

Le jeu de rôles à l'interface entre systèmes réel et virtuel pour la gestion de ressources renouvelables

Exemples d'application au Sénégal

Olivier Barreteau
Hydro-agronome

Patrick d'Aquino
Agronome

François Bousquet
Modélisateur

Christophe Le Page
Modélisateur

L'utilisation de systèmes multi-agents (SMA) pour représenter des systèmes réels impliquant des ressources renouvelables est de plus en plus fréquente (Bousquet *et al.*, 1999) et reconnue dans la communauté scientifique travaillant sur les simulations en sciences sociales *via* des publications dans la revue en ligne JASSS¹ ainsi que dans des conférences et séminaires tels que SMAGET² (Ferrand, 1999) et MABS³ (Sichman *et al.*, 1998 ; Moss et Davidsson, 2001). Ces modes de représentation permettent de

¹ *Journal of artificial systems and social simulations*,
<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/JASSS.html>

² Modèles et systèmes multi-agents pour la gestion de l'environnement et des territoires.

³ *Multi-agent systems and agent-based simulation*.

constituer des sociétés virtuelles en interaction avec un environnement. De nombreux travaux de recherche utilisent ainsi des écosystèmes artificiels pour aider à la compréhension des systèmes réels. Ce recours à des mondes virtuels présente l'avantage de substituer un « *learning by simulating* » au « *learning by doing* », lourd et perturbant pour les sociétés étudiées, qui a longtemps prévalu faute d'autres moyens. Au Cirad, en particulier, des recherches sont développées sur la modélisation de l'interaction entre des dynamiques socio-économiques et des dynamiques de ressources naturelles et renouvelables, afin d'identifier leurs domaines de co-viabilité au sein d'écosystèmes. Un outil de modélisation a été élaboré (Cormas, *Common-pool resources and multi-agent systems* – Bousquet *et al.*, 1998) et de nombreuses applications développées. L'usage de ces modèles pour l'aide à la recherche interdisciplinaire se révèle efficace (d'Aquino *et al.*, 2000). Après avoir présenté les questions que pose cet usage de systèmes virtuels pour travailler sur des systèmes réels, nous proposons et justifions le recours à des jeux de rôles en complément de ceux-ci. Nous détaillons cela à travers deux expériences réalisées dans la vallée et le delta du fleuve Sénégal.

■ Distance entre monde réel et monde virtuel

Le développement des systèmes multi-agents et des mondes virtuels comme modes de représentation de mondes réels s'est fait dans la suite des travaux en intelligence artificielle distribuée (Ferber, 1995) grâce au développement de puissances de calcul de plus en plus importantes. Les systèmes multi-agents rassemblent des entités informatiques autonomes en interaction dans un environnement. Ils permettent notamment de simuler des dynamiques d'usages de ressources et d'interactions entre acteurs à propos de l'usage de ces ressources. Ils restent d'une bien moindre complexité que les systèmes réels qu'ils cherchent à représenter. En effet, la modélisation mène à des simplifications, en particulier en termes de taille, nombre d'agents, nombre de types de ressources, nombre de règles. De plus, la nature informatique du

support des mondes virtuels constitue a priori une source de distance, par l'aspect « boîte noire » qu'il peut véhiculer.

Peut-on parler du réel à partir du virtuel ?

Quelle que soit la finalité de l'usage d'un système multi-agents pour représenter un monde réel – recherche, formation ou aide à la négociation – la distance entre monde réel et monde virtuel peut mettre en défaut la pertinence de la démarche :

– le chercheur doit pouvoir faire le lien entre ce qu'il observe *via* des simulations et le monde réel. Il se pose des questions de validation. Comment être certain de ne pas élaborer des théories « autistes » ?

– les étudiants utilisant ces modèles réduits d'un nouveau genre devront également être capables de faire le lien avec les systèmes auxquels ils seront confrontés dans leur activité professionnelle. Ils devront établir des connexions entre leur vécu des systèmes réels et ce qu'ils auront appris ou compris grâce aux systèmes virtuels.

