

**Mémoire de stage**

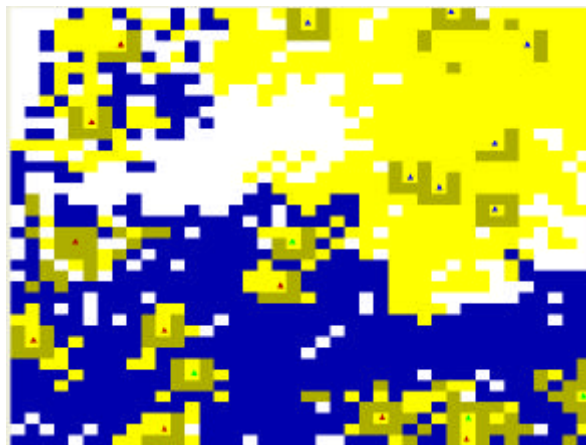
**REUNION DE DEUX TYPES DE REPRESENTATION DE  
L'EXPLOITATION AGRICOLE DU MILIEU:**

**LA REPRESENTATION SYSTEMIQUE**

**ET**

**LA MODELISATION MULTI-AGENTS**

**A travers une liaison entre les logiciels « Olympe » et « Cormas »**



Stage réalisé au **CIRAD-Tera**, dans  
le cadre d'une troisième année à  
l'école des Mines de Douai

Bruno Bonté  
26 Avril – 30 Août 2004



# Sommaire

Sommaire .....	3
Remerciements.....	4
Conditions de réalisation de l'étude.....	5
Introduction .....	6
Objectifs de l'étude .....	7
Analyse et réunion des modèles .....	8
1    Les deux types de modélisation.....	8
1.1 <i>La représentation systémique de l'exploitation agricole</i> .....	10
1.2 <i>La modélisation multi-agents de la gestion des ressources</i> .....	14
2    Complémentarité des deux approches .....	17
2.1 <i>Les points importants de chacune des approches</i> .....	17
2.2 <i>Complémentarité des approches exploitée ici</i> .....	19
2.3 <i>Intérêt recherché : Une réunion des métiers</i> .....	21
Mise en place d'une plate-forme de simulation associant Olympe et Cormas	22
1    Les deux outils informatiques .....	22
1.1 <i>Le logiciel de modélisation d'exploitation agricole Olympe</i> .....	22
1.2 <i>La plate-forme de modélisation multi-agents Cormas</i> .....	25
2    Méthodologie et réalisations .....	27
2.1 <i>Définition des objectifs principaux de la plate-forme</i> .....	27
2.2 <i>Choix de réalisations remplissant ces objectifs</i> .....	28
3    Mise en correspondance des concepts propres à chacun des deux logiciels.....	29
3.1 <i>Réunion des concepts sous un même formalisme : UML</i> .....	29
3.2 <i>Mise en correspondance des concepts</i> .....	30
4    Les modèles utilisant cette plate-forme .....	32
4.1 <i>Les modèles réalisés</i> .....	32
4.2 <i>Exemple illustratif de la représentation de phénomènes d'interaction observés dans le cadre d'une étude utilisant une représentation systémique de l'exploitation du milieu.</i>	32
Conclusion.....	37
Bibliographie .....	38

## Remerciements

Je tiens à remercier Christophe Lepage et Eric Penot pour leur encadrement tout au long de ce stage et pour avoir toujours répondu à mes questions ou interrogations.

Je remercie grandement Pierre Bommel, pour avoir toujours été à l'écoute des problèmes que je rencontrais et s'être penché sérieusement sur mon travail lorsque j'en avais besoin.

De grands mercis également aux membres de la petite communauté d'« utilisateurs – développeurs » de Olympe, Marjorie Lebars, Philippe Legruss et Jean-Marie Attonaty, qui m'ont cordialement apportés aides et conseils indispensables à la réalisation de mon travail.

Je souhaite enfin remercier Hermes Morales et Mehdi Saquali, pour les nombreuses « histoires » que nous avons pu échanger sur la modélisation multi-agents, qui, je le pense, nous ont beaucoup appris sur le sujet.

Et je tiens à saluer Panomsak, Damien, Cédric, Cécile, Cyrille, Vincent, Catherine, Natalia ... et toutes les personnes que j'ai pu rencontrer dans le cadre de ce stage et qui m'ont rendu agréable ce séjour à Montpellier.

## Conditions de réalisation de l'étude

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'un stage de 3<sup>ème</sup> année d'école d'ingénieurs (l'école des Mines de Douai). Elle fut réalisée dans son intégralité au Cirad à Montpellier, entre le 26 Avril et le 30 Août 2004. Le lieu de travail variait, en fonction de l'évolution de l'étude, entre les deux sites du Cirad.

Le sujet du stage portait sur une étude théorique : la réunion de deux modèles, par l'intermédiaire d'une réalisation pratique : la liaison entre deux logiciels de modélisation.

Le stage a donc été composé d'un enchevêtrement :

de périodes d'étude des modèles théoriques (représentation systémique de l'exploitation du milieu et systèmes multi-agents)

de périodes d'études des phénomènes modélisés (agronomie, problématiques de gestion des ressources)

de périodes de définitions et de codage d'exemples de liaison des logiciels et d'exemples utilisant ces liaisons et appuyant mes hypothèses quant à la complémentarité des deux modèles.

Pour la majeure partie du temps, ces trois activités étaient réalisées en parallèle dans une même semaine. Les périodes pouvant être clairement dégagées apparaissent dans le tableau suivant :

Semaines	Activité	Encadrement
26-avr	Présentations et Formation Olympe utilisateur	Faculté Richter Montpellier & Institut Méditerranéen d'Agronomie (P. Legruss)
3-mai	Apprentissage UML - Small Talk	Cirad Baillarguet
10-mai	Apprentissage C++ et organisation du code de Olympe	JM Attonaty (concepteur de Olympe)
24-mai	Etude du cas concret: Agroforesterie en Indonésie	Cirad Lavalette
31-mai	Etude du cas concret: Agroforesterie en Indonésie	Cirad Lavalette
7-juin	Formation avancée Cormas	Cirad Baillarguet
14-juin au 30 août	Réunion des représentations et réalisation des exemples et de la plate-forme	Cirad

## Introduction

En tant qu'organisme de recherche pour le développement agricole, le Cirad développe et utilise des modèles, des modes de représentation de la réalité, sur lesquels il va se baser pour réaliser ses études. A partir de ces modèles vont notamment être créés des outils de simulation.

L'étude technique et théorique présentée dans ce rapport porte sur la réunion de deux types de représentations de phénomènes liés à l'exploitation agricole du milieu. Ces représentations sont, pour le Cirad, à la fois des outils d'analyses du développement agricole et l'objet de recherches visant à modéliser au mieux l'exploitation agricole.

Ces deux représentations sont la « représentation systémique de l'exploitation agricole » qui permet de caractériser une « exploitation » en tant que centre de décision et la « modélisation multi-agents de la gestion des ressources » qui permet de représenter une problématique complexe faisant interagir plusieurs acteurs. A chacune de ces représentations correspondent un logiciel de modélisation utilisé par le Cirad, respectivement, le logiciel de modélisation d'exploitations agricoles « Olympe » et la plate forme de modélisation multi-agents « Cormas ».

Le stage a consisté à étudier et assimiler les deux types de représentations et leurs cadres d'applications respectifs, puis à dégager les complémentarités de ces deux approches et à les exploiter à travers la réalisation d'une plate-forme informatique liant les deux logiciels Olympe et Cormas.

Ce rapport présente les deux représentations et leurs complémentarités dans une première partie, puis les deux logiciels et la liaison qui a été réalisée au cours du stage dans une seconde partie.

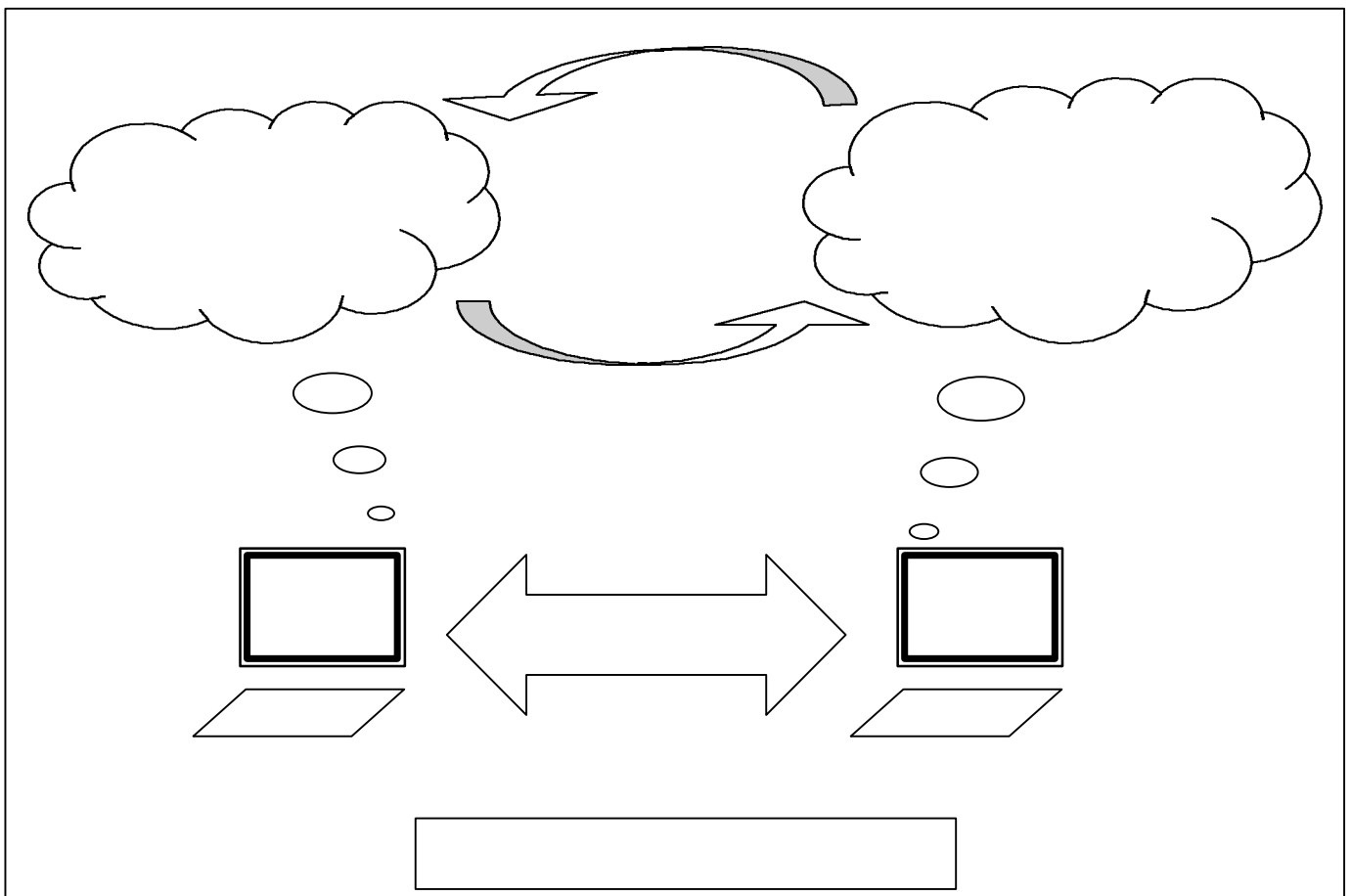
## Objectifs de l'étude

Le but de cette étude est de proposer une réflexion sur l'articulation entre deux logiciels, l'un (Olympe) centré sur le fonctionnement interne d'une exploitation agricole, l'autre (Cormas) sur les interactions entre différents usagers des ressources renouvelables. Concrètement, le but était de réunir deux modèles sous la forme pratique d'une liaison informatique entre les deux logiciels supportant chacun un des modèles.

Pour situer ces deux logiciels, on peut caractériser le type de modèles qu'ils permettent de développer. Pour Olympe il s'agit de la représentation systémique de l'exploitation agricole, alors que pour Cormas il s'agit de la modélisation multi-agents des problématiques de gestion de ressources renouvelables.

Une première partie du stage a consisté à étudier et assimiler ces deux types de modèles, ainsi que les phénomènes qu'ils représentaient et les avantages que l'on pouvait tirer à utiliser les deux conjointement.

Une seconde partie a consisté à établir la liaison technique et conceptuelle entre les deux logiciels, et à expliciter, à l'aide d'exemples, l'utilisation qui pouvait en être faite.



# Analyse et réunion des modèles

## 1 Les deux types de modélisation

Le but de cette étude consiste à établir la liaison entre deux concepts de modélisation différents. Tous deux appartiennent à une même branche de la modélisation (ou de la science), l'approche constructiviste, dont la vocation première est d'étudier les systèmes complexes. L'encadré n°1 est une fiche de l'équipe Green qui explique les raisons du choix d'une telle approche.

Les agroéconomistes ayant mis au point « la représentation systémique de l'exploitation du milieu » à la base des réflexions du groupe d'utilisateurs du logiciel Olympe ont choisi cette approche, qui est également l'option spécifique de l'équipe GREEN qui utilise la modélisation individu-centrée (éléments homogènes) et multi-agents (éléments hétérogènes).

