

Du "Local" au "Global" Les dynamiques agro-alimentaires territoriales face au Marché Mondial

Quels instruments d'aide à la décision pour l'élaboration de Stratégies Territoriales ?

Ph. Le Grusse

Enseignant-chercheur, CIHEAM-IAM Montpellier (France)

Résumé. Face à une globalisation des échanges et un désengagement de plus en plus important des gouvernements, les acteurs des filières agro-alimentaires dans les "Territoires" sont de plus en plus confrontés au besoin de gérer leur dynamique collective, entre contraintes de ressources et compétition internationale. De nouveaux besoins en terme d'outils d'aide à la décision apparaissent ainsi au niveau local. Après une réflexion méthodologique sur la caractérisation d'un "Territoire" et sur l'intérêt d'utiliser les concepts de la modélisation multi-agents, une démarche opérationnelle est proposée. Trois étapes chronologiques d'intervention sur le "Territoire" se caractérisent par trois niveaux de modélisation devant aider à l'élaboration d'un processus de négociation et de décision.

- un modèle fonctionnel pour comprendre et caractériser les acteurs au travers de leur production et de leur consommation (une simulation des flux pour réfléchir sur les enjeux) ;
- un modèle de décision au travers d'un jeu d'acteurs permettant de mettre en situation de décision virtuelle les acteurs d'un territoire (une réflexion sur les règles et les comportements) ;
- un modèle multi-agents permettant d'endogénéiser partiellement ou totalement les flux et les règles de décision (une modélisation pour évaluer et proposer de nouvelles alternatives).

Abstract. With globalization of exchanges and a more and more important economics disengagement of governments, agro-food actors in "Territories" need to manage their collective dynamics, between resources constraints and international competition. The new needs in term of help tools to the decision appear in territories. After a methodological reflection on the characterization of a "Territory" and on the interest to use modelling multi-agents concepts, an operational gait is proposed. Three chronological stages of intervention on the "Territory" characterize themselves by three levels of models to help development of negotiation and decision process.

- a functional model to understand and to characterize actors through their production and their consumption (a flux simulation for stakes evaluation);
- a decision model with a business game permitting to put actors in a virtual decision situation (a reflection on rules and behaviors);
- a multi-agents model with part or all fluxes and decision rules (a model to test and to propose news alternatives).

I - Introduction

Le "global" caractérisé par la réalité de la mondialisation des échanges aurait une propension à inhiber l'intérêt d'une réflexion sur le "local". Dans de nombreuses régions, les modifications des structures d'échange associées à une libéralisation des économies induisent un affaiblissement des pouvoirs de contrôle des Etats. Les acteurs issus de la société civile deviennent alors les meneurs de jeu de la dynamique économique.

Le secteur de la "production agro-alimentaire" se caractérise, au travers des acteurs, générateurs des flux de production, par un rapport particulier à la notion d'espace que nous symboliserons par la notion de "Territoire". Ces acteurs de la production liés au territoire sont encadrés à l'amont par l'agro-fourmiture et à l'aval par les industries agro-alimentaires composées de firmes de plus en plus internationales et de plus en plus déconnectées des contraintes des espaces.

Le passage d'une organisation régulée par une politique d'orientation générale vers une gestion plus contractuelle et/ou plus ciblée crée des besoins nouveaux en terme d'outils d'aide à la décision. Il convient donc d'analyser en profondeur l'émergence, pour le secteur agro-alimentaire, de stratégies de

développement territorialisées, en réaction et en combinaison aux phénomènes de mondialisation et face à la nécessité d'une gestion améliorée des ressources. Ce type de développement s'appuie fortement sur des très petites entreprises (TPE) et des petites et moyennes entreprises (PME) de production agricole et de transformation agro-alimentaire, essayant notamment de créer des conditions de concurrence monopolistiques par leurs produits liés au terroir et à la tradition.

Face à ces perspectives, il convient de préciser et de mesurer la nature des variables en jeu (caractéristiques des marchés et des structures industrielles, typologie des acteurs et dynamique de leurs comportements), d'en simuler les évolutions à moyen terme, incluant les opportunités de création de valeur pour la société civile et les entreprises et d'en dégager des recommandations pour les pouvoirs publics sur les domaines sensibles de la mise à niveau, de la politique de concurrence, de la normalisation et des aides à l'innovation.

II – Des acteurs divers à la base des dynamiques de développement : de l'ancrage territorial à l'intégration au marché

1. Le territoire système d'interface Ressources-Marchés

Le "global" du monde des échanges alimentaires se construit sur deux systèmes de réseaux d'échange en connexion permanente :

- Un réseau de firmes dans un espace international et inter régional ;
- Un réseau d'acteurs dans un espace territorial.

Le "Local" se caractérise, quant à lui, par la connexion continue et la recherche d'équilibre entre les acteurs du territoire et les ressources de ce territoire dans un souci d'assurer un développement durable.

La dimension nouvelle de l'espace de concurrence en modifiant les systèmes de régulation, nous conduit ainsi à une réflexion sur le renouvellement de nos méthodes et des niveaux d'analyse pertinents pour l'élaboration de stratégies de développement économiques. Les territoires deviennent des lieux privilégiés où doivent se coordonner un ensemble d'acteurs afin d'assurer un équilibre entre objectifs individuels et contraintes collectives dans un objet de cohérence globale du système tant d'un point de vue économique que de durabilité. La liaison à l'espace introduit inévitablement des références au problème de pérennité des potentialités spécifiques des territoires et de ses acteurs.

2. Un nouveau besoin : L'élaboration de plans stratégiques territoriaux Un problème : Comment définir un territoire pertinent ?

Les réflexions à mener sur les territoires posent des problèmes méthodologiques et d'instruments adaptés pour l'aide à la construction de stratégies concertées. La démarche de construction de différentes approches de modélisation du territoire nous a permis de formuler un premier niveau d'analyse méthodologique et d'envisager des formes d'instrumentation appropriées à la mise en œuvre d'actions concertées entre les acteurs, dans un objectif de création de valeur.

La notion de territoire reste flexible et va trouver sa pertinence à l'interface de plusieurs facteurs :

- La notion de bassin de production c'est-à-dire une zone géographique caractérisée par des spécificités en terme de production, soit en terme de spécialisation, soit en terme de potentialités, ou de typicité.
- La notion d'unité en terme de partage d'une ressource ; comme par exemple, l'eau utilisée dans un bassin versant ou une zone prélevant sur une même nappe phréatique ou un fleuve, des zones de pâturage collectives, une zone forestière...
- La notion d'unité en terme culturel est également un facteur de réflexion à introduire dans la délimitation d'un territoire apte à développer un Plan Stratégique Territorial (PST).

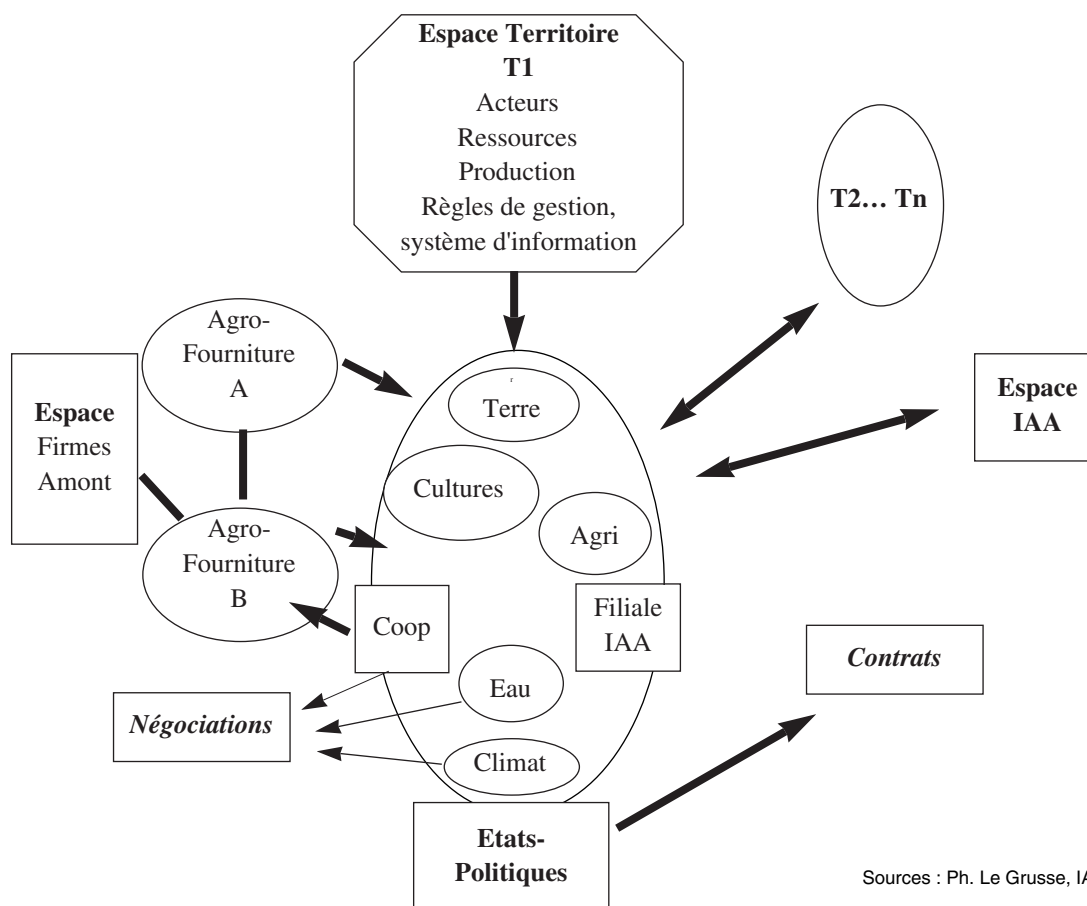
La délimitation d'un territoire doit permettre de repérer les acteurs, cependant la démarche ne peut être qu'itérative. En effet, le besoin de réfléchir à un PST peut trouver son origine dans différents facteurs ou questions qui vont infléchir sur les frontières du territoire et son zonage. Par exemple, un problème d'allocation de la ressource en eau va mettre en avant la dimension du bassin versant ou la zone d'accès à une nappe et ainsi infléchir fortement sur la délimitation du territoire pertinent. Des problèmes de gestion d'un type de production comme par exemple le lait ou l'arboriculture, une zone d'appellation, sont autant d'éléments qui vont participer au repérage du territoire.