– pour des perspectives d'aide à la négociation ou de gestion concertée d'une ressource, les acteurs concernés doivent accepter l'outil comme représentatif du monde réel, dans lequel se situe l'enjeu de la négociation et la ressource sur laquelle elle porte. Il s'agit là d'une question de *légitimité* de l'outil du point de vue des parties prenantes à une négociation : fidélité vis à vis du monde réel et aptitude à en parler en particulier (Barreteau *et al.*, 2000).

Construction de la légitimité des outils

On est ramené dans tous les cas à une question de validation et surtout de légitimation du monde virtuel en tant que représentation du monde réel, légitimation pour les destinataires de ces outils. Si des méthodes usuelles de validation peuvent être satisfaisantes pour des usages en recherche dont les destinataires sont des scientifiques (pour lesquels ces méthodes sont le mode usuel de légitimation d'un modèle), elles ne peuvent suffire pour les autres usages et destinataires, car ceux-ci ont besoin d'autres sources de légitimation. L'aspect boîte noire du modèle est alors à prendre en considération, dans la mesure où il laisse place à des comportements d'incompréhension du contenu modèle, que celle-ci soit de bonne ou de mauvaise foi.

On se limite dans la suite de l'exposé au cas de l'usage des modèles en gestion concertée ou en aide à la négociation. Il s'agit de construire la légitimité du monde virtuel non seulement comme représentation du monde réel, mais aussi comme outil auquel on peut faire recours pour discuter sur celui-ci.

Cette légitimité est nécessaire dès le début d'un processus de négociation car elle participe à l'une des phases les plus importantes : la construction d'une représentation commune du système sur laquelle il doit y avoir un accord partagé des parties prenantes à la négociation (Boltanski et Thévenot, 1991). Pour les questions de gestion des ressources en eau en particulier, tous les cas pour lesquels la construction d'un modèle utilisé dans une négociation n'a pas été publique se sont soldés par des échecs (Reitsma *et al.*, 1996).

Cette construction de la légitimité du modèle est ici envisagée par deux moyens :

- par la communication du contenu ;
- par une construction participative de l'outil.

Dans le premier cas, la construction du monde virtuel précède l'implication des acteurs en ayant recours à un modélisateur extérieur⁴ qui propose une représentation pouvant servir d'amorce de représentation commune. Il est alors nécessaire de trouver les moyens d'explicitier le contenu du modèle pour pouvoir faire discuter sur celui-ci.

Le deuxième cas propose d'impliquer les acteurs dès la construction du monde virtuel, d'en faire les véritables modélisateurs sans intermédiaire externe. Il est alors nécessaire de se donner les moyens de faire exprimer un modèle conceptuel collectif pour parvenir à la formalisation d'un modèle.

Dans les deux cas, on a en fait besoin d'un mode de communication entre les deux mondes, réel et virtuel.

⁴ On ne fait pas d'hypothèse à ce niveau là sur les moyens utilisés par le modélisateur pour arriver à la construction du monde virtuel amorcé de la discussion, même si celle-ci a probablement une importance non négligeable.

Le jeu de rôle comme outil de communication

Le système virtuel repose à la fois sur un substrat informatique (sa partie visible) et sur un modèle conceptuel qui le sous-tend et qui constitue ce qui doit être communiqué. Si le langage naturel n'est pas approprié pour la description de systèmes dynamiques complexes et de scénarios d'évolution, les jeux, dont la pratique est ancienne et courante dans de nombreuses sociétés (Huizinga, 1951), peuvent constituer un mode de communication alternatif et avec de plus grandes capacités pour la description de dynamiques. On s'est intéressé en particulier aux jeux de rôles, déjà utilisés en tant que tels pour des questions de gestion de l'environnement (Mermet, 1992). L'utilisation d'un jeu de rôles dans un tel cadre a déjà été testée de manière satisfaisante, par exemple pour le développement d'une zone rurale (Piveteau, 1995).

Complémentarité a priori entre SMA et jeu de rôles

Le modèle conceptuel sur lequel est basé tout SMA comporte un ensemble de rôles et de règles de comportement pouvant aussi bien être joués par un être humain que simulés par un ensemble de lignes de code informatique (Hanneman, 1995). Cette multiplicité de formes possibles d'expression du modèle conceptuel induit un parallèle entre jeu de rôles ou pièce de théâtre, d'une part, et système multi-agents, d'autre part. Ce parallèle peut se décliner sur plusieurs niveaux (tableau 1).

