Modèles et processus de décision collective : entre compréhension et facilitation de la gestion concertée de la ressource en eau

Olivier Barreteau

▶ **To cite this version:**

Olivier Barreteau. Modèles et processus de décision collective : entre compréhension et facilitation de la gestion concertée de la ressource en eau. Sciences de l'environnement. Habilitation à Diriger des Recherches, spécialité Informatique, Université Paris Dauphine, 2007. tel-02589004

HAL Id: tel-02589004
https://hal.inrae.fr/tel-02589004

Submitted on 15 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITE PARIS DAUPHINE

Cemagref

Modèles et processus de décision collective : entre compréhension et facilitation de la gestion concertée de la ressource en eau

Mémoire pour l'obtention de l'habilitation à diriger des recherches, spécialité Informatique, présenté par :

Olivier Barreteau
Cemagref, UMR G-EAU

Présentation prévue le 14 mars 2007 devant le jury composé de :

Arnaldo Cecchini,	Rapporteur
Alexis Drogoul,	Rapporteur
Armand Hatchuel,	Rapporteur
Claude Millier,	Examinateur
Suzanne Pinson,	Examinateur
Laurent Thévenot,	Examinateur
Alexis Tsoukias,	Coordinateur

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Remerciements

L'achèvement de ce mémoire et la réalisation du travail qui l'a précédé et nourri sont des artefacts, des points de vue particuliers, sur un processus d'interactions continu avec une large communauté. Je souhaite remercier ici cet ensemble de gens sans qui ce point de vue n'aurait pas lieu d'être.

Tout d'abord, ce processus s'est déroulé essentiellement au sein du Cemagref, tout d'abord dans le thème de recherche GETIRRI puis dans le thème de recherches USAGES. Je souhaite remercier ici tous mes collègues de ces équipes pour les partages d'expérience et les riches discussions que nous avons pu avoir. Ces équipes interdisciplinaires m'ont amené à discuter sur la modélisation avec Nils Ferrand, sur la gestion de l'eau de la parcelle au bassin versant avec Patrice Garin et Pierre Ruelle, sur la diversité des points de vue et du faire ensemble en sociologie avec Rémi Barbier, sur la participation du public avec Yorck von Korff, sur les politiques de l'eau et leur mise en œuvre avec Gabrielle Bouleau, sur le multi-usage de l'eau avec Marielle Montginoul et Marwan Ladki, sur les coûts et bénéfices d'aménagements ou d'usages de la ressource en eau et leurs avantages avec Frédéric Grelot, Sébastien Loubier et Katrin Erdlenbruch. Patrice Garin m'a accueilli dans l'équipe puis m'a incité à poursuivre mes travaux sur la modélisation d'accompagnement tout en prenant des responsabilités d'encadrement. A cela il a ajouté une capacité d'écoute et d'interrogations toujours pertinentes. Je tiens à remercier mes chefs de département successifs, François Lacroix, puis Jean-Philippe Torterotot, pour un soutien intéressé et jamais démenti, au développement d'une activité interdisciplinaire entre sciences sociales appliquées à l'eau, nouvelle au Cemagref et, pour François, loin de son domaine d'origine. Localement, les assistants de gestion de l'unité de recherche, Christine Moretti, Josiane Dartau et Nicolas Jahier, m'ont souvent grandement facilité le travail de manière pratique, je souhaite leur adresser ici des remerciements sincères. La place manque pour citer l'ensemble des collègues, mais les doctorants et post-doctorants que j'ai encadrés, Annabelle Boutet, William's Daré, Géraldine Abrami, Nicolas Becu et Audrey Richard, méritent un remerciement spécial : ils ont su amener des points de vue nouveau, des approches originales, pousser dans leurs limites les questions et méthodes que je leurs proposais.

La communauté avec laquelle j'ai interagi est plus large que ma seule équipe d'accueil. Je pense en particulier au groupe ComMod, qui m'a permis de continuer à interagir avec l'équipe GREEN du Cirad où j'avais fait ma thèse. Merci à tous les membres du groupe, les discussions vives et stimulantes même à distance ainsi que la mise en commun de nos outils et expériences m'ont toujours fait avancer.

Les partenariats nombreux dans lesquels j'ai mené mes recherches m'ont amené à des interactions riches. Je tiens à remercier en premier lieu Flavie Cernesson, avec qui j'ai pu me rendre compte que l'interdisciplinarité n'est certes pas facile, mais toujours stimulante. J'espère qu'elle aura pu avancer en hydrologie autant que moi en modélisation. Au niveau européen ou australien, Matt Hare, Claudia Pahl-Wostl, Anne van der Veen, Scott Moss, Nigel Gilbert, et Jan Sendzimir, Alex Smajgl et Blair Nancarrow, m'ont fait confiance et m'ont ouvert à d'autres démarches de modélisation et d'implication des acteurs dans des processus de recherche. Je tiens à les en remercier ici.

Une recherche impliquée comme celle qui est décrite dans ce mémoire tient beaucoup à la qualité des partenariats. Je remercie en particulier Laurent Rippert sur l'Orb, Magalie Vieux-Melchior et Didier Jouve sur la Drôme, Najirou Sall, Ousmane Ly et Amadou Baro sur le

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Sénégal, m'ont accueilli, fait confiance et permis d'évoluer en fonction des spécificités de chaque terrain.

Cette histoire arrive à une étape, marquée par ce mémoire et sa soutenance. Cette étape n'aurait pu avoir lieu sans l'appui d'Alexis Tsoukias, qui a accepté de coordonner cette habilitation qui avait du mal à rentrer dans les cases disciplinaires. Je l'en remercie vivement. Je remercie les membres du jury, Arnaldo Cecchini, Alexis Drogoul, Armand Hatchuel, Claude Millier, Suzanne Pinson et Laurent Thévenot, qui ont accepté de manière sympathique parfois depuis très loin. Je remercie en outre Claude Millier pour ces quinze années où il m'a conseillé, dirigé, suivi, évalué… jusqu'à prendre sur son temps de retraite pour cette soutenance. Je remercie tout particulièrement Juliette Rouchier, Patrice Garin et Tiphaine Chevallier pour les relectures des premières versions du mémoire, qui n'ont pas toujours été faciles !

Enfin la frontière entre vie privée et vie professionnelle est parfois très fine et autorise les interactions de part et d'autres. Il ne s'agit pas seulement d'une question de gestion du temps, mais aussi des encouragements et des discussions qui peuvent s'inviter dans la recherche à des semaines d'intervalle. Merci infiniment à Tiphaine, pour sa patience, son soutien et son rappel au côté pratique des choses. Merci enfin à Arthur, Zélie et Flora : ils ont supporté « papa et son ordinateur » et me donnent régulièrement à réfléchir à la mise en œuvre de la participation à l'échelle familiale !

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Résumé

Ce mémoire aborde les enjeux de compréhension et d'accompagnement de processus de décision collective au travers de travaux sur les hydrosystèmes : systèmes irrigués et bassins versants aux enjeux variés. Leurs spécificités, d'ouverture, de population concernée changeante, en font un type d'objet assez nouveau dans ce domaine. Dans une démarche de recherche impliquée, j'ai développé des outils, systèmes multi-agents et jeux de rôles, et des méthodes d'usage de ces outils. L'objectif était dans un premier temps de comprendre les processus de décision collective en œuvre dans un hydrosystème et dans un deuxième temps de les faciliter. J'ai participé à la conceptualisation de cette démarche d'usage de modèles baptisée modélisation d'accompagnement. De nature itérative pour améliorer les interactions entre modélisateur et acteurs concernés, elle s'appuie en particulier sur l'explicitation des points de vue de chacun en les mettant en scène dans différentes formes de modèles. Le modèle est un mode d'écriture d'un état des connaissances sur des systèmes complexes, facilitant la réflexivité et la mise en débat des représentations sur ces systèmes. En outre la simulation permet d'appréhender les interactions entre les points de vue existant sur ce système. J'ai fait le choix de systèmes à intelligence distribuée, Systèmes Multi-Agents et jeux de rôles, car ils reproduisent une caractéristique déterminante des hydrosystèmes : la distribution de la dynamique sur un réseau sociotechnique. Testée dans plusieurs cas, cette démarche m'a permis de mettre en évidence l'importance d'outils comportant des éléments de représentation de processus sociaux pour un travail d'ingénieur sur les hydrosystèmes, outils dont il convient de préciser les possibilités d'emploi. En m'appuyant sur les travaux de postdoctorant et thésard j'ai enfin travaillé sur ce qui se passe au cours de la mise en œuvre de ces méthodes : les artefacts utilisés prennent en particulier un rôle d'objet frontière au sein de groupes hétérogènes et favorisent l'apprentissage en autorisant des essais dont les résultats peuvent être remis en cause.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

1 Les processus de décision collective : efficacité, robustesse et démocratie 7
1.1 Les processus de décision collective 7
1.2 Enjeux d'évaluation des processus de décision collective dans ce contexte 12
2 Un champ d'application spécifique : la gestion de l'eau 14
2.1 Contexte politico-institutionnel 14
2.2 Enjeux de gestion quantitative pour l'irrigation. 16
2.3 Autres enjeux 18
2.4 Les types de processus de décision collective en œuvre pour la gestion de l'eau 21
3 Des modèles pour comprendre 22
3.1 Choix des systèmes multi-agents 22
3.2 Vers la constitution de laboratoires virtuels 24
3.3 Une première approche de la modélisation d'accompagnement 33
4 De la validation à la légitimité des modèles : usage conjoint de SMA et de jeux de rôles 37
4.1 Validation des modèles 38
4.2 Une spécificité des SMA ? 42
4.3 Vers une association SMA/jeu de rôles 44
5 Des modèles pour faciliter les processus de décision collective 53
5.1 Le jeu de rôles : un générateur de discussions 54
5.2 Mécanismes en œuvre 57
5.3 Quelles spécificités techniques 63
6 Discussion 67
6.1 Du point de vue de la gestion de l'eau 68
6.2 Un questionnement sur les jeux autour de l'information 69
6.3 Modélisation interactive : vers une sociologie expérimentale 69
7 Conclusion 71
8 Références : 73
8.1 Travaux personnels 73
8.2 Références bibliographiques 75
9 Annexe : Résumé synthétique des activités d'animation de la recherche 83
9.1 Encadrement de doctorant 83
9.2 Encadrement de DEA et Master 83
9.3 Supervision de postdoctorat 84
9.4 Activités d'animation scientifique 84

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Un delta, une zone humide, une vallée sont des lieux où se croisent nombre d'acteurs, résidents ou de passage, porteurs de points de vue, de normes, d'enjeux, d'histoires variés, notamment dans leur relation à l'eau. Dans le Delta de l'Orb, à l'aval de Béziers, l'eau est un facteur déterminant d'un écosystème spécifique, valorisé en tant que tel par les défenseurs de l'environnement pour la diversité biologique qu'il abrite. Cet écosystème est également apprécié des chasseurs pour sa faune. Ces chasseurs peuvent aussi être agriculteurs sur ce même territoire. Ils attendent alors également l'eau de la rivière pour éviter une salinisation excessive des terres dues aux remontées salines provenant de la mer. Mais la rivière est aussi source de dangers, les inondations, contre lesquelles les campings veulent être protégés pour étendre leur période d'ouverture en automne, quand le risque est élevé. Enfin c'est aussi pour les résidents permanents ou les touristes une ressource indispensable pour leurs besoins domestiques. Celle-ci doit alors être de qualité suffisante. Plusieurs ressources sont a priori disponibles : l'eau de la rivière prélevée plus à l'amont, l'eau d'une nappe profonde croisant le territoire du delta de l'Orb mais aussi celui du fleuve Hérault voisin, ou encore des connexions venant d'autres territoires. Cette complexité se retrouve dans tous les espaces où l'eau est présente et appropriée. J'appellerai dans la suite hydrosystèmes ces espaces associés à leurs usagers.
L'état de la ressource en eau, en quantité et en qualité, évolue du fait du climat mais aussi des pratiques individuelles et collectives générées par les perceptions et les attentes de chacun. La mise en place de protections contre les inondations, va modifier la quantité d'eau disponible pour l'écosystème du delta. Ailleurs, la qualité de l'eau rejetée par un village du fait de défaillances dans le traitement des eaux usées va rendre la rivière impropre à la baignade pour le village situé plus à l'aval. La multiplicité des lieux de décision et des actions possibles sur un hydrosystème en fait l'enjeu de processus de décision collective complexes. L'eau, en tant qu'objet, m'a permis d'aborder ces processus de décision collective sur différents territoires en compagnie « d'acteurs concernés » et de modèles que j'ai pu concevoir.

L'action sur l'hydrosystème est le produit d'un réseau d'interactions entre les humains qui l'habitent, le visitent, le gèrent et/ou y puisent des ressources et des non-humains (Callon et al., 1986; Latour & Woolgar, 1988). Ces « non-humains » sont des ressources dépendant de la présence de l'eau (faune aviaire et piscicole, végétation spécifique) ou des équipements conçus pour modifier la ressource en eau, la mesurer, la contrôler, en modéliser la dynamique et les usages… La dynamique de l'hydrosystème est de ce fait le produit d'une intelligence distribuée parmi l'ensemble de ces entités en interaction.
Je fais l'hypothèse dans ce mémoire que ce concept d'intelligence distribuée entre des entités autonomes en interaction est crucial pour comprendre la dynamique des hydrosystèmes. Je me suis alors attaché au cours de mes expériences de recherche à développer des dispositifs permettant de simuler et d'interagir avec de telles situations d'intelligence distribuée, dans un objectif de compréhension et d'intervention.
Dans ce type de situation, chaque élément peut modifier la dynamique globale en fonction de l'évolution des autres éléments. Le contrôle ou la représentation du système dans un modèle même compliqué devient illusoire. J'ai choisi d'explorer des modalités de construction dynamique de modèles, impliquant les représentations des parties prenantes au système. Mon projet de recherche s'est donc inscrit dans la famille de la modélisation participative (Vennix, 1996). Je n'en ai cependant pas retenu le choix méthodologique le plus fréquent de systèmes dynamiques. Il s'agit de construire des représentations distribuées entre les entités autonomes constitutives d'un hydrosystème, au sein duquel je m'invite. Il s'agit d'une recherche impliquée. L'intrusion dans le système, conduit à abandonner la possibilité d'une position en surplomb et à poser la nécessité d'une réflexivité sur la démarche de construction des modèles. Il s'agit alors d'imaginer de nouvelles formes « d'accompagnement » des processus

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

de décision collective, outils et méthodes, prenant en compte cette nécessité de réflexivité et d'adaptation à l'évolution de l'hydrosystème au fur et à mesure de toute implication dans sa dynamique. La construction d'une telle méthode prend son sens dans une perspective de dynamique conjointe des connaissances et des relations (Hatchuel, 2000).
Mon projet de recherche a ainsi un pilier théorique concernant les processus de décision collective dans le cadre de systèmes complexes, et un pilier méthodologique s'appuyant sur le développement d'outils et de méthodes pour comprendre et accompagner ces processus de décision collective. Le choix méthodologique *a priori* a conduit à explorer plus spécifiquement (i) les Systèmes Multi-Agents (SMA) et les jeux de rôles (JDR), qui ont la spécificité de mettre en scène une intelligence distribuée entre des entités autonomes, et (ii) la modélisation d'accompagnement. Ces deux piliers sont intrinsèquement mêlés. Mon travail se focalise sur la conception et l'usage de modèles et d'artefacts utilisés en interaction avec des processus de décision collective, mais ils doivent bien être considérés comme des éléments de dispositifs interactifs englobant.

J'aborde ces deux piliers au travers d'expériences de recherche impliquée sur des cas de gestion de l'eau. Le domaine de la gestion des ressources renouvelables et de l'eau en particulier constitue un contexte spécifique pour la compréhension et l'accompagnement des processus de décision collective. La littérature en sciences de gestion fait souvent référence à un « système client ». Il s'agit typiquement d'une entreprise. Les frontières sont alors bien identifiées. Pour les démarches impliquant une modélisation participative c'est aussi le plus souvent le cas. Rouwette et ses collègues proposent une méthode de description de ces démarches afin de mieux les comparer et les évaluer, dont un des champs est l'identification du client (Rouwette et al., 2002). Dans le domaine de la gestion de l'eau, ou des ressources renouvelables, les clients sont les acteurs « concernés », ou parties prenantes (Landry et al., 1983). La polysémie du terme en fait cependant un ensemble mal défini (Claeys-Mekdade, 2001). De plus, le « concernement » n'en fait pas des clients au même titre : quand il y a une transaction elle n'est que morale et l'hétérogénéité de cet ensemble, associée à son absence d'organisation représentative, ne permet pas d'en ressortir un interlocuteur représentatif et légitime. Une première difficulté est de pouvoir identifier ces acteurs concernés de manière pertinente, sans modifier leur concernement. Dans le cas du delta de l'Orb décrit plus haut, l'ensemble des acteurs concernés devrait inclure au minimum les agriculteurs, les écologistes, les chasseurs, les propriétaires de camping, mais aussi les élus, les usagers de la nappe souterraine localisés ailleurs et les administrations ayant en charge la gestion de cet espace. Une deuxième difficulté est la mobilité de cette population, alors que le processus de décision collective est attaché à un territoire, lié à la ressource et aux acteurs s'appropriant celle-ci à un moment donné. Les nouveaux résidents viennent avec une culture de l'eau qu'ils se sont constituée dans d'autres environnements. Ils entrent dans un processus en cours, amenant de nouveaux points de vue et enjeux. Enfin le concernement réel ou affiché évolue avec le progrès du processus de décision collective. A la première ligne directrice méthodologique de conception d'outils et de méthodes adaptés à des systèmes complexes, les spécificités liées au choix de cette thématique ajoutent une deuxième ligne directrice à mon projet de recherche.

Mon projet de recherche concerne donc les modalités d'interactions avec des processus de décision collective à propos et au sein d'hydrosystèmes. Que se passe-t-il au sein de ces processus de décision collective ? Comment peut-on les appréhender et avec quelles incidences ?

Ce mémoire est organisé comme suit. Dans une première section, je commence par quelques définitions et points de vue sur les processus de décision collective : positionnement possible

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

du chercheur vis-à-vis de ceux-ci d'une part, enjeux d'efficacité mais aussi de robustesse et de démocratie de ces processus. Je reviens ensuite dans une deuxième section sur le champ d'application spécifique de mon travail, celui de la gestion de l'eau, au travers d'une rapide présentation du contexte politico-institutionnel puis des études de cas qui ont soutenu ma réflexion au fur et à mesure de ma dizaine d'années de recherche. Cette description permettra de retenir quelques points caractéristiques des processus de décision collective en œuvre dans ce domaine. La troisième section explicite un premier exemple d'usage de modèles, avec une finalité de compréhension des processus de décision collective. Cet usage amène à présenter une démarche particulière, la modélisation d'accompagnement, développée avec plusieurs collègues sur des questions de gestion des ressources naturelles renouvelables, et occupant une place centrale dans mon travail. La quatrième section pose alors la question de la validation et de la légitimité des outils produits dans cette démarche. Cette question m'amène à introduire le jeu de rôles comme outil complémentaire aux systèmes multi-agents. L'introduction des jeux de rôles a constitué une étape centrale dans mon expérience. Elle a aussi relancé la démarche d'usage de modèles vers un deuxième objectif, l'appui à des processus de décision collective, présenté dans la cinquième section. Là encore, je développe mon analyse rétrospective à partir des études de cas que j'ai menées. Je m'intéresserai en particulier aux mécanismes en œuvre au sein d'une démarche de modélisation d'accompagnement permettant son appropriation par des parties prenantes à des processus de décision collective. Ceci m'amène à revisiter le métier d'ingénieur et la place des sciences sociales au sein des sciences de l'ingénieur. Je discute enfin dans une dernière section quelques pistes de recherche aussi bien en termes de gestion de l'eau que de décision collective sur des territoires concernés par la gestion de l'eau. Ce travail s'est accompagné d'activités d'encadrement et d'animation scientifique décrites en annexe.

1 Les processus de décision collective : efficacité, robustesse et démocratie

Outre les enjeux de gestion de l'eau, le point commun de l'ensemble de mes travaux de recherche concerne les processus de décision collective. C'est sur ce point que s'est placé l'ensemble de mes collaborations méthodologiques en particulier *via* le groupe ComMod sur lequel je reviendrai. Les modèles sont abordés pour cet enjeu de décision collective aussi bien pour la comprendre que pour la faciliter, pour autant que ces deux points de vue soient séparables.

