon.

Maton, 2001, *La dynamique des comportements des viticulteurs du bassin-versant de l'Orb*, mém. DEA Economie de l'Environnement et des Ressources Naturelles, INA P-G Paris, 142 p.

Pigeat, 2000, *Les Paysages de la vigne*, Paris, éd. Solar, 159 p.

Soulier, 1993, *Le Languedoc pour héritage*, Montpellier, Les presses du Languedoc, 194 p.

## **Pratiques, systèmes de culture et organisation de l'espace**

Burel, Baudry, 1999, *Ecologie du paysage ; concepts, méthodes et applications*, Paris, éd. Tec et Doc, 359 p.

Bonin, 2001, *Nouvelles fonctions de l'agriculture et dynamiques des exploitations, une analyse chorématique dans les Monts d'Ardèche*, revue Mappemonde, n°62-2001.2, pp. 11-16.

Bonin, Thinon, Cheylan, Deffontaines, 2001, *La modélisation graphique, de la recherche au développement*, in Malézieux, Trébuil, Jaeger (dir.), *Modélisation des agro-écosystèmes et aide à la décision*, éd. Cirad-INRA, pp. 391-412.

Capitaine, Benoît, 2001, *Territoires des exploitations et finages : mutations lorraines*, revue Mappemonde, n° 62-2001.2, pp. 6-9.

Cerf, 1996, *Approche cognitive de pratiques agricoles : intérêts et limites pour les agronomes*, Nature, Science, Société, n°4, pp. 327-339.

Deffontaines, 1998, *Les sentiers d'un géoagronome*, Paris, éd. Arguments, 360 p.

Gras, Benoît, Deffontaines, Duru, Lafarge, Langlet, Osty, 1989, *Le fait technique en agronomie*, éd. INRA-L'Harmattan, coll. Alternatives rurales, 183 p.

Houdart, Bonin, Saudubray, non daté, *Typologie de fonctionnement spatial d'exploitations agricoles : application au bassin-versant de la rivière Capot en Martinique*, 10 p.

Jouve, 2003, *Système de culture et organisation spatiale des territoires, comparaison entre agriculture tempérée et agriculture tropicale*, in UMR SAGERT, Organisation spatiale et gestion des ressources et des territoires ruraux, actes du colloque international, Montpellier 25-27 fév. 2003, Cirad-Cnearc-ENGREF, pp. 576-584.

Lardon, Monestiez, Christophe, 1995, *Etude des phénomènes spatiaux en agriculture*, Les colloques n°78, La Rochelle 6-8 déc 1995, éd. INRA, 365 p.

Mathieu, 2001, *L'invention des pratiques en agronomie. Réflexions sur l'intérêt de la connaissance des formes de connaissance des agriculteurs*, in Colloque international Autour d'Olivier de Serres, Le Pradel, 27-29 sept. 2000, Comptes rendus de l'Académie d'agriculture de France.

Morardet, *Pratiques et stratégies foncières des agriculteurs. Un outil d'analyse pour l'aménagement des zones fragiles*, coll. Etudes n°14, Montpellier, Cemagref, 292 p.

Papy, 2001, *Interdépendance des systèmes de culture dans l'exploitation*, in Malézieux, Trébuil, Jaeger (dir.), Modélisation des agro-écosystèmes et aide à la décision, éd. Cirad-INRA, pp. 51-74.

Sebillotte, 1993, *Système de culture*, Encyclopédie Universalis, pp. 898-901.

Sebillotte, 1990, *Les systèmes de culture, un concept opératoire pour les agronomes*, in Combe, Picard, Les systèmes de culture, Paris, éd. INRA, pp. 165-196.

Sebillotte, 1990, *Les processus de décision des agriculteurs : conséquences pour les démarches d'aide à la décision*, in Brossier, Vissac, Le Moigne, Modélisation systémique et système agraire, Paris, éd. INRA, pp. 103-117.

Soulard, 1999, *Les agriculteurs et la pollution des eaux, proposition d'une géographie des pratiques*. Thèse, univ. Paris I Panthéon-Sorbonne, 259 p.

Thinon, 2003, *Les unités agro-physionomiques : quels usages ? quelles prise en compte du temps ?* in UMR SAGERT, Organisation spatiale et gestion des ressources et des territoires ruraux, actes du colloque international, Montpellier 25-27 fév. 2003, Cirad-Cnearc-ENGREF, pp. 585-594.

## **Réseaux sociaux**

Amblard, Ferrand, 1998, *Modélisation multi-agents de l'évolution de réseaux sociaux*, in Modèles et systèmes multi-agents pour la gestion de l'environnement et des territoire, Ferrand (N.) (coord.), Actes du colloque SMAGET 5-8 octobre 1998, Cemagref éditions, pp. 153-168.

Dugenne, Forse, 2004, *Les réseaux sociaux*, 2<sup>ème</sup> édition, Paris, éd. Armand Colin, 294 p.

Lazega, 1998, *Réseaux sociaux et structures relationnelles*, Que-sais-je ? n° 3399, 127 p.

Le Boulch, 2001, *Approche systémique de la proximité : définitions et discussion*, IIIèmes Journées de la Proximité, Paris, 13, 14 décembre 2001, 19 p.

## **Modélisation individu-centrée, auto-organisation**

AC SHS, 2004, *Action Concertée Systèmes Complexes en SHS*, présentation de l'appel d'offre CNRS, np.

Dauphiné, 2003, *Les réseaux urbains: un exemple d'application de la théorie des systèmes auto-organisés critiques*, Annales de Géographie n°631-2003, pp. 227-242.

Gilbert, 1995, *Simulation: an emergent perspective*, Conference on New Technologies in the Social Sciences, Bournemouth, UK.