G. Bachelard, dans *La formation de l'esprit scientifique* (1938-1982), prône clairement et succinctement les raisons d'un tel choix :

« Et, quoi qu'on en dise, dans la vie scientifique, les problèmes ne se posent pas d'eux-mêmes. C'est précisément ce sens du problème qui donne la marque du véritable esprit scientifique. Rien ne va de soit. Rien n'est donné, tout est construit. »

Ces deux types de modélisation constructivistes sont cependant très différents, de par les objets qu'ils représentent, autant que de par la manière dont ils les représentent.

Le premier, que l'on nommera « représentation systémique de l'exploitation agricole », est couramment utilisé par le réseau d'utilisateur de Olympe, les agronomes et les agroéconomistes. Il consiste en l'application de la modélisation systémique à l'étude du fonctionnement technico-économique d'exploitations agricoles réelles.

Le second, que l'on nommera « modèle multi-agents », est utilisé par l'équipe « *Gestion des ressources renouvelables, environnement* » et par de nombreux chercheurs, parfois dans des disciplines très éloignées de la gestion de ressources. Il est basé sur une branche récente de la systémique développée par la communauté des chercheurs en informatique, l'Intelligence Artificielle Distribuée, qui pose en principe fondateur que le fonctionnement de tout système observé à un niveau macroscopique s'explique par les interactions « microscopiques » entre composants de base de ce système. On se réfère à ce paradigme, nommé « systèmes multi-agents », pour simuler le fonctionnement de systèmes complexes ou encore dans une perspective de résolution de problèmes.



### Encadré n°1 : Le choix d'une épistémologie constructiviste

Définition d'un système complexe par l'équipe Green :

« Par système complexe, on entend un ensemble, déterminé par une question, d'éléments en interaction entre eux et avec un extérieur, lui-même défini par le choix de l'ensemble d'éléments. Les éléments peuvent être des plantes, des parcelles, des groupes fonctionnels, des humains ou des groupes d'humains (exploitations, institutions, régions, nations). Un système complexe a les propriétés d'être ouvert (interactions avec l'extérieur, production et destruction d'éléments) et, dans le cas général, d'être imprédictible. »

De ce point de vue, la plupart des objets de recherche du CIRAD sont, par définition, des systèmes complexes mais il y a diverses façons de les modéliser:

De façon analytique en abordant un seul élément à la fois ;

De façon holistique ou systémique en caractérisant le comportement global du système modélisé, souvent par des modèles à base d'équations différentielles et de statistiques ;

De façon constructiviste en articulant le comportement global aux dynamiques d'interactions locales entre les éléments du système et avec l'extérieur.

La première méthode est adéquate pour comprendre la dynamique d'un élément (plante, parcelle, comportement d'un individu etc.) et, dans la perspective du système, si il y a une façon simple de composer les dynamiques individuelles pour obtenir le comportement global.

La seconde méthode est adéquate si le système a globalement un régime stationnaire (au moins sur une certaine durée d'observation) ou est composé d'un grand nombre de éléments relativement uniformes (ou rendus uniformes comme dans les modèles à agents représentatifs en économie).

Dans tous les autres cas (composants hétérogènes, apparaissant et disparaissant au cours du temps, interactions non linéaires, prise en compte de seuils, caps, ruptures), on ne peut pas se passer d'une méthode constructiviste. Cette méthode est déterminante lorsqu'il s'agit d'*expliquer* la dynamique du système et non pas seulement de la *décrire*.

Dans le contexte des processus collectifs de gestion des ressources communes, la plupart des prises de décision concernant les interactions entre un groupe social et son environnement ne sont pas prédictibles dans le champ technique, économique et social. Cette imprévisibilité milite pour une approche différente qui accepte l'incomplétude des analyses ainsi que la subjectivité des choix d'avenir, et implique un repositionnement de la modélisation dans une position d'"accompagnement" du processus itératif et continu de décision.

## 1.1 La représentation systémique de l'exploitation agricole

### 1.1.1 La modélisation systémique

Comme on l'a dit, la modélisation systémique est née de la volonté d'étudier efficacement des systèmes complexes en acceptant que cela puisse demander la réalisation d'un modèle qui soit complexe à son tour (il est entendu par là un modèle qui ne pourra être exploré dans son intégralité).

Il s'agit donc de pouvoir modéliser, représenter, ce que l'on désire étudier dans son ensemble, quel que soit son niveau de complexité. A cette fin ont été établis des axiomes de la modélisation systémique, dit également *de la logique conjonctive* (c'est à dire associative, constructive) par opposition à ceux de la logique disjonctive (basée sur la différenciation, le découpage et à la base de la logique aristotélicienne classique). Jean-Louis Le Moigne, initiateur de la modélisation systémique actuelle, définit, dans les années 80, un SYSTEME GENERAL qui va permettre, s'il est utilisé comme base de tout système et sous système représenté, de mettre en place un modèle en respectant ces axiomes, c'est-à-dire les volontés d'exhaustivité par rapport à une étude donnée, dont il était question dans les premiers paragraphes. (cf. encadré n°2)

### 1.1.2 La représentation systémique de l'exploitation agricole

#### a) Les atouts de la représentation systémique

Dans une démarche d'aide et d'accompagnement au développement, il convient de partir d'une analyse de la situation et de son évolution naturelle afin de pouvoir par la suite y apporter ou y suggérer des « améliorations » qui vont pouvoir s'inscrire efficacement dans la dynamique initiale.

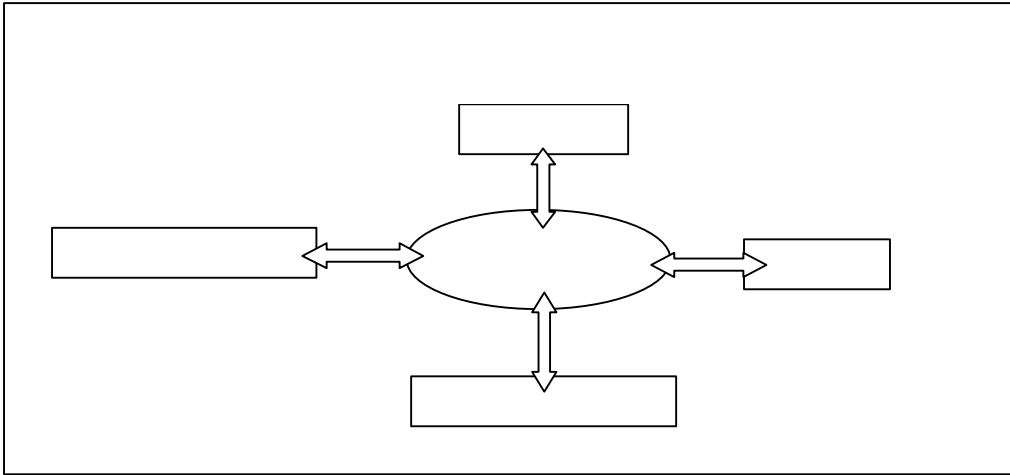
C'est essentiellement à travers une démarche de recherche action ou de recherche appliquée sur le développement agricole que les chercheurs du Cirad travaillent les outils et les approches qu'ils vont utiliser. Ils vont donc mettre en place des méthodes d'analyse nécessitant une représentation des modes d'exploitation agricole adaptée à leurs besoins.

Un des enjeux fondamentaux de cette représentation va être de permettre aux chercheurs et aux agronomes de réaliser un diagnostic des modes et conditions d'exploitation du milieu.

Diagnostic : « Jugement porté dans un temps court sur une situation

ou un état en vue de guider l'action »

Aussi, une représentation systémique, telle qu'elle a été décrite plus haut, a-t-elle été choisie pour remplir cette fonction. Le fait qu'elle représente chaque entité du phénomène étudié (ici les modes et conditions d'exploitation du milieu) comme étant l'association indissociable d'une téléologie (une finalité, un but), d'un processus de transformation (réaction interne à l'environnement), d'un processus de fonctionnement (réaction à l'environnement sur l'environnement) et de son environnement (qui comprend également l'évolution du temps), en fait « l'outil » idéal à l'élaboration d'un diagnostic.



La description des modes de fonctionnement et de transformation de ces systèmes va permettre d'effectuer des simulations en fonction des variations éventuelles de l'environnement ou de ces systèmes eux-mêmes. L'inhérence du but à la définition fonctionnelle d'un système va permettre l'impartialité d'un jugement objectif.

De plus, l'organisation du modèle systémique comme un « emboîtement » de systèmes de plus en plus complexes va permettre de distinguer clairement les spécificités et les enjeux des différentes échelles spatio-temporelles tout en conservant une cohérence d'ensemble.

#### b) Les caractéristiques de ce modèle de l'exploitation agricole

De tels systèmes ont été définis, qui vont être en mesure de décrire l'ensemble des phénomènes intervenant dans la prise d'une décision liée à l'exploitation du milieu.

La représentation systémique de l'exploitation agricole que nous utiliserons par la suite est un élément d'une **approche systémique des modes d'exploitation agricole du milieu** représentant toutes les entités connues pour être liées à cette problématique. Ces entités ont été formalisées ainsi sous la forme de systèmes, notamment par Philippe Jouve dans *Le diagnostic du milieu rural, de la région à la parcelle* (P. Jouve 1992), et légèrement différemment par Robert Badouin dans un article nommé *Les systèmes productifs en agriculture* (R. Badouin)<sup>1</sup>.

Ce que l'on désigne usuellement sous le terme d'« Exploitation agricole » en Europe correspondrait, au regard de cette représentation, à l'association d'un Système de production, tel qu'il est défini dans cette approche systémique, et d'un Exploitant, qui va être l'entité décisionnelle de l'exploitation et qui va modifier son système de production en fonction de ses besoins et de ses préférences.

Cette représentation sous forme de système de production a été distinguée, dans l'approche systémique, d'une représentation de l'exploitation agricole sous forme d'un système d'exploitation intégrant le « décideur », car la représentation de l'exploitation agricole que l'on a en Europe, sous la forme d'un ensemble de moyens de production mis à la disposition d'un exploitant, dans une unité de résidence, de production et d'accumulation, n'est pas vérifiée partout. Cette distinction va permettre d'assurer, dans tous les cas de figure, une même base pour la partie technico-économique de l'étude de l'exploitation du milieu, c'est-à-dire de la production.

Ces « systèmes de production » ainsi définis sont structurés de manière à pouvoir être utilisés pour représenter la gestion de la production de n'importe quel système d'exploitation et sont, depuis de nombreuses années, utilisés comme tels. Le fait qu'ils soient, par définition, dédiés uniquement à la production, permet cela. En effet, un système de production va correspondre à une unité de résidence, une unité de consommation, une unité de production et une unité d'accumulation, de manière à assurer qu'un même système de culture utilisé plusieurs fois ait bien les mêmes caractéristiques. Or, suivant les cas, on va pouvoir trouver des exploitations (c'est-à-dire l'association des moyens de production et de l'entité décisionnelle) ne respectant pas ces unités. Dans certaines concessions africaines, il peut y avoir plusieurs unités de consommation, suivant le rang familial du « propriétaire » du champ par exemple, sous la responsabilité d'un seul chef de famille. On pourra représenter un tel cas comme un système d'exploitation composé de plusieurs systèmes de production.

---

<sup>1</sup> cf. tableau : « systèmes agraires, de production et de culture : présentation des auteurs » (J. Leconte, 2001)

### **1 Systèmes de culture**

Selon Sébillote (INAPG), un système de culture est *l'ensemble des modalités techniques mises en oeuvre sur des parcelles traitées de manière homogène. Chaque système de culture se définit selon 1) la nature des cultures et leur ordre de succession 2) les itinéraires techniques appliqués à ces cultures (= suite logique et ordonnées des pratiques culturales) ce qui inclut le choix des variétés pour les cultures retenues.* Selon Papy (INRA) : *un système de culture se définit sur une portion de territoire traitée de façon homogène, par une logique d'action appliquée à la production végétale se déclinant en un plan d'action accompagné de règles de pilotage.* Enfin selon Badouin (FAC Sciences Economiques) *le système de culture se rapporte aux combinaisons entre les diverses spéculations animales (système d'élevage) ou végétale (système de culture) retenues par les agriculteurs.* Badouin, 1985)

Une innovation agronomique conduit souvent à remplacer un système de culture par un autre. Le niveau d'analyse est ici celui de la parcelle ou ensemble de parcelles traitée de façon homogène. L'ensemble des systèmes de culture et d'élevage sont regroupés en système de production.

### **2 Systèmes de production**

*Le système de production est une combinaison des facteurs de production au sein d'une unité de production (l'exploitation agricole).*(Badouin 1987) ou revisité par Jouve en 1992 : *un ensemble structuré de moyens de production combinés entre eux pour assurer une production végétale et/ou animale en vue de satisfaire les objectifs et besoins de l'exploitant et de sa famille*(Jouve 1992). Le niveau d'analyse est ici l'unité de production.

### **3 Systèmes d'exploitation**

Le système d'exploitation est ensemble des systèmes de production dépendant d'un décideur : c'est l'unité économique. Il symbolise l'exploitation agricole (avec un ou plusieurs systèmes de production) ou *l'Estate*. Il est finalisé par les objectifs de l'exploitant, mise en oeuvre par une stratégie d'exploitation. Ce concept a été introduit en Afrique pour mieux expliquer le fonctionnement des concessions qui sont formées de plusieurs unités de production. Un système d'exploitation regroupe un ou plusieurs unités de production avec une unité de gestion qui prend les décisions selon une stratégie pré-définie mais évolutive. Le niveau est ici l'unité économique composée de une ou plusieurs unités de production avec un seul centre unique de décision. (Exemple des *Estates* avec un management unique).