1.1 Les processus de décision collective

Précisons dans un premier temps le type de décision collective dont il s'agit, les enjeux qui y sont attachés et le cadre de description. Il s'agit dans tous les cas de processus se plaçant dans une dynamique de définition de règles communes ou d'aménagements partagés : charte d'usage en commun de ressources ou de territoire, choix de tracé d'infrastructures routières… Ces processus de décision collective ont un objectif de convergence transcendant le processus de décision lui-même, qui va pousser vers la recherche de solutions et de compromis. Même si la définition de l'objectif fait partie du processus de décision collective et si son bien-fondé peut être remis en cause, son existence constitue un point d'irréversibilité dans le processus (Henry, 1987). Par exemple, la mise en débat de l'existence et du tracé d'une nouvelle route va constituer un point d'accroche fort pour que cette route se réalise. Le retrait ou l'arrêt vers un retour à une case départ est généralement vécu comme un échec pour tous les participants. Cet objectif va servir de label au processus de décision collective permettant de l'identifier. Il est le « méta-objet » sur lequel se construit le travail collectif (Tsoukias, 2005), l'artefact

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

constitutif du processus de décision collective (Hatchuel, 2000) auquel celui-ci s'identifie. Ce méta-objet est évolutif : d'une question d'approvisionnement en eau il peut se réorienter vers une réflexion sur la desserte de zones agricoles pour l'écoulement des productions. A un moment donné les différents participants le traduisent selon différents objets correspondant aux enjeux qu'ils portent à ce moment là, à leurs points de vue sur le monde. Par exemple, si le méta-objet est la question du choix d'une route, les objets spécifiques à chaque acteur pourront être pour l'un un enjeu de transport, et pour un autre le développement économique.
Un processus de décision collective se caractérise par la distribution entre plusieurs acteurs du contrôle sur son déroulement. Expérimentalement, Schelling a montré que seule la distribution du processus de décision collective sur plusieurs centres de décision indépendants permet de générer la complexité, les incompréhensions entre les participants, et de dépasser les limites des théories formelles classiques liées à la décision individuelle et à sa rationalité (Schelling, 1961). Quel que soit son rôle, aucun participant à un processus de décision collective n'a un contrôle sur l'ensemble du processus. De ce fait les surprises sont toujours possibles pour chaque participant. L'évolution d'un tel processus est par essence imprévisible pour chacun des participants pris isolément. En cherchant à prédire des issues de processus de décision collective complexes tel que des conflits dans le mode du travail, Green a également pu montrer que la prévision n'était possible qu'en reproduisant une distribution de l'intelligence dans un jeu de rôles avec des étudiants (Green, 2002). Cette caractéristique des processus de décision collective m'a amené à faire l'hypothèse qu'ils pourraient être mieux appréhendés par des outils mettant également en œuvre une intelligence distribuée.

Une société est constituée d'un ensemble d'individus en interaction dans un cadre de normes, de conventions sociales partagées et d'équipements ou de biens collectifs. Pour ce qui nous intéresse, ce cadre de normes, de conventions et d'équipements partagés va essentiellement faciliter ou freiner, voire obliger ou interdire, certaines interactions. Il va également limiter ou orienter ce qu'elles abordent. Ce cadre est dynamique et les interactions existantes peuvent le faire évoluer.

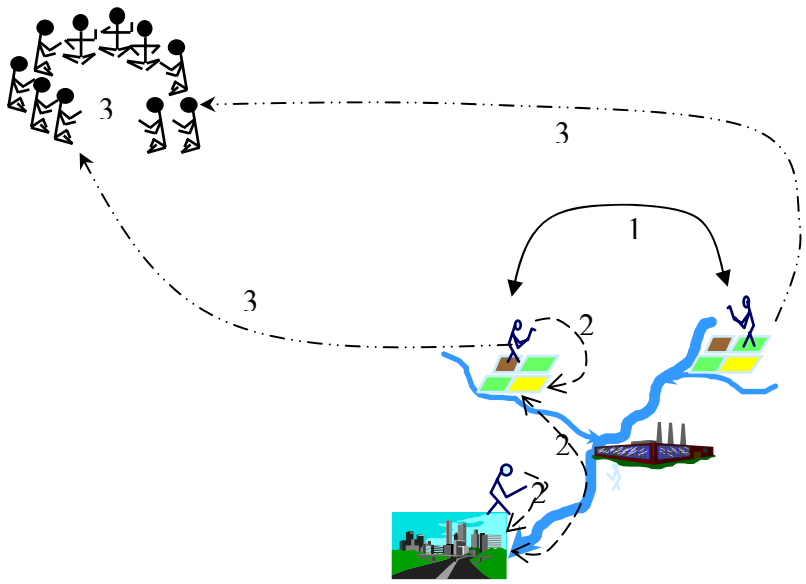

Figure 1 : trois types d'interactions. (1) interactions directes, (2) interactions indirectes via l'environnement, (3) interactions indirectes via le collectif

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

On considère comme interactions des relations entre deux individus A et B, pour lesquelles des choix, actions, changements d'état[1] de l'un induisent une réaction de l'autre sous forme de choix, d'actions et de changement d'état ou de point de vue. On identifie trois types d'interaction, illustrées dans la figure 1, en fonction de la voie qu'elles prennent :

- directe, si B est destinataire de l'action de A, ou si B est informé directement du choix ou du changement d'état de A,
- indirecte, via l'environnement, si B perçoit dans l'environnement les conséquences des choix, des actions ou des changements d'état de A,
- indirecte, via le collectif, si B est concerné par les choix, actions ou changements d'état de A via un collectif dont ils sont tous deux membres.

Je vais maintenant décrire deux points de vue possible sur ces processus de décision collective, embarqué ou analyste, puis le point de vue mis en pratique dans ce travail. Le point de vue embarqué consiste à assumer notre implication dans le système, à se considérer comme partie prenante du processus et à suivre sa dynamique. Le point de vue analyste consiste à tenter de s'extraire du processus pour le regarder de l'extérieur, de manière la plus neutre possible. Le point de vue embarqué est dans le flot, le point de vue analyste observe le flot depuis la rive.

1.1.1 Point de vue embarqué : le processus de décision se construit vers un objectif commun

Parmi les interactions en cours au sein d'un territoire ou autour d'une ressource, une partie seulement participe à la construction et au progrès d'un processus de décision collective vers son objectif. Elles peuvent également faire évoluer les objectifs des processus de décision collective en cours, en particulier en requalifiant les enjeux ou en précisant les problèmes que le processus est censé résoudre. Plusieurs flots d'interactions peuvent intervenir en parallèle et impliquer des acteurs ou des objets en commun. Ce partage d'acteurs ou d'objets entre des flots d'interactions couple les processus de décision. L'ensemble des interactions ayant participé à un processus de décision collective ne peut alors être identifié que *ex post*. Un processus de décision collective a la capacité de s'auto-définir (Hatchuel, 2000) et ne peut donc être isolé que a posteriori en fonction des interactions qui ont été mises en œuvre.
Par exemple, les processus de décision collective en œuvre pour la gestion de l'eau impliquent souvent des représentants. Ces représentants se retrouvent en interaction avec d'autres représentants, avec lesquels ils peuvent avoir d'autres interactions en cours, qui n'ont rien à voir sur le fond, mais dont la qualité peut influer sur celles liées aux enjeux de gestion de l'eau. Les individus portant ces rôles de représentant peuvent alors porter plusieurs rôles et jouer plusieurs jeux simultanément (Innes & Booher, 1999). Ainsi dans une réunion publique de consultation pour des enjeux de gestion de l'eau, un élu animant le débat va demander à un intervenant de préciser s'il parle en tant que technicien du service technique d'une commune ou en tant que membre d'une association écologique. Ces doubles casquettes ne sont pas toujours bien identifiées et conduisent à des contradictions apparentes pour un individu donné.

Un point de vue embarqué sur les processus de décision collective consiste à poser le travail du chercheur à propos du système qu'il étudie comme un flot d'interactions supplémentaire, *a priori* en interaction avec les autres. Ce travail va ainsi participer à la redéfinition des processus de décision collective en cours. Inversement les processus de décision collective en cours peuvent amener à faire évoluer le processus de recherche. Ce point de vue est nécessairement chemin faisant. Il accepte la perméabilité entre un travail de recherche ou

[1] Incluant des changements de points de vue.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

d'expertise et son objet et vise à poser les conditions pour gérer cette perméabilité et en tirer profit.
D'un point de vue embarqué, l'objectif d'un processus de décision collective n'est pas toujours explicite, ni pour les acteurs ni pour le chercheur. Les interactions composant un processus de décision collective peuvent faire partie séparément d'autres processus de décision collective tout en en construisant de fait un autre. L'objectif se construit au fur et à mesure du processus de décision collective et donc au fur et à mesure du travail du chercheur impliqué qui interagit avec ce processus de décision collective. Ceci pose alors des questions sur le suivi de ces processus et les modalités d'ouverture des processus de décision collective propres au travail de recherche pour les rendre adaptés aux évolutions du système sur lequel ils portent tout en gardant un objectif de cohérence. Quels outils de suivi, quelles modalités de mise en œuvre d'une réflexivité sur les incidences des interactions entre processus de recherche et autres processus en cours ?
Ce point de vue permet d'être plus proche des mécanismes propres à la dynamique d'un processus de décision collective, pour les comprendre ou pour les « faciliter ». Les différentes phases de mise sur l'agenda, de recherche de solution, de négociation ne sont pas distinguées a priori par ce point de vue : elles émergent du processus en construction.

1.1.2 Point de vue analyste : le processus de décision comme point de vue sur un ensemble d'interactions

Le point de vue analyste cherche au contraire à se dégager des interactions avec les processus de décision collective qu'il étudie. Il s'agit d'identifier les interactions participant à un processus de décision collective, caractérisé par un objectif affiché. Par exemple pour un enjeu de constitution de règles communes de partage de l'eau, il s'agit d'identifier l'ensemble des interactions ayant conduit ou conduisant à la définition et à la mise en œuvre de ces règles communes. Il s'agit aussi bien d'interactions formelles, en salle de réunion en Préfecture, que d'interactions informelles sur le terrain face à un problème particulier tel que le désamorçage de pompe : les accords se font autant dans l'action qu'intellectuellement (Zask, 2000).
Ce point de vue correspond le plus souvent à un positionnement *ex post*. Il permet de constituer des références de processus de décision collective et de pouvoir les décrire. Il a aussi une portée opérationnelle : faciliter la convergence de ces processus de décision collective, améliorer certaines de leurs caractéristiques, en comprendre les enjeux implicites tels que la redistribution de pouvoirs ou les effets secondaires qu'ils soient positifs ou négatifs. Ces analyses amènent en particulier à étudier l'organisation temporelle et l'implication de parties prenantes dans le processus de décision. Leurs résultats donnent des outils de suivi pour le point de vue embarqué.

L'analyse de l'organisation temporelle comporte trois dimensions : l'organisation en phases, l'enchâssement temporel de processus de décision collective hiérarchisés, l'identification de points d'irréversibilité. D'un point de vue d'analyste, un processus de décision collective est découpé en phases permettant d'identifier quelles sont les interactions qui le composent ayant favorisé son avancée. Cette identification est supposée favoriser ces interactions dans d'autres processus de décision collective. Il existe plusieurs découpages en phases. Par exemple dans une démarche patrimoniale, bien adaptée aux cas de gestion des ressources renouvelables, un processus de décision collective comporte une phase d'identification commune d'un problème, une phase de définition d'un objectif commun, une étape de ritualisation, une phase de recherche de solutions possibles et une phase de choix (Babin et al., 1999; Ollagnon, 1989).
Un autre découpage temporel correspond à une hiérarchie de processus de décision collective enchâssés. Ce type de découpage est en particulier proposé par l'analyse institutionnelle

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

(Ostrom, 2005). Chaque niveau temporel correspond à des choix contraignant ceux faits à un niveau inférieur tant qu'il n'a pas été remis en question par ces derniers. Ainsi on identifie pour la gestion des ressources naturelles en propriété commune trois niveaux (Ostrom, 1990) :

- un niveau ***constitutionnel*** définissant la manière dont les processus de décision collective peuvent être conduits (qui a droit de participer, quelles sont les modalités de participation…),
- un niveau ***stratégique*** définissant les règles d'action collective dans le cadre des procédures définies au niveau supérieur ci-dessus,
- un niveau ***opérationnel*** définissant la mise en œuvre de ces règles.

Ce type de découpage permet de qualifier les différents flots d'interactions intervenant dans un choix collectif donné. Les outils visant à faciliter un processus de décision collective à un niveau ou un autre peuvent alors être mieux ciblés. Les interactions à un niveau donné sont étudiées séparément, ainsi que leur action en retour sur le niveau les enchâssant.
Les deux découpages précédents permettent d'identifier des effets de palier et des irréversibilités. Un accord sur une première phase est coûteux à remettre en cause. Un choix constitutionnel est censé se maintenir un temps long devant la répétition des choix stratégiques ou opérationnels. La séparation en phase, si elle est constituée en objectifs intermédiaires, explicite des points de non retour tout en en précisant *a priori* la nature. Les choix collectifs faits à un niveau contraignent les choix faits au niveau temporel enchâssé *via* un effet de cadrage de ceux-ci. Un enjeu important de ce point de vue d'analyste sur les processus de décision collective est de rendre explicite les points d'irréversibilité. Ce sont en effet des moments clé, qu'il est important de pouvoir identifier, même dans une approche moins distanciée, afin d'en assumer les conséquences.
Outre l'organisation temporelle, ce point de vue analyste permet aussi une bonne identification des intervenants dans le processus. Cette analyse est d'autant plus importante dans le contexte actuel de mise en œuvre d'approches participatives. Quelles sont les parties prenantes réellement impliquées par rapport à celles potentiellement concernées ou ayant mandat dans les processus de décision collective ?

Ce point de vue analyste tend vers des points de vue normatifs sur les processus de décision collective. A partir de l'analyse de processus de décision collective passés, la littérature propose plusieurs formes d'organisation de processus de décision collective : approche patrimoniale (Ollagnon, 1989), Evolutionary System Design (Shakun, 1996), une multitude de processus participatifs (Gregory, 2000). Ces points de vue normatifs peuvent être procéduraux ou organisationnels. Ils posent des contraintes ou organisent la mise en œuvre des micro interactions pour atteindre la convergence du processus tout en respectant certaines règles (par exemple participation du public) et en visant certains objectifs (limitation de la durée du processus, robustesse de son résultat…).
Dans tous les cas, la mise en œuvre de ces propositions normatives nécessite l'existence d'un pilote se trouvant hors du processus, qui identifierait les étapes, organiserait les débats, inviterait les participants… Dès qu'on se place dans une analyse chemin faisant, ce pilote ne peut plus être considéré comme externe, avec le point de vue d'analyste qu'on lui prête. Dans un processus de décision collective dont il est objet en sciences de gestion, c'est-à-dire, un processus de décision collective qui accepte d'être inséparable de la pensée sur lui-même, l'analyste trouve sa place (Hatchuel, 2000). Il a nécessairement un point de vue embarqué qu'il convient de rendre explicite et de prendre en compte, car il génère un apprentissage au sein du processus même qu'il analyse et dans lequel il intervient. Cet apprentissage fait partie de la dynamique même de ce processus (Hatchuel, 2000). Il y a ainsi une complémentarité à exploiter entre ces deux points de vue.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Cependant l'hypothèse constitutive de ce point de vue analyste, possibilité d'une position en surplomb indépendante du système observé, doit être vérifiée, au risque de générer des irréversibilités *via* des interactions non maîtrisées avec des processus de décision collective en cours dans le système étudié.

1.1.3 Point de vue retenu sur les processus de décision collective

La gestion des ressources naturelles met en scène de nombreux processus de décision collective, souvent finalisés, avec des objectifs donnés et explicites. Ils font intervenir de multiples flots d'interactions hétérogènes. Ces interactions peuvent avoir lieu à des niveaux d'organisation différents, et avoir différents niveaux d'implication explicite dans le processus de décision. Elles peuvent également faire émerger des choix collectifs pouvant *a posteriori* seulement être analysés comme des décisions clé. Je retiendrai un point de vue sur les processus de décision collective ne se contraignant pas à l'existence d'une finalisation. De la même manière que l'identification d'un début est difficile, l'identification de la fin d'un processus de décision collective est un point de vue externe délicat. Les processus de décision collective considérés dans la suite ne sont clos ni du point de vue de leurs enjeux, ni dans le temps. Ce sont des extraits de flots de processus d'interactions, en fonction d'un point de vue particulier et sur une période donnée.

Les interactions composantes d'un processus de décision collective peuvent être ciblées sur celui-ci (procédures d'enquête publique par exemple) ou non (effets secondaires d'autres interactions telle que la participation conjointe à un même club sportif d'un dirigeant d'entreprise et d'un élu local). Ce qui émerge du processus de décision n'est pas toujours aussi aisé à identifier : même si des irréversibilités se mettent en place au fur et à mesure du processus, modifiant les évolutions possibles, les choix faits à un moment donné peuvent être remis en cause.

Je propose donc de retenir la définition suivante, proposée par Jacques Weber : processus d'interactions entre des acteurs individuels et/ou collectifs hétérogènes du point de vue de leur poids politique et de leurs représentations du monde (Weber, 1995).

Enfin, étant dans une activité de recherche impliquée dans des processus de décision collective, une posture de recherche explicitement embarquée dans ces processus de décision collective est nécessaire. Il s'agit au minimum d'une raison éthique qui pousse à expliciter d'où on parle et dans quel contexte. Il s'agit de généraliser la proposition de Laurent Mermet demandant à ce qu'un chercheur travaillant sur de l'analyse stratégique précise d'où il parle (Mermet et al., 2005) : toute intervention impliquée dans un processus de décision collective devrait voir précisée la posture du ou des chercheurs impliqués. Le bénéfice des travaux complémentaires ayant un point de vue d'analyste vient nourrir le point de vue embarqué en lui donnant les moyens de mieux contrôler au moins en partie les incidences *a priori* de ses interactions avec le processus de décision collective et de mieux observer ce qui se passe dans le flot qui l'entoure.

1.2 Enjeux d'évaluation des processus de décision collective dans ce contexte

Je considère trois dimensions d'évaluation des processus de décision collective : efficacité, démocratie et robustesse. Ces trois dimensions rejoignent celles proposées par (Driessen et al., 2001). Les deux premières sont explicitement mentionnées par ces auteurs. L'efficacité est la capacité du processus à « prendre des décisions » pour améliorer la situation ou se rapprocher de son objectif. La démocratie n'est pas nécessairement un enjeu de décision collective. Sa mise en avant par la plupart des cadres normatifs proposés dans la littérature conduit

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

cependant à en faire un enjeu à part entière et non une simple condition aux deux autres dimensions de l'évaluation. La robustesse concerne la mise en œuvre en pratique des « décisions » apparues au cours du processus de décision. Elle rejoint ainsi la troisième dimension de (Driessen et al., 2001) qui porte sur l'évolution du processus de décision. Il s'agit d'un point de vue dynamique sur le processus de décision collective visant à comprendre d'une part la capacité à la mise en œuvre des produits du processus et d'autre part l'adaptabilité de ce processus à l'évolution de son contexte.

1.2.1 Enjeu d'efficacité du processus de décision

Dans le point de vue retenu sur les processus de décision collective, cette efficacité est réinterprétée dans la capacité des processus de décision collective à gouverner un système, c'est-à-dire à produire des règles, effectuer des actions collectives, concevoir des aménagements… Cette efficacité peut se mesurer notamment par un temps nécessaire pour réagir à l'apparition d'un problème, ou par l'absence d'apparition de problèmes.

1.2.2 Enjeu de robustesse du processus de décision :

L'enjeu de robustesse correspond aux deux questions suivantes : les choix collectifs faits au cours d'un processus de décision sont-ils (1) mis en œuvre en pratique, (2) stables sur une période de temps grande devant leur élaboration ? Cela revient à évaluer la légitimité accordée au résultat d'un processus de décision collective et son « institutionnalisation ». Quelle est la capacité d'un processus de décision collective à produire des institutions durables ? Par institution durable, j'entends des institutions auxquelles les acteurs peuvent se référer dans leurs pratiques individuelles ou dans d'autres processus de décision collective dépendant de ces institutions. Cet enjeu de robustesse vise à préciser quel niveau d'organisation temporel (opérationnel, stratégique ou constitutionnel) est effectivement atteint par les conséquences du processus de décision collective. Le niveau ainsi atteint est-il cohérent avec les objectifs du processus de décision collective du point de vue des acteurs qui y participent ? Cet enjeu de robustesse dépend de l'acceptation d'un choix collectif par les acteurs concernés par la mise en œuvre de ce choix et par ses conséquences et de l'évolution de cette acceptation.