Un premier niveau de délimitation permet donc de repérer les acteurs du territoire, les éléments de ressources (terres, eau, ...), ainsi que les facteurs de structure (climat, infrastructure de transport, communications, etc.).

L'étape suivante consiste à analyser tout d'abord les flux à l'intérieur du système territorial permettant de décrire les relations des acteurs entre eux (adhésion à une coopérative, fournisseurs de matières premières, syndicats, etc.). L'analyse de ces relations nous permet de mettre en évidence les relations avec des acteurs extérieurs au territoire dont le fonctionnement ne doit pas être formalisé dans la démarche de modélisation mais pris comme paramètre de notre modélisation. Ces différentes caractérisations nous donnent la possibilité, alors, de redéfinir le territoire pertinent par rapport aux questions posées. On peut ainsi, grâce à cette première étape de positionnement des limites du territoire, schématiser le fonctionnement et avoir un cadre précis de construction d'une démarche de modélisation.

La définition de l'espace de modélisation caractérisée par le territoire met en évidence des objectifs précis. Les acteurs du territoire doivent être modélisés en terme fonctionnel (production-consommation), en terme de flux avec les autres acteurs (produits-information) et en terme cognitif (règles de décision). Les acteurs extérieurs au territoire sont caractérisés simplement par les paramètres d'influence sur le territoire générant des contraintes (prix, quantités, réglementations, règles d'intervention par rapport au territoire, etc.).

Graphique 1. Le Territoire et son environnement : ses acteurs et agents représentés dans leur relations



Sources : Ph. Le Grusse, IAM, 2000.

Le cadre d'intervention du problème de formalisation d'un système de modélisation se pose. La notion d'espace multi-acteurs nous a conduit à nous intéresser à la modélisation de "Systèmes Multi-Agents" (SMA) pour définir notre cadre conceptuel.

III – La modélisation Multi-agent ou la recherche d'une forme de modélisation adaptée à la représentation d'un Territoire

1. La modélisation des systèmes dans une approche multi-agents

Elle apparaît prometteuse pour définir un cadre de réflexion et aider les acteurs dans la négociation et la formulation de solutions réalistes.

L'approche multi-agents se situe au carrefour de nombreuses disciplines. Les deux plus importantes étant :

- ❑ L'intelligence artificielle distribuée (IAD) qui a pour objet de réaliser des organisations de systèmes capables de résoudre des problèmes par le biais d'un raisonnement généralement fondé sur une manipulation de symbole ;
- ❑ La vie artificielle (VA) qui cherche à comprendre et à modéliser des systèmes doués de vie, c'est-à-dire capables de survivre, de s'adapter et de se reproduire dans un milieu parfois hostile (J. Ferber, 1995).

Les systèmes multi-agents apportent une solution radicalement nouvelle au concept même de modèle et de simulation, en offrant la possibilité de représenter directement les individus, leurs comportements et leurs interactions" (J. Ferber, 1995).

L'intérêt de ces modèles de simulation est de pouvoir y associer des variables quantitatives et qualitatives, que l'on nomme modèles micro-analytiques (Collins et Jefferson, 1991) ou simulation individu-centre.

Ces systèmes multi-agents apparaissent comme très prometteurs pour la représentation des phénomènes de fonctionnement des territoires dans la mesure où une de leur principale fonctionnalité est de permettre la modélisation de situations complexes dont les structures globales émergent des interactions entre agents (réactifs ou non), "c'est-à-dire de faire surgir des structures de niveau macro à partir de modélisation du niveau micro".

2. La problématique de la modélisation multi-agents

Cette problématique se situe dans le passage de la notion d'agent à celle de société. Elle permet de faire le lien entre les comportements individuels et les phénomènes observés au niveau global. Dans cette dimension, les notions de coopération, conflits, collaboration et coordination d'actions prennent tout leurs sens.

Dans un système multi-agents, il est possible d'analyser et de concevoir le collectif de deux manières différentes. La première consiste en une spécification globale de la société que l'on veut obtenir et des propriétés recherchées. La deuxième, plus simple et plus prometteuse, consiste à partir d'une définition assez fine de l'agent pour arriver à la société qui n'est qu'une conséquence finale des interactions entre les acteurs.

Les systèmes multi-agents :

On appelle système multi-agents¹ (ou SMA), un système composé des éléments suivants :

- Environnement E, c'est-à-dire un espace disposant généralement d'une métrique.
- Un ensemble d'objets O. Ces objets sont situés, c'est-à-dire que, pour tout objet, il est possible à un moment donné, d'associer une position dans E.
- Un ensemble A d'agents, qui sont des objets particuliers ($A \subseteq O$), lesquels représentent les entités actives du système.
- Un ensemble de relations R qui unissent des objets (et donc des agents) entre eux.
- Un ensemble d'opérations permettant aux agents de A de percevoir, produire, consommer, transformer et manipuler des objets de O.
- Des opérateurs chargés de représenter l'application de ces opérations et la réaction du monde à cette tentative de modification, que l'on appellera les lois de l'univers.

3. L'acteur, entité de base des systèmes multi-agents

L'acteur est considéré "comme une entité physique ou abstraite, capable d'agir sur elle-même et sur son environnement, disposant d'une représentation partielle de cet environnement, pouvant communiquer avec d'autres agents et dont le comportement est la conséquence de ses observations, de sa connaissance et des interactions avec d'autres agents"².

Dans un système multi-agents, les acteurs ne sont pas dirigés par l'utilisateur mais jouissent d'une certaine autonomie. Ils sont animés par des tendances qui peuvent prendre la forme d'objectifs individuels à satisfaire ou à optimiser. Ainsi, l'agent est actif et peut répondre positivement ou négativement à toute requête provenant d'un autre acteur. L'agent n'est que partiellement renseigné sur son environnement. Il n'a pas de vision globale sur tout ce qui se passe. Sa vision se limite à la part de l'environnement qui lui est apparente.

