

In: Actes du Colloque international "Quel environnement au 21ème siècle ? Environnement, maîtrise du long terme et démocratie", GERMES, Paris, France, sous presse

## **Modélisation d'Accompagnement : Systèmes Multi-Agents et Gestion des Ressources Renouvelables.**

F. Bousquet (\*), O. Barreteau (\*), C. Mullon (\*\*), J. Weber (\*)

(\*) Cirad-Green

Campus de Baillarguet, BP5035

34032 Montpellier

(\*\*) Orstom Ermes

BP 6759 Orleans 45067

### **1. Introduction**

Dans le cadre de la réflexion actuelle sur le développement soutenable, se posent avec acuité les problèmes d'accès et d'usage des ressources renouvelables. Il s'agit pour les scientifiques d'aborder la question de l'interaction de dynamiques écologiques et de dynamiques sociales. En effet, pendant de nombreuses années cette question fut abordée soit sous le seul angle du «système écologique qui subit des perturbations anthropiques» soit sous le seul angle du «système social soumis à des contraintes naturelles». Dans le premier cas les scientifiques s'attachent à bien décrire la dynamique de la ressource ; la gestion consiste à définir quel prélèvement d'origine anthropique peut être supporté de façon durable par cette ressource. Les dynamiques sociales sont résumées sous la forme du prélèvement qu'elles produisent. Dans le deuxième cas, les chercheurs posent le plus souvent le problème de l'usage de ressources en se plaçant dans le cas d'un agent économique isolé qui désire maximiser une utilité sous contraintes et en plaçant l'usage collectif de ressources communes dans un cadre de prélèvement concurrentiel.

Ainsi, dans un article de Science en 1968, G. Hardin (Hardin, 1968) a-t-il présenté le concept de la tragédie des communaux : selon l'auteur, la gestion de biens communaux, en particulier les ressources renouvelables, conduit inéluctablement à une surexploitation de la ressource jusqu'à sa disparition. Les profits issus de l'usage des ressources étant individualisés et les coûts étant partagés, l'intérêt de chacun est d'exploiter au maximum la ressource. Cette conclusion a eu de multiples conséquences en matière de gestion des ressources renouvelables, proposant ainsi le développement de la propriété privée comme moyen d'éviter la surexploitation. Le raisonnement de Hardin a été vigoureusement critiqué notamment par Berkes et al. (Berkes et al., 1989) qui montrent que le raisonnement de Hardin établit une relation abusive entre bien commun et accès

libre à ce bien. D'un point de vue formel, l'hypothèse de Hardin a été modélisée par la théorie des jeux et il a été montré que la situation de mise en propriété commune d'une ressource renouvelable pouvait déboucher sur des situations différentes de la tragédie des communs pour peu que l'on représente des simples comportements d'imitation (Nowak et May, 1992) ou une sensibilité de la ressource aux interactions sociales (Bousquet 1996, Romagny 1996).

Eloignés de l'approche écologique et de l'approche économique qui postulent toutes les deux des hypothèses d'équilibre, d'optimisation pour formaliser des situations de concurrence ou d'interaction, d'autres paradigmes scientifiques permettent d'aborder la gestion de ressources renouvelables, en intégrant différemment les dimensions écologiques et sociales dans leurs dynamiques et dans leurs interactions.

Nous nous intéressons tout particulièrement aux méthodes qui permettent la prise en compte des règles collectives régissant l'accès aux ressources. Les groupes d'utilisateurs se dotent de règles et d'institutions<sup>1</sup> permettant le maintien des ressources et des usages sur de longues périodes. Ainsi du tribunal de l'eau à Valence (Espagne) qui assure la coordination entre acteurs depuis mille ans (Glick 1970). Cette régulation s'effectue à travers les différentes dimensions que Weber donne au concept de mode d'appropriation des ressources renouvelables :

- accès aux ressources et contrôle de l'accès,
- usage des ressources,
- les représentations ou systèmes de comportement,
- les mécanismes de répartition des ressources,
- les mécanismes de transfert des ressources.

Nous cherchons à étudier la viabilité du système d'interactions entre dynamiques écologiques et dynamiques sociales à travers les règles et institutions qu'une société se donne et fait fonctionner. Théorie des contrats, théorie des marchés concurrentiels, théorie des conventions, modèles des cités et bien d'autres : nombreuses sont les théories et les modèles élaborés par des chercheurs en économie, anthropologie ou sociologie pour rendre compte de la manière dont les agents coordonnent leurs activités.