Dans les systèmes complexes et en situation d'incertitude radicale, les démarches post-normales (Funtowicz et al., 1999; Funtowicz & Ravetz, 1993) proposent une implication large des acteurs dans les processus de décision afin d'asseoir son acceptation. La décision elle-même peut être difficile à comprendre hors de son contexte de construction, participer à sa construction la rend plus transparente sur ses hypothèses, ses atouts et ses limites.

1.2.3 Enjeu de démocratie

L'implication des acteurs n'est pas mise en œuvre uniquement dans un but d'améliorer l'efficacité ou la robustesse d'un processus de décision collective. Elle correspond aussi au développement d'un paradigme de démocratie participative visant à plus donner la parole aux parties prenantes. Ce n'est plus un moyen d'arriver à des choix collectifs plus efficaces et plus robustes, mais une valeur en soi de donner la parole aux acteurs concernés, s'ajoutant aux mécanismes de représentation électifs représentatifs habituels. Cette implication des acteurs comprend les procédures de participation du public mais ne se limite pas *a priori* à celles-ci.

Je ne cherche pas à discuter dans ce mémoire du bien fondé de l'hypothèse de l'importance de ces trois enjeux pour les processus de décision collective. Mon propos est plutôt d'explorer les questions posées par leur mise en œuvre : qu'est-ce qui se passe lors de processus de décision collective impliquant des parties prenantes, quels outils et méthodes peuvent faciliter cette mise en œuvre. Cette exploration se fait sur un cas particulier de processus de décision

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

collective concernant la gestion de l'eau et sur l'usage de modèles sous quelque forme qu'ils soient.
Elle est détaillée au travers de mon expérience sur différents enjeux de gestion de l'eau. Elle s'appuie sur le développement de modèles, essentiellement basés sur des systèmes multi-agents, pour comprendre des processus de décision collective. Les questions de validation de ces modèles m'ont amené à les utiliser de manière interactive, puis vers une facilitation des processus de décision collective, et enfin à m'intéresser à l'évaluation de cet usage interactif de modèles.

2 Un champ d'application spécifique : la gestion de l'eau

La principale thématique abordée pour travailler ces questions de processus de décision collective a été la gestion de la ressource en eau : en partant des enjeux propres à l'irrigation, puis en ouvrant à d'autres usages et enjeux de la gestion de l'eau tels que les enjeux de qualité et d'inondation. Dans tous ces travaux, la place de l'agriculture et du monde rural est toujours restée présente.
Avant de présenter les différentes dimensions des processus de décision collective concernant la gestion de l'eau, avec leurs divers usages et enjeux, je rappellerai quelques éléments du contexte politico institutionnel de la gestion de l'eau.

2.1 Contexte politico-institutionnel

Les politiques de l'eau en France et dans le monde ont connu une évolution commune à la fin du 20ème siècle vers une meilleure prise en compte des espaces de l'eau, vers une plus grande prise en compte du milieu naturel, vers une gestion plus décentralisée et vers une plus grande implication des acteurs. En France cette évolution est apparue notamment dans la loi pêche de 1984 puis dans la loi sur l'eau de 1992. Ces lois ont respectivement mis en place les contrats de rivière et les SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux). En Europe, la Directive Cadre sur l'Eau de 2000 a généralisé la gestion de l'eau sur des territoires définis par l'hydrographie et a mis en avant les enjeux de qualité des milieux aquatiques. Elle a également introduit l'implication du public pour se conformer à la convention d'Aarhus de 1998 qui vise à développer l'accès au public à l'information détenue par les autorités publiques et à faciliter la participation du public à la prise de décisions ayant des incidences sur l'environnement. Dans le monde, de nombreux pays ont mis en place des réformes allant dans ce sens au moins pour certaines de ces dimensions.

2.1.1 En France, les SAGE et contrats de rivière

Les SAGE et contrats de rivière ont en commun de mettre en place des institutions locales, territorialisées à l'échelle d'un bassin versant ou d'une partie de bassin versant, impliquant les acteurs locaux dans la mise en œuvre d'objectifs de gestion de l'eau définis localement.
Le SAGE correspond à un plan pour le bassin versant, négocié par des représentants de l'ensemble des parties prenantes concernées et des administrations locales et nationales concernées, constitués en Commission Locale de l'Eau (CLE). Les contrats de rivière rassemblent en un programme des actions destinées à valoriser un bassin versant. Ils donnent lieu à engagement contractuel. Ils sont négociés localement et signés entre les partenaires concernés : préfet(s) de département(s), Agence de l'Eau et les collectivités locales. Même si il y a décentralisation réelle *via* la mise en place d'institutions et d'arènes locales de concertation pour la gestion de l'eau (Commission Locale de l'Eau – ou CLE – et Institutions de bassin avec leurs divers comités et commissions), l'Etat reste fortement présent :

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

- pour le SAGE c'est le préfet qui entérine les décisions et leur mise en œuvre est fortement encadrée par la loi sur l'eau de 1992, en particulier la composition de la CLE, le périmètre concerné et les étapes à suivre ;
- pour le contrat de rivière, la marge de manœuvre est plus grande et la décentralisation est plus importante. Par contre le cadre territorial doit également avoir une logique hydrographique et les choix faits dans ce cadre n'ont pas de portée juridique.

De fait ces deux instruments sont souvent considérés comme complémentaires, le SAGE apporte la portée juridique et le contrat de rivière la possibilité de mettre en œuvre les moyens nécessaires, en particulier financiers, pour mener à bien les objectifs du SAGE.

La nécessité d'une prise en compte du milieu naturel, et notamment des effets des usages de l'eau sur celui-ci, demandant une gestion équilibrée de la ressource en eau, est croissante avec le temps depuis la loi pêche de 1984 jusque la directive cadre européenne sur l'eau de 2000 en passant par la loi sur l'eau de 1992 (Bouleau & Barthélémy, 2006).

2.1.2 La DCE

La directive cadre sur l'eau européenne (DCE) met un fort accent sur la qualité des milieux. Elle pose un objectif de bon état écologique des cours d'eau pour 2015, et soulève en particulier la question des indicateurs pour qualifier ce bon état et évaluer l'état d'une « masse d'eau ». La DCE, de la même manière que la loi sur l'eau de 1992, a introduit deux échelles : les districts et les masses d'eau. Les districts correspondent aux grands bassins hydrographiques. Les masses d'eau correspondent à une subdivision des districts hydrographiques délimitant des espaces homogènes du point de vue des enjeux qu'ils portent, pertinents pour la mise en œuvre de la directive et correspondant à une portion significative d'un aquifère ou d'une entité d'eau de surface (lac, rivière). La caractérisation des masses d'eau peut se faire par groupes de masses d'eau, et ainsi correspondre à l'échelle des SAGE en France.

Dans la DCE, la décentralisation et la plus grande implication des acteurs se font en donnant une autonomie d'objectifs et de définition des moyens pour atteindre ces objectifs au niveau de chaque masse d'eau d'une part, et en posant la nécessité d'une consultation du public dans un article spécifique (art. 14). Cette autonomie est cependant contrainte par le méta-objectif de la DCE qui est celui de bon état écologique, duquel, sauf dérogation, les objectifs de chaque bassin doivent être une traduction adaptée aux conditions locales. Une communauté n'est pas autorisée pour le territoire qui la concerne à ne pas viser un bon état écologique. Si les conditions initiales sont très défavorables, elle doit au minimum aller dans cette direction. Son autonomie est ainsi limitée par la prise en compte des intérêts supposés de générations futures.

2.1.3 Conséquences pour les processus de décision collective concernant la gestion de l'eau

Même si elles ne contraignent pas complètement les processus de décision collective dans la pratique, ces évolutions du contexte politico institutionnel les influencent. Certaines interactions peuvent ainsi être :

- renforcées : interactions entre les usagers institués du fait de l'accent mis sur les mécanismes de représentation, interactions inscrites dans le territoire, interactions avec le milieu naturel, interactions ciblées sur l'eau que ce soit quantitatif ou qualitatif ;
- « diminuées » : interactions distantes (en particulier celles provenant de l'extérieur du bassin et amenant à prendre en compte des enjeux de solidarité interbassin), interactions ciblées sur le développement.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

On peut attendre de cette dynamique un renforcement de l'émergence de règles faisant fi de critères de solidarité sur des territoires plus larges que celui de la masse d'eau ou du bassin versant. On peut aussi s'attendre à des règles de gestion fonction de critères dictés par l'état des connaissances sur la ressource. Alors que la solidarité avec les générations futures contraint l'autonomie d'une communauté sur son bassin ou sa masse d'eau, la solidarité avec les communautés des masses d'eau voisines est plutôt freinée. Alors que l'eau est un moyen pour vivre et se développer, elle devient un objectif en tant que tel devant déterminer les choix de développement.

2.2 Enjeux de gestion quantitative pour l'irrigation.

J'ai commencé par aborder les enjeux quantitatifs *via* la gestion de l'irrigation par elle-même. Il s'agit d'un enjeu de partage d'une eau rare au sein d'un secteur avec une bonne connaissance et un bon contrôle de la disponibilité. J'ai ensuite abordé la gestion des étiages, et plus précisément l'organisation d'un secteur pour se partager une eau rendue rare par la prise en compte d'autres besoins en situation d'incertitude et de faible contrôle sur la disponibilité.

2.2.1 Au sein de périmètres irrigués

Mon intérêt pour les processus de décision collective est venu avec mes travaux sur les périmètres irrigués collectifs dans la vallée du fleuve Sénégal. En DEA, j'identifiai les pratiques individuelles des irrigants comme fortement imbriquées dans des faisceaux de règles collectives. Je continuai alors en thèse, au sein de l'UR GREEN au Cirad, sur les modes de coordination entre ces irrigants (Barreteau, 1998). Le contexte au Sénégal à l'époque (début et milieu des années 90) est celui de la décentralisation et du désengagement de l'Etat. Ce contexte a également amené une plus grande implication des acteurs.
Les périmètres irrigués génèrent *a priori* des situations assez simples : les problèmes que l'on peut y rencontrer sont mono-enjeu et mono-ressource. Cette simplicité du point de vue de la ressource en eau était amplifiée sur mes terrains car les périmètres irrigués sur lesquels je travaillais étaient de surcroît en monoculture de riz. J'avais donc affaire à un système bien identifié :

- des limites géographiques marquées par l'extension des canaux et des digues entourant les parcelles,
- un enjeu d'organisation du partage d'une ressource en eau pompée en quantité limitée dans le fleuve Sénégal,
- un partage du territoire sur le mode une parcelle/un agriculteur.

La situation de faibles niveaux de production au regard des attentes ayant justifié l'aménagement de ces périmètres, ainsi que leur faible taux d'utilisation, conduisaient cependant à se poser des questions. Les modes de coordination entre usagers de ces périmètres constituaient une hypothèse d'exploration de ces dysfonctionnements.

J'ai pu comprendre au cours de ce travail l'importance et la multiplicité des modes d'interaction entre les agriculteurs irrigants dans leurs pratiques de gestion de l'eau :

- interactions au sein des groupements institués, tels que ceux ayant en charge la mise en œuvre d'un tour d'eau sur une maille hydraulique, ou ceux ayant en charge la gestion du crédit ;
- interactions directes entre les agriculteurs, telles que des échanges ou des partages de tour d'eau ou encore des prêts, du travail ou des services ;
- interactions indirectes via le milieu naturel tel que la disponibilité de l'eau à l'aval d'un canal bien sûr, mais aussi et surtout via l'état du canal dépendant de la

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

participation de chacun à son entretien ou via la disponibilité du crédit dépendant du niveau de remboursement de chacun.

On retrouve là les trois types d'interactions identifiées dans le chapitre précédent, à partir d'un point de vue d'analyste sur les processus de décision collective en œuvre au sein de ces systèmes irrigués.
J'ai également identifié des contraintes externes aux systèmes irrigués ayant des conséquences sur les comportements des agriculteurs irrigants. L'importance de ces contraintes externes remet en question la pertinence du territoire périmètre irrigué pour travailler sur les processus de décision collective en œuvre à propos de l'irrigation. Ce que je considérais initialement comme des contraintes aux pratiques des agriculteurs sur leur parcelle irriguée constitue en fait des interactions hors du processus de décision collective tel que je l'avais défini. Il s'agit par exemple de la disponibilité en temps liée à d'autres activités. Certains agriculteurs peuvent ainsi être présents sur leur parcelle soit tous les jours quelques heures, soit seulement un jour plein par semaine, ou de manière aléatoire. L'effet de ces « contraintes » est d'autant plus fort que la culture de la parcelle concernée n'est pas prioritaire par rapport aux activités concurrentes. Il s'agit également de besoins de récolte pour raccourcir une période de soudure[2]. Ainsi, même dans un contexte aussi ciblé que celui de l'irrigation en périmètre irrigué, les interactions ont lieu entre des acteurs hétérogènes et dépendent de cette hétérogénéité. Celle-ci se retrouvait aussi dans les statuts sociaux des agriculteurs ou dans leurs objectifs de mise en œuvre de leur parcelle. Le travail mené a essentiellement eu un point de vue d'analyste, conduisant à la production de représentations de ces systèmes irrigués visant à mieux les comprendre. Ces différentes sources d'hétérogénéité rendent intéressant un travail avec un point de vue embarqué sur les processus de décision collective car elles ouvrent des perspectives d'arrangement mutuel : une intervention peut alors viser à faciliter la compréhension mutuelle et la recherche des avantages mutuels possibles.

2.2.2 En interaction avec d'autres usages, au sein de bassins versants

Après la thèse, mon premier terrain d'investigation a été celui du bassin versant de la Drôme, dans le Sud Est de la France. Ce terrain m'a conduit à appréhender des situations de gestion de l'eau à propos de l'irrigation, mais cette fois dans les limites floues de la plaine aval d'un bassin versant, et en interaction avec d'autres usages. L'irrigation reste le seul usage quantitatif considéré, et correspond dans la réalité à 80% des prélèvements.
Le bassin versant de la Drôme a été au début des années 90 le théâtre de la mise en place, puis de la signature, du premier SAGE, en application de la loi sur l'eau de 1992. Ce SAGE comporte six axes dont un sur la gestion des étiages, ciblé sur la partie aval du bassin. Pour cet axe, le processus de décision collective interne à la CLE a résulté d'une part sur le choix d'un débit minimum à l'aval à respecter de 2,4 m^3/s, et d'autre part sur la recherche et la mobilisation de ressources complémentaires pour un soutien d'étiage. Le débit minimum est mesuré au lieu dit « Les Pues » sur un seuil construit dans le cadre du SAGE. Les scénarios de ressources complémentaires sont explorés par la CLE.
L'intervention du Cemagref s'est faite selon un point de vue embarqué en appui à la Communauté de Communes du Val de Drôme (CCVD), organisation en charge de la mise en œuvre des objectifs du SAGE. Nous avions pour mandat d'aider le secteur agricole irrigué, principal utilisateur de l'eau, à trouver des modalités de partage de la ressource en eau permettant d'atteindre l'objectif de débit minimum auquel ils avaient adhéré. Nous devions pour cela considérer différents scénarios de ressources complémentaires proposés par la CCVD. Nous sommes donc intervenus en nous insérant dans un flot d'interactions au sein du

[2] Période entre la fin de la consommation de la récolte de l'année n-1 et le début de la récolte de l'année n.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

secteur agricole et entre des acteurs du monde agricole et la CLE. Même si j'étais en situation d'interaction privilégiée avec le secteur agricole, et malgré mon lien fort au Ministère de l'Agriculture, je suis resté perçu par le secteur agricole comme proche de la CCVD, et donc d'une vision du développement du territoire prenant en compte de manière forte le milieu naturel.
Ce cas présente également un enjeu unique : le partage d'une ressource en eau limitée, celle provenant de la rivière Drôme. Cependant le passage à une logique de bassin versant a conduit :

- à prendre en compte, même si ce n'est qu'indirectement, les besoins en eau des autres acteurs concernés (pêche, tourisme et environnement) ;
- à considérer plusieurs sources possibles (ressources complémentaires venant d'autres bassins, retenues collinaires), permettant aux agriculteurs de jouer sur plusieurs tableaux et d'avoir plusieurs voies d'interaction même via le vecteur « eau » ;
- à ouvrir les interactions à d'autres acteurs que les agriculteurs avec le rôle important de la CCVD, la collectivité locale assurant le secrétariat de la CLE, qui pourrait par exemple prendre un rôle de conseil ou de soutien à l'innovation technique ;
- à appréhender l'enjeu « choix des cultures » comme une entrée importante pour la gestion de l'eau.

Ce dernier point est un premier pas vers la relativisation de la notion de sécheresse, dépendant des usages, mais aussi des modes d'appropriation de la ressource (Aguilera-Klink et al., 2000). L'acceptation de la relativité de la notion de sécheresse permet d'aborder les questions de partage de l'eau non plus sur le mode strictement concurrentiel mais vers la recherche d'alternatives aux usages courant ou aux modes d'organisation et d'appropriation de la ressource.
Même si la gestion par bassin versant implique concertation et participation, notre intervention s'est trouvée embarquée au sein d'un flot d'interactions concernant principalement le secteur agricole. Nous sommes restés de fait dans une situation de concurrence sur l'usage de la ressource et non de définition de politique en commun.

2.3 Autres enjeux

La gestion de la rareté de l'eau, en périmètre irrigué ou en rivière, correspond à des processus de décision collective avec peu de sources d'incertitude. Même si l'eau disponible à l'amont du bassin versant est mal connue, si les politiques gouvernant le secteur de l'agriculture et de l'irrigation en particulier sont en situation de changement et induisent une incertitude pour les agriculteurs, la conservation de l'eau est rarement remise en cause. S'il y a un prélèvement en un point de la rivière, c'est autant d'eau non disponible pour un point situé plus à l'aval ou pour d'autres usages. L'incertitude réside plus dans les conditions de transfert (temps et diffusion) et dans la réalité des prélèvements.
Je me suis également intéressé à des situations où il y a une incertitude plus importante sur les processus, avec les problèmes de pollution diffuse, et une incertitude sur l'ampleur voire l'existence d'un évènement, avec les enjeux de gestion des risques liés aux inondations.
Outre ce changement relatif à l'incertitude du contexte des processus de décision collective, ces autres enjeux ont la caractéristique de ne pas présenter explicitement de « gâteau à partager », mais des contraintes ou des effets externes à maîtriser en commun.

2.3.1 Pollutions diffuses et qualité de l'eau

L'élargissement aux questions de pollutions diffuses s'est fait sur le bassin du Taurou, affluent de l'Orb au nord de Béziers. Nous sommes intervenus avec un point de vue embarqué suite à l'invitation du Syndicat Mixte de la Vallée de l'Orb (SMVO), institution en charge du

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

contrat de rivière du bassin de l'Orb. Il s'agissait dans le cadre du projet de recherche européen FIRMA[3], de tester l'intérêt et les implications de la co-construction, avec des acteurs de la gestion de l'eau, de modèles devant impliquer des usagers dans la gestion qualitative de la ressource en eau. L'enjeu affiché concernait la maîtrise des pollutions diffuses liées à la monoculture de la vigne rendant impropre à la consommation un point de captage d'eau potable d'une ville située à l'aval de ce bassin. Nous avons traduit cet enjeu dans la question de l'identification des pratiques et des viticulteurs plus ou moins en cause dans cette dégradation de la qualité de l'eau au point de captage. Même à l'échelle d'un petit bassin versant, les pratiques sont variées, les contextes physiques dont dépendent les transferts des conséquences des pratiques vers le point de captage également. Enfin il y a rarement de concertation sur une maîtrise commune des effets collectifs des produits phytosanitaires mis sur la vigne. Des travaux à l'interface entre hydrologie et sciences du sol ont été développés sur ce thème (Gascuel-Odoux, 2006; Louchart et al., 2000), mais ils restent peu connus au niveau des acteurs locaux hors des zones test. Par contre il s'agit d'une thématique pour laquelle des acteurs hors du secteur et non directement impliqués dans l'activité en cause cherchent à provoquer du changement (Benoît, 2001; Salles et al., 2006), parce qu'ils sont concernés :

- par les conséquences (commune à l'aval dont la qualité du captage est dégradée),
- par l'image des produits issus de ce secteur (grande distribution),
- par la protection de l'environnement (DIREN),
- par l'activité de la filière (conseil agricole).