Le cas des exploitations familiales :

En Asie : les unités économiques correspondent aux unités de production et de consommation (ménage) axées autour de la famille nucléaire. Il y a donc identité entre systèmes de production et systèmes d'exploitation (Unité économique = unité de résidence = unité de consommation = unité de production = unité d'accumulation = ménage). Nous utiliserons donc le terme de système de production pour qualifier les exploitations agricoles.

En Afrique : l'unité de décision peut être la concession.

### **4 Systèmes agraires**

*Un système agraire est une association des productions et des techniques mises en oeuvre par une société rurale pour exploiter son espace, gérer ses ressources et satisfaire ses besoins* (PH. Jouve, 1992). On peut le considérer comme une construction historique et sociale en fonction d'impératifs techniques liés à la production. Le niveau est ici celui de la région. L'extension territoriale d'un système agraire peut aller du village à la région, au bassin versant.

Les exploitations agricoles (systèmes de production) sont souvent regroupées en village. Le village est considéré comme *un agro-système villageois, une entité territoriale et humaine ayant sa propre identité et sa propre cohérence* (Jouve, 1992)

Bien que le point de vue des agriculteurs soit important aux yeux des développeurs, la question première n'est pas ici de savoir si les exploitants se représentent les choses ainsi, mais bien d'étudier et de comprendre l'origine de la structure de cette entité ainsi définie. Les informations que l'on aura obtenues grâce à cette étude sur la gestion de ce système vont nous renseigner justement sur les motivations et les intérêts de ces agriculteurs.

## 1.2 La modélisation multi-agents de la gestion des ressources

### 1.2.1 Les systèmes multi-agents

Ce sont des systèmes particuliers émergeants de la réunion d'entités appelées « agents » et d'un environnement. Ces entités pouvant interagir entre elles ou avec leur environnement. La particularité de ce type de système est qu'il va n'être défini, en grande partie et, idéalement, dans son intégralité que par la formalisation (la création) de ces « agents » ; il n'y aura pas d'entité décisionnelle centralisée (à proprement parler au dessus du système), mais une quantité d'entités décisionnelles le composant, pouvant être de natures différentes et avoir des buts ou des motivations spécifiques.

La définition des systèmes multi-agents que nous utiliserons est celle donnée par Jacques Ferber (*Encadré n°3*), car c'est elle qui a le plus de sens dans le cadre de recherches en écologie ou en sciences environnementales.

### 1.2.2 La modélisation multi-agents de la gestion des ressources

Les modèles multi-agents sont des modèles centrés sur les entités décisionnelles du système, sur leurs buts, leurs réactions à l'environnement, dépendant parfois de la représentation qu'ils peuvent avoir de cet environnement. Selon le niveau de « granularité », un agent peut-être un village, une association, un syndicat, etc... Les SMA vont ainsi permettre de prendre en compte la multiplicité et l'hétérogénéité des acteurs en introduisant une pluralité de points de vue sur le système.

Dans les systèmes multi-agents, quelle que soit l'échelle que l'on veuille étudier, les définitions se font au niveau d'entités autonomes, aussi, ces modèles multi-agents sont-ils l'application de l'approche constructiviste idéale à l'étude de systèmes organisationnels dans leur environnement. On entend par « systèmes organisationnels » des systèmes émergeant d'interactions entre plusieurs entités. L'intérêt est donc de comprendre les relations entre le comportement d'un tel système (composé d'une organisation) et les caractéristiques des « agents » qui le composent, les spécificités de l'environnement et les organisations imposées si elles existent.

La problématique de « gestion des ressources » par différents acteurs va pouvoir être modélisée comme étant un processus de coopération entre des agents qui vont interagir directement entre eux (communication) ou uniquement par le biais de l'exploitation des ressources. Le terme de « coopération » est utilisé à partir du moment où les buts des agents ne sont pas antagonistes.

Encadré n° 3 : Définition des systèmes multi-agents Jaques Ferber (1995, 1999)

«

Un système multi-agents (*figure 2*) est composé :

D'un environnement  $E$ , qui est habituellement un support spatial,

D'un ensemble d'objets  $O$ , qui sont habituellement situés, c'est-à-dire qu'il est possible, à un moment donné, d'associer n'importe quel objet à une position sur  $E$ .

D'un ensemble d'agents  $A$ , qui sont des objets spécifiques (une sous partie de  $E$ ) et représentent les entités actives du système.

D'un ensemble de relations  $R$ , qui vont lier les objets de  $O$  (y compris les agents) les uns aux autres.

D'un ensemble d'opérations,  $Op$ , permettant aux agents de  $A$  de percevoir, produire, transformer et manipuler les objets de  $O$ .

D'opérateurs qui vont assurer la représentation de l'application de ces opérations et des réactions du monde à ces modifications. Nous pouvons les appeler les lois de l'univers.

»

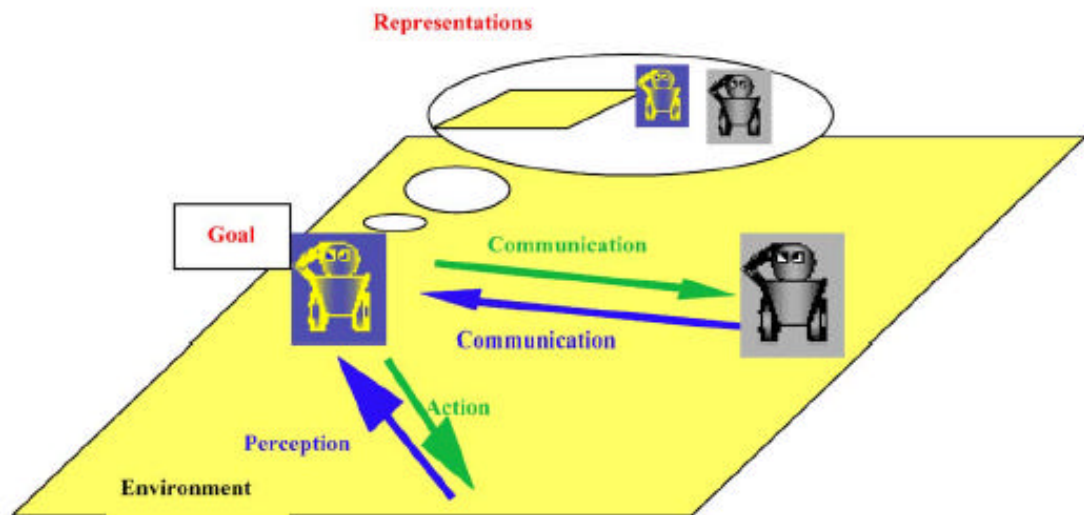


Fig. 1. A multi-agent system (Ferber, 1999).

Ces modèles seront composés, comme tout système multi-agents, d'un environnement  $E$ , qui va fournir un support topologique ; d'objets  $O$ , qui constitueront l'ensemble des ressources ; d'agents  $A$ , qui vont représenter les acteurs exploitant ces ressources ; de relations  $R$ , qui vont par exemple être des liens d'entraide entre deux acteurs d'un même village ; et d'un ensemble d'opérations  $Op$  qui va définir les lois d'interaction.

Le processus de coopération à travers lequel la gestion commune des ressources va être étudié va consister en l'utilisation qui va être faite des ressources de  $O$  par l'ensemble des agents  $A$ , à travers les opérations  $Op$ . Etant donné que chaque élément du modèle ainsi formé (agent, objet, opération, ...) va être initialement défini par le modélisateur puis autonome lors d'une simulation éventuelle, il est aisé de se rendre compte dans quelle mesure il va être possible de représenter clairement une problématique de gestion des ressources d'une part, et, d'autre part, d'étudier les conséquences du choix d'une définition plutôt que d'une autre.

Dans une démarche d'étude de l'émergence d'organisations dans les systèmes multi-agents, on parle de « situations d'interactions », c'est-à-dire, des caractéristiques du système qui vont susciter les interactions (Ferber, 1995). Elles peuvent dépendre de nombreux facteurs, mais nous utiliserons la classification qu'en a faite Ferber car elle est adaptée à la simulation. La distinction se fait selon 3 facteurs :

- la compatibilité ou non des buts des agents,
- la disponibilité des ressources,
- la répartition des compétences parmi les agents.

Les cas intéressants à observer seront ceux où la quantité de ressources va être critique ; on est alors dans une situation d'« encombrement », c'est-à-dire les cas où les agents  $A$  vont avoir à se disputer les ressources et à coopérer pour survivre, et ceux où certains agents vont posséder certaines compétences d'exploitation du milieu que n'auront pas d'autres agents, on parlera alors de situation de « collaboration ».



## **2 Complémentarité des deux approches**

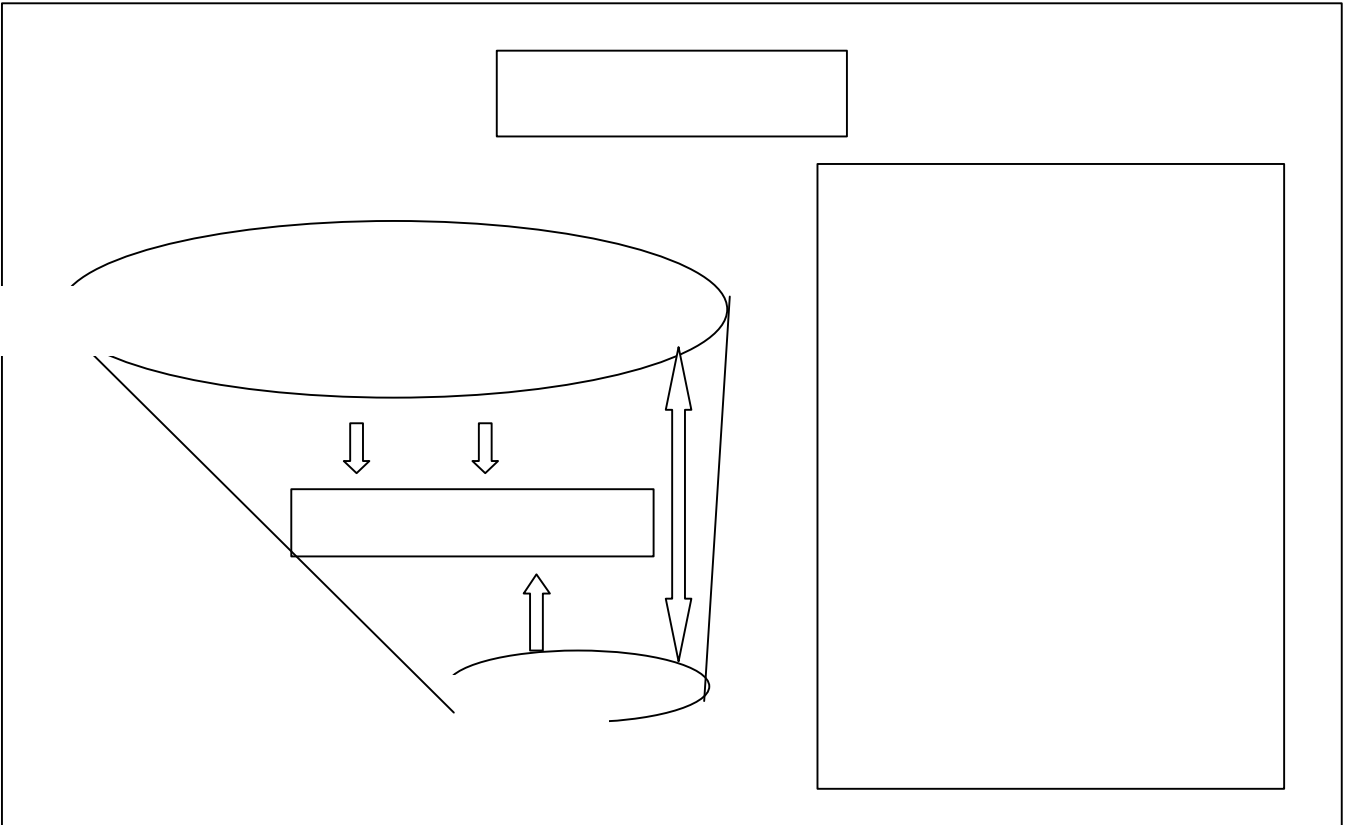
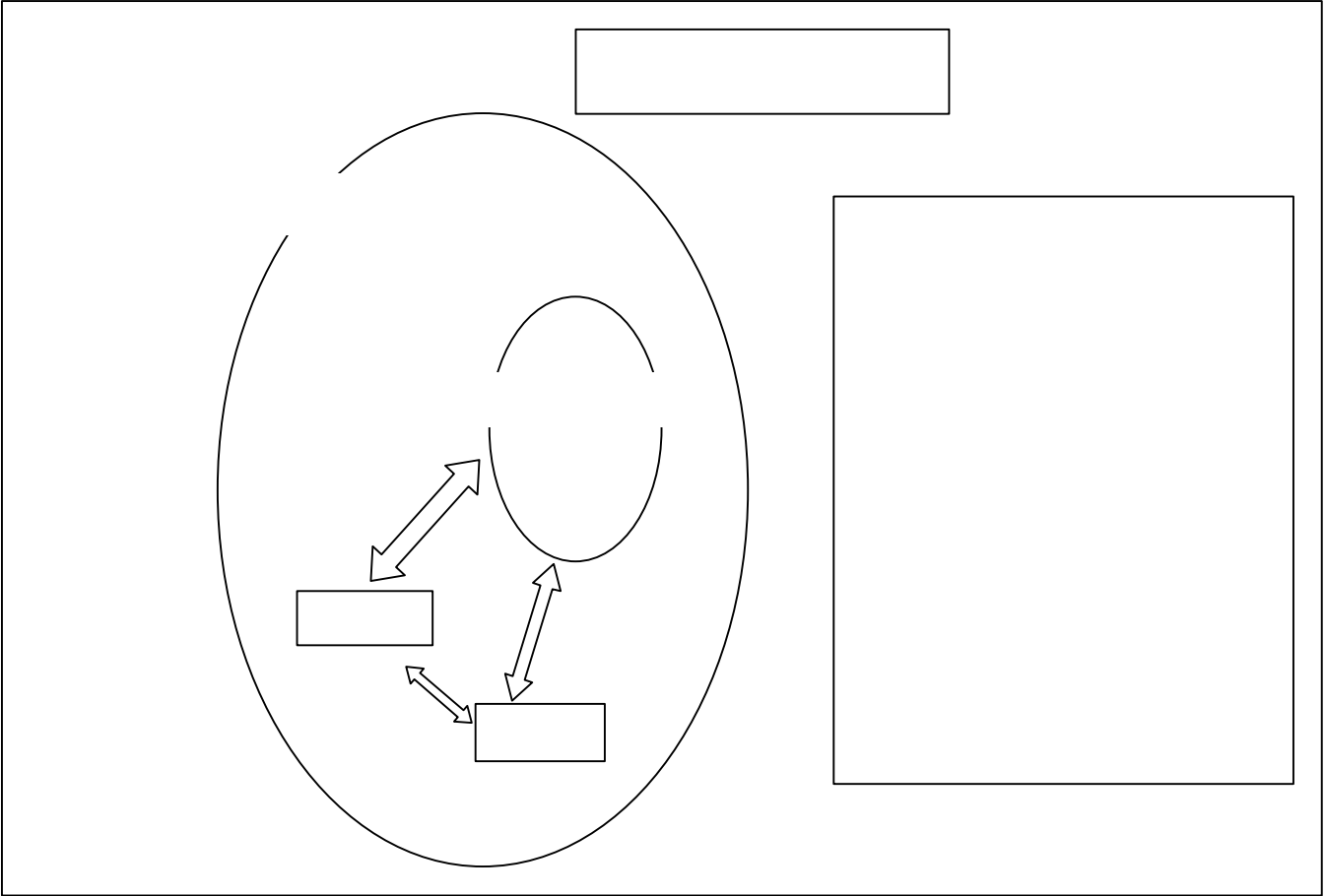
Il a été rappelé, dans la partie précédente, les caractéristiques des deux représentations que nous voulons réunir. Nous retiendrons de cette étude les aspects de ces approches qui vont pouvoir être complémentaires. Cela afin de pouvoir réaliser une liaison entre deux logiciels présentant chacun une des deux représentations, et commencer à tester pratiquement les hypothèses que l'on fait ici sur l'intérêt d'une telle liaison.