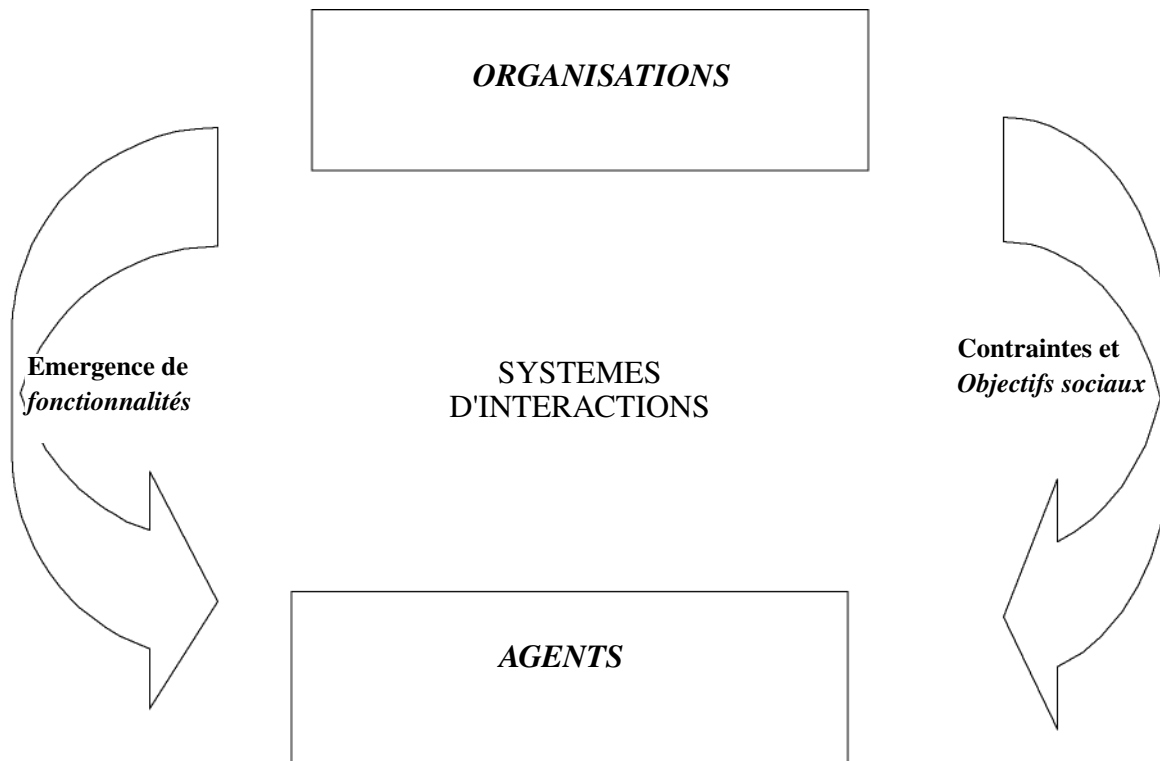
"L'agent est ainsi une sorte "d'organisme vivant" dont le comportement, qui se résume à communiquer, à agir et, éventuellement à se reproduire, vise à la satisfaction de ses besoins et de ses objectifs à partir de tous les autres éléments (perceptions, représentations, actions, communications et ressources) dont il dispose"³.

On appelle agent⁴ une entité physique ou virtuelle :

- qui est capable d'agir dans un environnement,
 - o qui peut communiquer directement avec d'autres agents,
 - o qui est mue par un ensemble de tendances (sous la forme d'objectifs individuels ou d'une fonction de satisfaction, voire de survie, qu'elle cherche à optimiser),
 - o qui possède des ressources propres,
 - o qui est capable de percevoir (mais de manière limitée) son environnement,
 - o qui ne dispose que d'une représentation partielle de cet environnement (et éventuellement aucune)
 - o qui possède des compétences et offre des services,
 - o qui peut éventuellement se reproduire,
 - o dont le comportement tend à satisfaire ses objectifs, en tenant compte des ressources et des compétences dont elle dispose, et en fonction de sa perception, de ses représentations et des communications.

“Le travail portant sur les organisations artificielles se situe donc au centre d’une dualité irréductible agent/organisation : toute organisation est le résultat d’une interaction entre agents, et le comportement des agents est contraint par l’ensemble des structures organisatrices”⁵, comme le montre la figure suivante :

La relation agent/organisation dans les systèmes multi-agents



Source : J. Ferber, 1995.

IV – Des Concepts SMA à une démarche opérationnelle

L’approche de la modélisation multi-agents apparaît très séduisante et particulièrement bien adaptée à notre problème de modélisation d’un territoire. L’élaboration d’un tel type de modèle nécessite cependant l’accumulation d’un grand nombre d’informations. Dans un souci opérationnel, les étapes d’élaboration d’un SMA peuvent être caractérisées pour produire des instruments opérationnels aux différents niveaux d’élaboration.

La démarche de modélisation est définie en trois étapes principales :

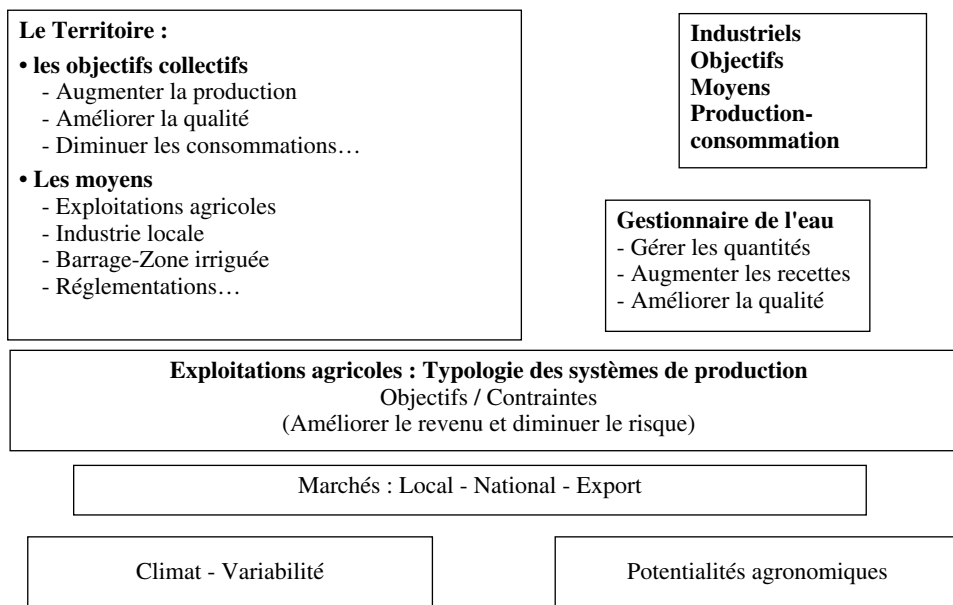
- Modèle fonctionnel** (représentation des flux) : modèle de représentation des acteurs au travers de leurs productions et de leurs consommations ;
- Modèle de décision** : jeu d’acteurs permettant de mettre en situation de décision virtuelle les acteurs d’un territoire ;
- Modèle multi-agents** : modèle endogénéisant partiellement ou totalement les flux et les règles de décision.

Chaque étape de la démarche fournit un instrument opérationnel d’aide à la décision.

1. L'approche de modélisation fonctionnelle : un modèle de représentation des acteurs au travers de leurs productions et de leurs consommations

A partir des différents éléments de caractérisation du territoire repérés précédemment le premier objectif est de dégager les éléments de production et de consommation utiles pour répondre aux questions que se posent les différents acteurs (représentées par leurs objectifs).

Un simulateur pour représenter les différents éléments de fonctionnement d'un territoire



Pour faciliter le dialogue entre les différents acteurs concernés et permettre de tester la viabilité de leurs objectifs, nous développons un modèle de fonctionnement du territoire pour simuler différents scénarios d'évolution.

Le travail est mené en quatre étapes.

A. Des enquêtes de terrain sur les différents acteurs ou types d'acteurs ainsi que la collecte des données sur leur environnement socio-économique.

Le programme au niveau de la représentation des acteurs agricoles se décompose en trois parties :