Nous présentons ici des outils de modélisation, les systèmes multi-agents, qui nous semblent pertinents pour la représentation des dynamiques écologiques et sociales, posent les problèmes de modélisation en termes de représentations, communications, contrôles et sont de bons supports pour une modélisation exploratoire. Nous discutons ensuite de la modélisation de la gestion collective de biens communs à l'aide des systèmes multi-agents. Puis nous discutons l'usage qui peut être fait de ces simulations dans le cadre de la problématique de la gestion à long terme.

## **2. Les multi-agents**

La théorie des agents, ou celle des univers multi-agents (Ferber 1995) est une théorie informatique qui vise à appréhender la coordination de processus autonomes en concurrence, par le biais d'une métaphore anthropomorphique dont les praticiens du domaine usent et abusent parfois.

---

<sup>1</sup> Nombreuses sont les définitions de l'institution; nous en retenons deux , celle d'Ostrom « a set of rules in use » ou celle de Weber « tout agrément entre deux individus ou groupes qui s'imposent à plus que ces deux individus ou groupes »

Un agent est ainsi un processus informatique<sup>2</sup>, quelque chose entre un programme informatique et un robot, au sujet duquel on peut parler d'autonomie parce qu'il dispose de possibilité d'adaptation quand son environnement change. Un exemple typique et actuel d'agent est celui des assistants, ces programmes informatiques, qui se déclenchent la nuit, qui alors explorent un réseau de données informatique (Web), qui y choisissent des cheminements possibles par un système de marques, qui importent des informations pertinentes à des moments où le réseau n'est pas saturé, tout ceci de façon à ce que le lendemain l'utilisateur puisse, d'une façon transparente pour lui, naviguer bien plus efficacement dans un domaine d'information personnalisé. C'est parce que le contenu et la structure des bases d'informations changent en permanence et que l'assistant doit s'adapter à cette perpétuelle évolution que l'on peut parler d'autonomie.

Un univers multi-agents est constitué d'un ensemble de processus informatiques se déroulant en même temps, donc de plusieurs agents vivant en même temps, partageant des ressources communes et communiquant entre eux. Le point clé de la théorie des univers multi-agents réside dans la formalisation de la nécessaire coordination entre agents. La théorie des agents est ainsi une théorie du contrôle - quels sont les relations de type hiérarchique entre agents?, comment sont-ils synchronisés? - et de la communication - quels types de message s'envoient-ils? à quelle syntaxe obéissent ces messages? - pour lesquels elle propose des formalismes élaborés.

La théorie des univers multi-agents a des applications dans le domaine de l'intelligence artificielle où elle permet de réduire la complexité de la résolution d'un problème en divisant le savoir nécessaire en sous-ensembles, en associant un agent intelligent indépendant à chacun de ces sous ensembles, en coordonnant l'activité de ces agents. On parle ainsi d'intelligence artificielle distribuée. Cette théorie s'applique, par exemple, pour la surveillance d'un processus industriel où elle met en œuvre la solution de bon sens qui consiste à coordonner plusieurs surveillants spécialisés, plutôt qu'à envisager un seul surveillant omniscient. Ce principe de répartition du savoir peut être mis en œuvre de façon encore plus systématique dans le but de résoudre des problèmes combinatoires célèbres comme celui du taquin ou celui des tours de Hanoi en dotant toutes les pièces du jeu d'une autonomie et d'un comportement très simple, exprimé en termes d'évitement ou d'attraction. On parle alors d'éco-résolution (Drogoul 1994).

La théorie des univers multi-agents recoupe un type de modélisation rencontré en écologie, appelé modélisation centrée sur les individus, dont le principe consiste à étudier le comportement global d'une population dans laquelle les processus en jeu sont seulement individuels et qui débouche sur des simulations informatiques (Huston et al. 1988). De telles modélisations permettent en effet de tenir compte naturellement de facteurs écologiques majeurs, comme les différences entre individus ou encore leur type de relation à l'espace. La rencontre de ces deux formalismes, le formalisme multi-agents et le formalisme des modélisations centrés sur les individus est, à notre avis, fécond dans les deux directions. D'une part, les problèmes écologiques représentent un domaine inépuisable de questions, en matière d'interactions, simples à énoncer et difficiles à résoudre. D'autre part, la théorie des univers multi-agents, non seulement offre des outils de formalisation adaptés et puissants, mais elle permet de mieux cadrer les simulations informatiques auxquelles donnent lieu. En effet, les modélisations multi-agents conduisent parfois à des décalques de la réalité, sans aucune qualité d'abstraction ; en mettant l'accent sur les