### **2.1 Les points importants de chacune des approches**

Les deux approches que nous souhaitons réunir par cette étude sont « la simulation multi-agents de la gestion des ressources » et « la représentation systémique de l'exploitation agricole du milieu ». Bien que les termes et les concepts utilisés soient différents, la finalité de ces deux approches n'est pas très éloignée. Qu'est-ce que l'on désigne par « l'exploitation du milieu » si ce n'est l'utilisation qui est faite des ressources disponibles ?

Ces deux représentations s'intéressent chacune à différents aspects de ce même phénomène complexe car elles suivent deux démarches différentes. De ce fait, là où la modélisation multi-agents va davantage être utilisée pour observer les conséquences de définitions locales sur l'évolution globale du système, la représentation systémique de l'exploitation agricole va davantage être utilisée pour observer l'influence de l'environnement sur les décisions et les choix d'un acteur en particulier : l'agriculteur. Bien sûr, la modélisation multi-agents prend aussi en compte les retombées des effets de l'environnement sur les acteurs et, de même, la représentation systémique est souvent utilisée pour simuler ou discuter l'évolution d'un système agricole. Cependant, les démarches d'application de ces deux méthodes respectives de représentations sont, sous ce jour, fondamentalement différentes. Ces démarches sont explicités dans les figures de la page suivante.

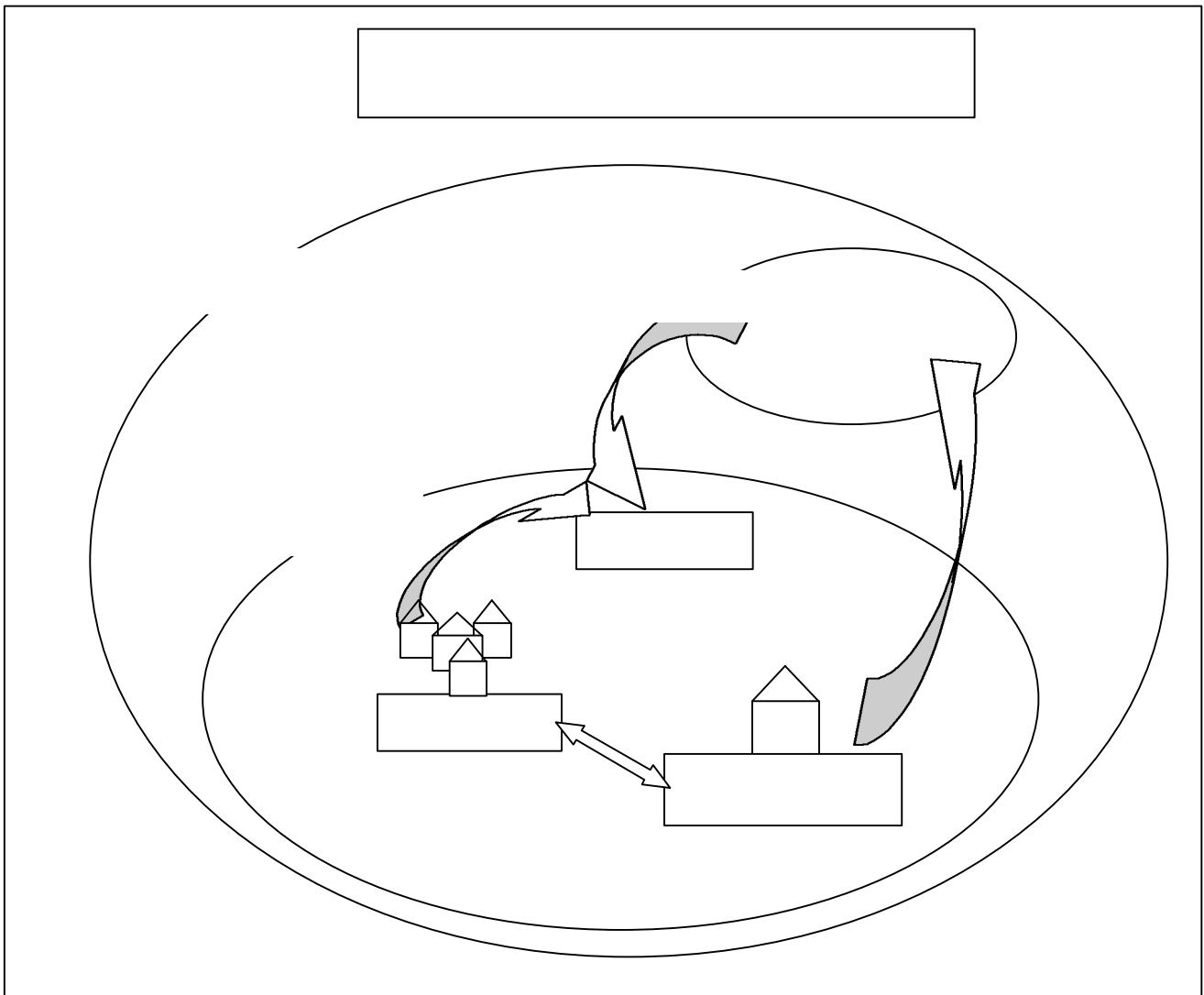
La représentation systémique de l'exploitation agricole va ainsi être bien adaptée à l'étude des stratégies adoptées par les agriculteurs et de leurs motivations, car elle représente l'exploitation du point de vue de l'exploitant, avec ses systèmes de cultures, ses charges, ses produits et leurs caractéristiques. La modélisation multi-agents de la gestion des ressources va, quant à elle, permettre l'étude d'un système complexe composé d'acteurs différents interagissant les uns avec les autres.



## 2.2 Complémentarité des approches exploitée ici

L'intérêt de réunir ces deux approches, ces deux types de représentation, va être de pouvoir représenter, simuler et comprendre le rôle que jouent les différents acteurs extérieurs à l'exploitation dans la stratégie adoptée par l'agriculteur. Et, réciproquement, l'influence que va avoir la stratégie de l'agriculteur et les caractéristiques de son exploitation sur l'ensemble du système, selon la situation initiale et les définitions du système.

Pour étudier et représenter ce type de phénomène, quoi de plus naturel que d'utiliser une représentation adaptée à l'étude des situations d'interactions, la modélisation multi-agents, et de donner aux agents de ce modèle une représentation systémique de leur exploitation, de manière à pouvoir se baser sur cette représentation « usuelle » de ce système de production pour comprendre et modéliser les stratégies personnelles (voir ci-dessous).





### 2.3 Intérêt recherché : Une réunion des métiers

Réunir ces deux approches devrait permettre de mettre en place des projets pluridisciplinaires afin de réaliser des modèles plus pertinents. Depuis de nombreuses années les chercheurs en agroéconomie utilisent une représentation systémique de l'exploitation agricole adaptée à leurs travaux. D'autre part, un nombre grandissant de chercheurs utilise des modèles multi-agents pour représenter des problématiques complexes de gestion des ressources.

Dans les problématiques liées au développement agricole ainsi modélisées, l'entité « exploitation agricole », la « ferme », occupe une place prépondérante.

Pour l'instant, chaque modèle multi-agents va proposer une représentation différente de cet acteur si important de la problématique. Or la représentation systémique de l'exploitation agricole n'est pas, au premier abord, la plus adaptée à ce type de modèle. Elle représente l'exploitation comme un ensemble de systèmes clairement définis et fait intervenir des concepts propres à l'agroéconomie qui ne sont pas toujours représentés dans des modèles de gestions de ressources. Quoi qu'il en soit, ce type de représentation est rarement utilisé dans les modèles multi-agents qui préfèrent souvent une représentation directement liée à la problématique étudiée. Cela permet d'avoir des modèles plus simples et plus cohérents.

Cependant, l'inconvénient de cette démarche est qu'elle peut restreindre la perception du modèle aux seules personnes qui l'ont mis en place. Le créateur du modèle, souvent thématicien dans la problématique du modèle, crée ses propres indicateurs qui lui permettent d'observer et de critiquer l'évolution de son modèle. S'il a besoin d'un avis extérieur sur la validité ou les implications des résultats qu'il observe, il devra se contenter d'observations basées uniquement sur la représentation qu'il a réalisée. Non seulement cela demande un investissement important de l'intervenant extérieur qui doit assimiler les concepts utilisés, mais en plus cette personne, ne disposant pas d'une représentation adaptée à son domaine de connaissance, ne pourra peut-être pas réaliser d'analyse poussée par manque d'informations.

Utiliser une représentation systémique de l'exploitation agricole pour représenter des agents jouant ce rôle dans un modèle multi-agents pourrait permettre à des agroéconomistes de se pencher sérieusement sur le modèle et de travailler en collaboration avec le modélisateur pour mettre au point des règles de décision les plus réalistes possibles. Les avantages de cette représentation pour l'analyse technico-économique d'une exploitation ont déjà été développés précédemment.

Cela permettra d'utiliser aisément les connaissances accumulées dans le domaine de la gestion d'une exploitation agricole, dont on sait qu'elle est régie par différents critères de choix selon le type d'exploitation étudiée. Ces critères sont traduits par des indicateurs calculés au niveau des systèmes de cultures ou des systèmes d'exploitations. Il peut s'agir par exemple de la rentabilité du travail des systèmes de cultures ou de la capacité d'autofinancement de l'exploitation.

Ces indicateurs pourront peser plus ou moins lourd dans les prises de décisions, selon la région étudiée ou la culture majoritaire par exemple. En utilisant une représentation systémique, souvent déjà utilisée pour faire ces observations, il va être possible de calculer ces indicateurs et de les faire intervenir correctement dans notre modèle.