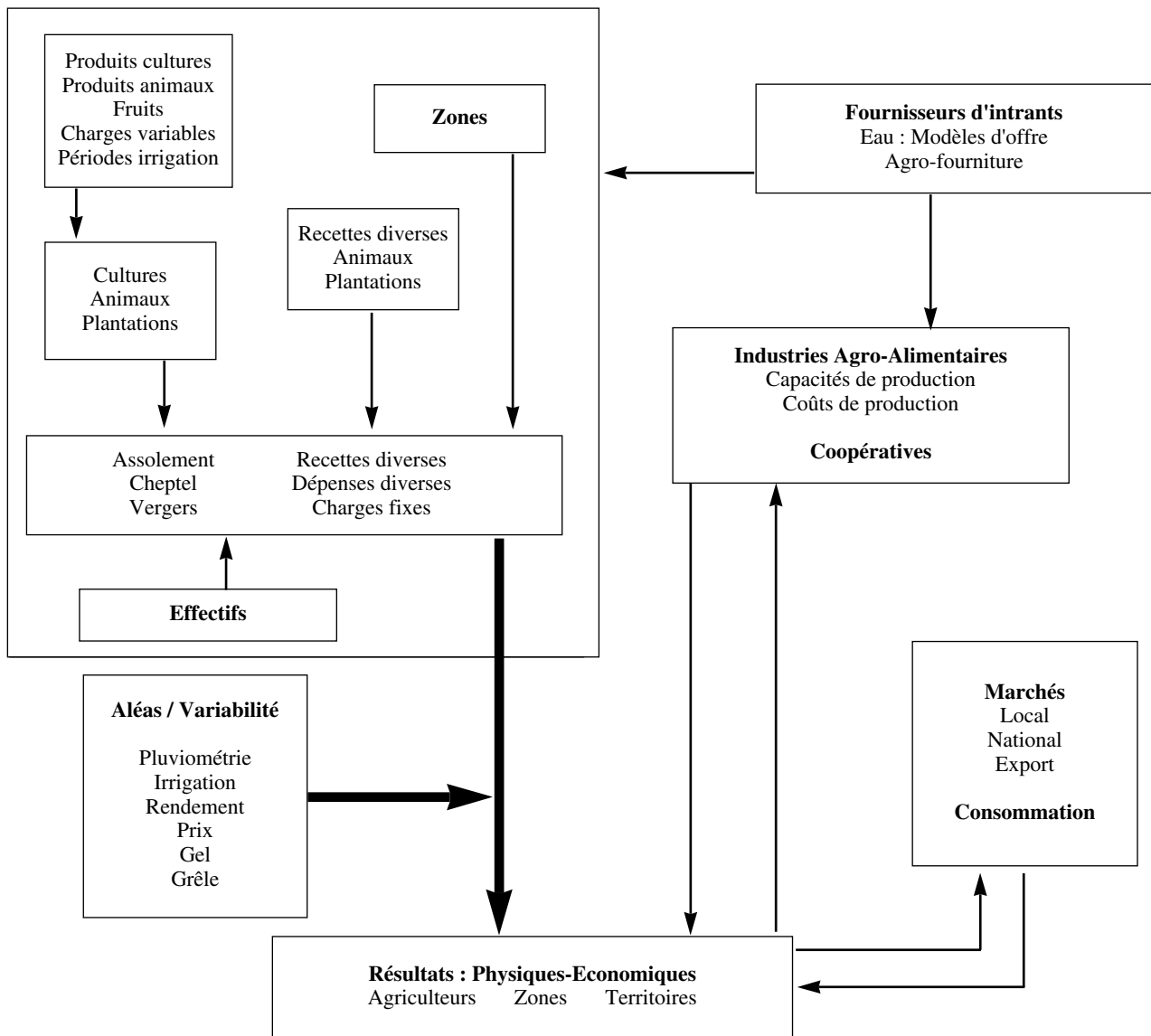
- Une partie de définition générale qui permet de clarifier les variables en matière de charges et produits afférents à l'activité agricole dans la région suivant différents itinéraires techniques ;
- Une partie de définition des exploitations agricoles. Chaque exploitation est repérée par un titre et une zone à laquelle elle appartient. Son activité est identifiée, par campagne agricole, à partir de l'occupation du sol, du verger, de la composition du cheptel, des charges fixes, des recettes et des dépenses diverses. Cette fonction permet aussi de déterminer la représentativité de chaque exploitation dans sa région ;
- Et une partie de caractérisation des "aléas" qui jouent un double rôle en permettant de caler les exploitations ainsi définies et de représenter les différents scénarios de simulation. En effet, les exploitations ne produisent pas au même coût, au même rendement, et avec la même fonction de pilotage. Cette fonction va nous permettre de traduire cette diversification en pourcentage par rapport aux normes déjà définies dans la base de données. En affectant à chaque exploitation ses propres pourcentages, nous allons pouvoir nous rapprocher de ses résultats réels.

Les acteurs industriels sont caractérisés par une demande de matière première agricole, de ressources naturelles et leur production de produits finis ainsi que de leur rejet industriel.

B. La construction d'un modèle de simulation du Territoire

Ce modèle sera à la fois une base de données sur les systèmes et un outil de simulation (à partir d'un modèle générique régional : Olympe, J.M. Attonaty, INRA, Paris Grignon).

Fonctions du Simulateur Territorial



C. Le calage du modèle

Pour la validation, nous comparons les résultats du modèle aux données des statistiques de la zone sur des années antérieures significativement différentes en matière de superficies cultivées, de productions et de consommations en eau ou de tout autre facteur permettant un calage.

D. La simulation de scénarios

Cette simulation est réalisée pour développer le dialogue entre les différents acteurs et faciliter l'émergence de nouvelles solutions.

Les simulations permettent donc de tester les impacts en terme de flux des décisions des différents acteurs. Ces analyses d'impacts définissent alors le champ du possible et font émerger les éléments de négociation. Le simulateur agit comme un révélateur de l'impact de changements mais ne permet pas de comprendre les règles de gestion des acteurs et d'anticiper leurs réactions face à des modifications de facteurs de leur environnement. Pour modéliser le fonctionnement complet du système il est impératif de comprendre et formaliser les règles de décision des acteurs ainsi que les lois de changement de règles. La mise en œuvre de jeu d'acteurs nous donne la possibilité de faire émerger les comportements, les coalitions envisageables et, également, d'anticiper les situations conflictuelles.

2. Modèle de décision : jeu d'acteurs permettant de mettre en situation de décision virtuelle les acteurs d'un territoire et de faire émerger des règles de gestion des acteurs

L'utilisation d'un modèle de simulation régional représentatif trouve toute son expression d'utilité comme support dans la négociation sur la réaction des différents acteurs face à de nouvelles situations. L'étude de la réaction des acteurs, c'est-à-dire l'analyse des impacts de leurs comportements sur les autres acteurs et, par agrégation sur l'ensemble du système étudié, concrétise une avancée sur les facteurs de négociation, les limites d'actions. De fait, elle contribue à la construction de règles de comportements. Ainsi, suite à diverses expériences de modélisation territoriales et à la confrontation de scénarios d'évolution avec les acteurs concernés, le prolongement de la démarche nous a conduit à élaborer un jeu d'acteurs permettant de mettre en situation de décision les acteurs d'une négociation. Nous retrouvons, ici, une démarche d'apprentissage "virtuelle" afin de mieux agir sur le "réel".

Dans une première étape de construction d'un modèle de jeu générique, nous avons élaboré un premier système simplifié de jeu de situation dans une région agricole. Nous avons ainsi testé la démarche d'acteurs sur une région virtuelle (Jeu MEDTER, Allaya M., Attonaty J.M., Le Grusse Ph., Mai 2000, CIHEAM-IAMM).

Nous présenterons ici la démarche au travers d'un exemple pour montrer l'intérêt de cette approche dans la formalisation des règles de gestion : le jeu est pour l'instant orienté principalement sur la gestion de la production agricole.

A. Différents systèmes de production agricole dans une région agricole

La région comporte quatre grands systèmes de production agricole ayant des structures, des potentialités, des capacités techniques et des poids différents.

- Le système A est orienté dans le maraîchage avec 500 exploitations de 10 ha chacune ;
- Le système B est orienté dans le maraîchage et les céréales comprenant 100 exploitations de 50 ha chacune ;
- Le système C est orienté dans le maraîchage et les fruits comprenant 100 exploitations de 30 ha chacune (surface fruitière 1 ha de pêchers par exploitation) ;
- Le système D est orienté dans les céréales et les fruits comprenant 50 exploitations de 200 ha chacune (surface fruitière composée de 5 ha de pêchers et de 25 ha de pommiers par exploitation).

Chaque système de production est doté de facteurs de production, de potentialités de culture et de fiches techniques de production par culture selon trois niveaux d'intensification. Les facteurs décrits sont :

- La disponibilité en terre ;
- La disponibilité en main d'œuvre selon différents niveaux et différents coûts ;
- Un quota de base de disponibilité en eau ;
- Des tranches proportionnelles à la surface avec les prix correspondants.

La région agricole est également caractérisée par l'histoire de sa production, de l'évolution des consommations et des disponibilités en facteurs de production, ainsi que par celle de l'évolution des marchés et des prix pratiqués.

Nous trouvons ainsi les consommations et les disponibilités en eau au niveau régional, la quantité de main d'œuvre utilisée et disponible, les surfaces des cultures au niveau régional, les productions, les quantités commercialisées et les prix sur les marchés d'exportation et nationaux.

B. Le déroulement du jeu

Chaque type d'exploitation agricole est affecté à un groupe d'acteurs. Ce dernier connaît toutes les potentialités techniques de son système de production et celles des autres exploitations ainsi que l'histoire à un niveau d'agrégation régional.

Chaque groupe de décision se trouve alors en position de décision de production sans savoir ce qu'ont fait dans le passé et ce que vont décider les autres groupes pour les campagnes à venir. Chaque groupe ne sait pas non plus comment vont évoluer précisément les disponibilités des facteurs de production extérieurs à l'exploitation, les quantités et les prix des produits sur les marchés.

Le jeu va se dérouler pas à pas. Chaque groupe décide un plan de production en fonction de ses capacités techniques, financières et de ses disponibilités en facteurs (eau, main d'œuvre).

Toutes les décisions sont agrégées dans le simulateur régional qui, en fonction de l'année climatique tirée par le modèle et des tendances d'évolution des facteurs de production, va pouvoir déterminer les rendements et, par cumul, les quantités mises sur le marché.