---

<sup>2</sup> Il y a lieu de ne pas confondre un agent au sens informatique et un agent économique, bien que l'on puisse construire des agents informatiques représentant des agents économiques. Dans la suite de l'article on parlera d'acteurs pour les personnes du monde réel et d'agents pour les entités du monde artificiel.

questions de contrôle et de communication, la théorie permet d'expliciter le corps d'hypothèses que la modélisation se donne pour but d'explorer.

Enfin, en poursuivant une métaphore anthropomorphique, la théorie des univers multi-agents représente des agents, c'est-à-dire rappelons-le des processus informatiques, doués de qualités de perception, de motricité, de réflexion, de définition de buts, de construction de stratégies, etc. Notre démarche consiste à examiner les possibilités des formalismes qu'elle propose en matière de contrôle et de communication, en matière de stratégies et de représentations individuelles, pour la constitution de simulations informatiques en vue d'explorer des questions liées à la gestion collective des ressources renouvelables. Avec l'idée que, là encore, cette rencontre sera féconde dans les deux sens.

### **3. Individus et groupes en modélisation multi-agents**

Généralement l'application de la théorie des univers multi-agents à la simulation de phénomènes sociaux est associée au courant sociologique dit de l'individualisme méthodologique (Lenay 1994, Havelange 1994) qui considère l'individu singulier comme l'unité élémentaire, comme l'atome de la société (Weber 1971). Le point commun réside en effet dans la démarche ascendante qui caractérise les systèmes multi-agents. Cependant, l'assimilation entre individus d'une société et agents d'un univers multi-agents peut être trompeuse : il est tout à fait possible de considérer comme agents des groupes sociaux, des institutions données, avec leurs règles de fonctionnement, leurs normes (Livet 1987). Les agents sont conduits par des contraintes, des règles exprimées au niveau du groupe : ils ne sont plus que des entités agissantes, que l'on place dans un environnement dynamique.

Cette simple remarque, naturelle dès que l'on envisage une modélisation par un univers multi-agent indique comment la dualité simple entre l'individualisme et le holisme peut être remise en cause, ce qui est une préoccupation majeure tout à la fois des chercheurs qui étudient la gestion des ressources renouvelables et des chercheurs sur les systèmes multi-agents :

- (i) les individus, produits d'une histoire sont mus par des valeurs et des règles collectives,
- (ii) les valeurs et règles collectives évoluent par l'interaction entre les individus comme entre les groupes,
- (iii) les individus ne sont ni semblables ni égaux mais porteurs de rôles et statuts sociaux.

Comment les individus construisent ils ce collectif ? Comment se crée une institution ? En retour l'individu ne peut être considéré comme une entité autonome indépendante de son environnement social. Comment les individus sont ils contraints par les structures collectives qu'ils se sont données et comment les font-ils évoluer ? Quels sont les degrés de liberté à l'intérieur desquels se meuvent les pratiques individuelles ? Voici, entre autres, des questions que les SMA permettent d'explorer, dans les termes suivants : « Comment se créent et fonctionnent des structures collectives à partir d'agents qui ont de plus ou moins grandes capacités de représentations, qui échangent entre autres des informations, des services ou des biens, qui élaborent des contrats et qui sont plongés dans un environnement dynamique qui réagit à leurs actions ? » Notre point de départ est ici que ces questions peuvent trouver une réponse dans la théorie des univers multi-agents, c'est-à-dire en terme de contrôles et de communications et trouver une illustration particulièrement éclairante dans le domaine de la gestion des ressources renouvelables.

#### **4. La modélisation de la gestion des ressources renouvelables.**

La simulation de la gestion de ressources communes pose le problème de l'interaction entre des ensembles d'agents et des ressources dynamiques. Empiriquement on peut distinguer plusieurs modes de modélisation de ces interactions. Nous nous appuyerons dans la suite sur des exemples issus de simulations de la gestion de l'eau dans des périmètres irrigués.