Il y a donc bien une complémentarité a priori entre les deux outils, pouvant être de fait deux formes d'un même modèle. Cette complémentarité est bien à double sens et le jeu ne peut se substituer complètement au système multi-agents. La pratique du jeu dans des processus de négociation a en effet des limites, en particulier dans le temps nécessaire à sa conception, la phase d'analyse des résultats et la mise en commun de différents points de vue dans sa constitution (Piveteau, *ibid.*). Un jeu est limité également par la taille relativement faible des effectifs et des

processus qu'il peut mettre en œuvre, en regard de la complexité des systèmes représentés (Mermet, *ibid.*). Le jeu a donc besoin d'être complété par d'autres outils apportant des possibilités de simulations contrôlées et répétées.

■ Tableau 1
Correspondance entre système multi-agent
et jeu de rôles.

Système multi-agents	Jeu de rôles
Agent	joueur
Règle	rôle
pas de temps	tour de jeu
Simulation	session de jeu
Environnement	plateau de jeu

Du virtuel au réel...

Le premier besoin d'outil de communication entre monde réel et monde virtuel relevé consiste à expliciter le contenu du monde virtuel pour les acteurs concernés. Dans cet objectif, le jeu met l'acteur, utilisateur et/ou acteur représenté dans le modèle, en situation de l'agent qui est dans la machine, avec les hypothèses de représentation, les communications et les contrôles constitutifs du modèle (Bousquet *et al.*, 1999). Les rôles du jeu sont issus des règles mises en œuvre dans le modèle.

Ainsi le jeu permet de bien expliciter le contenu du modèle, de le confronter avec la perception qu'en ont les acteurs réels ou des observateurs avertis. Il permet également de travailler sur la dynamique en comparant l'évolution du jeu avec celle des simulations. La discussion des hypothèses du modèle à partir du jeu avec les acteurs concernés dans une perspective d'usage en aide à la négociation permet de pousser le travail de validation au niveau nécessaire pour un groupe donné avec cet objectif d'usage spécifique (Barreteau et Bousquet, 1999).

Cependant le jeu ne peut pas toujours communiquer toute la complexité d'un modèle. Ceci peut constituer une limite à cet usage et impose surtout un travail de traduction important.

... et du réel au virtuel

Le second besoin d'outil de communication entre monde réel et virtuel exprimé consiste à faire expliciter collectivement aux acteurs du système réel leurs comportements pour construire le modèle conceptuel à la base du système multi-agents. Le jeu peut alors fournir un moyen d'observer les règles en œuvre dans des processus de négociation, en amont de la négociation. C'est par exemple le cas dans des travaux dans la région de Vittel (Benoît *et al.*, 1998) et surtout en économie expérimentale (Ostrom *et al.*, 1994). Cependant ces cas imposent une situation de jeu, qui même si elle est proche du réel, reste un modèle et pose des contraintes au comportement des acteurs / joueurs. Pour aller vers un objectif de co-construction du modèle par les acteurs via le jeu, on doit donc les amener à définir eux-mêmes les rôles importants à mettre dans le jeu puis à en adapter les règles en le jouant.

Exemples d'application au Sénégal

Deux exemples sont traités ici plus en détail, tous deux situés au Sénégal, respectivement dans la moyenne vallée et dans le delta du fleuve, mettant chacun en œuvre l'un des deux modes de communication par le jeu exposés ci-dessus.

Shadoc, un système irrigué virtuel

Le premier exemple a pour cadre un travail sur la viabilité des périmètres irrigués dans la moyenne vallée du Sénégal qui nous a conduits vers le choix d'un SMA comme support de construction du modèle. La volonté de se concentrer sur les processus en œuvre dans les modes de coordination plus que sur les cas particuliers de chaque type de périmètre nous a orientés vers la construction d'un système irrigué virtuel, ne représentant aucun périmètre particulier, mais ne surprenant pas dans le décor de la moyenne vallée du Sénégal. C'est dans un deuxième temps que ce modèle fut transformé en jeu de rôles et présenté aux acteurs.