Les modèles de marché définis par produit vont permettre de calculer les quantités vendues et les prix de vente sur les différents marchés. En retour, ces éléments permettent de calculer, par le système de production, les coûts de production réels, les produits et, par conséquent, le revenu dégagé. Les résultats sont ensuite remis à chaque groupe qui doit prendre une décision pour la nouvelle campagne agricole. Ces résultats comprennent les résultats du système de production et les résultats d'ensemble de la région.

Le cadre d'action du jeu définit deux grandes phases.

- Une première série de périodes sans négociation entre les acteurs ;
- Une deuxième série de périodes où les acteurs en présence peuvent organiser une négociation libre sans restriction de thèmes ou de méthodes.

C. Analyse d'un jeu réalisé

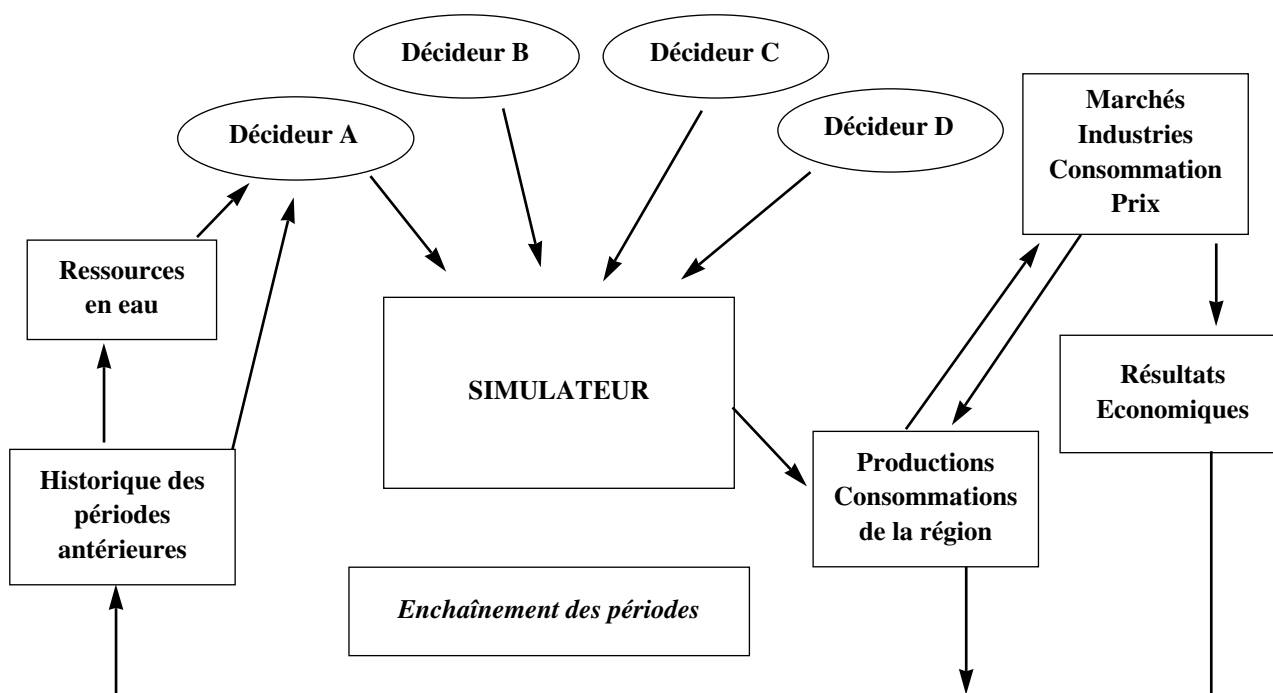
a) Première phase de périodes sans négociation entre les acteurs

Cette première phase de périodes a été caractérisée par des surproductions sur certains produits et des déficits sur d'autres. Les consommations en eau ont immédiatement saturé, des disponibilités et des déficits de ressources sont apparus ; ceci, par la mise en œuvre quasi générale de cultures avec des itinéraires techniques très intensifs et théoriquement plus rémunérateurs... L'utilisation par les groupes de modèles d'optimisation individuelle à base de programmation linéaire a renforcé la recherche du résultat le plus élevé donc précipité un processus d'intensification.

Les prix des produits excédentaires se sont écroulés et ceux des productions déficitaires se sont fortement accrus. De grandes quantités de produits ont dû être jetées faute d'acheteur même à des prix très bas.

Les périodes suivantes ont vu émerger une plus grande diversification des productions pour minimiser le risque, les consommations en eau ont très légèrement diminué et se sont à peu près ajustées à l'offre. Les résultats des exploitations et de la région se sont améliorés, mais des excédents et des déficits importants ont persisté. Les revenus des exploitations et de la région ont continués à s'améliorer mais en atteignant visiblement rapidement un palier.

Le déroulement du jeu



Source : Ph. Le Grusse, CIHEAM-IAMM, 2000.

b) Deuxième phase de périodes avec possibilité de négociation entre les acteurs

Cette deuxième phase a débuté par une première réunion entre les acteurs et des échanges d'information sur les différents systèmes de production, une analyse commune de l'évolution des ressources de la région et des marchés. Ce premier échange a permis de diminuer l'asymétrie d'information entre les acteurs, mais ces derniers ont buté sur deux points : un accord sur les éléments négociables ou non et sur la définition d'un cadre méthodologique de négociation. La première rencontre de négociation a échoué du fait de l'absence de modalités de négociation et d'une représentation des autres acteurs comme des concurrents.

Les périodes suivantes ont vu petit à petit émerger des accords entre des acteurs sur certains aspects du problème, comme la définition de quotas sur certains produits, le paiement par un groupe à un autre groupe pour s'assurer un monopole sur une production. Enfin, au cours de l'évolution des négociations qui se développaient de manière ponctuelle entre certains acteurs, un marché de l'eau a commencé à se construire par échange de groupe à groupe.

Au fur et à mesure de l'élaboration de règles visant à réguler l'adéquation offre demande tant au niveau des productions que des ressources, les revenus des exploitations agricoles ont cependant fortement progressé avec une meilleure adaptation au marché et une gestion plus raisonnée des ressources en eau.

c) Les enseignements tirés de la simulation d'un processus de négociation

Le déroulement du processus de jeu nous conduit à formaliser plusieurs enseignements :

- Sans négociation, l'apprentissage individuel des individus permet d'améliorer les performances globales, mais il apparaît vite un palier dans un système où les ressources sont contraintes et les marchés limités.
- La mise en œuvre d'un processus de négociation permet, avec la régulation des facteurs sujets à des crises, d'améliorer de nouveau la performance des systèmes jusqu'à un nouveau palier.

- ❑ Dans le temps limité du jeu, les groupes n'ont pas réussi à développer naturellement un processus de négociation global et sont restés sur des négociations par produit ou par facteur, donc des processus de régulation par sous groupe.
- ❑ La représentation globale du système régional n'est pas naturelle et la construction d'une règle de gestion ne s'élabore qu'élément par élément et évidemment sur les points ayant entraîné des conflits.
- ❑ Le fonctionnement en parallèle d'un modèle d'optimisation agrégé de la région nous a permis de définir à chaque pas un niveau d'optimum théorique que pourrait atteindre la région dans les conditions connues de ressources et de marché.
- ❑ Les résultats des simulations montrent qu'une grande marge de progrès existe après le deuxième palier pour les acteurs. Pour se rapprocher de la situation idéale, sans imaginer évidemment pouvoir l'atteindre dans un système où existe des aléas sur de nombreux facteurs (le troisième palier), un mode de négociation plus global serait nécessaire et marquerait un nouveau niveau d'apprentissage.
- ❑ La mise en pratique d'un jeu en situation virtuelle nous permet dans des situations données de mieux comprendre les processus de construction de règles collectives. Ainsi, on peut, d'une part, envisager plus correctement les éléments d'aide à la décision nécessaires dans les différentes phases, et, d'autre part, utiliser ce jeu en situation réelle pour aborder des situations de négociation nouvelles afin d'anticiper les problèmes à venir. Le jeu d'entreprise nous apparaît comme un excellent outil d'apprentissage à la négociation et un support de test pour de nouvelles règles de gestion collective.

3. Modèle multi-agents : modèle endogénéisant partiellement ou totalement les flux et les règles de décision

Le Système Multi-agent endogénéise totalement une partie ou l'ensemble des processus d'élaboration des règles de décision, de production, et l'évolution des paramètres d'environnement (ressources et marchés) d'un territoire. Un tel système de modélisation mené à son terme doit permettre de tester très rapidement les impacts de changement de chacun des facteurs participant au fonctionnement du système (tant quantitatif que qualitatif).