Dans le premier mode il s'agit de mettre l'accent sur les processus cognitifs ou représentations qui déterminent l'interaction entre agents et ressources. Chacun des agents se fait une représentation de la ressource et agit sur celle-ci en conséquence. Ce faisant il transforme cette ressource pour les autres. Il s'agit d'une modélisation des interactions qui se rapproche de ce que les économistes appellent externalités. Par exemple, dans le cas des périmètres irrigués, chacun des agents paysans peut avoir une représentation spécifique de sa parcelle et des besoins en eau. Les uns, qui voient dans leur parcelle un simple accès au foncier peuvent être assez flexibles sur le respect d'un calendrier d'irrigation tandis que les autres, qui voient dans leur parcelle un moyen de production économique, seront rigoureux sur ce point. Chacun agit sur la ressource commune en fonction de cette représentation et modifie l'environnement pour les autres ; ainsi, certains pourront provoquer des retards dans le démarrage de la campagne d'irrigation car leurs parcelles ne sont pas prêtes, ou encore pour un pompage collectif de l'eau dans le fleuve les consommations d'eau des uns et des autres ne seront pas les mêmes. On étudie un problème de gestion des ressources renouvelables communes par la confrontation de représentations donc d'actions différentes sur celles-ci, qui peuvent donner lieu à un usage satisfaisant ou non pour l'ensemble des agents. On peut parler de coordination par l'environnement.

Le deuxième mode consiste à s'intéresser à la simulation de la gestion dans des réseaux sociaux. On considérera ici que les relations entre les hommes et les ressources doivent plutôt être formulées comme les relations entre les hommes à propos des ressources. Les univers multi-agents permettent de simuler des agents qui s'échangent des messages au sein de réseaux, dits réseaux d'accointances. Il est ainsi possible de simuler des échanges d'informations, des échanges de services, des contrats, des agréments entre les agents. Par exemple, dans le cas des périmètres irrigués, les agents paysans peuvent s'envoyer des messages pour se tenir informés des niveaux d'eau dans les parcelles ou bien se demander et se rendre des services ou encore s'échanger des adresses d'agents. Ainsi on simule des conversations entre des agents qui, lorsqu'ils considèrent que leur parcelle ne peut attendre leur tour d'eau, peuvent demander des autorisations et qui, lorsqu'ils ont le tour d'eau, peuvent accepter ou refuser ces autorisations. On montre ainsi (Barreteau et al. 1996, Bousquet et al. 1996) que l'évolution du nombre de parcelles à sec dans un périmètre peut être très sensible à la structuration des réseaux sociaux.

Enfin, nous proposons d'envisager un troisième mode de modélisation des interactions entre les groupes d'agents et les ressources communes. Nous proposons, pour aller plus loin dans la caractérisation de la boucle individu-société, de passer par la représentation d'objets "médiateurs" ou de "référents communs". Il s'agit des objets qui sont une représentation à la fois individuelle et partagée qui tendent à la fois à créer le groupe social et à être l'expression de son existence. Mémoire collective, mythes, marchés, divinités, lieux ou biens symboliques : autant d'objets que les hommes construisent en permanence, autant de perceptions qui orientent ou contraignent les pratiques des hommes. A travers la perception de ces objets chaque agent se perçoit comme membre du tout et ainsi contribue à la création ou au maintien de ce tout. Il y a rification, non pas du collectif, comme le voudrait un point de vue holiste, mais des objets qui sont le signe du tout. Plus précisément on pourra ici limiter, dans un premier temps, le concept

d'objet médiateur à la représentation d'institutions. L'exemple que l'on peut prendre à ce sujet est tiré du travail d'un anthropologue et d'un modélisateur, Lansing et Kremer (Lansing et Kremer 1994) qui ont étudié des problèmes de gestion de l'eau à Java. Le bassin versant étudié est divisé en plusieurs portions appelées subaks. Le partage de l'eau entre les subaks est soumis à un calendrier religieux qui organise les rituels autour de plusieurs temples de l'eau. C'est à l'occasion de ces rituels que se transmettent les droits d'usage de l'eau. En simulant cette organisation (les agents utilisent l'eau en fonction de ces calendriers religieux) et en la comparant à d'autres modes de gestion de l'eau (par exemple tous les agents utilisent l'eau en même temps, ou de façon anarchique), les auteurs montrent que cette forme de coordination correspond à un optimum agronomique d'utilisation de l'eau.