- Haken, 1983, *Advanced synergetics*, Berlin, éd. Springer-Verlag, 356 p.
- Phipps, Langlois, 1997, *Automates cellulaires, application à la simulation urbaine*, Hermès, 197 p.
- Pumain, Sanders, Saint-Julien, 1989, *Villes et auto-organisation*, Paris, Economica, 191 p.
- Pumain, 2003, *Du local au global, une géographie sans échelles ?* éditorial de Cybergéo, Septembre 2003.
- Sanders, 1992, *Système de villes et synergie*, Paris, coll. Villes Anthropos, 274 p.
- Sanders, 1999, *Modelling within a self-organising or a microsimulation framework: opposite or complementary approaches?* Cybergéo, n°90, 3 p.
- Tannier, Frankhauser, 2001, *From the observations to the construction of a urban dynamics simulation model: an inductive approach*, Cybergéo, n°191, 13 p.
- Weidlich, Haag, 1983, *Concepts and models of a quantitative sociology. The dynamics of interacting populations*, Berlin, éd. Springer-Verlag.

## **Systèmes Multi-Agents**

- Bommel, Lardon, *Un simulateur pour explorer les interactions entre dynamiques de végétation et pâturage, impact des stratégies sur les configurations territoriales*, Revue Internationale de Géomatique, 10/2000, pp. 107-130.
- Bonin, Le Page, 2000, *SIG, SMA, connaissances et gestion de l'espace, le cas du massif du Tanargue*, Revue Internationale de Géomatique, 10/2000, pp. 131-155.
- Bonnefoy, 2001, *From households to urban structures : space representations as engine of dynamics in multi-agent simulations*, revue Cybergéo n°234, 30/04/03.
- Bonnefoy, Bousquet, Rouchier, 2001, *Modélisation d'une interaction individus, espace et société par les systèmes multi-agents : pâture en forêt virtuelle*, L'espace géographique n°1-2001, pp. 13-25.
- Bonnefoy, 2003, *Simulation et territoires artificiels*, axe de recherche de l'UMR Espace, page web <http://www.umrespace.org/> consultée novembre 2003.
- Bousquet, Gautier, 1999, *Comparaison de deux approches de modélisation des dynamiques spatiales par simulation multi-agents : les approches spatiales et acteurs*, revue Cybergéo, n° 89, 13/04/99, 14 p.
- Bousquet et al., 1998, *Modélisation d'accompagnement : Systèmes Multi-Agents et gestion des ressources renouvelables*, in actes du colloque international : « quel environnement au 21<sup>ème</sup> siècle, maîtrise du long terme et démocratie », Paris, Hermès, 11 p.
- ComMod, 2004, *La modélisation comme outil d'accompagnement*, Charte Cormas, Montpellier, cirad-tera, 6 p.
- D'Aquino et al., 2002, *Une expérience de conception directe de SIG et de SMA par les acteurs dans la vallée du Sénégal*, Revue Internationale de Géomatique, vol. 12, n°4/2002, pp. 517-542.
- Daudé, 2004, *Apports de la simulation multi-agents à l'étude des processus de diffusion*, Cybergéo n°255, 6èmes rencontres de Theoquant 2003, 15 p.
- Ferber, 1995, *Les Systèmes Multi-Agents*, Paris, Interéditions, 522 p.
- Flache, Hegselmann, 2001, *Do irregular grids make a difference ? Relaxing the spatial regularity assumption in cellular models of social dynamics*, Journal of Artificial Societies and Social Simulation, vol. 4, n°4, 17 p.

Jean, 1997, *Emergence et SMA*, groupe de travail IAD/SMA de AFCET/AFIA, actes du colloque JFIADSMA'97, Hermès, pp. 323-341.

Lieurain, 2000, *Couplage SIG-SMA : rapport technique*, Montpellier, Cirad -Tera, 28 p.

Sanders, Franc, 1998, *Modèles et systèmes multi-agents en écologie et en géographie: état de l'art et comparaison avec les approches classiques*, in *Modèles et systèmes multi-agents pour la gestion de l'environnement et des territoires*, Ferrand (N.) (coord.), Actes du colloque SMAGET 5-8 octobre 1998, Cemagref éditions, pp. 17-34.

Treuil et al., 2001, *Simulations multi-agents de dynamiques spatialisées*, in Sanders (dir.), *Modèles en analyse spatiale*, Paris, Hermès, pp.219-252.

Weber, 1995, *Gestion des ressources naturelles : fondements théoriques*, Montpellier, CIRAD, 21 p.

## **Sites internet**

### **Vignoble languedocien**

Vignerons coopérateurs de l'Hérault : <http://www.vignerons.com/>

AOC Languedoc (CIVL) : <http://www.languedoc-wines.com/>

ONIVINS : <http://www.onivins.fr/>

Histoire du vignoble: Vertigo vins: <http://www.logassist.com/>

### **Systèmes Multi-Agents**

Cormas Cirad : <http://cormas.cirad.fr/>

Projet de recherche de l'UMR ESPACE : Simulation et Territoires Artificiels : <http://www.umrespace.org/>

### **Publications et cours en ligne**

Revue Cybergéo : <http://www.cybergegeo.presse.fr>

Hypergéographie : encyclopédie en ligne, Spatialité des sociétés : <http://www.cybergegeo.presse.fr/hpt/tabhome.htm>

Journal of Artificial Societies and Social Simulation : <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/JASSS.html>

Grasland (C.), Cours en ligne : Organisation de l'espace, Analyse spatiale et modélisation des phénomènes géographiques, Université Paris VII, licence de géographie, année 2001-2002 :

<http://www.grasland.cicrp.jussieu.fr/go303.htm>