Les développements que nous avons pu mener jusqu'à présent restent partiels et ne traitent de manière fonctionnelle qu'une partie des éléments d'un système. Nous avons pu appliquer cette démarche de modélisation aux choix d'irrigation et de production des producteurs d'une zone irriguée pour tester l'impact régional de différentes mesures de régulation de l'offre d'eau. Nous présenterons cet exemple d'application comme modèle de base pour la construction d'un système multi-agent territorial générique.

A. Le modèle PIMAN de gestion Offre/Demande en eau⁶

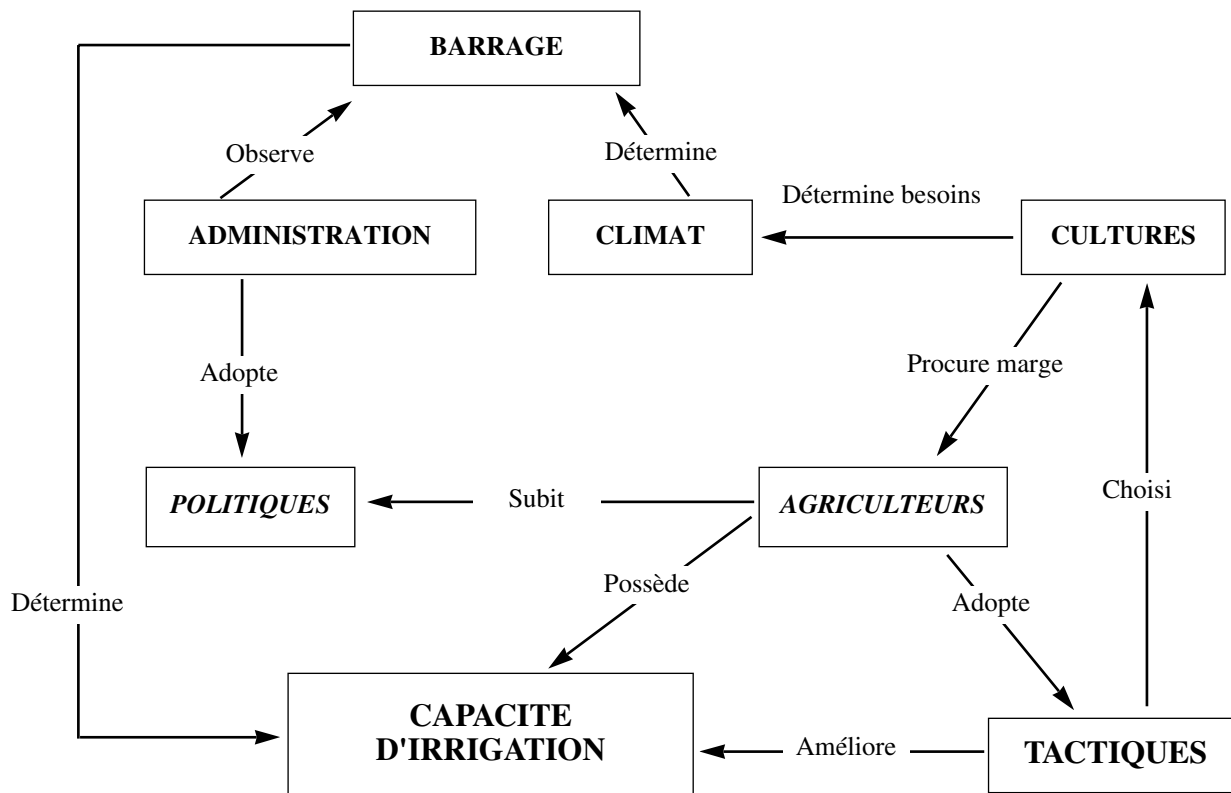
Dans les systèmes multi-agents, la communication peut s'établir entre les différents acteurs de deux manières différentes :

- ❑ **Par un système de tableau noir** : chaque agent inscrit les données qu'il veut communiquer aux autres sur un tableau visible et accessible à tous les acteurs.
- ❑ **Par un système de boîte aux lettres** : dans ce cas, le message destiné à un acteur est directement déposé dans sa boîte aux lettres privée et strictement réservée.

Le choix de l'une de ces deux méthodes dépend de la nature des communications observées dans la réalité. Nous avons choisi dans ce cas la deuxième méthode qui nous paraît plus adaptée à la réalité de notre système.

Aucune hiérarchie entre acteurs n'est envisagée. Aucun acteur ne peut obliger un autre à effectuer une tâche donnée. Les communications prennent toujours la forme de propositions ou requêtes que l'acteur peut accepter ou décliner. Tout acteur peut ainsi ne pas se conformer aux lois en vigueur tout en subissant pleinement les conséquences de son insoumission. Le temps est le contrôleur général du système. Il donne le rythme à tous les acteurs et minute les événements qui doivent se passer à tout moment de l'année.

Schéma d'interaction entre les différents acteurs du système



Source : Thèse Master de Ben Hassen Salem (Décembre 1998).

B. Description des acteurs et de leurs fonctions

a] Le Barrage

Le barrage dans le modèle est une réserve qui contient de l'eau destinée à l'irrigation. Sa capacité de rétention est exprimée en m^3 . Elle est égale à la somme des capacités maximales d'irrigation des agriculteurs représentés dans le modèle.

Deux variables constituent ses propriétés : l'*Alimentation* et le *Niveau d'eau*.

- La variable "Alimentation" est une variable continue qui correspond aux quantités d'eau journalières reçues par le barrage ou évaporées.
- La variable "Niveau d'eau" est une variable discrète qui correspond au niveau d'eau dans le barrage et peut prendre l'une des deux valeurs suivantes : "suffisant" ou "Insuffisant".

Les deux principales fonctions de l'objet barrage sont l'envoi et la réception de messages. A l'occasion de chaque message reçu, il recalcule le niveau d'eau qu'il renferme.

Le barrage est aussi capable de convertir les mm d'eau en m^3 et inversement, selon les données qui lui sont communiquées.

Réception de messages n°1 :

Expéditeur : le climat.

Contenu du message : pluie journalière et évaporation d'eau (en mm).

Moment : chaque fin de journée.

Réception de messages n°2 :

Expéditeur : capacité d'irrigation des agriculteurs.

Contenu du message : prélèvement d'eau en m3.

Moment : chaque fin de journée.

Envoi de messages

Destinataire : l'administration.

Contenu du message : information sur le niveau d'eau : suffisant ou pas.

Moment : chaque fois que la variable NIVEAU D'EAU change de valeur.

Chaque fois qu'une pluie tombe ou qu'une quantité d'eau est prélevée ou évaporée, le barrage réévalue son niveau d'eau et le compare par rapport à un niveau d'alerte fixé à l'avance et induisant des mesures de restriction. Une fois le seuil atteint, la variable booléenne "NIVEAU D'EAU" change de valeur, et le barrage notifie l'événement à l'objet "ADMINISTRATION".

b) Le Climat

Le climat est la principale source d'incertitude du modèle. Ses propriétés se résument aux données relatives à la pluviométrie et à l'évapotranspiration journalière. Ces données figurent dans une base de données avec deux méthodes possibles de gestion :

- Introduire des données climatiques relatives à une année bien déterminée que l'on veut simuler.
- Laisser le soin au modèle de générer des données climatiques aléatoires comprises entre les valeurs minimales et maximales enregistrées dans la région sur une longue période.

Le climat est en rapport direct avec l'utilisateur et le barrage.

Ses principales fonctions sont la réception et l'envoi de messages relatifs aux pluies et à l'évaporation potentielle enregistrées chaque jour.

Les besoins des cultures en eau d'irrigation changent chaque fois qu'elles reçoivent des informations sur les données climatiques.

c) L'Administration

Les politiques et stratégies de pilotage sont des fonctions essentielles de l'administration dans les périmètres irrigués. Un ensemble de politiques possibles ont été déterminées.