# Mise en place d'une plate-forme de simulation associant Olympe et Cormas

Cormas est une plate-forme de modélisation qui demande à chaque utilisateur de créer son propre modèle sur une base commune. Les différentes entités y intervenant vont être définies sous forme de « sous-classes » des entités de base de Cormas (Agent, PassiveObject, SpatialEntity). Des sous classes sont des spécialisations de la classe dont elles héritent, c'est-à-dire qu'elles possèdent déjà ses caractéristiques et ses « fonctions ». La spécialisation se fait par l'ajout de caractéristiques ou de fonctions ou par la modification de certaines fonctions présentes dans les super classes.

Ces classes de base et leur « organisation » proposées par Cormas vont définir les concepts de base de tout modèle Cormas. Elles ont été définies de manière à pouvoir modéliser des phénomènes de gestion des ressources en utilisant un modèle multi-agents.

Toute représentation pouvant être assimilée à ces concepts comme une spécialisation de ces classes de base va pouvoir être intégrée à un modèle Cormas. La liaison réalisée ici va consister à représenter des exploitations agricoles, modélisées sous Olympe, dans un modèle Cormas et à respecter la représentation systémique de l'exploitation agricole du milieu sous la forme de la gestion de systèmes de production telle qu'elle est utilisée dans Olympe.

## 1 Les deux outils informatiques

### 1.1 Le logiciel de modélisation d'exploitation agricole *Olympe*<sup>2</sup>

#### 1.1.1 Présentation du logiciel

Olympe est basé sur une représentation systémique de l'exploitation agricole telle que nous l'avons présentée plus haut. Le logiciel permet de représenter l'ensemble du système de production, c'est-à-dire les sous systèmes de production agricole (systèmes de cultures, systèmes d'élevages, etc.), mais également les entités qui vont être susceptibles de jouer un rôle quelconque dans la dynamique du système de production (par exemple des activités familiales entraînant des entrées d'argent annexes dans la trésorerie de l'exploitant qui vont pouvoir permettre un investissement au niveau du système de production).

Les sous systèmes de production sont de 4 types différents, les systèmes de cultures annuelles, les systèmes de cultures pluriannuelles (sur 4-5 ans), les systèmes de cultures pérennes (sur plus de 5 ans), les systèmes d'élevage. Tous sont caractérisés par leur itinéraire technique. L'itinéraire technique décrit l'enchaînement dans le temps des intrants (charges, externalités négatives et travail) d'une part, et de la production (produits et externalités positives) d'autre part.

---

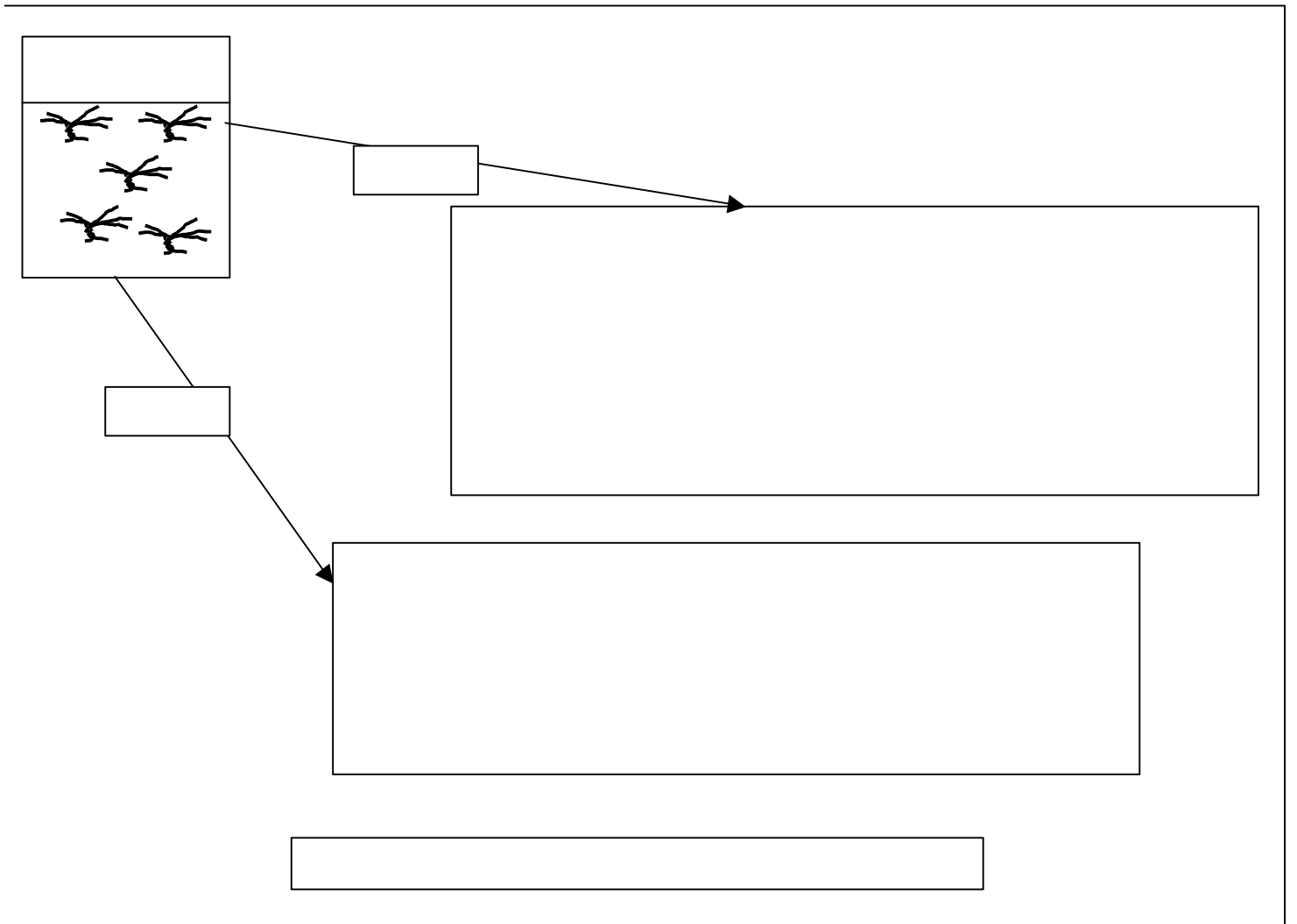
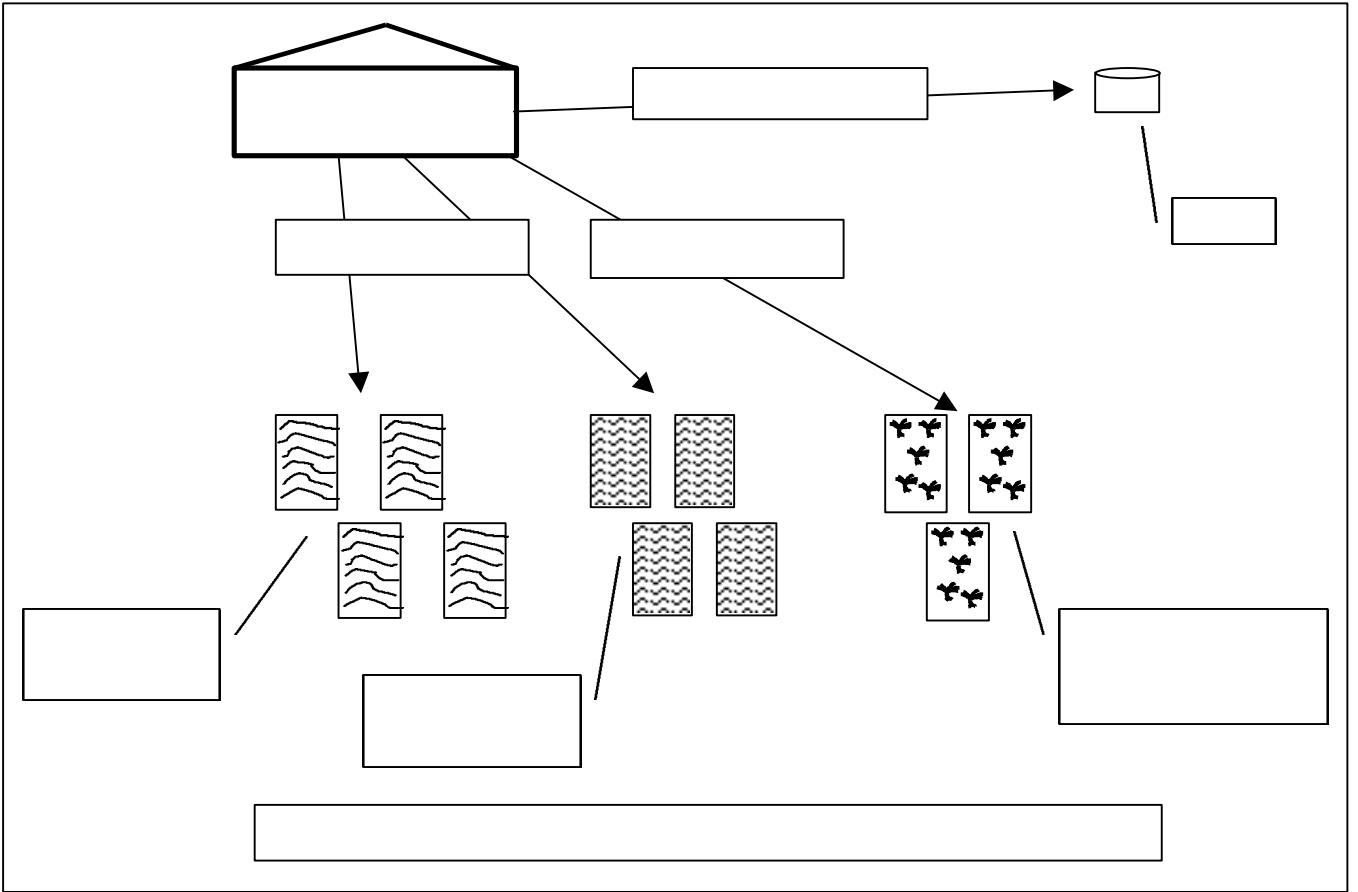
<sup>2</sup> Logiciel créé par Jean-Marie Attonaty à l'INRA en 2000

Dans Olympe, toutes les caractéristiques de l'exploitation agricole sont entrées par l'utilisateur à chaque niveau du système de production. Définition des prix des charges ou des produits pour les dix années à venir, description des itinéraires techniques pour les systèmes de culture, et enfin, nature et surface de chaque système de culture composant le système de production pour les dix années à venir. A chaque échelle, un certain nombre de champs sont ainsi remplis par l'utilisateur qui va définir chaque élément de son système avant de les « emboîter » pour créer les systèmes de production qu'il veut étudier ou représenter. Les éléments les plus complexes sont ceux qui se trouvent « en haut » de la hiérarchie, nous présentons ainsi un exemple simple d'un système d'exploitation (*cf. figure ci-contre*) et d'un des systèmes de culture le composant (*cf. figure*).

### 1.1.2 Usage des modèles

Ce modèle de l'exploitation agricole sous forme de système de production, supporté par Olympe, permet de calculer les retombées économiques à court, moyen et long terme, de décisions techniques, économiques ou organisationnelles prises aujourd'hui. Le logiciel est actuellement de plus en plus utilisé, outre par les chercheurs eux mêmes comme outil de représentation, d'analyse et de prospective, par les conseillers agricoles en relation avec les exploitants agricoles (conseil de gestion dans le cas de l'application de la nouvelles PAC en France par exemple). En pratique, les données d'entrées du système de production sont entrées pour 10 ans car il est considéré qu'il est trop hasardeux de s'avancer plus pour réaliser un diagnostic. Mais les systèmes de cultures pérennes, dont le développement peut prendre trente à quarante ans, sont définis dans leur intégralité et il est donc possible, avec actualisation en sortant les données sur Excel, de transposer l'étude si l'on veut étudier une période de plus de dix ans, dans l'optique d'une étude de nature historique par exemple.

Olympe est également utilisé comme outil de simulation et d'analyse par les agroéconomistes qui s'en servent pour comprendre les choix des agriculteurs et leurs motivations dans l'organisation de leur système de production et dans l'utilisation des facteurs de production (travail, capital et foncier). Les études réalisées se basent essentiellement sur l'analyse des trajectoires des systèmes de production, c'est-à-dire sur l'enchaînement des systèmes de cultures qui le composent. Le but final dans ce cas reste d'étudier l'exploitation du milieu et non la production proprement dite. L'« exploitant », qui prend les décisions est en pratique l'utilisateur de Olympe, ou, souvent, une traduction sous Olympe des explications des agriculteurs sur des faits passés.





## 1.2 La plate-forme de modélisation multi-agents Cormas<sup>3</sup>

### 1.2.1 Présentation du logiciel

Cormas est une plateforme permettant à chacun de développer son propre modèle multi-agents. Un certain formalisme est naturellement imposé. Nous n'allons pas expliciter ni même énumérer ici l'ensemble des caractéristiques d'un modèle Cormas ou multi-agents en général (discrétisation du temps, de l'espace, actions itératives et non simultanées, problématiques de changement d'échelles...). Nous allons nous contenter pour l'instant d'une description synthétique des principaux tenants et aboutissants d'un tel modèle.

Le monde de Cormas est découpé en trois catégories différentes. Des entités spatiales, qui vont former un support topologique. Des entités passives, qui pourront être situées ou non sur ce support. Des agents, qui vont être, de leur propre initiative, à l'origine des interactions entre tous ces différents objets (*cf. figure 1. ci-contre : Le monde de Cormas*).