Une autre spécificité par rapport aux enjeux d'irrigation est l'absence d'effet d'exclusion directe : l'eau devient un vecteur et n'est pas consommée lors de son usage. Alors que l'eau prélevée par un agriculteur à l'amont n'est plus disponible physiquement pour un agriculteur à l'aval, la dégradation de la qualité de l'eau par un agriculteur résultant de son usage de produits phytosanitaires, n'empêche en rien un autre agriculteur d'en faire autant. Seule pourrait être partagée la marge de manœuvre entre l'absence de produits phytosanitaires dans l'eau et le seuil maximum toléré fixé par une norme. Cependant le cumul des contributions à la pollution diffuse n'est pas une simple somme, mais doit prendre en compte le transfert jusqu'à la rivière ou la nappe puis au point de captage où est mesurée la qualité de l'eau. Les effets de ces transferts dépendent des hétérogénéités de l'espace. Dans ce contexte, des comportements égoïstes sont possibles mais leur contribution est incertaine. En l'absence de sanctions financières collectives, les effets de ces comportements égoïstes sur ceux qui coopèrent sont ambigus : ils n'ont pas d'effets négatifs directs sur les revenus, ils peuvent même avoir un effet positif avec une diffusion des pesticides sur les parcelles voisines ainsi protégées. Indirectement par contre la comparaison des niveaux de production peut inciter des agriculteurs à suivre l'exemple de ceux qui ont adopté un comportement égoïste. Cette faible concurrence entre les usagers, l'opacité des processus physiques à l'œuvre, ajoutés à un caractère perçu comme relativement arbitraire et généré de manière complètement externe des normes et seuils ont tendance à « souder » ces usagers. Cette incertitude et l'injustice perçue les renforcent pour se regrouper et tenter d'obtenir des dérogations ou des délais au respect de la norme.

Enfin la dégradation de la qualité de l'eau n'est en soi ni un objectif ni une nécessité pour quiconque, alors que la consommation d'eau pour les agriculteurs irrigants en est un, au

[3] Freshwater Integrated Resource Management with Agents – FIRMA, A proposal to the Environment and sustainable Development for research, technology development and demonstration under the Fifth Framework Programme, Part B, June 9, 1999. http//firma.cfpm.org. Contrat EVK1-1999-70

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

moins dès que leur culture est installée. Le coût financier des produits phytosanitaires ainsi que les conséquences sur la santé de leur famille devraient les inciter à limiter l'usage de ces produits. Ce sont leurs contraintes et objectifs propres qui les conduisent à les utiliser :

- objectif de niveau de production,
- temps disponible et pénibilité du travail,
- équipements (matériels, parcelles, encépagement)
- maîtrise agronomique.

Une ouverture peut alors apparaître pour engager un processus de décision collective avec ces acteurs concernés. Il s'agit de ne plus travailler uniquement sur les effets induits par leurs pratiques, mais aussi sur les contraintes qui les conduisent à avoir ces effets sur le milieu naturel et pour les autres acteurs.

On se trouve ainsi sur un cas où il n'y a pas de processus de décision collective ciblé de manière explicite sur l'enjeu de gestion de l'eau, avec des processus mal identifiés et remis en cause car non directement observables. Les pratiques, essentiellement individuelles, en cause résultent d'autres faisceaux d'interactions, non ciblés sur les questions de gestion qualitative de la ressource en eau. Par contre il existe des parties prenantes qui cherchent à lancer une dynamique sur cette thématique. Ils éprouvent pour cela des difficultés car l'association d'un effet collectif à des pratiques individuelles est coûteuse ou incertaine.
Enfin l'absence de compétition et d'intérêt à polluer ouvre des perspectives, au moins d'un point de vue théorique, pour trouver des sorties d'impasse et des solutions « gagnant gagnant » en recadrant le processus de décision collective.

2.3.2 Inondation

Le dernier enjeu de gestion de l'eau que j'ai commencé à explorer au cours de ces années concerne la gestion du risque inondation. Il s'agit d'une gestion hors crise pour évaluer *ex ante* les conséquences d'une crue quand elle arrive pour des situations d'occupation du territoire simulées de manière dynamique. On passe là à une situation d'incertitude pour laquelle l'occurrence et l'amplitude des événements sont elles-mêmes incertaines. Alors que dans le cas de la pollution diffuse le processus est mal connu mais d'existence continue, dans ce cas on travaille sur des processus généralement absent, mais pouvant survenir.
Cet élargissement en cours se fait avec Frédéric Grelot, économiste au sein de l'UMR G-EAU, sur un cas virtuel, inspiré des terrains sur lesquels il a travaillé au cours de sa thèse, bassin de l'Yseron dans le Rhône et agglomération du Mans, avec un point de vue analyste. Sur cet enjeu encore, il n'y a pas de processus de décision collective ciblé sur la gestion *ex ante* des inondations impliquant fortement les acteurs *a priori* concernés au premier chef : les riverains menacés par une crue éventuelle. Quelques acteurs, notamment du côté des administrations, cherchent à mettre en place un tel processus de décision collective, mais l'enjeu n'étant pas présent, et d'occurrence d'autant plus rare que l'intensité est importante, très peu d'interactions ont lieu de fait sur ce thème. Ce sont des interactions sur d'autres thèmes qui vont avoir des effets pour une gestion *ex ante* des inondations, tels que des règles d'urbanisme ou des niveaux de taxation.
Avec cet enjeu, la gestion de l'eau devient une composante d'enjeux d'aménagement du territoire. Ce n'est plus, comme le voudrait une conception trop restrictive d'une gestion par bassin versant ou par masse d'eau, un déterminant de l'aménagement du territoire : l'exposition aux risques devient déterminée par les choix faits en matière d'aménagement du territoire. L'enjeu de gestion des inondations devient un enjeu de deuxième ordre par rapport à celui d'aménagement d'un territoire.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

2.4 Les types de processus de décision collective en œuvre pour la gestion de l'eau

Les éléments clé des processus de décision collective dans lesquels j'ai été impliqué sont donc des situations :

- d'incertitude sur la dynamique de la ressource, sur les pratiques des autres perçues par un acteur donné et dans certains cas sur les incidences de ces pratiques,
- d'hétérogénéité des acteurs,
- de compétition pas toujours aussi importante que ce qui est mis en avant,
- de focalisation sur un enjeu de deuxième ordre.

L'incertitude sur les processus et les pratiques rend *a priori* légitimes une diversité de points de vue parmi les participants à un processus de décision collective. Un temps clé des processus de décision collective sera alors la mise en commun de ces points de vue, soit pour tenter de les rendre cohérents, soit pour partager ces divergences.
L'hétérogénéité des acteurs porte sur leurs représentations du monde, mais aussi leurs enjeux, leurs usages de l'eau ou leurs valeurs. Elle pose des questions pour la mise en œuvre de procédures participatives les impliquant : quelles possibilités de composition entre ces points de vue, quelles possibilités d'échanges dans un langage commun ?
Ces questions transcendent le cadre des enjeux spécifiques cités ci-dessus. Elles concernent en fait toutes les procédures de gestion concertée de la ressource en eau. J'ai abordé ces procédures au travers du suivi du DEA puis de la thèse en cours de Audrey Richard-Ferroudji. Nous nous sommes intéressés en particulier au cas d'un bassin versant des Pyrénées Orientales, la Lentilla, où plusieurs acteurs souhaitent la mise en place d'une démarche de gestion concertée. Nous y avons eu une position d'analyste embarqué, puisque le premier objectif était de comprendre l'appropriation par les acteurs des dispositifs de gestion concertée de la ressource en eau, mettant en évidence en particulier les difficultés de partage d'un même langage. Cet objectif est entré en résonance avec un questionnement d'une communauté de communes sur la mise en place d'un tel dispositif. Les usages concernés sont l'agriculture (irrigation), l'eau domestique, et l'eau pour les loisirs. C'est un territoire en transition : la communauté de communes est située dans le bassin d'emploi de Perpignan et des parcelles irriguées sont remplacées par de nouvelles habitations. La gestion concertée devrait donc rassembler au minimum des acteurs pour lesquels l'eau est un bien de production, d'autres pour lesquels la présence de l'eau est importante pour une activité économique qui la modifie peu en retour et d'autres avec une demande relativement faible mais peu élastique. De surcroît, cette population regroupe des habitants anciens de la région, des « rurbains », des nouveaux arrivants venus du Nord de l'Europe, souvent pour leur retraite. Les attentes, les besoins mais aussi les références aussi bien en termes de culture de l'eau, qu'en termes de culture de la concertation sont hétérogènes et doivent se composer dans un dispositif de gestion concertée (Riaux & Richard-Ferroudji, 2006).

J'ai ainsi pu expérimenter dans ce contexte général de la gestion de la ressource en eau une démarche recourant à des modèles comme mode d'écriture et d'explicitation d'une connaissance sur un système à un moment donné. Ils permettent de prendre du recul sur celle-ci et ont vocation à mettre en débat des représentations variées et à reformuler progressivement les questions en jeu.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

3 Des modèles pour comprendre

Un premier point de vue sur les processus de décision collective nécessite le recours à des modèles pour comprendre ce qui se passe en leur sein. Je considère ici un modèle et l'activité de modélisation qui y conduit comme un moyen de formaliser, d'écrire, des connaissances sur un système complexe.

3.1 Choix des systèmes multi-agents

En terme d'outil, les systèmes multi-agents (SMA) ont été le dénominateur commun de toutes ces années de recherche, que ce soit dans un point de vue analyste ou dans un point de vue embarqué. Un SMA est un système composé de (Ferber, 1995) :

- un espace,
- un ensemble d'objets situés dans cet espace, parmi lesquels certains, dénommés agents, sont actifs et peuvent communiquer,
- d'un ensemble de relations entre ces objets et agents,
- d'un ensemble d'opérations par lesquelles les agents traitent les objets et des opérateurs chargés de l'application de ces opérations et de l'évolution du système suite à ces opérations.

Ce choix est de plus en plus fréquent dans les travaux sur la modélisation des systèmes complexes (Bousquet et al., 2002; Doran, 1999; Moss & Davidsson, 2001). La gestion des ressources renouvelables et la gestion de l'eau en particulier constituent des domaines d'application privilégiés (Barreteau & Bousquet, 2000; Bousquet et al., 1999; Bousquet et al., 2001; Fianyo et al., 1998; Le Bars et al., 2005). Pour mes recherches, il a été motivé pour plusieurs raisons :

- capacité des SMA à représenter des dynamiques d'entités hétérogènes en interaction,
- capacité à simuler des scénarios,
- proximité à une description naturaliste du monde facile à expliciter,
- capacité à prendre en charge plusieurs niveaux d'organisation dans un même cadre,
- absence d'hypothèse a priori sur des modèles de décision des agents,
- existence d'une communauté structurée et dynamique autour d'une plateforme de modélisation, CORMAS, dédiée au développement de SMA pour la gestion des ressources renouvelables (Bousquet et al., 1998).

Ils correspondent à des systèmes à intelligence distribuée (Ferber, 1995). Ils mettent ainsi en scène une caractéristique importante des processus de décision collective étudiés. Ils permettent d'écrire l'état des connaissances sur des processus de décision collective dans une structure semblable à ces processus.
Ce choix des SMA a enfin l'intérêt d'être un choix reliant à une communauté de recherche active également sur les outils : discussion et essai de nouvelles approches telles que les approches organisationnelles (Ferber et al., 2003), questionnement sur les enjeux de validation et de contrôle. Les approches organisationnelles par exemple correspondent bien à au cadre théorique posé dans la première partie : l'analyse institutionnelle (Ostrom, 2005) inclut les niveaux de règles et leurs pas de temps caractéristiques, mais aussi décrit les interactions en fonction d'arènes et de situation d'actions. Les enjeux de robustesse et de démocratie renvoient aux questions de validation. Les SMA et leurs questionnements actuels correspondent ainsi bien aux processus en œuvre dans les enjeux de gestion de l'eau et au cadre théorique retenu pour cela.

Dans tous les cas il s'agit de laboratoires virtuels conçus pour pouvoir mener des expériences impossibles à faire dans des conditions expérimentales classiques pour des raisons de durée,

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

de contrôle du contexte ou d'éthique. Les enjeux de gestion de l'eau considérés ont des temps caractéristiques se comptant en semaines, en mois voire en années. La section précédente a montré que les processus de décision collective à l'œuvre ne sont pas clos sur l'hydrosystème : ils sont influencés par de nombreux éléments du contexte tels que la politique agricole, un événement climatique particulier ou l'occurrence d'une élection locale. Tous ces éléments de contexte ne sont pas contrôlables. Enfin l'expérience portant sur des faits sociaux, les conséquences d'une expérimentation sur ceux-ci pour les acteurs concernés, pour peu qu'elle soit faisable, pose des questions éthiques.

Une spécificité importante de ces laboratoires virtuels est la prise en compte de comportements humains. Ces comportements humains sont moins bien connus et se laissent moins facilement réduire à une abstraction, même ciblée pour un enjeu donné. Ils restent souvent à l'état d'hypothèses ou de scénarios, même si des dispositifs expérimentaux améliorent actuellement cette connaissance. Ces laboratoires virtuels sont des modèles, le plus souvent implémentés sous forme informatique, qui mettent en situation des agents en interaction entre eux et avec des éléments de bassin versant ou d'aménagements hydrauliques dans des contextes politico institutionnels. L'expérimentateur peut alors faire varier ses hypothèses sur les comportements des agents en interaction, sur leurs caractéristiques qu'il juge pertinentes pour la mise en œuvre de ces comportements, sur les règles collectives et les normes sociales par lesquelles ces agents sont concernés, sur le contexte et sur la dynamique du milieu naturel, en particulier si celle-ci est mal connue ou sujette à controverse.

Ce point de vue sur les modèles correspond à l'approche décrite par J.-M. Legay considérant le modèle comme une extension de la démarche expérimentale. Une expérience est considérée comme « toute procédure organisée d'acquisition d'information, qui comporte, dans la perspective d'un objectif exprimé, une confrontation avec la réalité » (Legay, 1997). Ce que celui-ci pose comme une condition à la mise en place de programmes interdisciplinaires, *via* la mise en place d'un cadre conceptuel commun, permet effectivement le développement de simulations en sciences sociales, pour un objectif de compréhension du monde. Le principe de ce type de modélisation est de mettre en scène des mondes jouets. Il s'agit de simulations sociales dites faibles, c'est-à-dire ne descendant pas au niveau de la pensée des agents (Kohler, 1999). Cet usage de type expérimental des modèles correspond à un recours formalisé à la modélisation et à la simulation en sciences sociales, dépassant un usage purement illustratif des modèles. Le modèle y est considéré comme une formalisation d'une théorie permettant de la tester sur des scénarios pour mieux la comprendre (Hanneman, 1995). C'est une étape supplémentaire dans ce domaine par rapport aux modélisations essentiellement discursives plus classiques en sciences sociales. Plus qu'une substitution, ce courant de simulation sociale en développement pose la complémentarité entre la modélisation et les démarches narratives classiques. Par rapport à une description littéraire, la modélisation apporte le moyen d'explorer les conséquences des hypothèses faites sur le fonctionnement de ce système. Certains auteurs considèrent ainsi la simulation comme l'outil le plus prometteur en sciences sociales pour le développement de théories, pourvu que les processus d'abstraction et les algorithmes choisis soient explicites et détaillés (Leik & Meeker, 1995). Les simulations permettent notamment de fournir de la matière dont la correspondance aux théories et/ou à des points de vue sur le monde réel est explicitée, les approches narratives permettent une description qualitative des résultats de simulation plus aisée à communiquer et à discuter par rapport à des théories alternatives (Goldspink, 2002). Cette étape est en train d'être franchie en économie avec les courants « d'économie computationnelle» (Tesfatsion, 2001) et d'économie expérimentale. Mon travail participe à la même démarche vers les sciences de gestion et la sociologie. Il rejoint ainsi le courant de « simulation sociale ».

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

L'apprentissage sur le système étudié et ses processus de décision collective en particulier se fait *via* des simulations avec le modèle, prenant le statut d'expériences, mais aussi lors de la construction du modèle. Cette phase de construction du modèle permet d'expliciter les connaissances, ou les manques, parfois implicites dans des modèles discursifs. Pour que le modèle « tourne », le modélisateur a besoin de préciser des paramètres ou des processus et va donc se tourner vers le ou les « thématiciens », « experts », « sources de connaissance » avec qui il construit le modèle. Ce type d'apprentissage au cours du processus de modélisation est particulièrement fécond pour le point de vue embarqué dans un processus de décision collective. Le modèle médiatise et rend explicite les interactions entre le modélisateur et le système étudié. Cet apprentissage est aussi fécond pour le point de vue analyste : certaines interactions ne sont pas prises en considération car « évidentes » alors qu'elles sont déterminantes dans les processus de décision collective. Ainsi l'expérience avec SIGECORIS sur les inondations relatée ci-dessous est particulièrement illustrative de cet aspect cognitif du processus de modélisation lui-même : elle a conduit l'économiste avec qui j'ai travaillé à préciser ses hypothèses au fur et à mesure de la formalisation de son modèle conceptuel.

3.2 Vers la constitution de laboratoires virtuels

J'ai ainsi conçu ou participé à la conception d'un périmètre irrigué, SHADOC, un tronçon de bassin versant irrigué, GibiDrôme, un espace soumis au transfert de pollutions diffuses, Phylou, et un tronçon de bassin versant devant faire face à des inondations, SIGECORIS, tous artificiels.

3.2.1 SHADOC

SHADOC est un modèle de périmètre irrigué archétype des périmètres rencontrés dans la vallée du Sénégal. Je l'ai mis au point durant ma thèse, dont l'objectif initial était la compréhension du fonctionnement d'un système irrigué comme le lieu d'interactions entre des comportements individuels dans le cadre de règles collectives choisies au sein de ce périmètre et de leurs conséquences sur la longévité de ce périmètre. Il a été construit pour rendre compte des modes de coordination entre acteurs collectifs et individuels.

Le SMA SHADOC permet de tester différents types de scénarii pouvant assurer la viabilité du système irrigué. L'organisation de la production rizicole prend en compte deux ressources principales : l'eau et le crédit. La société simulée est structurée autour (i) des groupes de gestion du crédit, (ii) des groupements de producteurs, chacun gestionnaire d'une maille hydraulique[4], (iii) d'une station de pompage qui fournit l'eau à l'ensemble du périmètre, et (iv) d'un réseau de relations sociales basé sur l'amitié et d'une hiérarchie sociale à quatre niveaux[5] ayant des effets sur la circulation des crédits. La simulation permet de comparer les scenarii en fonction du nombre de campagnes agricoles menées sur ce périmètre et du nombre de parcelles cultivées à chacune d'entre elles. Elle prend en compte des événements aléatoires, représentant les hasards pouvant survenir dans les dynamiques réelles, dont l'effet se traduit en particulier dans l'assiduité des paysans simulés sur leur parcelle (Barreteau & Bousquet, 2000).

La construction de ce modèle a permis de mettre en évidence les interactions clé au sein du périmètre : interactions sur l'accès à l'eau (répartition dans des tours d'eau mais aussi dates de démarrage et d'arrêt de la station de pompage permettant l'irrigation) ainsi que pour l'accès

[4] une maille hydraulique est la partie d'un périmètre irrigué regroupant un canal terminal et l'ensemble des parcelles qui y prennent leur eau.

[5] Cette hiérarchie a vocation à représenter le système de caste encore présent en pratique dans la vallée du fleuve Sénégal, même s'il a été officiellement aboli.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

au crédit collectif pour l'accès aux intrants, alors que ces deux processus de décision collective étaient considérés de manière séparée.
Les simulations ont porté notamment sur des scénarios de population de comportements individuels, de règles collectives concernant l'eau et le crédit et de caractéristiques structurelles du périmètre. Elles ont montré que la longévité d'un système irrigué ne pouvait être garantie ni par un ensemble de règles collectives ni par un type de population de comportements individuels donnée (Barreteau, Bousquet et al., 2004). Cela renvoie aux débats sur la recherche de bonnes pratiques ou de bonnes règles de gestions, qui ne peuvent être pertinentes si elles ne considèrent qu'un seul niveau d'organisation. Nous avons ainsi pu montrer la portée heuristique de l'usage des SMA dans le cas des systèmes complexes tels que les systèmes irrigués.

3.2.2 GibiDrome et GibiAGR

Le développement de GibiDrome s'est fait dans la suite d'un modèle sur tableur, SimSage. Ce dernier avait pour objectif de faciliter la concertation entre les agriculteurs pour respecter le débit minimal à l'aval de la Drôme, sur lequel leurs représentants s'étaient accordés avec les autres parties prenantes au sein de la CLE (Barreteau et al., 2003). Le développement de SimSage avait mis en évidence les limites d'une telle approche pour prendre en compte les usages réels de l'eau. L'objectif de GibiDrome était d'une part de tester l'usage d'un SMA dans ce contexte de gestion de bassin versant et d'autre part de comprendre les processus de décision collective impliqués dans l'usage de l'eau en période d'étiage, et donc dans la gestion des étiages. Il devait aussi tenir compte des niveaux collectifs impliqués dans les institutions en œuvre mais aussi des pratiques individuelles impliquées dans la mise en œuvre des accords pouvant être trouvés.
Il s'agit bien d'un point de vue d'analyste sur les processus de décision collective, sur un pas de temps relativement court, celui de la campagne agricole. Il permet de comprendre ce qui se passe au cours d'une campagne agricole et de la période de basses eaux en particulier.