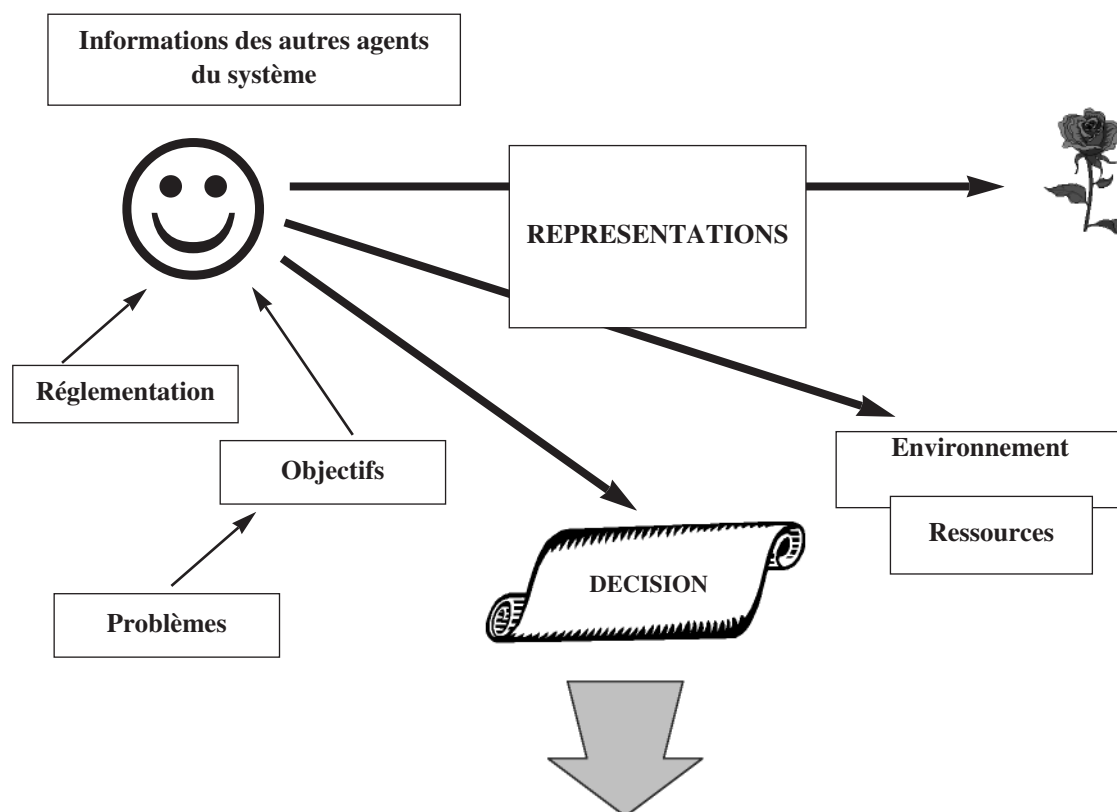
Les différentes mesures de rationnement de l'eau d'irrigation sont les principaux éléments de caractérisation de l'acteur Administration.

- Limitation du nombre d'arroseurs par unité de surface.
- Limitation du temps d'irrigation.
- Interdiction de l'irrigation diurne.
- Interdiction de l'usage d'arroseurs à deux buses.
- Tours d'eau.
- Interdiction de cultures.

L'administration communique avec le barrage et l'agriculteur. Elle observe le barrage d'une façon continue pour vérifier la valeur de sa variable "niveau", et communique à l'agriculteur les politiques en vigueur. L'utilisateur doit mettre à jour l'état des politiques au début de chaque simulation.

d] Les Agriculteurs

Modèle Piman : L'Agriculteur au centre du processus d'action



L'agriculteur est l'acteur central du modèle. Sa structure renferme une description très fine de tous ce qui se rapporte à l'agriculteur. Les bases de données qui la constituent renferment des variables quantitatives et qualitatives relatives à l'agriculteur lui-même (ses propriétés de base et sa vocation) et à ses représentations (c'est-à-dire les représentations qu'il se fait de soi, de son activité, de l'environnement et des autres acteurs matérialisées par des échelles de valeur). Les règles de décision des agriculteurs et leurs réactions aux différentes politiques dépendent des valeurs stockées dans ces bases de données. Les éléments "capacité d'irrigation" et "tactiques" font partie des propriétés et des fonctions de l'agriculteur. Les fonctions des agriculteurs sont multiples et très variées. Leur rapport avec le temps est très complexe.

- Ils doivent prendre des décisions générales de production de long terme, qui restent inchangées durant une campagne agricole (vocation).
- Ils prennent des décisions saisonnières, telles que le semis ou la récolte d'une culture (le temps dépend ici des cycles culturaux)
- Ils effectuent des pratiques journalières (telles que l'irrigation d'une culture).

Les agriculteurs représentés dans notre modèle communiquent d'une façon continue avec leurs éléments de tactiques et de capacités d'irrigation. A l'occasion de chaque récolte, la culture envoie un message à l'agriculteur pour l'informer de la marge sur activité qui lui est procurée. Le total de ces marges sur activité constitue le revenu de l'agriculteur.

e] La capacité d'irrigation

La capacité d'irrigation d'un agriculteur est déterminée par les données de son système d'irrigation ainsi que par les lois qui sont en vigueur. Les bases de données réservées à ces variables renferment les éléments suivants :

- Débit total disponible ;
- Nombre d'arroseurs ;

- Nombre de buses utilisées par arroseur ;
- Débit de chaque buse ;
- Durée d'irrigation journalière ;
- Type d'irrigation (nocturne ou diurne) ;
- Nombre de jours d'irrigation par mois.

A l'occasion de chaque changement de politique, l'agriculteur doit décider pour changer l'une des caractéristiques de sa capacité d'irrigation. Si l'administration impose la réduction de la durée d'irrigation journalière, l'agriculteur doit décider s'il va se soumettre à cette loi. S'il décide de la respecter, il doit adopter une tactique qui réduit le temps d'irrigation. En conséquence, sa capacité d'irrigation sera révisée à la baisse et lui sera notifiée.

A la lumière de sa capacité d'irrigation et selon son modèle de décision, l'agriculteur choisit et met en place ses pratiques d'irrigation journalières et ses stratégies d'adaptation aux modes collectifs de gestion de l'eau. La capacité d'irrigation est en communication continue avec l'agriculteur, ses tactiques et le barrage. Cette classe est capable de recalculer la quantité d'eau disponible par unité de temps et pour chaque exploitation. Cette quantité d'eau sera notifiée à l'agriculteur en tant que quantité disponible et, au barrage, en tant que quantité prélevée.

f) Les tactiques

La classe des tactiques, comprend les différentes règles de décision possibles ainsi que les calculs relatifs aux implications qui en découlent. Les tactiques ou corpus de règles de décision sont classées en trois sous groupes :

- Des règles pour mettre à jour le système d'irrigation
 - Location d'arroseurs
 - Prolongation du temps d'irrigation
 - Utilisation d'arroseurs à deux buses.
- Des règles pour décider du semis d'une culture.
 - Eviter les cultures non rentables
 - Eviter les cultures exigeantes en eau d'irrigation
 - Eviter les cultures exigeantes en trésorerie.
- Des règles pour décider de l'irrigation d'une culture et de la dose à lui apporter.
 - Respecter les stades de grands besoins en eau des cultures
 - Favoriser les cultures rentables
 - Favoriser la culture dont la récolte est proche.

La principale fonction de la classe des tactiques consiste à agir sur les variables que veut modifier l'agriculteur en mettant ses tactiques en œuvre. La relation avec les cultures est très complexe. Cette complexité découle du temps d'envoi des messages. Ce temps doit tenir compte des actions journalières, cycliques et exceptionnelles. L'action sur la capacité d'irrigation passe par la modification des valeurs des variables servant à son calcul. Ainsi, la diminution du nombre d'arroseurs ou du temps d'irrigation se traduit par une baisse de la capacité d'irrigation et inversement.

Cette classe renferme les modèles de décision individuels et les corpus de règles associés aux modes d'action caractéristiques de chaque agriculteur du périmètre.

Chaque agriculteur cherche à réaliser ses objectifs tout en respectant ses contraintes. La mise en œuvre d'une nouvelle politique correspond généralement à une contrainte additionnelle qui vient peser sur les potentialités de son exploitation. L'agriculteur doit alors choisir entre les différents modes d'adaptation

possibles. Face à une même politique activée, les agriculteurs peuvent se comporter de façons différentes.

A titre d'exemple, si l'administration limite le nombre d'arroseurs par unité de surface, plusieurs réactions peuvent être enregistrées :

- Un agriculteur qui dispose de temps, peut décider d'irriguer jour et nuit et rattraper ainsi le déficit occasionné par les arroseurs absents ;
- Un autre, pour qui le temps est une contrainte, peut décider de se passer des cultures exigeantes en eau ;
- Un troisième, habitué à ne pas respecter les lois, peut ne pas tenir compte de cette règle tout en prenant le risque de subir les conséquences de son comportement.

Tout agriculteur délibère en fonction de ses objectifs, des réalités de son milieu, des atouts et contraintes de son exploitation et des représentations qu'il se fait des différentes activités et cultures.

g] Les cultures

Les superficies allouées à chaque culture sont décidées par l'agriculteur. Les données des cultures sont :

- Date de semis.
- Date de récolte.
- Coefficient cultural
- Coefficient de réponse à l'eau d'irrigation
- Rendement de référence.
- Prix moyen.
- Prix élevé.
- Prix bas.
- Total des charges opérationnelles autres que l'eau d'irrigation.
- Prix de l'eau d'irrigation.
- Difficulté de conduite.