Le système irrigué virtuel *Shadoc*⁵ consiste en un support d'expérimentation permettant de réfléchir sur les systèmes hydro-agricoles réels, en levant les contraintes de taille, de durée, de contrôle des paramètres et d'effets négatifs potentiels sur ceux-ci. Il permet notamment de simuler l'évolution du système représenté, constitué d'un ensemble de parcelles, de canaux et de paysans, pour différentes hypothèses de règles collectives et individuelles (Barreteau et Bousquet, 2000). Cependant il n'est pas nécessairement aisé pour des acteurs extérieurs au processus de création du modèle d'entrer dans sa logique. Que ceux-ci soient familiers avec l'outil informatique ou avec le terrain représenté, le modèle conserve un aspect boîte noire qui rend nécessaire son explicitation. Le jeu mis au point pour ouvrir cette boîte noire se joue avec 10 à 15 joueurs et est constitué de cartes trilingues (français, pulaar, wolof) décrivant les comportements possibles pour chaque joueur: cartes décrivant l'objectif de mise en culture (fig. 1), cartes décrivant le statut social et cartes décrivant la propension du paysan à rembourser ses crédits. Chaque joueur tire au hasard une carte de chaque catégorie qui décrit son comportement au cours du jeu.

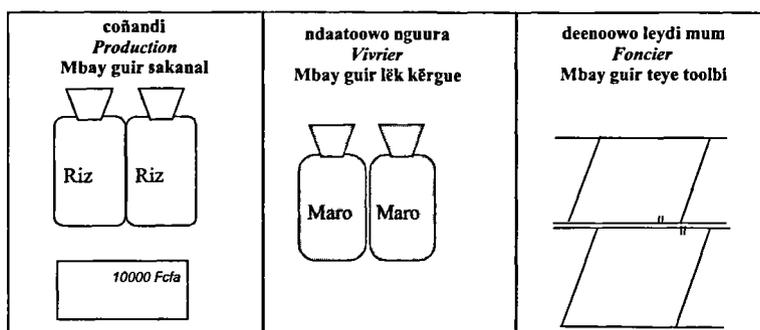


Figure 1
Ensemble des cartes « objectif » parmi lesquelles chaque joueur en tire une au hasard.

Les joueurs se trouvent alors dans une pièce représentant le lieu des villages. Dans une autre pièce représentant le lieu du périmètre,

⁵ Simulateur hydroagricole décrivant les modes d'organisation et de coordination.

un aménagement correspondant au nombre de joueurs est dessiné sur un tableau (fig. 2), reprenant le nom du joueur attributaire de la parcelle, la hauteur d'eau et les choix faits au moment du semis entrant en compte dans le calcul du rendement.



Figure 2

Représentation du périmètre simulé sur un tableau lors d'une séance de jeu.

Les séances de jeu se déroulent toutes sur une demi-journée, en trois étapes : présentation du jeu et des rôles, déroulement du jeu, discussion sur ce déroulement. Chaque campagne est subdivisée dans le jeu comme dans le modèle en trois phases se succédant strictement : recherche de crédit, entretien de l'irrigation à la fin de laquelle est calculé un rendement éventuel, bilan pouvant donner lieu à des changements de cartes si les joueurs le désirent. Les deux premières étapes sont menées à bien phase après phase. Les discussions avec les joueurs ont lieu dès les étapes de présentation des rôles. Ce jeu de rôles a d'abord été mené dans les villages mêmes où les enquêtes ayant permis la constitution du modèle ont été faites. Dans un deuxième temps, le jeu fut présenté lors d'un atelier organisé au Sénégal près de Saint-Louis, dans un contexte un peu différent. Cet atelier durait trois jours : le premier jour, les joueurs découvraient le jeu de rôles, ce qui leur permettait de faire

une ou deux campagnes. Le deuxième jour était consacré à un long jeu sur cinq ou six campagnes, permettant d'observer les effets à long terme des décisions. Le troisième jour, des simulations sur ordinateur ont été proposées, en utilisant une version simplifiée du modèle, correspondant exactement à la version proposée par le jeu.