Les figures 2 et 3 ci-dessous représentent un diagramme de classes et un diagramme de séquences de GibiDrome. Les parties prenantes représentées dans GibiDrome sous forme d'agents sont des agriculteurs, des groupements d'irrigants associés à des réseaux collectifs et un gestionnaire/régulateur de la ressource assimilé ici à la Commission Locale de l'Eau. Chaque réseau est composé de plusieurs agriculteurs. Chaque agriculteur exploite un ensemble de 6 parcelles[6], mettant en œuvre sur celui-ci un assolement qui lui est propre. Il a un ensemble d'accès à des ressources en eau soit sous forme de bornes sur un réseau soit *via* des pompages dans la nappe d'accompagnement de la rivière. Chaque réseau collectif est décrit par l'ensemble de ses membres et notamment les différentes ressources en eau qu'il peut avoir. Celles-ci comportent nécessairement un point de prélèvement dans la rivière et éventuellement un accès à des ressources complémentaires, stockages ou connexions à d'autres bassins. La classe `Cle` a une seule instance dont je fais l'hypothèse qu'elle connaît l'ensemble des usagers. Elle comporte un ensemble d'indicateurs réduit dans un premier temps au débit à l'aval du secteur, qui lui permet de déclencher des niveaux de restriction en fonction de la valeur de ces indicateurs. Ces restrictions prennent la forme de jours d'interdiction pour les irrigants individuels ou d'une restriction du débit de pompage autorisé, calculée en fonction de besoins des cultures de référence en cette période. Ces derniers correspondent aux niveaux de référence spécifiés dans l'accord auquel a abouti le processus de décision collective réel. Ils constituent un des points d'entrée des scénarios, en tant

[6] Choix de 6 parcelles par agriculteur arbitraire, conduit par les pratiques usuelles en temps normal, consistant à irriguer tous les jours sauf le dimanche en tournant entre les parcelles.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

qu'élément des règles collectives en discussion. Les trois classes, `Cle`, `Agriculteur` et `Reseau`, héritent d'une classe `Stakeholder` définissant en particulier leurs modes de communication. L'environnement biophysique est décrit par les classes `Parcelle`, `AccesEau` et `Riviere`. Chaque parcelle est caractérisée par sa surface, fixée à 2 ha, et les caractéristiques de profondeur du sol. Enfin la partie agronomique est représentée par les deux classes `TypeCulture` et `Culture` qui permettent de représenter séparément les caractéristiques d'une culture indépendantes de sa mise en œuvre (par exemple ses coefficients culturaux) et sa réalisation sur une parcelle donnée.

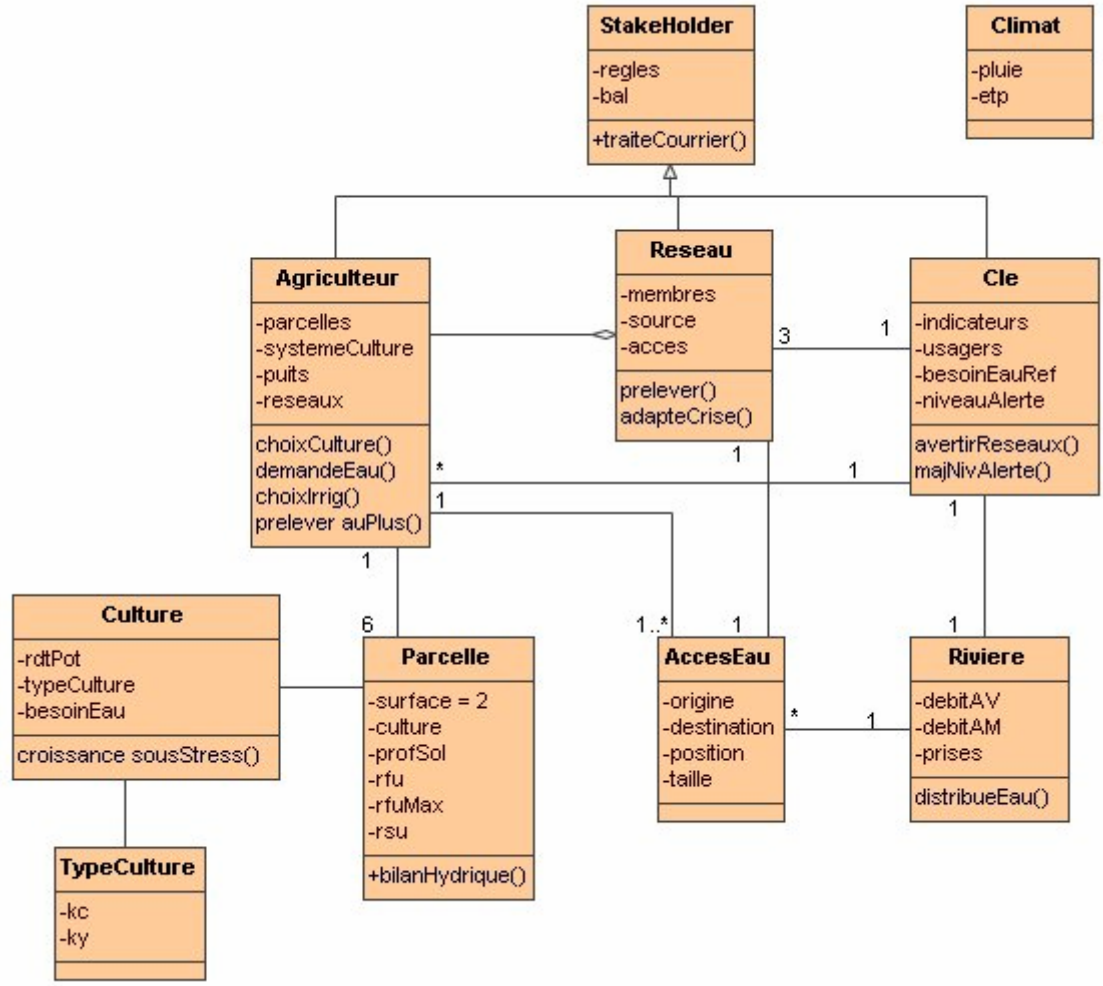

Figure 2 : diagramme de classes de GibiDrome

La figure 3 présente la dynamique du modèle sur un pas de temps type. Celui-ci se décompose en quatre étapes : dynamique de l'eau, dynamique des cultures, dynamique institutionnelle et dynamique individuelle. La première étape distribue l'eau vers les agents contrôlant des équipements de pompage, individuels ou collectifs, puis vers les parcelles connectées à un pas de temps donné à ces équipements. La deuxième étape constitue un bilan hydrique sur chacune des parcelles en fonction de la culture en présence et de son stade, du climat (pluie et évaporation potentielle) et des apports d'eau. La troisième étape amène l'agent `Cle` à mettre en œuvre les règles de gestion de l'eau en fonction de l'état de la ressource. Enfin chaque agent `Farmer` conduit ses cultures sur chacune de ces parcelles : mise en place des cultures, organisation de l'irrigation (ce qui modifie les connexions activées entre les accès à l'eau et les parcelles), récolte.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

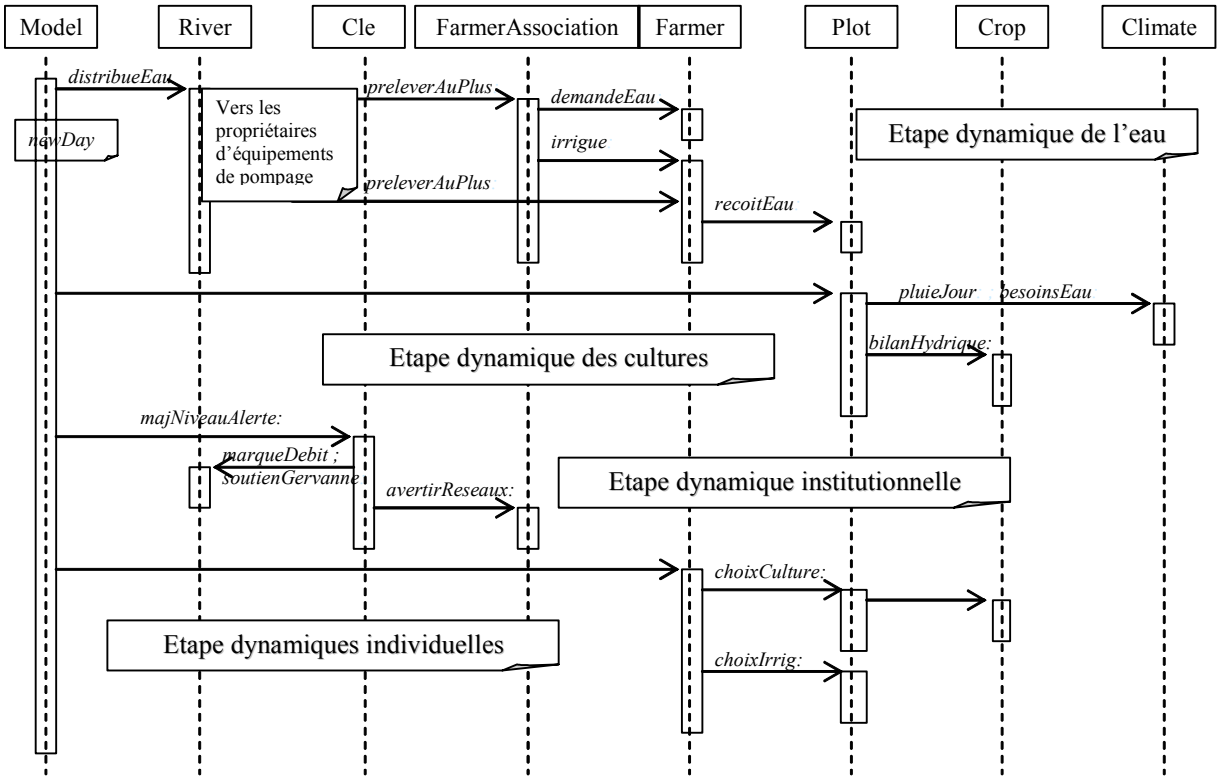

Figure 3 : diagramme de séquence de GibiDrome

La construction du modèle a mis en évidence les limites des hypothèses implicites des points de vue des acteurs moteurs du processus de décision collective. Alors que la demande de la CLE était de considérer des cultures avec des besoins en eau se traduisant en quantité d'eau pompée dans la rivière, et des restrictions avec des conséquences en termes de rendements et de contraintes pour les irrigants, j'ai dû expliciter l'interaction entre la culture et la rivière. Celle-ci passe par un agriculteur devant amener l'eau à la parcelle où se trouve sa culture tout en organisant son travail avec ses contraintes propres de temps et de matériel disponible. Ainsi ce n'est ni la parcelle ni la culture qui demande l'eau, contrairement au concept de « demande en eau des cultures », mais l'agriculteur qui prend l'eau, à condition qu'elle soit présente, pour l'amener à la parcelle dans laquelle la culture puise l'eau dont elle a besoin en fonction de sa disponibilité.

Les simulations ont pu montrer que la focalisation des débats sur la gestion des étiages posait problème puisque les périodes de stress hydrique des cultures ne correspondaient pas uniquement à cette période. Les figures 4 et 5 montrent ainsi pour un même scénario que le taux de parcelles en stress hydrique le plus élevé est rencontré en dehors de la période de crise. Cette période de stress correspond à une période intervenant plus tôt dans la campagne, et s'explique par un démarrage tardif des irrigations, dû à une mauvaise connaissance de la teneur en eau du sol et à des difficultés d'organisation du travail. Cette situation est souvent rencontrée dans les secteurs irrigués (Labbé et al., 2001). La projection de ce point de vue d'analyste devant les responsables de la CLE leur a permis de prendre conscience de l'existence de ces difficultés pour les agriculteurs et d'envisager donc des moyens de les aider à mieux passer cette période de démarrage des irrigations, en contrepartie d'efforts en période d'étiage. Comme (Steinberg & Clark, 1999) l'ont montré sur une étude de cas dans le Massachussets, les situations de gestion de bassin versant sont rarement des jeux à somme nulle ou des conflits simples opposant un camp contre un autre. L'hétérogénéité des points de vue des parties prenantes permet, si elle n'est pas réduite à une seule dimension, de trouver des solutions de type « gagnant gagnant ». L'ouverture du modèle induite par le mode de

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

conception de GibiDrome a permis de dépasser la seule question d'allocation des flux. Elle y a ajouté une représentation de la mise en œuvre des pratiques collectives et individuelles, ce qui a conduit à ouvrir le champ de la discussion à d'autres sujets qu'une règle spécifiant les modalités de partage en eau en période de pénurie.

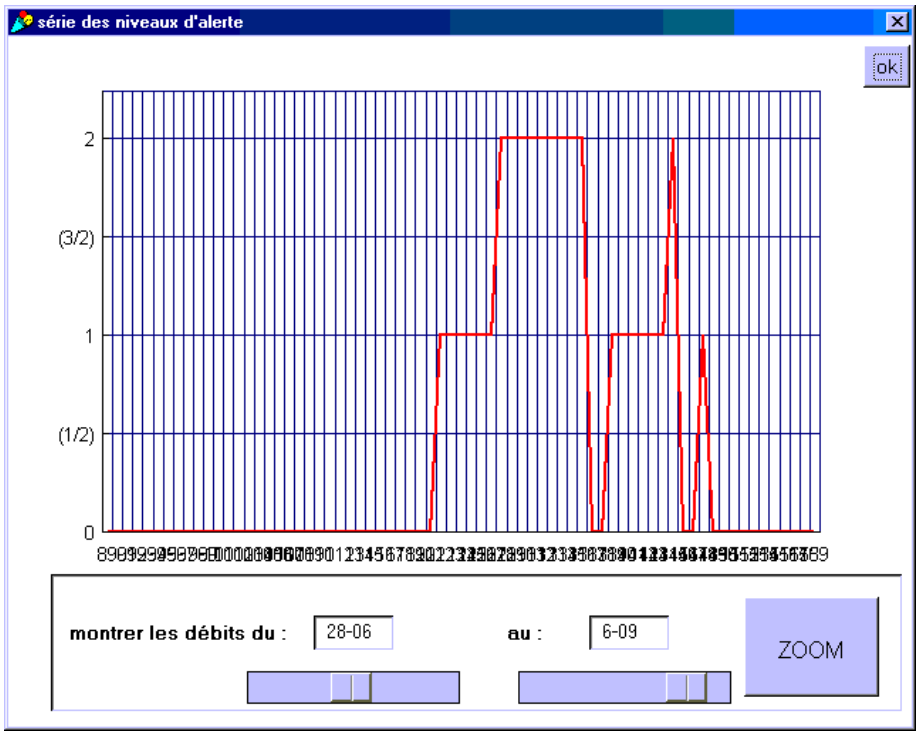

Figure 4 : chronique des niveaux d'alerte sur le bassin versant pendant la période d'étiage pour un scénario assez sec

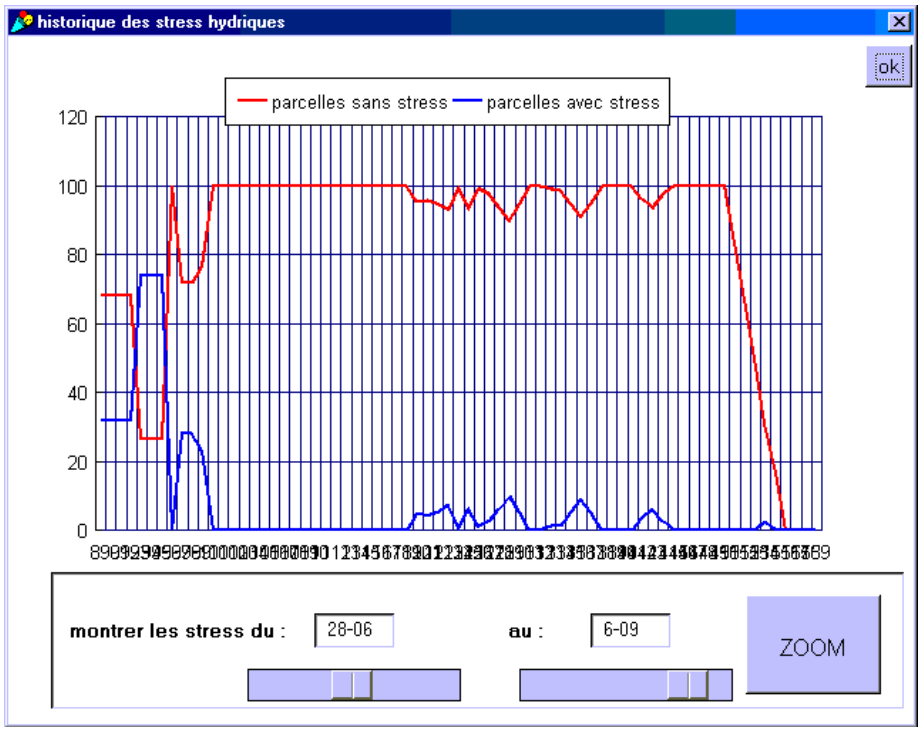

Figure 5 : proportion de parcelles avec et sans stress hydrique pendant la période d'étiage et pour le même scénario que dans la figure 4

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Même si GibiDrome apparaît comme satisfaisant pour pousser à l'ouverture du débat et à trouver des possibilités d'accords gagnant-gagnant, il reste lourd d'emploi pour prendre en compte la multiplicité des niveaux d'organisation concernés. Il n'inclut pas de concepts génériques permettant de représenter l'organisation, tel que la relation abstraite de groupes aux entités qui les constituent ou les règles qui commandent les relations entre celles-ci. Ceci le rend peu réactif pour des changements de représentation tels que des ajouts de règles, pouvant être rendus nécessaires au fur et à mesure d'une meilleure compréhension du système.

Avec Géraldine Abrami dont j'ai supervisé la thèse (Abrami, 2004), nous avons alors adapté l'architecture Agent Groupe Rôles (AGR) à des fins de développement de modèles pour la simulation, sur ce cas du bassin versant de la Drôme. Contrairement aux « SMA centrés agent », cette architecture fait partie des démarches organisationnelles. Ces démarches, « centrées organisation » (Ferber et al., 2003), permettent de distinguer des entités individuelles mettant en œuvre des rôles dans des groupes dont elles sont membres, et qui contraignent les possibilités d'interaction entre ces entités individuelles. Elles sont utiles pour représenter des processus de décision collective impliquant des niveaux d'organisation variés en interaction, tel que les exploitations agricoles, les syndicats d'irrigants et la commission locale de l'eau dans le cadre d'un SAGE. Elles permettent aussi de représenter des processus avec des situations d'action simulées de manière autonome, en gérant leur interface *via* les agents qu'elles ont en commun. L'objectif de ce développement d'un modèle complémentaire, en parallèle aux autres travaux sur la Drôme, se voulait exploratoire pour le développement futur d'outils de simulations mieux adaptés à l'aide à la concertation dans des systèmes complexes hétérogènes. Ce développement a en particulier proposé un cadre de rôles génériques, abstraits des pratiques observées sur le terrain de la Drôme. Les rôles permettent de modéliser un élément de comportement.
Dans GibiAGR, les groupes s'identifient en listant échelles et fonctions présentes dans GibiDrome. Les 4 échelles sont le bassin versant, le réseau d'irrigation, l'exploitation, et la parcelle, et on distingue 2 types de fonctions :

- la circulation de l'eau : propagation de débit de l'entrée du bassin à travers la rivière, puis de la prise d'eau du réseau aux bornes individuelles des irrigants, et enfin de la borne à la parcelle, où se déroule le bilan hydrique ;
- l'allocation de l'eau : mise en œuvre des règles de gestion individuelles et collectives par les différents acteurs.

Les agents de GibiAGR sont les entités individuelles de GibiDrome, elles peuvent être sociales (tel que `Farmer`, `Cle`) ou physiques (tel que `Climate`, `Pump`, `River`, `Plant`). La CLE est représentée comme une entité individuelle car on la considère en tant qu'instance de gestion du bassin et on ne s'intéresse pas dans le modèle aux processus de concertation internes à cette institution. L'association d'irrigants est par contre vue comme un groupe où ont lieu des communications, avec un président et des membres.
Dans GibiAGR, les rôles sont utilisés pour modéliser les différentes phases de décision de l'agriculteur au cours d'une campagne, incluant les pratiques d'interaction avec d'autres usagers ou avec le milieu naturel. Les différentes modalités d'un même type de rôle sont utilisées pour représenter des comportements hétérogènes ou changeant au cours de la simulation. Les rôles sont également détaillés pour gérer les différents modes d'interaction entre entités sociales et entités de l'environnement. Des rôles de *contrôle* modélisent l'interface par laquelle un agent modifie les caractéristiques d'un objet. Des rôles observation modélisent les caractéristiques visibles d'une entité. L'information qu'ils donnent peut être exacte ou erronée (Abrami, 2004).