L'utilisateur va concevoir lui-même les différents intervenants de son modèle et les définir sous forme d'un ensemble de caractéristiques d'une part (aussi nommés « attributs » par les informaticiens) et d'actions d'autre part (« méthodes »). Par exemple, dans un modèle concernant l'élevage, il est possible de concevoir un type d'intervenant « Bovin » qui aurait pour attributs : « nom, poids, sexe » et pour méthodes : « se nourrir, grossir, maigrir ». Un tel type de définition forme une « classe » au sens où on l'entend dans la programmation objet. Les entités qui vont interagir dans un modèle seront des « instances » de ces classes (*cf. figure 2. ci-contre : Instanciation d'une classe*).

Une fois que l'utilisateur a ainsi conçu tous les types d'Entités qui vont intervenir dans son modèle (ie: il a créé toutes ses classes), il définit l'initialisation de son modèle. C'est-à-dire qu'il décrit les conditions dans lesquelles vont être créées les instances particulières sur le modèle des entités qu'il a définies précédemment (position, occurrence, valeur des attributs, ...). Il lui reste ensuite à définir l'ordonnement des tâches de chaque intervenant, c'est-à-dire qui va faire quoi à chaque pas de temps.

Un modèle Cormas est une combinaison de ces trois définitions : un ensemble de classes, une initialisation, un ordonnancement des tâches.

### 1.2.2 Usage des modèles

Il est important de bien comprendre qu'il y a une différence fondamentale de finalité des modèles Cormas et celle des modèles Olympe. Il ne s'agit pas ici de réaliser un diagnostic de quoi que ce soit. La réalisation elle-même de ce type de modèle fait partie d'une démarche et peut être une finalité en soit.

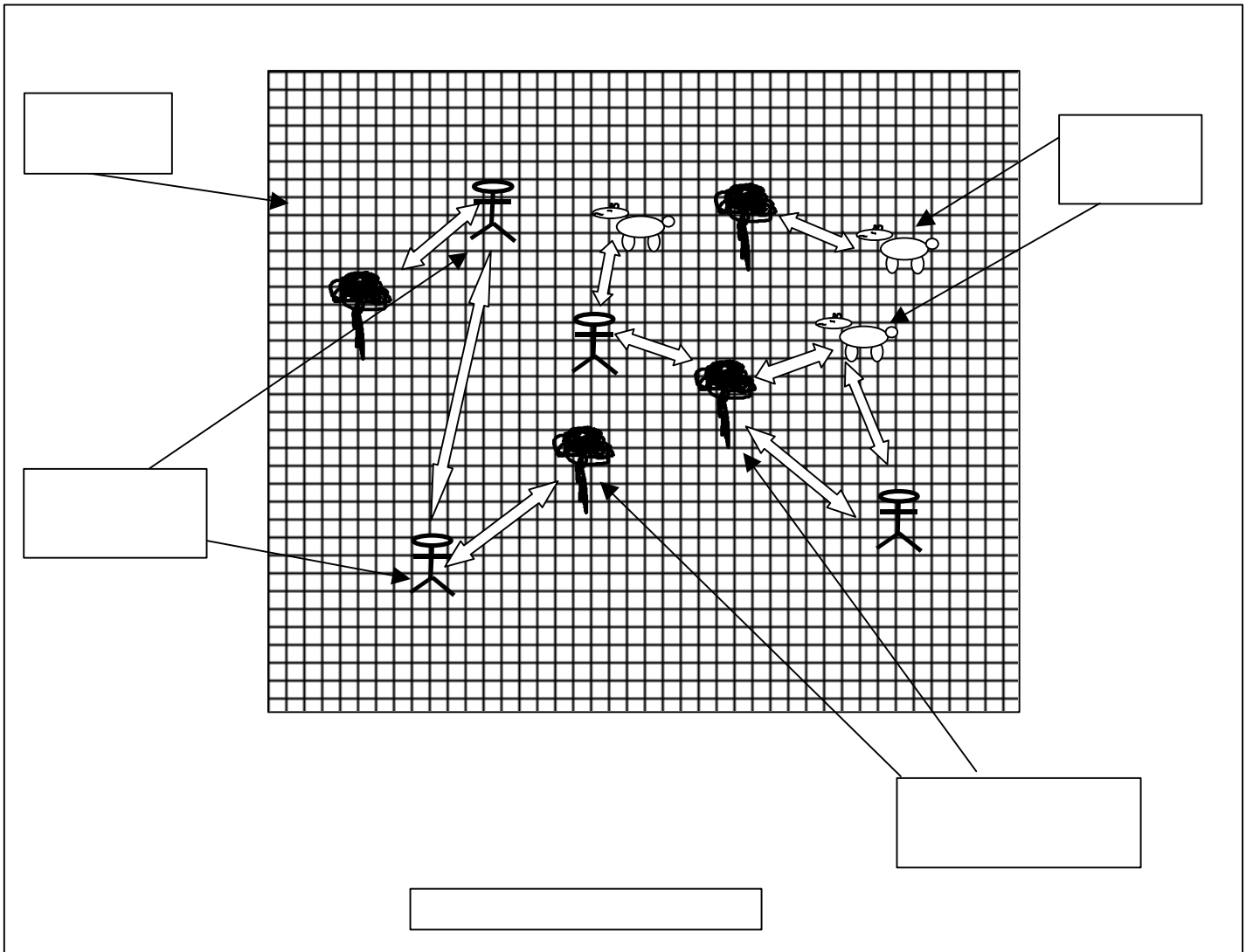
Cette démarche a été formalisée dans une « charte<sup>4</sup> » évolutive rédigée par une communauté regroupant concepteurs et utilisateurs de Cormas. Les modèles Cormas, portant sur des

---

<sup>3</sup> Logiciel créé par l'équipe Green au Cirad (<http://cormas.cirad.fr>)

<sup>1</sup> cf. annexe : « charte ComMod : la modélisation comme outil d'accompagnement »

phénomènes d'interaction et d'organisation entre acteurs, permettent de représenter ces phénomènes et sont donc, en cela, intéressants à construire. La démarche adoptée consiste à développer le modèle en interaction avec les acteurs « modélisés » de manière à comprendre leurs modes de fonctionnement et, par la même occasion, de leur faire prendre conscience des implications de ces modes de fonctionnement à d'autres échelles que la leur ou des implications du mode de fonctionnement des autres types d'acteurs. Cette interaction avec les acteurs est souvent réalisée sous forme de jeux de rôles.



## **2 Méthodologie et réalisations**

### **2.1 Définition des objectifs principaux de la plate-forme**

Une même formalisation de « l'exploitation agricole »

Une idée importante du couplage est de conserver le modèle d'analyse systémique de l'exploitation que l'on trouve dans Olympe et de l'utiliser pour la représentation des exploitations modélisées dans Cormas. L'intérêt est double :

- d'une part, cette représentation a montré son efficacité lorsqu'il s'agit d'étudier une exploitation agricole au niveau technico-économique et les stratégies agricoles.
- d'autre part, ce modèle est utilisé par de nombreux agronomes (sinon tous) et va donc favoriser la compréhension du modèle par ces derniers qui pourront plus aisément intervenir lors de la construction du modèle ou lors de son utilisation.

Un transfert des données de Olympe vers Cormas

Un autre apport indéniable sera la possibilité de calibrer toutes les définitions relatives à l'agriculture de notre modèle avec des données réelles, le logiciel Olympe étant idéal pour la saisie de données et la construction et validation de modèles d'exploitations enquêtées sur le terrain. Avec un peu de chance il peut même ne pas être nécessaire de se livrer à ces enquêtes.

En effet, de nombreuses études ont été réalisées avec Olympe, au cours desquelles de nombreuses exploitations réelles ont été modélisées en utilisant des données recueillies lors d'enquêtes. Il est à noter que ces exploitations ont été modélisées en vue de répondre à une problématique donnée et le niveau de précision ainsi que la nature des données prises en compte va dépendre de cette problématique. Or l'utilisation du logiciel Olympe se développe sous forme d'un réseau d'utilisateurs dont les travaux sont recensés par le CIRAD. La bibliothèque des Typologies d'exploitations agricoles dans Olympe pourra ainsi constituer une sorte de banque de données.

Ainsi, si la question porte sur une problématique étudiée précédemment, au niveau de l'exploitation, par un membre du réseau, une partie du travail aura déjà été faite et une collaboration pourra peut-être se mettre en place.

Imaginons par exemple qu'un chercheur veuille réaliser un modèle sur la gestion de la pollution d'une région et qu'une part importante provienne de la mise en place d'un système de culture particulier. Si une étude sur les trajectoires des exploitations de la région a déjà été faite sous Olympe, un partenariat pourra certainement être fructueux.

## 2.2 Choix de réalisations remplissant ces objectifs

Après considération de ces objectifs, plusieurs types de liaisons se présentent à nous. L'idée initiale était de réaliser un couplage dynamique des deux logiciels. Le modèle multi-agents aurait « contacté » Olympe à chaque fois qu'il aurait eu besoin de renseignements sur une exploitation ou qu'il aurait eu des mises à jour à effectuer sur les données de Olympe.

Pour des raisons stratégiques, une autre solution a été retenue : il s'agit de définir sous Cormas une classe « Exploitation Agricole » qui sera organisée de la même manière que les systèmes de productions de Olympe (*Agriculteurs*), c'est-à-dire sous la forme d'un ensemble de systèmes de cultures et de quelques autres caractéristiques. Seul le logiciel Cormas va fonctionner pendant la simulation.

Cette solution a été préférée à celle d'un couplage dynamique car celui-ci posait de nombreux problèmes pratiques et n'apportait rien à la réalisation des objectifs de la liaison et du stage. Un couplage dynamique aurait en effet demandé des connaissances de synchronisation de logiciels que je n'avais pas et une implication du programmeur de Olympe pour réaliser l'importation des données que nous ne pouvions nous permettre.

A l'initialisation de la simulation, les définitions de Olympe (systèmes de cultures et systèmes de productions) sont rendues disponibles à Cormas qui va les utiliser pour définir ses agents « Exploitation agricole » et leurs composants. Les fonctions de Olympe qui pourront servir seront redéfinies dans le modèle Cormas. Il s'agit uniquement de fonctions calculatoires simples, telles que des calculs d'indicateurs économiques ou techniques, puisque les aléas seront générés par l'environnement défini sous Cormas.

Par la suite un retour des données vers Olympe au cours de la simulation sera à mettre en place de manière à ce qu'un utilisateur du modèle « mixte » puisse observer la position d'une Exploitation de manière claire dès qu'il le désire. Ce point n'a pas été réalisé au cours de ce stage car un projet de transfert de données vers Olympe est prévu par ailleurs et qu'il n'était pas indispensable, ni au développement du reste de la plate-forme de liaison, ni à l'observation ou à la discussion des problèmes rencontrés.

Ainsi, la méthodologie choisie mène le stage à trois résultats pour le Cirad :

La partie « travaux réalisés » de ce rapport expliquant les choix conceptuels réalisés pour réunir ces deux formalismes et leurs motivations.

Une plate-forme de test et de démonstration constituée des logiciels Olympe et Cormas modifiés à cet effet

Une liste d'exemples utilisant cette plate-forme et illustrant une liaison entre Olympe et Cormas

Ces résultats permettront par la suite à des modélisateurs de développer de nouveaux modèles basés en partie sur mes observations sur la réunion de ces deux concepts de modélisation et de développer également la plate-forme que j'ai réalisée pour en faire un outil efficace de modélisation participative.

### **3 Mise en correspondance des concepts propres à chacun des deux logiciels**

Avant de pouvoir faire correspondre ces différents concepts, il a fallu adopter un même formalisme pour les représenter (un méta – formalisme), et décrire ces concepts, lorsque cela n'était pas déjà fait, en respectant ce formalisme.

#### **3.1 Réunion des concepts sous un même formalisme : UML**

Ces concepts peuvent être représentés par une organisation de classes telles qu'elles sont définies dans la programmation objet. Nous utiliserons donc des diagrammes UML (Unified Modeling Language) pour les représenter. Ce langage est couramment utilisé lors de la réalisation et la diffusion des modèles Cormas. Il comprend plusieurs types de diagrammes. Le diagramme de classe va présenter une vue d'ensemble structurelle du système et les relations éventuelles entre les entités. D'autres types de diagrammes vont être utilisés pour décrire les opérations dynamiques ou le déroulement des simulations.

Le « diagramme de classes » va faire office de diagramme conceptuel du modèle. Il va décrire la définition des classes et donc des entités mais sans décrire, autrement qu'en les nommant, les différentes méthodes des classes, c'est-à-dire les fonctions des entités. Il est quasiment indispensable à toute utilisation de la plate-forme puisqu'à la base de tout modèle Cormas et il est donc mis à disposition<sup>5</sup>. Un utilisateur de Olympe, par contre, n'a pas forcément besoin d'un tel diagramme de classes étant donné que le nombre de types d'entités représentable sous Olympe est fini et qu'il propose déjà, ainsi que l'approche systémique sur laquelle il est basée, un certain formalisme de représentation des entités. Ainsi, il n'existe à ce jour aucune formalisation UML de la structure du logiciel Olympe.