Self Cormas : négociation d'un plan d'occupation et d'affectation des sols

Cette deuxième expérience a été réalisée en appui à un processus de négociation du plan d'occupation et d'affectation des sols (POAS) de la communauté rurale de Ross-Bethio dans le delta du Sénégal (d'Aquino *et al.*, *ibid.*). Avec cet objectif, les modélisateurs ont développé, non pas un modèle particulier, mais des outils au sein de la plateforme Cormas pour pouvoir formaliser le plus rapidement possible les connaissances acquises. En effet contrairement au processus Shadoc décrit ci-dessus, l'idée était de construire le modèle directement avec les acteurs.

Ce travail a consisté en trois ateliers de trois jours. Le premier atelier concernait les animateurs ruraux. Ces derniers sont des personnes choisies parmi les acteurs de la région et jouent un rôle d'animation dans les relations entre les paysans et le conseil rural. Le premier atelier avait lieu en langue française dans les locaux du Cifa (*Centre interprofessionnel de formation agricole*). Son but était de tester la démarche avant de se rendre dans les villages pour les deux autres ateliers. Ces derniers ont eu lieu dans les villages de Nboundoum et Ngnith, en wolof. Le thème choisi est celui de la coordination agriculture/élevage.

Environ 25 personnes ont participé à chaque atelier. Chacun de ceux-ci était organisé sur trois jours de la façon suivante :

- premier jour : identification des besoins des différents acteurs pour l'agriculture et l'élevage (qualité des sols, salinité de l'eau, distance à l'eau, distance entre parcelles..) ;
- premier jour : représentation d'une carte de la zone avec les indicateurs définis précédemment. Un système d'information géographique était disponible ;
- deuxième jour : un jeu de rôles est proposé pour représenter la dynamique du système. Mois après mois, chaque joueur décide de son activité et de son emplacement. Pour cela il utilise un post-it qu'il positionne sur la carte (fig. 3) ;



Figure 3
Jeu de rôles.
Chaque mois
le joueur vient
et place un post-it
sur la carte.

- deuxième jour : discussion sur les phénomènes et événements qui sont apparus pendant le jeu et qui ont du sens par rapport à la réalité. Définition avec les acteurs des scénarios possibles sous formes d'événements ou de tendance (croissance de la population, creusement de nouveaux canaux par exemple) ;
- troisième jour : le modèle multi-agents correspondant au jeu de rôles ayant été implémenté entre le deuxième et le troisième jour, les simulations sont présentées. La première des simulations représente le jeu de rôles de la veille puis d'autres scénarios sont discutés et simulés (fig. 4).

Dans cette expérience, la création d'un jeu de rôles avec les acteurs a constitué une méthode pour identifier collectivement des comportements et des interactions. Cette séquence permet aussi une discussion sur les résultats du modèle. Les acteurs qui ont créé et joué le jeu sont capables d'interpréter les résultats du modèle parce que celui-ci leur apparaît légitime.

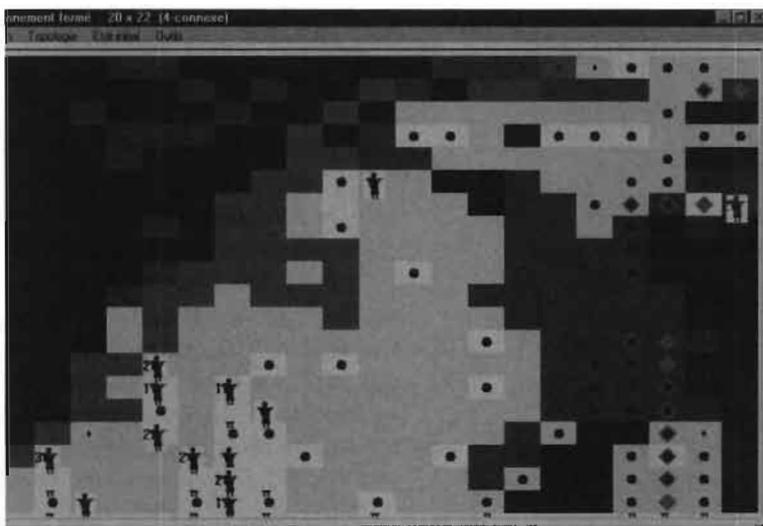


Figure 4

La carte à la fin de la simulation. Les ronds noirs sont des cultures. En blanc les zones où la ressource a été consommée. Sur cette copie d'écran on voit que les éleveurs qui n'ont pas accès à l'eau partent vers les secteurs à la végétation pauvre.