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Le formalisme AGR a des apports sur deux aspects pour le développement d'outil d'aide à la concertation :

- l'explicitation des possibilités d'interaction entre niveaux d'organisation via l'identification d'agents communs, pouvant faire office de courroie de transmission,
- l'explicitation de la séparation des rôles et de leur mise en œuvre par des agents.

Par rapport à GibiDrome, GibiAGR permet de modéliser d'un coté les règles de gestion collectives dans des objets séparés, et de l'autre la mise en oeuvre de ces règles de gestion dans des rôles `Manager`. Il est alors plus facile de créer de nouveaux scénarios en jouant sur ces 2 éléments, en créant soit de nouvelles règles collectives, soit de nouveaux rôles. Ainsi GibiAGR permet de reproduire GibiDrome mais aussi de simuler la mise en œuvre des règles de gestion collective par les réseaux par la mise en place de tours d'eau entre les abonnés. Ces tours d'eau peuvent être les mêmes pour tous les réseaux, ou bien propres à chacun, comme c'est le cas dans la réalité.
Par exemple la représentation de rôles spécifiques pris en charge par des agents pour les différentes opérations culturales, dont l'irrigation, permet de spécifier la mise en œuvre de ces rôles en fonction de profils des agents : un agriculteur « intensif » ne mettra pas en œuvre son irrigation de la même manière qu'un agriculteur « économe ». Ces mises en œuvre spécifiques sont conçues comme des « sous-rôles », parmi lesquels l'agent qui prend en charge le rôle choisit la modalité correspondant à son profil. La figure 6 ci-dessous présente ainsi l'ensemble des « sous-rôles » du rôle générique `Manager`. Alors que GibiDrome produit des simulations sur une campagne agricole, l'adaptabilité ainsi introduite permet de passer à des simulations sur une succession de campagnes agricoles.

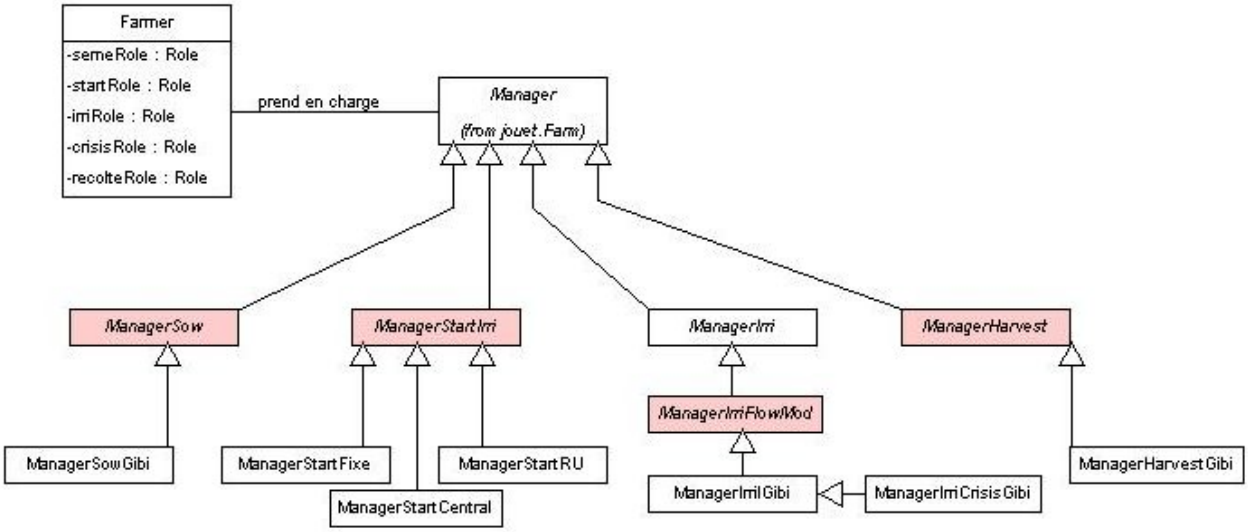

Figure 6 : Diagrammes des classes des rôles hérités du rôle `Manager`. Les rôles grisés sont les rôles génériques pour chacun des types de comportement. Au moment voulu, l'agent `Farmer` prend successivement en charge les rôles définis dans ses variables `semeRole`, `startRole`, `irriRole`...

3.2.3 Phylou

Phylou a été développé dans le cadre du projet Firma en plusieurs étapes correspondant chacune à des versions successives résultant d'un groupe de travail hybride regroupant chercheurs et gestionnaires de l'eau. Les modèles ont été conçus au cours du stage de DEA de Anne-Laure Borderelle, encadrée par Flavie Cernesson, hydrologue à l'ENGREF (Borderelle, 2002). J'ai animé le processus de co-construction du modèle et j'ai aidé la stagiaire pour des questions de programmation. L'enjeu du modèle est celui des pollutions diffuses en milieu

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

viticole, tel qu'il a été présenté en section 2.3.1. Il est appliqué sur le Taurou, un sous-bassin de l'Orb.
Un travail de terrain et les discussions au sein du groupe de travail ont permis de définir deux types de paysage caractéristiques de ce bassin versant, le plateau et les terrasses, et de les prendre en paramètre d'entrée du modèle. Les simulations prennent alors en entrée des scénarios de précipitation et de pratiques agricoles décrites par une quantité et des règles d'apport de pesticides. Elles génèrent ensuite un flux de pesticide vers la rivière selon les flux d'eau et les pesticides présents. En parallèle les pesticides présents dans les parcelles sont progressivement dégradés.

3.2.4 Sigecoris

Le développement de SIGECORIS se fait dans la suite des travaux de thèse de Frédéric Grelot (Grelot, 2004). Il vise à proposer une modélisation sur les interactions entre société et inondations. Dans la plupart des travaux existant (Brown et al., 1972), la représentation faite de la société est limitée à une assemblée d'individus. Ils ne prennent pas en compte les interactions entre agents individuels et/ou collectifs au sein de processus de décision collective, et la dynamique de ces interactions. Les interactions avec des acteurs portant des enjeux de développement d'un territoire ne sont représentées au mieux que comme des contraintes exogènes. La gestion des inondations est pourtant d'abord un enjeu de choix de développement de territoire avant d'être un enjeu de protection.
Des travaux récents ont proposé des modèles de simulation fondés sur les comportements d'agents individuels propriétaires (Brouwers & Verhaen, 2003). Nous y ajoutons le cadre collectif dans lequel l'action de ces agents individuels se situe avec une interaction dynamique entre les deux niveaux. Les questions à l'origine du développement de SIGECORIS ont ainsi inclus la possibilité de construire un simulateur capable de représenter des processus de décision collective comprenant des acteurs collectifs capables de définir des enjeux de développement de leur territoire. Cette définition d'enjeux de développement peut se faire *via* des politiques fiscales et/ou réglementaires. Ce simulateur représente également la responsabilité de ces acteurs collectifs dans la protection de leur territoire contre les inondations. Les interactions entre des acteurs individuels et ces acteurs collectifs sont dynamiques, par exemple par le choix de pouvoir s'installer à un endroit ou à un autre. La figure 7 représente un diagramme de classes de SIGECORIS.
SIGECORIS constitue une tranche de bassin versant virtuel ayant à faire face à un risque d'inondation. Il s'agit d'un archétype de plaine inondable d'une rivière du Nord-Ouest de l'Europe, caractérisées par des inondations assez lentes et venant uniquement de l'amont du bassin. Le risque d'inondation est ainsi lié uniquement au débordement de la rivière et dépend de l'occurrence d'un événement hydrologique et de la vulnérabilité de l'usage du sol. Celle-ci est définie par deux dimensions : la sensibilité des investissements à la submersion et l'existence de protections rapprochées pour ces investissements empêchant la submersion de les concerner (Grelot et al., 2005).
L'espace est représenté en suivant l'analyse de Nijkamp (Nijkamp, 1999). Il est hétérogène à la fois et de manière indépendante dans ses caractéristiques d'exposition au risque d'inondation et de potentialités économiques. Nous considérons quatre niveaux d'organisation de l'espace :

- la parcelle élémentaire. Elle est homogène sur les deux dimensions, incluse dans le territoire d'une seule collectivité. Elle est le lieu d'au plus un seul investissement ;
- la zone de risque, définie par une communauté comme homogène d'un point de vue gestion des inondations ;
- le territoire de la collectivité ;
- le territoire de l'ensemble.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

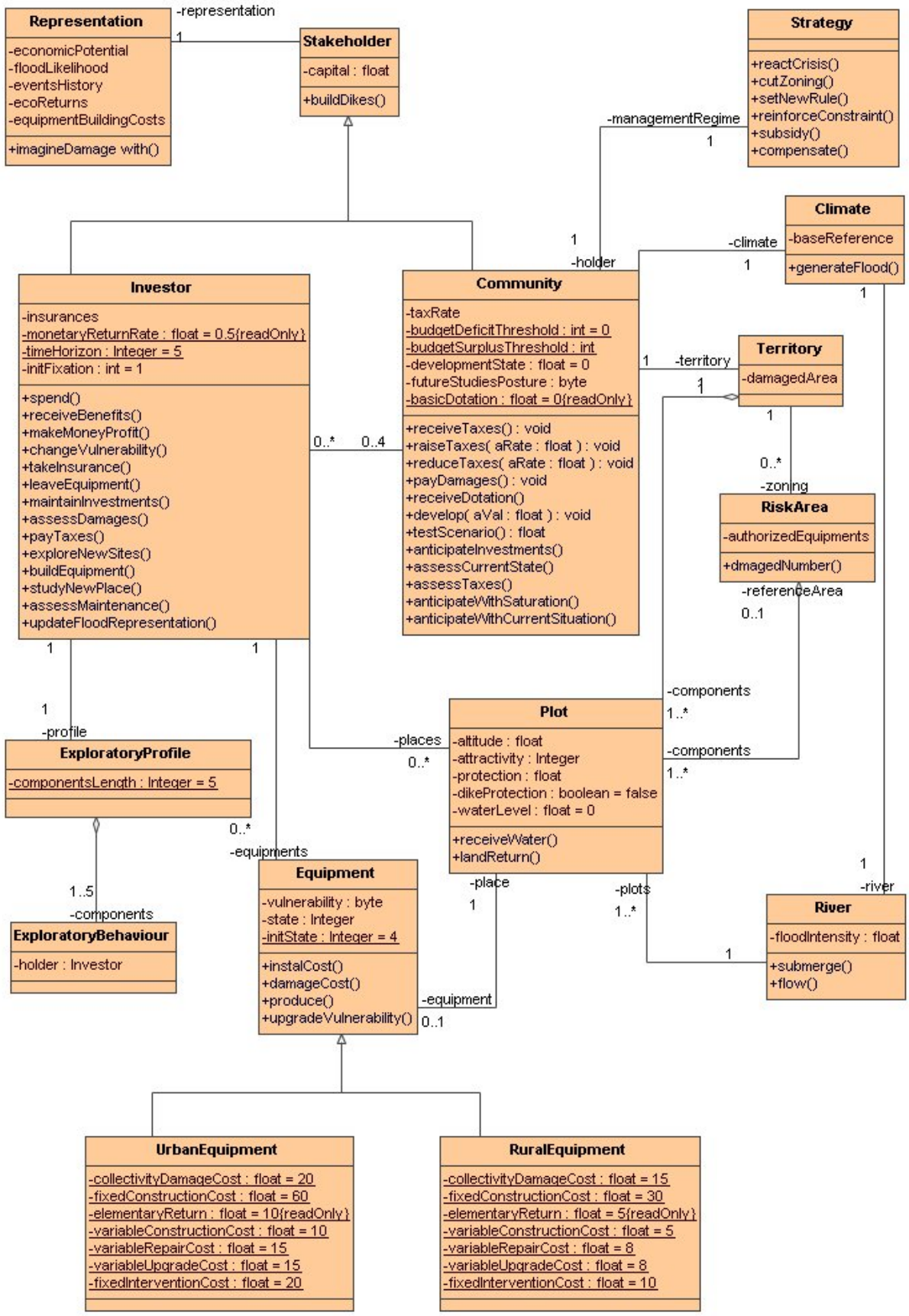

Figure 7 : diagramme de classes de SIGECORIS, faisant figurer les principales caractéristiques de chaque classe

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

L'exposition au risque d'inondation (c'est-à-dire la probabilité d'être inondé pour une crue d'un niveau donné) est sujette à modification si des aménagements tel que des digues sont construits. La potentialité économique est un paramètre fixe pour toute la durée d'une simulation. Les collectivités ont toutes le même objectif : un développement durable de leur territoire, défini comme un taux élevé d'investissements sur leur territoire au cours du temps. Leur diversité est dans leurs modalités de gestion pour atteindre cet objectif, incluant la gestion de niveau de taxes, la mise en œuvre de régulations sur la gestion des inondations et la construction de digues pour protéger tout ou partie de leur territoire. Elles sont supposées avoir une connaissance parfaite de l'aléa mais pas de la vulnérabilité des investissements.
Les investisseurs gèrent un capital avec l'objectif d'avoir le gain économique maximum. Pour cela ils choisissent des lieux de nouveaux investissements ou des investissements existant endommagés par une précédente crue à réparer. Les investissements sont de deux types : rural ou urbain. Ils différent par leur coût, leur sensibilité à une crue et les gains pouvant en être attendus. Enfin le niveau de vulnérabilité de l'investissement est choisi lors de sa construction. Les investisseurs ont une connaissance imparfaite des risques d'inondation. L'hétérogénéité des investisseurs réside dans leur type de comportement exploratoire pour choisir de nouveaux emplacements d'investissement.

Le processus de modélisation a permis en particulier de lever quelques implicites. Il a mis en particulier en évidence le rôle du territoire comme « médiateur » dans l'interaction entre acteurs individuels et collectivités. A partir de là pour comprendre un processus de décision collective sur la gestion des inondations, il s'agit de bien comprendre les relations au territoire des différentes parties prenantes, au moins autant que leurs interactions directes. Il s'est agi par exemple des modalités d'exploration de scénarios possibles sous contrainte de temps disponible ou du contenu de stratégies de collectivités locales.

3.3 Une première approche de la modélisation d'accompagnement

Ce type d'usage de modèles correspond à une première approche de la modélisation d'accompagnement, à la définition et à la discussion de laquelle ces expériences ont contribué et contribuent. Il s'agit d'un usage de la modélisation comme outil d'investigation, se plaçant en particulier dans la continuité de l'usage des modèles comme outil heuristique et intégrateur de sources de connaissance hétérogènes.

3.3.1 La modélisation d'accompagnement comme outil de recherche

La première expérience décrite ci-dessus à propos des systèmes irrigués au Sénégal, avec quelques autres expériences menées par des collègues sur d'autres thématiques de gestion des ressources renouvelables en France et à l'étranger (Aubert et al., 2002; Boissau & Castella, 2003; d' Aquino et al., 2002; Etienne, 2003; Etienne et al., 2003; Herimandimby et al., 1999) ont amené à définir (Bousquet et al., 1999) puis à préciser une notion de modélisation d'accompagnement (Bousquet et al., 2002; D'aquino et al., 2002; D'aquino et al., 2001).
Ces différents travaux ont amené à la constitution d'un collectif de chercheurs se retrouvant dans ce point de vue sur la modélisation, réunis autour d'une charte (Commod, 2005). Cette dernière précise les fondements théoriques de ce point de vue sur la modélisation, ses implications en termes de recours à la modélisation pour la gestion des ressources renouvelables et les objectifs pouvant être poursuivis avec ce point de vue sur la modélisation.
Il s'agit d'une démarche continue et itérative faisant alterner des phases de recherche de terrain, des phases de modélisation et des phases de simulation, dont l'objectif principal est toujours un accroissement de connaissances ou l'accompagnement d'un processus de

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

développement sur un terrain particulier. La figure 8 représente les étapes clé de cette démarche, telle que je l'avais formulée à la fin de ma thèse.

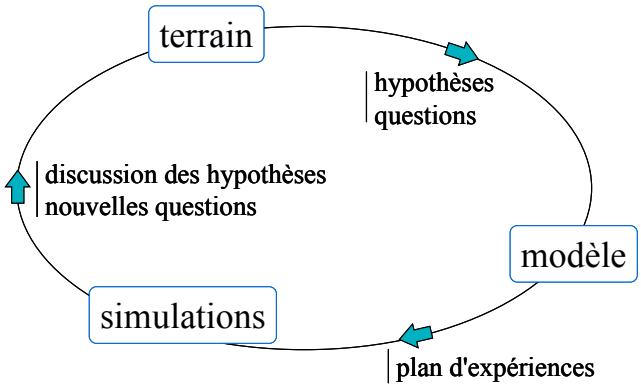

Figure 8: cycle de modélisation d'accompagnement

Cette démarche est fondée sur l'explicitation : explicitation des modèles présents dans la tête des chercheurs, explicitation des connaissances existant sur un terrain et mobilisées lors d'un travail sur celui-ci. L'entrée dans la figure 8 se fait par le terrain : connaissance initiale pertinente, collecte d'informations complémentaires éventuelles. Celle-ci est suivie par la formulation des hypothèses considérées comme pertinentes pour représenter le fonctionnement du système et des questions que l'on souhaite aborder. L'ensemble d'hypothèses conduit à la constitution d'un premier modèle conceptuel et les questions à la définition d'un plan d'expériences, à conduire *via* des simulations sur ce modèle. Les résultats de ces simulations amènent alors à reconsidérer les hypothèses initiales et à poser de nouvelles questions sur le terrain, vers lequel on retourne alors, pour démarrer un nouveau cycle. C'est une démarche ayant recours à la modélisation dont la production de modèles n'est pas l'objectif en soi, mais un moyen pour une fin de recherche ou d'aide à la décision collective.
La modélisation d'accompagnement pose comme principes méthodologiques les quatre points suivants :

- les idées à la base de la modélisation sont vouées à être remises en cause au contact du terrain ;
- l'absence d'hypothèse implicite dans l'expérimentation comme idéal visé, ce qui implique le développement de procédures de mise en évidence des hypothèses à la fois sur le plan empirique et conceptuel ;
- l'importance de la prise en considération, dès les premières étapes, de l'impact du processus de recherche sur le terrain ;
- la nécessité d'une attention particulière aux processus de validation de la démarche, sachant qu'il n'existe pas de théorie générale de la validation des modèles dans l'absolu et que des procédures originales sont à envisager.

Dans l'état actuel de la pratique de cette démarche, deux objectifs sont identifiés : un objectif de recherche et d'accroissement des connaissances d'une part, un objectif d'accompagnement de processus de décision collective d'autre part. La section 5 ci-dessous reviendra plus en détail sur le second.
L'analogie d'un modèle avec le monde réel fonctionne à condition que le lien avec celui-ci soit suffisamment explicite et reconnu pour que la compréhension construite sur la base de l'analogie apporte quelque chose à la compréhension du système réel. La validité de la compréhension construite à partir de l'analogie est une étape supplémentaire, dépendant de la validation du modèle. Celle-ci n'est pas nécessaire cependant pour produire de la

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

connaissance, puisque le modèle, même non validé, peut susciter des questions pertinentes pour le système réel. Les modèles rendent explicites les hypothèses faites sur le système, les mettent en interaction, puis en débat. Cette mise en débat peut se faire avec la communauté scientifique, avec les communautés concernées par le processus de décision collective en question, ou encore avec le terrain *via* la possibilité de comparer ce qui se passe dans des simulations avec ce qui se passe dans le monde observé. La mise en œuvre du principe d'écriture *via* des modèles avec explicitation des choix de modélisation dans une démarche itérative est cruciale, en particulier quand le processus se veut participatif. La version courante partagée du modèle agit comme un prototype à faire évoluer en fonction de l'évolution des connaissances et des besoins. Chaque cycle s'appuie en particulier sur la polysémie de ce prototype, caractérisée par la multiplicité des points de vue possibles. Le prototype amène les différentes parties prenantes au processus à se construire et à affiner ses propres représentations du système et ses propres questions à son propos vis-à-vis des autres parties prenantes (Suchman et al., 2002).
La mise en œuvre de la modélisation d'accompagnement pour un tel objectif va de la confrontation de résultats de simulation à des connaissances sur le terrain à des formes de modélisation participative. La confrontation au terrain peut provoquer des remises en cause soit de ces connaissances soit des hypothèses de modélisation. Les formes de modélisation participative impliquent les communautés concernées dans le travail sur le modèle lui-même, comme développé par Patrick d'Aquino au Sénégal (d' Aquino, 2001). Cette implication se fait en particulier dans la définition de catégories pertinentes. Les modèles ainsi construits permettent d'explorer les conséquences dynamiques des interactions entre les différentes hypothèses.