En résumé, il nous semble que les univers multi-agents proposent des formalisations qui peuvent prendre en compte plusieurs modèles de pensées sur la gestion collective de ressources renouvelables communes. Offrant la possibilité de modéliser des représentations, des modes de communication au sein de réseaux, des contrôles individuels ou sociaux, donnés ou construits, des interactions, les systèmes multi-agents sont adéquats à la simulation de formes de coordination observables sur le terrain.

### **5. Modélisation d'accompagnement et approche patrimoniale : le très long terme**

L'un des usages classiques de la simulation réside dans la prédiction : telle n'est pas l'option que nous choisissons. Le très long terme n'est pas prévisible dans le champ économique et social ; il est par contre partiellement décidable. C'est l'hypothèse sur laquelle repose la « démarche patrimoniale » (Ollagnon 1989, De Montgolfier et Natali 1988) « Parce qu'il se situe hors de portée de toute prévision, prendre en compte le très long terme dans l'analyse des problèmes d'environnement implique de se donner des repères ou des objectifs de très long terme par rapport auxquels les chemins d'évolution, possibles ou impossibles seraient envisagés. L'approche du long terme ne peut guère relever que du scénario. » (Weber et Bailly 1993). Parce que les règles résultent de l'interaction entre acteurs, elles se trouvent légitimées aux yeux de l'ensemble des acteurs et elles intègrent les perceptions particulières. C'est à partir d'une conception partagée sur l'évolution de la situation présente que les acteurs peuvent « décider » des objectifs de très long terme, sur la base desquels les scénarios qui permettraient de les atteindre pourront être discutés. L'ensemble de la démarche de médiation suppose l'établissement d'une situation initiale au sens de Rawls dans laquelle les acteurs sont clairement informés de ce qui les oppose aux autres et de leur commune dépendance d'une solution au problème qui se trouve à l'origine de leur médiation. L'enjeu de la phase d'initialisation est de permettre aux acteurs d'exprimer leurs perceptions de la situation présente et de son évolution. Lorsque « une carte des perceptions », également légitimes et également subjectives, a pu être établie et discutée, il est demandé aux acteurs de débattre de l'acceptabilité d'une prolongation des tendances actuelles.

Comment les simulations peuvent-elles prendre part à ce processus, c'est à dire aider les acteurs à gouverner ? Nous tentons de développer l'idée de modélisation d'accompagnement à l'aide des systèmes multi-agents. La réflexion qui suit constitue une démarche qui est en cours de mise en oeuvre mais que nous n'avons pour l'instant que partiellement testée. Si elle est sans doute originale dans le domaine de l'utilisation de modèles multi-agents, c'est une démarche qui a déjà été utilisée par plusieurs chercheurs sur les travaux desquels nous nous appuyons. Il s'agit des travaux d'Ostrom (Ostrom 1990) et de Burton (Burton 1994). Pour la relation entre approche patrimoniale et la mise en situation expérimentale par jeu de rôle beaucoup a été fait par Mermet

(Mermet 1992) et Piveteau (Piveteau 1994). Nous nous plaçons dans un cadre de pensée proche de ces auteurs et proposons d'y inclure la démarche de modélisation avec des univers multi-agents. On distinguera plusieurs étapes :