En effet, si concrètement Olympe est codé en langage C++, qui est un langage orienté objet, les classes utilisées pour l'écriture du programme ne correspondent pas exactement aux classes décrivant les concepts supportés réellement par le logiciel qui sont rendues différentes par les contraintes imposées lors de la définition des entités correspondantes sous Olympe. Une instance d'une même classe ne va par exemple pas avoir les mêmes caractéristiques suivant l'endroit où elle est définie dans l'interface graphique.

Pour cette raison, le diagramme UML que l'on obtiendrait en considérant les définitions des classes du code source n'est pas représentatif des entités réellement représentées.

Avant ce jour, il n'a pas été nécessaire de posséder de diagramme conceptuel de Olympe étant donné que seul son concepteur apportait des modifications au code et qu'il respectait la représentation systémique de l'exploitation agricole bien connue des utilisateurs.

Il a été cependant nécessaire d'en réaliser un pour cette étude, qui présente les classes et les entités les plus importantes à cette liaison<sup>6</sup>. Ce diagramme a été réalisé en se basant sur l'utilisation de Olympe et sur son code source, qui m'a été expliqué par son concepteur, Jean-Marie Attonaty (INRA).

---

<sup>5</sup> cf. annexe : diagramme de classes de Cormas

<sup>6</sup> cf. annexe : Diagramme de classes du système de production de Olympe

Il est à noter que le concepteur de Olympe ayant commencé ses travaux sur le logiciel précurseur d'Olympe avant que l'on parle de langage UML, une telle formalisation de l'approche systémique supportée par Olympe n'avait jamais été réalisée, bien que cela puisse intéresser grandement les modélisateurs étudiant ce type de phénomènes.

### 3.2 Mise en correspondance des concepts

Le concept de système de production de Olympe va être intégré dans Cormas dans son intégralité, de façon à permettre une étude des stratégies agricoles à la manière de celles réalisées sous Olympe, c'est-à-dire, notamment, basée sur la trajectoire des systèmes de production et sur les rôles que vont jouer les différents systèmes de culture dans ces systèmes de production.

Le modèle plate-forme de cette union sera un modèle multi-agents Cormas, dont la représentation de l'exploitation agricole aura le formalisme de la représentation systémique de Olympe. Ces concepts de Olympe vont donc devoir être intégrés au modèle Cormas sous forme de spécialisation des concepts de base de Cormas, afin de pouvoir interagir avec l'environnement et les agents Cormas.

Les concepts présentant des entités décisionnelles dans Olympe vont être dotés d'une représentation physique dans l'environnement Cormas, tandis que les entités purement fonctionnelles à la base des décisions vont rester des définitions et décrire la façon dont les agents vont exploiter les ressources de l'environnement Cormas.

Cela va permettre, par exemple, d'étudier clairement l'intérêt d'une certaine combinaison d'itinéraires techniques par rapport à une autre dans le cadre d'une certaine situation d'interactions ; par exemple lorsqu'une certaine ressource manque.

Si un système de culture est utilisé dans des exploitations différentes par exemple, il s'agit bien de la même entité, de la même instance. Il constitue, dans son essence de « système de culture », une représentation bien précise d'une technique de production et non une unité physique de production qui, elle, devrait être dotée d'une existence physique dans l'environnement Cormas.

Cette représentation est formalisée à la manière d'un système de culture tel qu'il est décrit dans l'approche systémique de l'exploitation. On va ainsi pouvoir juger de l'intérêt du choix de ce système de culture plutôt qu'un autre dans le système de production.

Un système de culture de blé, par exemple, sera une sorte de système de culture, ayant une existence propre, en tant que définition, de par les choix que fera l'agriculteur de l'intégrer à son système de production ou non. Il ne doit pas être oublié que le but de cette représentation reste l'étude des méthodes d'exploitation du milieu, par l'observation d'entités munies de buts permettant leur jugement. Une décision faisant dériver une entité (un système) de son but ne sera naturellement pas vu comme une « erreur » ou une « mauvaise gestion » de la part de l'exploitant, mais bien comme une information nous renseignant sur les motivations du décideur.

## La Parcelle

Ainsi, dans cette liaison, l'unité de production de base va être la « Parcelle » qui va correspondre à l'Entité spatiale élémentaire du support topologique de Cormas (sous classe de Spatial Entity Cell) et va représenter une parcelle de terrain, composant de base de l'exploitation agricole du milieu. Ce concept n'a pas d'équivalent dans Olympe qui s'intéresse au côté technico-économique d'une exploitation dans laquelle une représentation « physique » ou géographique des entités n'est pas nécessaire.

Il importe par contre beaucoup d'en tenir compte dans notre modèle multi-agents. D'une part la disposition spatiale des agents et des entités va jouer sur les interactions qu'ils vont pouvoir avoir entre eux (dans le cas d'échanges entre voisins par exemple). D'autre part le foncier fait partie des ressources nécessaires à tout agent agricole et la gestion des ressources va être une des bases des interactions et des coopérations entre les agents dès que la ressource va s'avérer être insuffisante, ce qu'il nous intéresse justement d'étudier : les modes de coopération entre agents dans la gestion des ressources.

## Le Type d'Atelier

Contrairement à la Parcelle, qui représente une entité physique, un Type d'Atelier représente un processus d'exploitation d'une parcelle, on parle d'itinéraires techniques, d'où sa dénomination de « Type d'Atelier », préférée à celle d'« Atelier » utilisée dans Olympe pour un concept identique mais dans un contexte différent de celui de la modélisation multi-agents où les entités peuvent avoir une existence physique, ou au moins géographique, dans un monde virtuel. Cela afin de respecter notre volonté d'étude et de représentation systémique de l'exploitation, la classe « Type d'atelier » sera une sorte d'« Entité passive non située » et une même instance de Type d'atelier pourra être utilisée « sur » plusieurs parcelles à la fois. Il s'agit bien d'un système de culture utilisable et intéressant en tant que tel et uniquement.

## L'Exploitation Agricole

L'exploitation agricole est l'unité à laquelle se prend toute décision liée à l'exploitation du milieu. Elle a la structure d'un système de production Olympe, à cela près qu'elle est constituée d'un ensemble de parcelles exploitées selon des Types d'Ateliers. Bien qu'il s'agisse d'un système de production, ce concept est dénommé « Agriculteur » dans Olympe car il correspond aux choix d'un agriculteur, et l'organisation de ce système de production va ainsi être la traduction de l'exploitation du milieu par cet agriculteur. De même dans notre plate-forme, ce système de production va être appelé « Exploitation agricole » car elle correspond à un centre de décision dont l'évolution va dépendre de nombreux facteurs liés à l'exploitation qui est faite du milieu, selon le caractère ou les goûts de l'exploitant par exemple.

L'Exploitation Agricole est représentée, sous Cormas, comme une sorte d'« Agent communicant localisé » de manière à pouvoir représenter tous les processus de décision à ce niveau, puisque de nombreuses études utilisant l'approche systémique de l'exploitation du milieu ont déjà décrit et expliqué de nombreux phénomènes en partant des motivations de ces entités décisionnelles établies auprès des familles au cours d'enquêtes.

La dénomination d'« agriculteur » n'a pas été conservée car, contrairement à la représentation systémique classique, la modélisation multi-agents va permettre de représenter chaque agriculteur dépendant d'une « exploitation agricole » et l'influence qu'il va pouvoir avoir sur les choix concernant l'organisation du système de production.

## 4 Les modèles utilisant cette plate-forme

### 4.1 Les modèles réalisés

Une fois définies les caractéristiques principales de cette liaison, il a été nécessaire, au regard de la méthodologie choisie, de s'employer à l'illustrer d'exemples. L'élaboration et la description de ces exemples constitue une partie importante du stage, que cela soit au point de vue du temps qui y a été passé, ou de la plus value apportée. Ils présentent une ébauche de la prise en compte des interactions dans la représentation de l'exploitation agricole du milieu destiné à l'étude des stratégies paysannes.

Il s'agit ici de la mise en place d'un modèle multi-agents à partir d'une étude réalisée à l'aide du logiciel Olympe. L'intérêt est d'étudier et de représenter les hypothèses qui ont été faites lors de cette étude sur le rôle que peuvent avoir les interactions entre les agriculteurs et les autres acteurs du développement dans les stratégies agricoles.

L'étude en question porte sur le développement des exploitations hévéicoles en Ouest Kalimantan Indonésie et la modélisation de ces exploitations par le logiciel Olympe. Elle a été réalisée par Julie Leconte dans la continuation des travaux de Eric Penot, Caty Geissler et Philippe Courbet. Ces exemples ont toutefois un caractère didactique et leur but reste de présenter la réunion des deux approches et les situations les plus intéressantes. Pour cette raison, ils sont simplistes et parfois en léger décalage avec la réalité de l'étude. La base de ces exemples est décrite dans l'annexe « Mémoire exemples de liaisons », où quelques modèles sont résumés.

Le but n'est pas de répondre par ces modèles à des questions pratiques de l'étude, mais plutôt de déterminer ce que l'on peut réellement observer et représenter par cette liaison.

### 4.2 Exemple illustratif de la représentation de phénomènes d'interaction observés dans le cadre d'une étude utilisant une représentation systémique de l'exploitation du milieu.

Le modèle que nous allons brièvement présenter ici est tiré de l'étude réalisée sur l'utilisation de cette plate-forme comme outil de représentation de phénomènes d'interactions intervenant dans les stratégies paysannes des exploitations hévéicoles en Ouest Kalimantan Indonésie.

Il s'agit, dans le cas de cet exemple, de la représentation du transfert de connaissances. Des projets de développement ont pour but, depuis quelques dizaines d'années, d'instaurer de nouvelles méthodes de cultures de l'hévéa dans la région. Plus adaptées à la croissance démographique et avantageuses sur de nombreux points de vue, ces nouveaux systèmes de cultures correspondent relativement bien aux attentes des agriculteurs et sont donc bien acceptés, mais pour des raisons pratiques, l'information ne peut pas être donnée à tous.

Un certain nombre d'agriculteurs sont donc formés par ces projets, et les autres vont devoir apprendre par eux même, d'après l'observation de leurs voisins.

Ce modèle va représenter l'expansion de l'utilisation de ce système de culture, en utilisant la représentation systémique de l'exploitation agricole. Cela va nous permettre d'utiliser les résultats d'une étude utilisant cette représentation pour caractériser les stratégies des



agriculteurs. Cet exemple ne va pas représenter de manière exhaustive les processus de transfert de connaissances et de décision des agriculteurs, mais il va montrer que ces phénomènes sont liés et qu'il est possible d'étudier les deux conjointement.

Nous avons imaginé, pour cet exemple, deux hypothèses de méthodes de transfert de l'information et deux hypothèses de stratégies personnelles. Cela va nous permettre d'étudier différentes combinaisons de stratégies personnelles et d'interactions.

### **Méthodes de transfert**

- Apprentissage théorique : Un agriculteur apprend à installer le nouveau système de culture deux ans après qu'un de ses référents ait appris à l'installer.

- Apprentissage par l'observation : Un agriculteur apprend à installer le nouveau système de culture un an après que l'un de ses référents ai lui-même installé ce système de culture dans son exploitation.

### **Stratégies personnelles**

- Stratégie prudente : Un agriculteur n'installe un nouveau système de culture pérenne que s'il pense pouvoir financer intégralement son implantation. Sinon il installe un système de culture annuelle.

- Stratégie téméraire : Un agriculteur va systématiquement installer des cultures pérennes, plus rentables, même s'il doit s'endetter pour cela.

#### *4.2.1 Présentation d'une simulation de la combinaison « apprentissage par l'observation » et « stratégie prudente » :*

Pour cette simulation, seuls 3 systèmes de culture sont possible : le riz, qui rapporte de quoi se nourrir chaque année mais très peu ; le Jungle Rubber, agroforesterie d'hévéa classique qui rapporte beaucoup mais dont la période immature (sans production) est d'une quinzaine d'année ; et le RAS, systèmes d'agroforesterie évolué permettant une culture simultanée d'hévéa et d'autres produits, productif dès la première année.

### **A l'initialisation de la simulation :**

20 exploitations agricoles sont générées et placées aléatoirement sur le support topologique. Sur ces 20 exploitations, quatre, choisies aléatoirement, savent comment mettre en place le nouveau système de culture RAS. Les autres ne savent cultiver que du riz et des Jungle Rubber classiques. Chacune reçoit une trésorerie importante et une distribution aléatoire de ces deux systèmes de culture sur 9 parcelles et est liée à deux autres exploitations de son entourage géographique qui seront ses référents en matière d'innovation.