3.3.2 L'analyste embarqué

Cette posture de modélisation d'accompagnement est un point commun à l'ensemble des travaux de modélisation présentés dans ce mémoire, qu'ils aient une finalité de compréhension ou d'appui à un processus de décision collective. Le point de vue sur la modélisation présenté dans la charte de la modélisation d'accompagnement précise en effet que si au moins deux objectifs possibles peuvent être poursuivis avec cette posture, ils ne peuvent en aucun cas être considérés comme indépendants. Toute mise en œuvre de modélisation d'accompagnement avec un objectif d'accroissement des connaissances a des incidences *a priori* sur le processus de décision collective visé, et toute mise en œuvre avec un objectif d'accompagnement de processus de décision collective produit *a priori* des connaissances sur celui-ci.
Le principe de démarche itérative avec des cycles passant à chaque fois par le terrain conduit à mettre en œuvre des interactions importantes et régulières entre l'analyste et le terrain. Il peut ainsi y avoir des fertilisations croisées entre deux processus de décision collective : le processus de modélisation d'accompagnement et le processus de décision collective objet de la recherche. L'analyste peut au cours de ces interactions amener les acteurs à accepter ses hypothèses théoriques et à anticiper des autres un comportement calé sur celles-ci, voire à se comporter eux-mêmes dans ce sens. C'est ce qui est critiqué classiquement pour des travaux en sciences sociales comme des prophéties auto-réalisatrices, ou comme un effet de théorie, d'autant plus dangereux qu'il se cache derrière un appareillage sophistiqué tel que des modèles (Bourdieu, 1994). L'analyste peut aussi focaliser l'attention des acteurs avec qui il est en interaction sur un thème particulier, qui va devenir un critère plus important dans le processus de décision collective observé qu'il n'était initialement. Enfin, dans un autre sens, certains acteurs pourraient aussi s'approprier le processus de modélisation d'accompagnement à l'insu du chercheur et s'en servir dans un processus de décision collective dans lequel ils sont impliqués. La modélisation d'accompagnement propose de prendre en compte ces biais

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

potentiels et d'assumer cet embarquement de fait par la mise en place de procédures pour en contrôler les effets : suivi, évaluation, réflexivité.

On se retrouve ici dans une situation proche de la démarche d'analyse stratégique pour la gestion environnementale (Mermet et al., 2005), même si on ne pose pas comme central pour la description des interactions entre les acteurs et leur environnement le niveau des relations de pouvoir et de stratégies. Dans la mise en œuvre d'une modélisation d'accompagnement, l'analyste se place aussi au côté des acteurs de changement, ou peut être « récupéré » par ceux-ci, avec les problèmes que cela pose d'implication dans les jeux de pouvoir (Aggeri, 2005). Notre démarche vise à rendre explicite les hypothèses et positionnements dans les réseaux d'acteurs concernés par le processus de décision collective. Même si ce n'est pas un moyen d'éviter les biais mentionnés ci-dessus, cela donne les moyens de les identifier.
Une des spécificités de la modélisation d'accompagnement est la manipulation d'artefacts supposés représenter le système concerné par le processus de décision collective étudié, typiquement des modèles. Le parti pris méthodologique de cycles successifs et de non complexification *a priori* des modèles développés amène à utiliser des outils potentiellement simples, permettant de rendre réellement explicites les hypothèses faites pour tous les acteurs concernés. La section 4 ci-dessous précise la panoplie d'outils utilisés permettant de faire ce travail sur la communication des hypothèses rendue explicites.
Enfin des interventions à plusieurs, avec des niveaux d'embarquement variables, permettent aussi de limiter les effets de ce biais potentiel :

- en associant une personne en charge d'analyser les interactions entre le processus de modélisation d'accompagnement et le processus de décision collective étudié. C'est ce qui a été fait dans le cas de l'expérience de co-construction du modèle Phylou sur les pollutions diffuses,
- en associant dans le processus de modélisation d'accompagnement un modélisateur et un chercheur connaissant bien par des travaux préalables le domaine afin de réduire les interactions entre les deux processus. C'est ce qui a été fait dans l'expérience sur les inondations de construction du modèle SIGECORIS pour la compréhension des interactions.

3.3.3 Modalités d'apprentissage pour le chercheur

L'objectif de la modélisation d'accompagnement exploré dans cette section reste bien la compréhension d'un système et non la production d'un outil. L'apprentissage concerne les connaissances sur le terrain, et le ou les modèles produits ne sont que des moyens pour accéder à cette connaissance. Ces outils permettent en particulier la compréhension du processus de décision collective par le chercheur essentiellement par deux voies : explicitation de l'implicite, orientation des travaux sur le terrain.
L'implicite peut être présent dans les hypothèses des chercheurs. Par exemple dans l'expérience menée sur la Drôme, il a fallu expliciter les hypothèses sur la relation entre irrigation et besoin en eau des cultures. Alors que les modèles initiaux, qui n'étaient pas faits dans une perspective de modélisation d'accompagnement et n'utilisaient pas un support SMA mais un bilan hydrique sur tableur, supposaient que l'irrigation couvrait les besoins en eau des cultures en temps et en quantité tant que la rivière n'était pas à sec, le passage à un SMA dans le cadre d'une modélisation d'accompagnement a amené à expliciter cette hypothèse. Il a fallu préciser comment se faisait l'apport d'eau, qui ne nécessite pas seulement la disponibilité de la ressource, mais aussi la disponibilité de matériel d'irrigation, l'installation de celui-ci qui dépend de la charge de travail de l'exploitant, la décision de démarrer l'irrigation, elle-même dépendante de la connaissance qu'a l'exploitant de l'état des réserves hydriques de ses parcelles. Ces conditions constituent des scénarios à confronter au terrain.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

L'implicite se trouve également dans les principes sous-jacents à la conduite des processus de décision collective. Ainsi dans l'exemple des systèmes irrigués au Sénégal, les itérations et les enquêtes qu'elles ont engendrées ont conduit à s'interroger sur les motivations des agriculteurs à mettre en œuvre des cultures sur leurs parcelles. Considérer l'agriculteur comme entité autonome, située dans un environnement, conduit à s'interroger sur ses objectifs, indépendamment de l'objectif collectif d'utilisation d'un aménagement hydro-agricole. Cela conduit aussi à s'interroger sur ses interactions avec son environnement qu'il fasse partie ou non du système pré-identifié par l'enjeu de la recherche. On sort ainsi du processus de décision collective défini de manière externe pour s'embarquer dans les processus de décision collective émergeant des interactions entre ceux qui les font.

L'autre mode d'apprentissage consiste à avancer progressivement dans la connaissance du terrain. Chaque itération définit elle-même les données nécessaires pour tester les hypothèses constituant la représentation en cours du processus de décision collective. Pour des cas de données absentes, coûteuses ou difficilement accessibles, le recours à des modèles autorisant des simulations permet de prendre en charge ces données dans des scénarios. Les simulations de ces scénarios permettent de tester la sensibilité à ces données des hypothèses constitutives du modèle, voire d'expliciter les incertitudes liées à leur absence. Elles peuvent inciter les acteurs qui détiennent ces données à les dévoiler ou amener les chercheurs à se rendre compte de la faible importance de ces données dans la dynamique du système. Les résultats des simulations conduisent à poser de nouvelles questions sur le terrain. Au Sénégal, il s'est agi par exemple des modalités d'interactions entre les agriculteurs sur le crédit. Le processus de modélisation d'accompagnement permet ainsi de progresser dans la connaissance du terrain en ciblant les investigations à mener et en éliminant ou améliorant les hypothèses non cohérentes avec le terrain.

4 De la validation à la légitimité des modèles : usage conjoint de SMA et de jeux de rôles

Que ce soit avec un point de vue embarqué ou d'analyste, le recours à des modèles amène la question de leur validation. C'est une question très présente dans toutes les arènes traitant de modélisation, *a fortiori* quand des enjeux de décision ou d'action y sont liés. Le paradigme de la validation vient des sciences physiques ou de l'environnement. Pour celles-ci, les modèles ont l'ambition de décrire le monde et de fournir des supports d'expériences dont les résultats puissent être interprétés pour la compréhension du monde représenté. Si A' est un modèle de A, ce qui est appris grâce à des expériences sur A', doit être valable sur A. Cette proposition est supposée indépendante de l'utilisateur de A' d'une part et de l'histoire de la constitution de A' d'autre part. La connaissance des limites de A' par son utilisateur n'est en particulier pas prise en compte. Le modèle est un outil ayant un concepteur mais étant appelé à prendre une totale indépendance vis-à-vis de lui. Une communauté comme celle des sciences de l'eau a souvent pour objectif la diffusion d'un produit « sur l'étagère ». Ceci augmente le niveau de validation nécessaire pour qu'un modèle puisse être bien utilisé par des acteurs qui ne le connaîtraient qu'au niveau de ses interfaces.
Cette hypothèse pose des exigences fortes de validation. Le respect de ces exigences implique le contrôle des paramètres des systèmes étudiés et la représentation des indicateurs pertinents pour les usagers par des sorties observées. La pertinence de la transposition de ces exigences pour des systèmes pour lesquels certains paramètres sont difficiles à contrôler et/ou à observer est à questionner. Une telle transposition pourrait en effet conduire au rejet complet de l'usage de modèles, quel qu'en soit l'usage et l'usager.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Dans d'autres domaines la question de la validation se pose en d'autres termes. En recherche opérationnelle, l'histoire de la validation est passée par plusieurs phases pour finalement se focaliser sur la technique et donner une place prépondérante au réalisme au détriment de l'utilité dans la validation (Landry et al., 1983). Landry et ses collègues décrivent les dimensions de la validation selon cinq dimensions : conceptuelle, opérationnelle, expérimentale, logique et relative aux données. La validation fait partie de la conception, également vue comme cyclique. En sciences sociales, l'usage de laboratoires virtuels permet de résoudre des problèmes de temps, de contrôle du contexte ou d'éthique. Il amène néanmoins des questions de représentativité du modèle pour tenir un discours pertinent sur le réel.
Dans cette section je commence par revenir sur la diversité des enjeux de la validation, afin de préciser ce que cela peut vouloir dire pour une modélisation d'accompagnement. Je m'intéresse ensuite plus particulièrement aux formes de modèles que j'ai l'habitude de manipuler et qui ont été présentées dans la section précédente. J'introduis enfin une autre forme de modèles, proche de celle du modèle réduit même si moins contrôlable, et complémentaire au SMA informatisé, le jeu de rôles.

4.1 Validation des modèles

Outre l'hypothèse d'indépendance du modèle vis-à-vis de son utilisateur, la question de la validation véhicule également un point de vue implicite sur certains types d'usage des modèles : prévision et reproduction de la réalité. Parce qu'il permet de produire un discours prédictif, un modèle devrait être valide pour cela, même si son rôle est d'abord de produire un discours explicatif ou de susciter la réflexion.
La prévision du déroulement d'un processus de décision collective, pour intéressante qu'elle pourrait être pour un dirigeant voulant anticiper les conséquences de politiques qu'il pourrait envisager, n'a pas de sens d'un point de vue théorique car ces conséquences dépendent de l'apprentissage collectif généré par l'usage du modèle lui-même (Hatchuel, 2000).
La question de la validation est d'abord à renvoyer à celle de l'usage qui peut être fait du modèle et plus largement de l'ensemble du cycle modélisation/simulation. Je commence par expliciter les diverses formes d'usage d'un processus de modélisation/simulation et les enjeux de validation qui y sont associés. J'aborde ensuite la spécificité d'un usage en modélisation d'accompagnement, ce qui m'amène à requalifier la question de la validation en une question de légitimation d'outils.

4.1.1 Validation et étapes de modélisation

Pour traiter de la question de la validation du modèle SHADOC présenté en section 3.2.1, j'ai été amené à considérer un processus de modélisation/simulation constitué de 3 étapes en interaction avec le monde observable. Chacune a ses propres enjeux de validation. Ces trois étapes présentées dans (Barreteau & Bousquet, 1999) sont décrites dans la figure 9. La validation et la vérification de modèles s'intéressent classiquement aux étapes 2 et 3, respectivement étapes de traduction d'un modèle conceptuel dans un modèle exécutable, ou « chaîne de traduction » (Fishwick, 1998), et usage en prise avec le monde réel du modèle exécutable. La validation de ces étapes consiste en une validation interne et une vérification d'une part, et une validation externe d'autre part. Cette conception de la validation s'appuie sur une tradition notamment mise en œuvre pour les modèles globaux s'intéressant plus au comportement et aux résultats des modèles qu'à leurs hypothèses (Küppers & Lenhard, 2005). La représentation des étapes d'un processus de modélisation/simulation en modélisation

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

d'accompagnement ajoute à ces deux étapes classiques l'étape de conceptualisation du modèle.

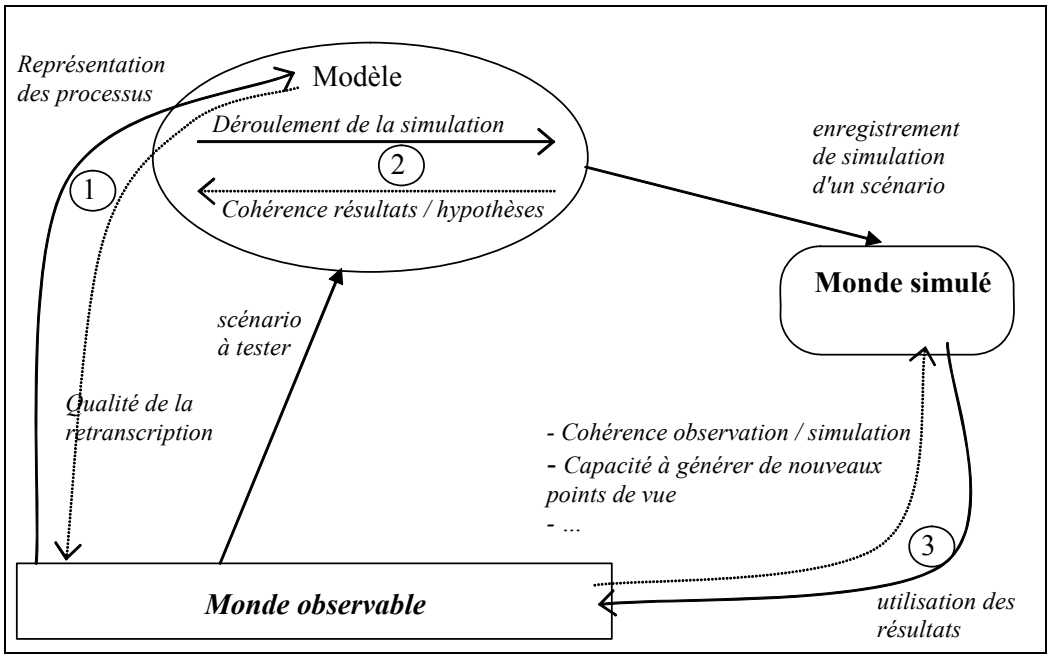

Figure 9 : Trois étapes d'un processus de modélisation/simulation en modélisation d'accompagnement et leurs enjeux de validation associés (adapté de (Barreteau & Bousquet, 1999))

La première étape s'intéresse au processus de construction du modèle, de choix des hypothèses de représentation et des variables pertinentes. Pour le modèle SHADOC, il s'agit par exemple des choix de types de flux considérés (eau et argent), des hypothèses sur les comportements des agriculteurs vis-à-vis de ces flux en sélectionnant quelques actions considérées comme déterminantes dans la dynamique du système : démarrage de la campagne d'irrigation, choix d'une variété, choix d'ouvrir ou de fermer la vanne d'entrée sur sa parcelle, choix d'aller sur sa parcelle, remboursement du crédit, etc. Il s'agit de sélectionner des processus considérés comme déterminant la dynamique du système réel et de faire des choix pour leur représentation. C'est sur la base de ces processus sélectionnés, que l'observation des simulations pourra éventuellement conduire à proposer des explications du fonctionnement du système réel. Il y a donc un enjeu de « qualité de la retranscription », c'est-à-dire de pouvoir remonter des processus inclus dans le modèle à des processus réels. Cette qualité de la retranscription est une condition à la fonction d'apprentissage que peut avoir le processus de modélisation pour le modélisateur (Grimm, 1999). Dans le cas d'un usage avec d'autres acteurs, elle peut aussi être motivée par la compréhension des hypothèses d'un modèle par des acteurs non directement inclus dans le processus de construction du modèle. C'est là une condition à la construction de la légitimité et de l'acceptation d'un modèle, qui dépendent en particulier de l'explicitation des hypothèses. La vérification de la qualité de la retranscription permet le respect du principe d'explicitation des hypothèses de la modélisation d'accompagnement.

La troisième étape s'intéresse à l'utilisation des résultats de simulation en regard du monde réel. La question posée à la simulation devient là importante pour caractériser ce qui est important à valider. S'il s'agit de prédiction du comportement futur du système, la capacité du modèle à prédire la situation actuelle à partir d'états du monde passé est un moyen de vérifier la cohérence entre observation et simulation. S'il s'agit d'une reproduction de la réalité, la capacité du modèle à simuler des phénomènes observables non retenus comme hypothèse de fonctionnement du modèle est un autre moyen de valider la cohérence entre observation et

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

simulation. Dans le cas de GibiDrome, ce type de cohérence a pu être vérifié par exemple sur l'apparition de stress hydriques en début de campagne, dus à des démarrages tardifs de l'irrigation, classiquement observés en irrigation (Labbé et al., 2001). Ces deux cas de vérification de cohérence observation/simulation correspondent à une validation externe. Pour d'autres utilisations de la modélisation en prise avec le réel, la cohérence entre observation et simulation ne sera plus un indicateur pertinent, alors que la capacité à générer de nouveaux points de vue sur le système parmi les acteurs, de nouvelles théories à tester peuvent en constituer.

Dans tous les cas, ces différentes dimensions de la validation sont associées non seulement à différentes étapes d'un processus de modélisation/simulation mais aussi à différents usages qui peuvent en être faits. Au cours de son post doctorat au sein de notre équipe, Marjorie Le Bars a ainsi pu identifier plusieurs usages et les indicateurs de validation pouvant y être associés. Elle distingue des validations centrées sur le modèle, sur l'impact du modèle et sur son usage (Le Bars, 2004). Chercher à imposer une validation adéquate pour chacune de ces dimensions, c'est-à-dire pour chaque étape d'un processus de modélisation n'est pas pertinent pour tous les usages et peut mener à rejeter des modèles pour de mauvaises raisons. Par contre les usages pertinents d'un modèle doivent bien être spécifiés. De la même manière qu'un modèle produisant des simulations cohérentes avec un ensemble d'informations peut être fondé sur des algorithmes numériques sans aucun fondement de représentation, un processus de modélisation peut amener à mieux comprendre un système en obligeant à se poser des questions dessus sans produire de simulations cohérentes avec des observations.

Pour ce qui intéresse les objectifs de la modélisation d'accompagnement, la compréhension ou la facilitation de processus de décision collective, la première étape prend ainsi une grande importance. Réussir à reproduire de manière satisfaisante un processus de décision collective s'il n'y a pas moyen d'identifier des paramètres ou des mécanismes du modèle à des paramètres ou mécanismes du monde réel apporte peu à la compréhension du processus de décision collective lui-même. Le processus reste une boîte noire dont on peut éventuellement mieux appréhender les relations entre les sorties et les entrées, mais sans comprendre les causes de ces relations. Un point important dans l'usage interactif de modèles consiste dans l'accord sur la pertinence du modèle. Cet accord repose en particulier sur l'explicitation des hypothèses du modèle et sa capacité à prendre en charge les phénomènes considérés comme importants par les participants à un processus de décision collective, ce qui relève à nouveau de la première étape. La troisième étape peut également être concernée *via* l'évaluation de l'occurrence de nouveaux points de vue sur le système, évaluation qui reste cependant difficile à mettre en œuvre en pratique.

4.1.2 En modélisation d'accompagnement : une validation par la mise à l'épreuve

La sous-section ci-dessus considère un processus de modélisation classique. La modélisation d'accompagnement présentée plus haut y ajoute des caractéristiques spécifiques, telles que le caractère secondaire du modèle produit par rapport à la connaissance acquise, le caractère itératif de la démarche et la remise en cause continue des hypothèses par le terrain.