Discussion

Ces deux exemples apportent un certain nombre d'éclairages quant à la capacité des jeux de rôles à participer à la légitimation de l'usage d'un système virtuel pour parler d'un système réel. Par ailleurs, ce mode d'acquisition de légitimité, par appropriation progressive du système virtuel, permet de mieux valoriser l'expertise existant sur ces systèmes.

Acceptation locale des outils mis en œuvre

Dans les deux expériences, nous avons pu à la fin des ateliers utiliser les versions sur ordinateur des modèles conceptuels et faire discuter des systèmes réels à partir des simulations. Les acteurs ont été capables de suivre à l'écran les différents scénarios, de les discuter et d'en proposer de nouveaux. Les principaux problèmes

de gestion de l'espace et des ressources apparaissent aisément dans les simulations. Il n'est point besoin d'agents très compliqués. Les événements que les acteurs reconnaissent à l'écran sont porteurs de beaucoup de discussions.

Dans la première expérience, les acteurs présents ont baptisé en pulaar le modèle *njoobaari ilnoowo*, ce qui pourrait se traduire par « le nécessaire de voyage de l'irriguant ». Ils se sont ainsi non seulement appropriés l'ensemble, en lui donnant bien le sens d'un modèle d'accompagnement de la réflexion, de support de discussion. Plusieurs d'entre eux ont demandé à pouvoir conserver un exemplaire du jeu, afin de s'en servir pour animer des discussions sur les systèmes réels dans leurs villages respectifs.

Il y a donc bien eu légitimation d'un système virtuel pour *parler* d'un système réel. Cette légitimation n'est cependant vraie actuellement que pour des usages en animation, un suivi est en cours pour ce qui de la légitimité en tant qu'outil d'aide à la décision collective qui ne pourra être appréhendée qu'avec un minimum de recul.

Mise en valeur de l'expertise

Ces démarches basées sur la participation des acteurs soit à la validation soit à la construction d'un modèle pourraient mettre en doute l'intégration d'expertise sur les systèmes réels. Comment peut se positionner l'intervention de chercheurs et d'experts, mis à part l'animation et l'aide à la programmation⁶, si les usagers d'une ressource se mettent à pouvoir faire leur modèle tout seuls ?

En effet, même dans le premier exemple où le modèle avait été constitué auparavant par les chercheurs, il n'y avait rien dans le modèle de nouveau qui n'ait été connu par les acteurs, puisqu'il avait été fait sur la base de leurs dires. Le système virtuel et la médiation par le jeu permettent en fait de rendre connaissance commune des savoirs qui étaient auparavant individualisés et d'amener des usagers hétérogènes à mieux comprendre les perceptions de chacun. Il y a donc là une mise en commun de l'expertise propre à chaque partie prenante dans une négociation.

⁶ Rôles qui pourraient être remplis par des conseillers quand les méthodes actuellement à l'étude seront mises au point.

Quant à l'apport des chercheurs, il concerne la connaissance de l'objet plus que l'objet lui-même.

L'expertise externe sur le système a été assez peu prise en compte, mais elle pourrait l'être davantage. Ainsi pour la deuxième expérience, dans le contexte d'un village, Nboundoum, l'atelier a permis de discuter du besoin et de la localisation d'aménagements pastoraux, ce qui était un sujet peu abordé jusqu'alors. Décision fut prise de faire une formation sur les aménagements pastoraux. Il ne revient pas alors au modèle de donner des solutions aux problèmes mais de favoriser la discussion sur les différentes alternatives, d'envisager collectivement des actions. Le recours à l'expertise technique est l'étape qui a suivi cette décision collective en allant chercher au centre ISRA (Institut sénégalais de recherche agronomique) voisin un zootechnicien pouvant répondre aux questions posées collectivement. On peut faire l'hypothèse que l'expertise ainsi recherchée sera plus appropriée.

Conclusion

Ces expériences montrent donc bien qu'il y a une complémentarité entre jeux de rôles et SMA qui rend tout à fait pertinente l'usage de mondes virtuels pour la recherche mais aussi pour la gestion de ressources. En ayant bien intégré le contenu du modèle (par une discussion de ses processus ou une participation à sa construction), les usagers d'une ressource accordent plus de légitimité à son usage pour discuter des systèmes réels. Au passage, ces démarches semblent valoriser d'une nouvelle façon l'expertise technique existant sur les systèmes réels.