### **Au cours de la simulation, à chaque pas de temps :**

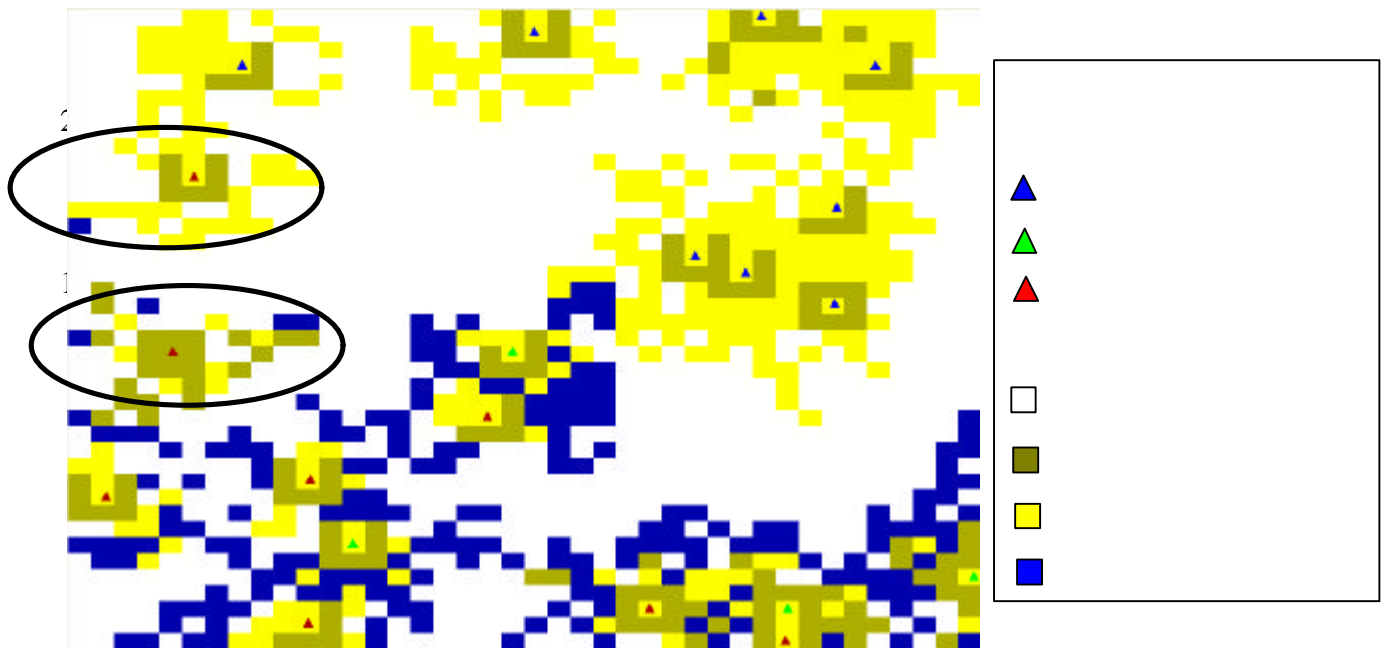
Chaque exploitation va :

- Exploiter ses parcelles selon les systèmes de culture qu'elle y a installés,

- Choisir le meilleur système de culture qu'elle a les moyens de financer selon sa trésorerie à cette date et l'installer sur une nouvelle parcelle,
- Apprendre à installer le nouveau système de culture si son référent l'a installé

### Observations :

La figure suivante présente une carte de la situation d'une telle simulation à une période clef.



Cette carte représente géographiquement l'état de la situation au pas de temps 27 de la simulation. On peut remarquer qu'après une trentaine d'années de simulation, les exploitations de la partie inférieure de la carte ont toutes développé le nouveau système de culture, tandis que seule une exploitation de la partie supérieure exploite une de ses parcelles en RAS.

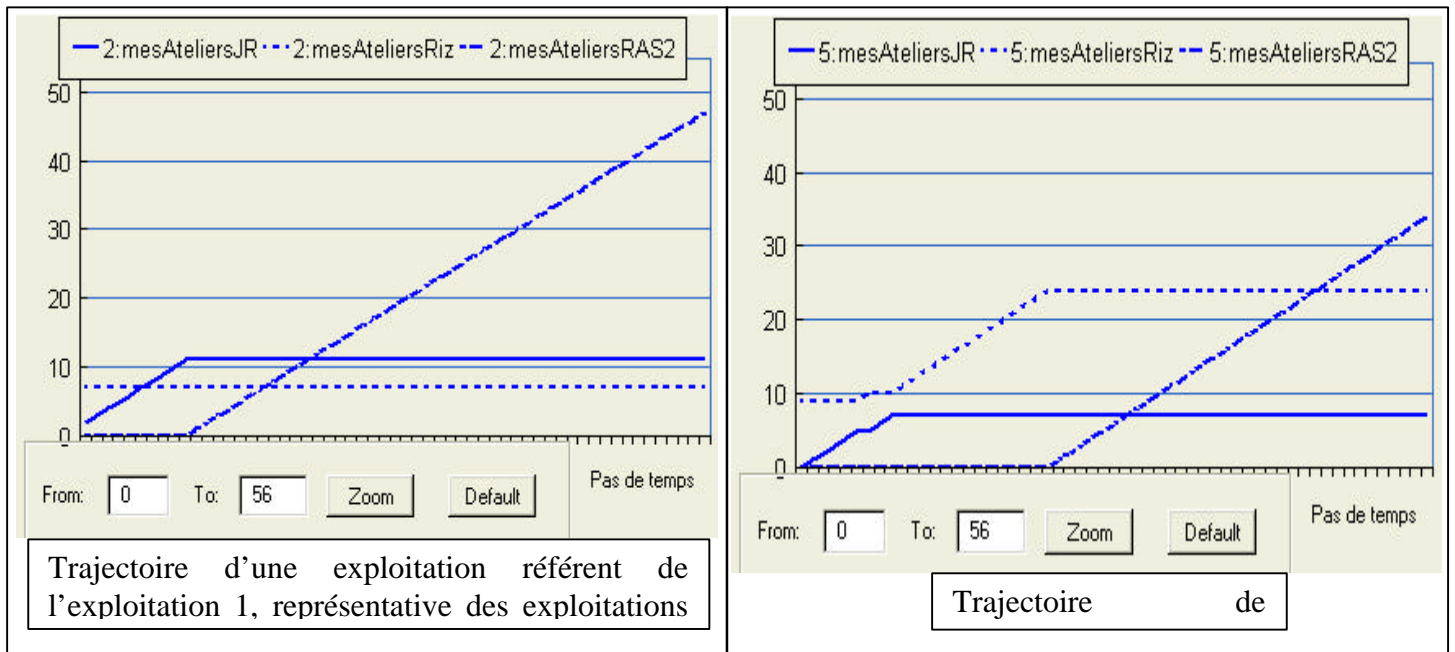
Cela est dû au fait que toutes les exploitations touchées par les projets se trouvent dans la partie inférieure et que les liens de référence entre les exploitations se font de proche en proche. Peu après le lancement de la simulation, toutes les exploitations de la partie inférieure savaient installer le nouveau système, elles apparaissaient sur la carte en vert ou en rouge.

Cependant, l'exploitation encerclée du cercle noir n°1 sur la carte précédente a été dotée exclusivement d'ateliers de riz à l'initialisation. Disposant alors d'une trésorerie importante, elle a installé, les premières années, des ateliers de Jungle rubber. Seulement, lorsque ses référents se mirent à utiliser le nouveau système de culture, elle avait épuisé sa trésorerie initiale, ses ateliers de Jungle rubber ne produisaient toujours pas, et, appliquant la stratégie prudente, elle se mit à installer d'autres ateliers de riz plutôt que de s'endetter davantage.

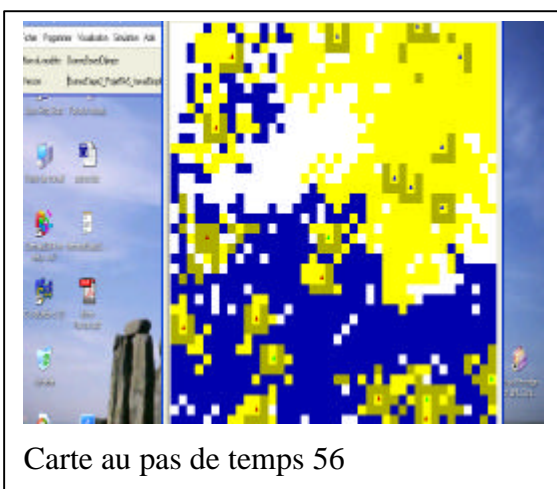
Or cette exploitation était le seul référent, de l'exploitation encerclée du cercle n°2, qui appartient à la partie inférieure de la carte. Ainsi, cette dernière exploitation, bien qu'économiquement capable d'implanter le nouveau système de culture, n'avait pas de référent pouvant lui présenter ce système de culture en fonctionnement et n'a donc pas pu l'installer elle-même.

A la « date » de la carte, ci-dessus, les ateliers de jungle rubber de l'exploitation 1 lui ont rapporté suffisamment d'argent pour qu'elle installe enfin le nouveau système de culture, et l'exploitation 2, apparaissant désormais en rouge, a installé sa première parcelle cultivée en agroforesterie évoluée que l'on peut apercevoir en bleu.

La figure ci-dessous présente les trajectoires de l'exploitation 1 et d'une exploitation de la partie inférieure, de l'initialisation de la simulation au pas de temps 56. Il s'agit de courbes sorties avec Cormas.



Cette simulation témoigne d'une seule combinaison « méthode de transfert - stratégie personnelle ». Nous ne présenterons pas de simulation pour les autres combinaisons dans ce rapport mais il est possible d'imaginer les différences que l'on observerait pour ce cas.



Si on utilisait par exemple la combinaison « méthode de transfert théorique » avec une stratégie personnelle « prudente », l'exploitation 2 installerait son premier atelier d'agroforesterie évoluée au bout de dix ans. Mais l'exploitation 1 par contre devrait attendre 25 ans comme précédemment, car sa trésorerie est déjà trop faible à la huitième année, pour qu'elle se permette d'investir.

Enfin, un autre résultat est notable, bien qu'il ne dépende pas à proprement parler de la distinction que nous désirons étudier ici entre les types de stratégies personnelles et de méthode de transfert

de l'information. Il s'agit du développement du groupe d'exploitations situées en haut à droite de la carte, qui ne présente pas d'exploitation formée initialement à la nouvelle méthode et dont tout les référents appartiennent au groupe. Aucune stratégie personnelle ou méthode de transfert que nous ayons proposé n'aurait pu nous éviter ce résultat.

Nous n'avons pas parlé jusqu'ici de l'influence des différents paramètres mais il va de soit que certains paramètres vont déterminer les résultats du modèle. On l'observe clairement ici, où un nombre supérieur de référents par personne aurait évité ce résultat. Il est à noter que suivant les définitions que l'on choisit pour le transfert de l'information et les stratégies, certains paramètres vont être plus ou moins déterminants.

## Conclusion

Depuis de nombreuses années les chercheurs en agroéconomie utilisent une représentation systémique de l'exploitation agricole adaptée à leurs travaux. D'autre part, un nombre grandissant de chercheurs utilise des modèles multi-agents pour représenter des problématiques complexes de gestion des ressources. L'étude réalisée ici montre dans quelles mesures il peut être envisagé de réunir ces deux approches afin de mettre en place des projets pluridisciplinaires permettant de réaliser des modèles plus pertinents.

Utiliser une représentation systémique de l'exploitation agricole pour représenter des agents jouant ce rôle dans un modèle multi-agents pourrait permettre à des agroéconomistes de se pencher sérieusement sur ce modèle et de travailler en collaboration avec le modélisateur pour mettre au point des règles de décision les plus réalistes possibles.

Il a en effet été établi que, dans une volonté d'étudier la gestion des ressources du milieu par différents acteurs, il peut être intéressant de représenter à la fois l'organisation et les interactions entre les acteurs sous la forme d'un système multi-agent et l'exploitation agricole du milieu, de manière systémique.

Cela devrait permettre d'étudier et de représenter les stratégies agricoles individuelles à la manière des agroéconomistes, c'est-à-dire sous la forme d'une gestion du système de production, tout en étudiant les impacts de ces stratégies sur les modes de coopérations entre les acteurs et réciproquement.

En matière de liaison effective des deux outils de modélisation Olympe et Cormas, une première plate forme informatique a été réalisée qui permet d'utiliser, sous Cormas, des systèmes d'exploitations et de cultures précédemment définis avec Olympe. Les premiers modèles, réalisés à la base d'études Olympe permettent de se faire une première idée de l'utilisation qui peut être faite d'une telle liaison.

## Bibliographie

Le Moigne J.L. (1990), *La modélisation des systèmes complexes*, Edition BORDAS, Paris

Ferber J. (1995), *les systèmes multi-agents*, InterEditions, Paris

Leconte J. (2000), Modélisation des exploitations agricoles de Kalimantan, mémoire de stage

Jouve P. (1992), Le diagnostic du milieu rural à la parcelle. Approche systémique des modes d'exploitation du milieu. Montpellier : CNEARC. 40 p.

Courbet P., Systèmes de production hévéicoles et innovations techniques. Le cas des agroforêts à hévéa de Kalimantan Ouest, Indonésie. Mémoire de fin d'étude en agronomie tropicale, ENGREF/ CNEARC, Montpellier, 86p.

Penot E. (2001), Stratégies paysannes et évolution des savoirs : l'hévéaculture agro-forestière indonésienne. Thèse présentée pour obtenir le grade de Docteur de l'Université Montpellier I, 364 p.

Ropella G.E., Railsback F.S. et Jackson S.K. (2002), Software engineering considerations for individual-based models. *Natural resource modelling* Volume 15, Number 1, Spring 2002

Albouchi L., Le Gruss Ph. (2003), Analyse d'impact du libre échange agricole en terme de développement durable : Cas d'une zone irriguée au Nord-ouest de la Tunisie. *Séminaire « Olympe »*, Montpellier Septembre 2003