- Construire un monde artificiel. La première étape, classique pour un ou des chercheurs, est celle de l'acquisition de connaissances sur le domaine d'étude. Nous proposons que les travaux de terrain et de modélisation soient menés de concert. Il s'agit d'identifier les différents acteurs, les différentes perceptions et d'utiliser les univers multi-agents pour une modélisation. Face à un monde très complexe les univers multi-agents permettent de rechercher la simplification la plus acceptable en plaçant les questions sur les problèmes de représentations, interactions et contrôles. La simulation pose des questions au terrain qui apporte de nouveaux éléments à la modélisation.
- La deuxième étape est une étape de restitution que l'on pourrait aussi appeler validation du modèle cognitif. Il s'agit de tester le modèle proposé pour le processus de prise de décision. C'est la mise à plat des représentations et des processus d'interactions entre les agents. En effet il est difficile de faire comprendre ce qui « a été mis dans la machine ». Par contre il est possible de mettre l'acteur en situation de l'agent qui est dans la machine, avec les hypothèses de représentation, ses communications et les contrôles constitutifs du modèle. Pour mener cette opération à bien nous proposons de nous tourner vers la méthodologie du jeu de rôle expérimentée par les auteurs cités ci-dessus. On fait évaluer le monde artificiel en y plongeant les acteurs c'est à dire en créant un monde semblable au modèle. Ces acteurs peuvent être parties prenantes du système de gestion en tant qu'utilisateurs de la ressource (des paysans), régulateurs de cette gestion (gestionnaires ou administrateurs) ou observateurs du système (chercheurs). Le monde artificiel dans lequel sont plongés les acteurs ressemble-t-il au monde réel ? Il s'agit d'une validation d'un simulateur comme par exemple pour un simulateur de vol. Un simulateur de vol est de qualité s'il intègre les mêmes éléments du processus de décision que dans la réalité, et non pas s'il reproduit exactement un vol. Cette étape peut participer à la phase d'initialisation de la démarche patrimoniale car elle permet de dresser une carte des différents types d'acteurs, des différentes perceptions et des interactions, et d'en faire un savoir partagé.
- Une troisième phase est celle de la simulation. La simulation montre comment la dynamique du système est issue des interactions entre des acteurs qui ont des poids et des représentations différentes. On peut ici distinguer deux sous-phases. Dans un premier temps la simulation peut être effectuée sous forme de jeu de rôle, ce qui permet aux acteurs de valider le fait que c'est bien dans les interactions entre représentations différentes que se trouve le moteur de la dynamique du système. Cette première sous-phase permet aussi de faire émerger les différents scénarios intéressants à tester. Puis, cette phase étant acquise on peut utiliser le modèle multi-agent pour faire des simulations sous différents scénarios. Les simulations, tant "in ludo" que "in silico", participent ainsi à une autre phase de la démarche patrimoniale qui consiste, après avoir défini des objectifs de long terme, à envisager les différents scénarios qui pourraient y mener, à les tester et à en discuter les résultats.

## **6. Conclusion.**

L'environnement au 21<sup>e</sup> siècle est affaire de prévision s'il s'agit de l'an 2001, mais au delà d'une quinzaine d'années, il est affaire de choix collectifs permettant d'orienter l'action présente. La définition de ces choix collectifs de très long terme suppose un agrément sur les tendances

actuelles, un savoir partagé fournissant les conditions initiales de la discussion sur le futur. Les systèmes multi-agents fournissent une voie de simulation très riche de potentialités en permettant de modéliser des processus d'interaction, entre des acteurs comme entre dynamique sociale et dynamique naturelle. Ils permettent en effet de traiter selon les mêmes procédures, avec la même structure, des agents humains et des agents non humains ayant des perceptions, des modes de communication et des contrôles. Ils permettent également de représenter des agents individus ou des collectifs, réels ou symboliques, et ce, dans une dynamique d'interaction non prédéfinie. En cela, ils constituent une des premières voies de modélisation adéquate aux sciences sociales, n'impliquant pas une réduction outrancière de la complexité réelle. Ils constituent un outil de dialogue interdisciplinaire et permettent de voir se construire des modèles qu'il est possible de valider ou d'invalider socialement, sans prétendre qu'ils soient « vrais » ou « faux ». Les systèmes multi-agents, dont l'histoire est récente, ouvrent des perspectives nouvelles pour l'exploration des interactions entre dynamiques sociales et naturelles sur le long terme.

Nous savons que, tout au long de ce travail, nous devons affiner nos réponses à un certain nombre de questions de fond :

- Est-il pertinent d'aborder l'étude du système complexe des relations entre une société et le milieu naturel par ses structures de contrôle et de communication ? On connaît notre choix.
- Le social en tant que tel émerge-t-il des comportements individuels ? On sait qu'il faut sortir de ce dilemme et l'idée de « médiateurs » est une piste que nous explorons dans ce but.
- La puissance de suggestion des simulations multi-agents ne doit-elle pas faire l'objet d'une méthodologie propre ? Cette question est valable pour toutes les techniques de modélisation sophistiquées faisant appel à la très grande puissance des ordinateurs actuels en matière de calcul, d'interface, de communication et de formalisation, et qui risquent d'être utilisées pour convaincre le public suivant des considérations où la vérité scientifique a peu de part. On a vu comment la définition de la modélisation d'accompagnement, l'accent mis sur l'utilisation des jeux de rôle, permettent d'envisager une méthodologie adaptée fournissant les garde-fous nécessaires.
- Les agents sont-ils déjà parmi nous ? L'idée d'utiliser un modèle complexe pour la gestion fait naturellement surgir la crainte de « Big Brother », cet ordinateur développé pour le pilotage d'une société et qui échappe à ses concepteurs. Il nous semble que cette crainte dérive de ce phénomène très actuel de prolifération de petits dispositifs de régulation qui apparaissent sous forme de procédures informatisées et dont on doit se demander si ils ne sont pas en train de gagner leur autonomie.