Des recherches complémentaires sont cependant nécessaires pour valider l'hypothèse d'efficacité de ces outils du double point de vue de leur capacité à favoriser l'émergence de règles collectives utilisées et de l'impact secondaire de leurs usages.

Bibliographie

- d'Aquino P., Etienne M., Barreteau O., Le Page C., Bousquet F., 2000 – « Modélisation d'accompagnement : l'usage des simulations multi-agents dans des processus de décision sur la gestion des ressources naturelles ». In : *Le pilotage des agro-écosystèmes : complémentarités terrain-modélisation et aide à la décision*, Cirad, Montpellier.
- Barreteau O., Bousquet F., 1999 – « Jeux de rôles et validation de systèmes multi-agents ». In Gleizes M.-P., Marcenac P. (éd.) : *7^e Journ. francophones d'intelligence artificielle distribuée et systèmes multi-agents*, St-Gilles, 8-10 novembre 1999, Hermès : 67-80.
- Barreteau O., Bousquet F., 2000 – Systèmes multi-agents et viabilité des systèmes irrigués. *Technique et Science Informatique*, Hermès, Paris, 19 (7) : 943-962.
- Barreteau O., Bousquet F., Attonaty J.-M., 2000 – "Role-playing games for opening the black box of multi-agent systems : method and teachings of its application to Senegal River Valley irrigated systems". In: Workshop Modelling agent interaction in natural resource and environment management, Montpellier, 29-31 march, 2000.
- Benoit M., Chicoisne G., Deffontaines J.-P., Herve D., Lardon S., Le Ber F., Mullon C., Papy F., Souchere V., Thion P., Tichit M., Treuil J.-P., 1998 – « Coordonner des jeux de rôles sous contraintes environnementales : des jeux de rôles aux modèles multi-agents ». In Ferrand N. (éd.) : *Modèles et systèmes multi-agents pour la gestion de l'environnement et des territoires*, actes du colloque Smagref, Cemagref : 279-292.
- Boltanski L., Thévenot L., 1991– *De la justification, les économies de la grandeur*. Gallimard.
- Bousquet F., Bakam I., Proton H., Le Page C., 1998 – "Cormas: common-pool resources and multi-agent systems". In: 11th IAEE conference, Barcelone, 1-4 juin 1998, *Artificial Intelligence*, Lecture notes, 1416 : 826-838.
- Bousquet F., Barreteau O., Le Page C., Mullon C., Weber J., 1999 – "An environmental modelling approach. The use of multi-agent simulations". In Blasco F., Weill A. (éd.) : *Advances in environmental modelling*, Elsevier : 113-122.
- Ferber J., 1995 – *Les systèmes multi-agents, vers une intelligence collective*. InterEditions.
- Hanneman R., 1995 – *Simulation modeling and theoretical analysis in sociology. Sociological perspectives*, 38 (4) : 457-462.
- Huizinga J., 1951 – *Homo ludens, essai sur la fonction sociale du jeu*. Gallimard, coll. Tel.
- Ferrand N., 1999 – *Modèles et systèmes multi-agents pour la gestion de l'environnement et des territoires*. Cemagref, Antony.
- Mermet L., 1992 – *Stratégies pour la gestion de l'environnement, la nature comme jeu de société ?* L'Harmattan, Paris.
- Moss S., Davidsson P., (2001) – *Multi-agent based simulation*. LNAI series, Springer.
- Ostrom E., Gardner R., Walker J., 1994 – *Games and common-pool resources*. The University of Michigan Press.

Piveteau V., 1995 –
*Prospective et territoire : apports
d'une réflexion sur le jeu.*
Cemagref, Antony.

Reitsma R., Zigurs I., Lewis C.,
Wilson V., Sloane A., 1996 –
Experiment with simulation models
in water-resources negotiations.

*Journal of water resources planning
and management*, 122 : 64-70.

Sichman J. S., Conte R.,
Gilbert N., 1998 –
*Multi-agent systems and agent based
modelling.* Springer.