Utilisant les variables consignées dans la base de données, les cultures sont capables de calculer plusieurs paramètres :

- Leurs besoins en eau d'irrigation ; chaque culture se caractérise par un coefficient cultural (K_c) qui change en fonction des stades de culture et qui permet de la différencier des autres. Une formule qui associe ce coefficient aux données climatiques (pluviométrie et évapotranspiration), permet aux cultures de calculer leurs besoins journaliers en eau d'irrigation.
- Le déficit d'eau enregistré ; la plante procède continuellement à la comparaison des quantités d'eau qu'elle reçoit par rapport à ses besoins effectifs. Elle procède ainsi au calcul du manque d'eau enregistré pendant chaque période.
- Leurs rendements ; toute culture est caractérisée par un coefficient de réponse à l'eau d'irrigation. Ce coefficient dépend du niveau de sensibilité de la plante à l'eau d'irrigation pendant ses différents stades de culture.

Cela consiste à partir du rendement de référence que peut donner la plante dans des conditions normales de culture (par agriculteur). Chaque fois qu'un manque d'eau est enregistré, la plante révisé son rendement à la baisse proportionnellement à son coefficient de réponse à l'eau.

- Calcul de la marge sur activité ; pour chaque culture (à part celles dont les prix sont garantis), nous pouvons définir plusieurs scénarios de prix qui dépendent de l'offre dans le périmètre. En fonction de son rendement, du prix pratiqué et de ses charges opérationnelles, la culture calcule la marge qu'elle procure à l'agriculteur.

Ce modèle se centre essentiellement sur le processus de décision des agriculteurs dans leurs choix de culture et leur pratique d'irrigation.

La construction de ce type de modèle nécessite un énorme travail de collecte d'informations sur des acteurs très divers, la mise en évidence des règles de décision et leur formalisation dans des situations données. Face au besoin urgent de gestion des territoires, de la nécessité de construire des démarches collectives et d'élaborer des processus de négociation. L'approche pour la modélisation multi-acteurs semble une voie prometteuse.

V – Conclusions et perspectives

La complexité et le temps nécessaire à l'élaboration d'un modèle multi-agent nous ont conduit à utiliser les différentes phases d'élaboration de ce type de modélisation comme autant d'outils d'intervention opérationnelle, pour répondre aux demandes des acteurs locaux : Modèle de simulation des flux dans le territoire, utilisation de jeux d'acteurs pour aider à la formalisation de règles de gestion. En effet, chaque étape de la démarche doit fournir un instrument opérationnel d'aide à la décision.

L'approche de la définition de la structure et de la forme d'un modèle d'aide à la coordination des acteurs et de négociation dans un Territoire prend donc autant d'importance pour l'action dans le processus de construction que dans l'élaboration du produit final.

Cette démarche se positionne dans l'idée que "la simulation multi-agent ne se réduit pas à l'implémentation d'un modèle puis à l'analyse de la réponse de ce modèle en fonction des paramètres d'entrées, mais participe au processus de recherche de modèle" (Jacques FERBER 1995).

L'objectif est d'évoluer à partir des premiers modèles réalisés sur les différents niveaux d'analyse définis :

- Modèle fonctionnel** (représentation des flux) : modèle de représentation des acteurs au travers de leur productions et de leur consommation (Modèles Quatre Vents et Olympe) ;
- Modèle de décision** : jeu d'acteurs permettant de mettre en situation de décision virtuelle les acteurs d'un territoire (Modèle MedTer) ;
- Modèle multi-agents** : modèle endogénéisant partiellement ou totalement les flux et les règles de décision. (Modèle Piman).

L'objectif des recherches se trouve donc dans le développement d'une formulation générique d'un modèle multi-agents opérationnel dans un temps limité pour aider à élaborer des plans stratégiques territoriaux. La construction se centre sur les problèmes de relations et de coordination entre production agricole, entreprises de transformation agro-alimentaires, marchés et allocations de ressources.

En résumé, la démarche générale est la suivante :

- Sélection et définition de petites régions ayant un projet ou des problèmes de coordination entre les acteurs ;
- Caractérisation des acteurs et des processus de communication et de représentation entre ces acteurs (création d'un groupe pilote d'acteurs impliqués dans l'analyse) ;
- Analyse du fonctionnement des acteurs ;
- Première étape de modélisation de la situation observée (modèle des flux : Olympe) avec le calage et la validation auprès des acteurs ainsi que l'analyse des projets des acteurs ;
- Deuxième étape de la modélisation (jeu d'acteurs) avec la simulation en situations alternatives et l'analyse des processus de décisions et de régulation ;
- Troisième étape de la modélisation, le modèle multi-acteur pour simuler le champ des alternatives.

Pour finir, la modélisation multi-agent nous renvoie donc dans cette démarche à des applications de différentes formes sur trois niveaux d'intégration :

- Une modélisation de premier niveau pour comprendre le fonctionnement physique et économique (modèle de simulation des flux) ;
- Une modélisation pour simuler en situation de décision et comprendre les règles de décision (jeu d'acteurs) ;
- Une modélisation pour apprendre proposer et aider ainsi à la négociation et la coordination (Modèle multi-agent).

Notes

1. **Ferber J.** (1995). p.15
2. **Ferber et Ghallab** (1988)
3. **Ferber J.** (1995) p.14
4. **Ferber J.** (1995) p.13
5. **Ferber J.** (1995) p.19
6. **Ben Hassen S.K.** (1998)

Références

- **Attonaty J.M., Chatelin M.H., Poussin J.C.** (1989).- *L'évolution des méthodes et langages de simulation*. - In "Modélisation systémique et système agraire : décision et organisation". Actes du séminaire du département SAD, Saint-Maximin le 2 et 3 Mars 1989, INRA, p. 119-132.
- **Attonaty J.M., Chatelin M.H., Garcia F.** (1999).- Interactive Simulation Modeling in Farm Decision Making. - In : *Computers and Electronics in agriculture*, 22, p. 157-170.
- **Attonaty J.M., Le Grusse Ph.** (1994).- *Helping Farmers in Strategic Decision-Making, Training of Executives From Different Mediterranean Countries : an Experiment*. - In "Farmers' decision making, a descriptive approach", proceedings from the 38th EAAE Seminar, 3 et 5 octobre 1994, p. 235-245.
- **Attonaty J.M., Soler L.G.** (1992).- Aide à la décision et gestion stratégique: un modèle pour l'entreprise agricole.- In : *Revue Française de Gestion*, n°8, 1992, p.45-54.
- **Attonaty J.M., Soler L.G.** (1990).- *Pour un renouvellement des instruments d'aide à la gestion stratégique*.- Dans "Congrès européen des économistes agricoles", La Haye, Septembre 1990, 18 p.
- **Bareteau O.** (1998).- *Un système multi-agents pour explorer la viabilité des systèmes irrigués : dynamique des interactions et modes d'organisation*.- Thèse de doctorat de l'ENGREF, Montpellier.
- **Ben Hassen S.K.** (1998).- *PIMAN : une application multi-agents pour simuler les pratiques d'irrigation et représenter les périmètres irrigués (cas des périmètres publics irrigués de Bouheurtma - Tunisie)*.- Thèse de Master of Science, IAM, Montpellier, Décembre 98, 101 p.
- **Bonabeau E., Theraulaz G.** (1994).- *Intelligence collective*.- Ouvrage collectif, Hermes, 288 p.
- **Brans J.P., Macharis C., Mareshal B.** (1998).- *The GDSS Prometheus*. - In Journal of Decision Systems, 7, Special Issue "Decision support systems-Groupware, Multimedia, Electronic Commerce", pp 283-307.
- **Chemak F.** (1997).- *Aide à la décision au niveau d'un périmètre irrigué: Essai de mise en œuvre des concepts multi-agents*.- Thèse de Master of Science, CIHEAM-IAMM, 171 p.
- **Chemak F, Le Grusse Ph** (1998).- *Modèle de simulation et aide à la négociation dans un périmètre irrigué Tunisien*.- Communication et Actes du colloque de la SFER sur l'irrigation et la gestion collective de la ressource en eau en France et dans le monde, Montpellier, 19 et 20 Novembre 1998.
- **Ferber J.** (1995).- *Les systèmes multi-agents : vers une intelligence collective*.- Interéditions Collection IIA Informatique Intelligence artificielle, 522 p.
- **Jacquet F., Le Grusse Ph.** (1994).- *Risk in Farmer Decison-making : Combining Economic and Management Approaches An Application on French Grain Producers Facing the CAP Reform*.- Communication au 38° séminaire de l'EAAE "Farmers decision making " 3-5 Octobre 1994 Copenhague. In "Farmers' decision making – a descriptive approach Edited by the Institute of Agricultural Economics and the Royal Veterinary and Agricultural Univerity Denmark.
- **Smaget** (1998).- *Modèles et systèmes multi-agents pour la gestion de l'environnement et des territoires*.- Actes du colloque CEMAGREF ENGREF 5-8 Octobre 1998.