### Références bibliographiques

Barreteau O., Bousquet F., Weber J. Modes de gestion et viabilité des périmètres irrigués : questions de représentation, Tendances nouvelles en modélisation pour l'environnement, Journées du Programme Environnement, Vie et Sociétés du CNRS, 1996.

Berkes F., Feeny D., McCay B.J., Acheson J.M.. « The benefits of the commons ». *Nature*, 340, P.91-93, 1989.

Bousquet F., Barreteau O., Weber J. Systèmes multi-agents et couplage des modèles biophysiques et socio-économiques. in *Couplage de modèles en agriculture*, Collection Colloques Cirad, 1996.



Bousquet F., Duthoit Y., Proton H., Lepage C., Weber J. « Tragedy of the commons, Game theory and spatial simulation of complex systems » in actes du colloque « *Ecologie, Société, Economie : quels enjeux pour le développement durable* » Université de Versailles-Saint Quentin en Yvelines, 23-25 Mai, 8 p., 1996

Berkes F., Feeny D., McCay B.J., Acheson J.M.. « The benefits of the commons ». *Nature*, 340, P.91-93, 1989.

Burton M., « The irrigation management game : a role playing exercise for training in irrigation mangement », *Irrigation and drainage systems* 7 : 305- 348, 1994.

Drogoul A., Ferber J. Multi-agent simulation as a tool for studying emergent processes in societies. In: *Simulating Societies, the computer simulation of social phenomena*. N. Gilbert and J.Doran (ed), UCL Press, 1994.

Ferber J. La kénétique : des systèmes multi-agents à une science de l'interaction. *Revue internationale de systémique*, Vol. 8, n°1, 1994.

Glick T.F. *Irrigation and society in medieval Valencia*. Cambridge Harvard University Press, 1970.

Hardin G. The tragedy of the commons, *Science*, 162, 1243-1248, 1968.

Havelange V. Sciences cognitives et tradition sociologique. *Revue internationale de systémique*, Vol. 8, n°1, 1994.

Huston M., De Angelis D., Post W., New computer models unify ecological theory. *Bioscience*, Vol 38, n°10, 1988.

Lansing J.S et Kremer J.N. Emergent properties of Balinese water temple networks : coadaptation on a rugged fitness landscape, In *Artificial Life III*, ed. C.G. Langton Addison Wesley 1994.

Lenay C. Introduction. *Revue internationale de systémique*, Vol. 8, n°1, 1994.

Livet P. Normes. In *D'une science à l'autre, des concepts nomades*. Stengers (ed.), Seuil, 1987.

Mermet L. *Stratégies pour la gestion de l'environnement*. L'Harmattan, 255P, 1992.

Montgolfier de, Natali J.M. *Le patrimoine du futur*, Economica, 248 P. 1988.

Nowak M., May R. « Evolutionary games and Spatial Chaos », *Nature*, 359, n° 6398, P. 826-829.

Ollagnon H., Une approche patrimoniale de la qualité du milieu naturel, in *Du rural à l'environnement, la question de la Nature aujourd'hui* de N.Mathieu et M.Jollivet, L'Harmattan, Paris, p 258-268, 1989

Ostrom E., *Governing the commons. The evolution of Institutions for collective action*. Cambridge University Press, 280 P., 1990.

Piveteau V., L'avenir a long terme des zones rurales fragiles, approche par le jeu prospectif d'une quetsion complexe. Thèse de l'Université Paris 1, 1994.

Romagny B., « *Développement durable, bioéconomie et ressources renouvelables. Réflexion sur les modes d'appropriation et de gestion de ces ressources* » Thèse de l'Université Sophia-Antipolis, 1996.

Weber J. *Cours d'anthropologie économique*, multigr. EHESS, 1988.

Weber J; et Bailly D., « Prévoir c'est gouverner », *Natures-Sciences et Sociétés*, 1 (1), P. 59-64.

Weber M. *Economie et société*, Paris, Plon, 1971.