Même pour un processus de modélisation classique, la validation n'est en général que partielle. Il n'y a que pour la deuxième étape de validation interne et de vérification qu'il existe des démarches formelles permettant de prouver la validité d'un modèle du point de vue de sa cohérence et de sa justesse interne. La cohérence entre observation et simulation n'est valable que pour les valeurs de paramètres retenus. Pour un usage en prédiction, toute nouvelle simulation doit être considérée comme potentiellement invalidante pour le modèle. Il y a donc une accréditation progressive, une participation à un processus de validation, au fur et à mesure que les confrontations entre monde du modèle et monde réel sont possibles (Law & Kelton, 1991).

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Le caractère itératif propre à la modélisation d'accompagnement permet également de travailler sur l'accroissement progressif de la confiance ou de la crédibilité du modèle. Dans l'exemple au Sénégal, il y a bien un accroissement progressif de la compréhension du fonctionnement du système *via* une invalidation à chaque itération de chaque modèle produit. Cette invalidation est le moteur même de la démarche puisqu'elle pointe à chaque fois sur de nouveaux points de vue à prendre en compte pour comprendre ce qui se passe dans un système irrigué : introduction des échanges de crédit, puis introduction des règles de changement de règles. La validation, vue comme qualité de la retranscription, s'accroît au fur et à mesure des cycles. Le caractère itératif de l'approche permet aussi de s'adapter aux évolutions du système que le modèle représente ou au sein duquel il a vocation à être utilisé. Cette approche est bien adaptée à des systèmes en évolution permanente dans leur fonctionnement ainsi que dans les enjeux portés par la collectivité.

L'évolution vers des formes de modélisation participative permet d'aller plus loin en mettant en interaction les concepteurs de la famille de modèles avec les acteurs concernés par la représentation sous-jacente : des utilisateurs potentiels du modèle, aussi bien que des acteurs concernés par les usages du modèle. Il peut aussi s'agit d'une inclusion progressive dans la conception du modèle. Ainsi dans l'exemple de Phylou, il y a bien eu une appropriation du modèle par les acteurs gestionnaires de l'eau, prêts à envisager s'en servir dans leurs interactions avec les viticulteurs par exemple (Boutet et al., 2005). Deux d'entre eux ont par exemple proposé d'amener le modèle co-construit dans une autre arène plus opérationnelle dans laquelle ils étaient impliqués sur le même sujet. Ceci peut s'analyser comme une accréditation du modèle ainsi construit suite à une bonne connaissance de celui-ci par les acteurs impliqués dans le processus de modélisation d'accompagnement (Barreteau et al., 2005). Là encore cela reste une validation partielle, l'accroissement de la confiance dans le modèle par les acteurs peut les conduire à mésuser des modèles ainsi construits du point de vue des modélisateurs.

Pour le point de vue de la modélisation d'accompagnement, la validation passe ainsi par la *mise à l'épreuve* des modèles construits. La modélisation d'accompagnement comporte un *engagement* du chercheur/modélisateur dans le terrain qu'il étudie ou dont il vise à faciliter des processus de décision collective. Il y a un « ajustement dynamique » entre les représentations du chercheur/modélisateur embarqué et les processus en cours sur son terrain (Thévenot, 2006). Il s'agit de remettre une certaine symétrie entre les participants à un processus de modélisation (Richard & Barreteau, 2006). Chaque cycle de la modélisation d'accompagnement conduit à éprouver les représentations sous-jacentes au modèle produit dans l'engagement auprès des acteurs. L'attachement à produire une modélisation contingente à un système, à son état en un temps donné, lié à l'impossibilité d'un point de vue strictement non embarqué quand on s'intéresse à des processus de décision collective, rend *a priori* transitoire toute validité éventuelle d'un modèle. Il ne s'agit donc pas de chercher en quoi un modèle est bon, mais de proposer une représentation que l'on juge pertinente pour un objectif donné, en un temps donné, sur un système donné, afin de la soumettre à la critique et d'avancer dans la compréhension ou la facilitation du processus de décision collective grâce à ce modèle.

Une autre spécificité de la modélisation d'accompagnement réside dans l'objectif du processus de modélisation qui n'est pas *a priori* la production d'un modèle, et donc encore moins d'un bon modèle ou d'un modèle validé. Que ce soit dans un point de vue analyste ou embarqué, le modèle est un outil de travail qui n'est pertinent que s'il permet d'avancer sur la connaissance d'un système pour un usage vers la compréhension d'un processus de décision collective, ou s'il produit des lieux de discussion ou des points de vue nouveaux permettant au processus de décision collective d'avancer pour un usage en facilitation.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

4.1.3 Vers un enjeu de légitimation des outils

La validation des modèles utilisés dans un processus de modélisation d'accompagnement doit donc être discutée en termes de capacité à poser des questions sur un système quand l'objectif est un accroissement de connaissance. Quand il y a un objectif d'accompagnement de processus de décision collective, elle doit être discutée en termes de légitimité des outils. Cet enjeu de légitimation des outils utilisés dans des processus de décision collective est indépendant de la validation technique ou du réalisme du modèle (Barreteau et al., 2002). Ainsi dans le bassin versant de l'Orb cité en introduction, sur la question des inondations, un modèle produit par un bureau d'études local, techniquement valide d'un point de vue hydrologique, a été jugé comme irrecevable par une partie des acteurs concernés car il ne correspondait pas à leurs attentes. Le modèle montrait que la gestion en prévention de crue d'un barrage à l'amont du bassin ne changerait que de quelques centimètres le niveau d'eau dans leur quartier. Les habitants de ce quartier souhaitant des solutions à leur problème d'inondation n'ont alors pas accepté les résultas de ces simulations. Ce désaccord a amené le Conseil Général, propriétaire du barrage enjeu de débats, à financer néanmoins un mode de gestion de ce barrage en prévention des crues.

La mise à l'épreuve d'un modèle, vu comme mode d'écriture des connaissances sur un système à un moment donné, exige également un accord sur l'épreuve elle-même ainsi que sur les modalités d'action autour de ce modèle (Thévenot, 2006). Dans une perspective de connaissance d'un processus de décision collective, l'enjeu de la mise à l'épreuve, la publicité de celle-ci, le statut du scientifique demandeur, doivent être prises en compte dans l'organisation de l'épreuve elle-même. Ainsi le jeu de rôles produit sur la Drôme, qui était une étape dans la réflexion sur les modalités de gestion collective des étiages, s'est trouvé mis à l'épreuve dans un test pour laquelle il n'y avait pas de mandat clair, avec un public comportant des acteurs se sentant concurrencés par ce type d'outil. Non seulement le processus d'accompagnement de processus de décision collective sur la gestion des étiages s'est trouvé bloqué comme expliqué dans la section 5.1.2, mais il n'y a pas eu d'apprentissage non plus sur ces processus de décision collective.

A l'opposé, dans l'expérience au Sénégal, la légitimation de l'outil pour parler du système irrigué s'est construite d'une part sur l'expérience vécue des interactions avec le concepteur de l'outil en question, d'autre part sur sa pratique dans un jeu de rôles ayant évoqué suffisamment de points d'attaches au monde réel pour valider la qualité de sa représentation et susciter des discussions sur celui-ci.

4.2 Une spécificité des SMA ?

Les modèles informatiques que j'ai développés sont tous des SMA. Ils comportent des représentations d'enjeux sociaux, se focalisent sur les interactions et les dynamiques et ont un niveau de réalisme potentiel assez élevé. Ces caractéristiques rendent difficiles leur validation par une approche de validation externe classique.

4.2.1 Difficulté de représentation des phénomènes sociaux en jeu

Les modèles présentés en section 3 incluent à des degrés divers des représentations de comportements d'acteurs. Or la modélisation en sciences sociales comporte une double difficulté : la modélisation est un processus social en soi et l'objet étudié est difficile à manipuler (Lansing, 2002). Même si l'économie développe de nombreuses techniques de révélation de préférences, les choix faits en situation sont contingents à tout un contexte, dont les paramètres sont difficilement contrôlables pour les reproduire dans un modèle, ou en connaître la valeur dans une situation d'enquête. L'ensemble des paramètres dont dépendraient ces choix est lui-même quelque chose de mouvant. Plusieurs travaux, en

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

ethnologie cognitive notamment (théories de l'action située), ont montré que les objets de l'environnement dans lequel se situe une action constituent une mémoire externe, mobilisée pour mener cette action, et disponible seulement dans l'interaction (Conein & Jacopin, 1994; Suchman et al., 2002). Au niveau collectif, Miettunen et Verkunnen ont identifié une triple contingence de changements dans l'action collective : contingence au temps, aux personnes en présence et aux moyens, outils et dispositifs disponibles (Miettinen & Virkkunen, 2005).
Un premier objectif de l'usage de modèles en sciences sociales est la production de théories. C'est le cas d'exemples classiques de sociétés artificielles, tels que SugarScape (Epstein & Axtell, 1996) ou DaisyWorld cité dans (Lansing, 2002) ou en économie artificielle (Tesfatsion, 2001). Dans ce cas la génération de formes cohérentes avec des formes du monde réel est une voie de validation, en s'intéressant à des caractéristiques générales du système représenté (Manson, 2002). La notion d'émergence est centrale pour les simulations multi-agents (Ferber, 1995). Ces propriétés émergentes générées par les modèles peuvent être abstraites et difficilement observables dans le monde réel, par exemple un niveau de confiance présent dans une société, ce qui pose alors des problèmes pour leur validation.
Alors que pour les sciences naturelles les règles de validation concernent surtout la reproductibilité d'expériences, ou de chroniques passées, en sciences sociales le but peut aussi être, à partir d'ensemble de données, de découvrir des règles qui génèrent des formes de dynamiques (Küppers & Lenhard, 2005). Le chercheur utilise alors le modèle, un « monde jouet », pour comprendre par exemple les subjectivités de l'expérience humaine et la dynamique de construction des cultures (Kohler, 1999). La possibilité d'observation de ces règles pose problème.
D'une manière générale les outils développés s'intéressent à des phénomènes difficilement observables : processus sociaux contingents, règles générant des types de dynamique, conséquences émergentes de choix théoriques. La validation des modèles, *via* une comparaison directe des résultats des simulations aux phénomènes réels est alors difficile. Pourtant pouvoir émettre des hypothèses sur la dynamique d'une société est en soi important. Il s'agit de proposer des explications alternatives à d'autres modèles plus classiques, devant être cohérentes avec des observations ou avec des points de vue d'acteurs.

4.2.2 Une reconstitution du monde potentiellement réaliste

Si les SMA ont des caractéristiques les rendant difficiles à valider d'un point de vue externe sur les résultats des simulations, ils n'en restent pas moins des artefacts pouvant prétendre donner à voir et à comprendre des systèmes réels. C'est en particulier le cas pour les modèles présentés tout au long de la section 3. Les SMA, du fait de leur mode de programmation objet ont une architecture facile à mettre en parallèle avec le monde réel, ce qui est une des raisons de leur succès comme outil de simulation. Ils proposent des reconstitutions du monde pouvant être reconnues comme réalistes. Ce réalisme potentiel doit être pris en compte quand on traite de la validation.
Le mode de programmation objet décrit le monde sous forme d'entités en interactions entre elles : pour GibiDrome, il s'agit de champs, d'agriculteurs, de pompes, d'une commission locale de l'eau, de cultures. Ces briques permettent de reconstituer un bassin versant apparaissant comme réaliste, mais pour lequel les interactions et les dynamiques propres à tous ces objets ne sont pas facilement manipulées par les acteurs pouvant se trouver en face de ces modèles. Il est alors nécessaire de contrôler l'usage qui peut être fait du modèle et des résultats de simulation pour éviter les surinterprétations.
Un premier moyen de contrôle de cette surinterprétation est d'aller vers plus de validation, même si celle-ci n'est pas nécessaire pour l'usage nominal du modèle. La spécification des usages possibles du modèle est un autre moyen de la prendre en compte. Elle peut se faire au niveau des documents d'accompagnement ou des interfaces disponibles.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

J'ai retenu une troisième approche, non exclusive, dans les modélisations que j'ai développées. Il s'agit de travailler sur le réalisme de la représentation spatiale des modèles, partant de l'hypothèse que c'est l'interface spatiale qui est la plus visible lors d'une simulation. Elle va donc orienter la compréhension et l'interprétation que pourront en tirer les acteurs qui interagiront avec ce modèle. Ainsi dans Shadoc, la taille du système irrigué est générée par un paramètre du modèle, mais sa structure (5 canaux terminaux) et l'allocation (1 parcelle rectangulaire de 1 hectare par agriculteur) sont fixes. Cette structure de système irrigué ne correspond à aucun périmètre irrigué en particulier mais suffit pour considérer le périmètre représenté dans le modèle comme un archétype des périmètres de la moyenne vallée du Fleuve Sénégal. De même dans GibiDrome, aucune carte du bassin n'est utilisée et seuls quelques grands indicateurs géographiques ont été respectés telle que la situation relative des réseaux collectifs et des irrigants individuels (Amont/Aval, rive gauche/rive droite déterminant fortement l'accès à l'eau). Dans les discussions avec des représentants des agriculteurs et de la Commission Locale de l'Eau sur ce modèle, les membres de la CLE ont jugé le modèle trop dangereux pour être diffusé à l'extérieur du cercle d'initiés qu'ils constituent, même si potentiellement intéressant pour réfléchir sur la dynamique de leur système.
L'usage interactif du modèle, tel qu'il est proposé dans la modélisation d'accompagnement est également un moyen de contrôler à la fois l'usage et l'interprétation qui peut en être faite : les chercheurs présents lors d'une session de simulation interactive peuvent cibler l'usage et corriger les interprétations abusives par rapport au niveau de validité du modèle.
Enfin l'explicitation du contenu du modèle dans une forme compréhensible et discutable par les acteurs pouvant interagir avec ce modèle permet de donner des clés d'interprétation possible du modèle, et donc d'éviter au moins les sur-interprétations non volontaires. Les jeux de rôles développés dans mon travail ont été conçus en particulier dans ce but, ce sera l'objet de la section suivante.

Toute la discussion qui précède ne résout pas la question de la validation, mais la reformule afin d'éviter d'imposer des exigences inutiles sur les modèles produits. Elle ne nie pas la nécessité d'une validation et souligne au contraire, que même si elle est difficile, elle est indispensable du fait du réalisme apparent des SMA. Si l'objectif d'un processus de modélisation est l'apprentissage ou la compréhension d'un processus de décision collective, la première étape de qualification de la représentation est cruciale, quelles que soient les sorties des simulations. Des pistes intéressantes sont actuellement explorées proches des démarches qualité de génie logiciel, une revue récente en dresse un bon panorama : alignement de modèles, réplication… (Amblard et al., 2006).
Pour aborder cette question dans un contexte d'usage interactif du modèle avec des acteurs non nécessairement familiers avec la manipulation d'outils informatiques, j'ai choisi avec des collègues du Cirad et de l'INRA d'explorer la piste de la complémentarité entre systèmes multi-agents et jeux de rôles. Le développement méthodologique sur ces outils a été une activité spécifique du groupe ComMod, allant jusqu'à la mise au point au sein de ce groupe d'une formation spécifique sur les jeux de rôles.

4.3 Vers une association SMA/jeu de rôles

Suite au développement du modèle Shadoc, j'ai commencé avec François Bousquet à introduire le jeu de rôles comme outil complémentaire au système multi-agent. Je vais commencer par revenir sur les origines de cette introduction, liées aux questions de validation exposées ci-dessus mais aussi à l'intérêt des jeux de rôles tels qu'ils avaient déjà été mobilisés indépendamment des SMA, en gestion ou économie.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

4.3.1 Les origines de cette association

La première motivation à aller vers les jeux de rôles en venant des SMA était un moyen d'expliciter le contenu d'un modèle, d'en ouvrir la boîte noire (Barreteau et al., 2001). Cette explicitation devait permettre aussi bien de raconter aux agriculteurs sénégalais ce que j'avais fait avec toutes les enquêtes que j'avais conduites au cours de ma thèse, que de travailler sur une forme de validation des SMA et de tester la pertinence de leur usage dans une perspective « d'aide à la négociation ». L'idée était de pouvoir communiquer le contenu d'un modèle à des acteurs concernés par ce modèle mais n'ayant aucune habitude non seulement de la modélisation informatique, mais aussi de l'objet « ordinateur » lui-même. Il ne s'agissait donc pas de faire une présentation même détaillée et pédagogique des hypothèses du modèle avec de jolies diapositives et des exemples de simulations en direct. Il nous fallait un moyen de « faire vivre » le modèle.

En parallèle à ce choix, nous avons rencontré François Pingaud et lui avons fait une démonstration du modèle. Celui-ci nous a alors parlé d'un jeu de rôles venant d'être réalisé à propos de la mise en place d'un tunnel dans les Pyrénées et sur la base du cadre théorique des économies de la grandeur, Eco-Logiques (Germe & Thévenot, 1996). Ceci nous a amenés à considérer la faisabilité d'une traduction du modèle en jeu. Une connaissance de quelques expériences de jeux de rôles utilisés dans des contextes de négociation (Mermet, 1993; Piveteau, 1995) ou de formation (Mauriras-Bousquet, 1984) a renforcé notre envie d'essayer cette association d'un outil associé à la famille des NTIC à un outil vieux de plusieurs milliers d'années puisque des exemples de jeux de simulation remontent à la Chine antique (Duke & Geurts, 2004).

Dans la suite du modèle SHADOC décrit en section 3.2.1, nous avons donc développé un jeu de rôles, visant à reproduire les éléments considérés comme clé dans le modèle informatique : la pluri-activité, la diversité des objectifs, la hiérarchie des relations sociales, l'existence de groupes sociaux au sein desquels se font des échanges privilégiés, la distance du lieu de vie à la parcelle, l'inégalité d'accès à l'eau et la nécessité d'irriguer plusieurs fois sa parcelle au cours d'une saison. A partir de ces contraintes, nous avons supprimé quelques règles, changé la représentation du temps et créé des cartes occasion pour simuler le générateur de nombres aléatoires. Le test d'une première version a été réalisé avec une association paysanne de la zone où ont été faites les enquêtes et a conduit à de nouvelles simplifications visant à limiter la durée d'une session à une demi-journée. Les joueurs se retrouvent ainsi avec une parcelle chacun dans un périmètre collectif organisé autour d'une station de pompage et de deux canaux principaux. Ils tirent au hasard un objectif de mise en culture et un statut social. Les joueurs sont considérés comme étant dans des villages ou groupes sociaux différents, incités à se considérer dans une relation inamicale. Ces groupes sociaux sont mélangés au sein du périmètre irrigué. Les joueurs s'organisent ensuite dans le périmètre, en se répartissant les parcelles et en choisissant un chef pour chaque maille hydraulique et pour le périmètre dans son ensemble. Chaque maille hydraulique est alors à même de se choisir un mode d'organisation collective de l'irrigation. Une campagne agricole est représentée par 8 pas de temps successifs. A chaque pas de temps, chaque joueur tire une carte « occasion » et choisit alors d'aller ou non sur sa parcelle en fonction de son objectif, et éventuellement d'agir sur sa parcelle (semis, ouverture ou fermeture de vanne, récolte) ou celle d'un autre joueur de son village de statut social supérieur ou égal. En fin de campagne, chaque joueur reçoit une récolte de riz fonction de sa conduite de sa parcelle[7]. Ce jeu a été baptisé Njoobaari Ilnoowo[8] par les premiers joueurs au Sénégal(Barreteau et al., 2001).

[7] Pour plus de détails sur le jeu, se référer par exemple à (Barreteau & Bousquet, 2001a)

[8] Littéralement « baise-en-ville de l'irrigant », ce qui recouvre bien la notion de représentation minimale.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Les jeux de rôles sont une catégorie d'outils utilisés depuis longtemps par eux-mêmes aussi bien pour des enjeux de compréhension de processus de décision collective, d'accompagnement de processus de décision collective que d'apprentissage. En pédagogie, ils sont utilisés soit *via* des jeux exploratoires pour faire comprendre une notion, soit dans des jeux de consolidation où les étudiants doivent mettre en action leur savoir acquis. Ces méthodes de pédagogie active font l'hypothèse que les étudiants acquerront mieux les compétences s'ils les apprennent par l'action. La mise en œuvre du jeu nécessite d'être complétée par un débriefing (Lederman, 1992). Ce débriefing organise le retour au monde réel depuis le jeu pour prendre du recul sur le déroulement du jeu, faire retomber la tension éventuelle, permettre aux joueurs de recouvrer la face, partager les expériences, mettre en évidence les savoirs acquis et s'interroger collectivement sur leurs pertinences pour le monde réel (Peters & Vissers, 2004).
Les jeux d'entreprise et les exercices de simulation de politique sont deux catégories proches issues des sciences de gestion et de la recherche opérationnelle. Elles partagent l'aspect « mise en situation » du jeu de rôles. Les premiers mettent en scène des situations réelles répétées, et les seconds des situations potentielles concernant les joueurs. L'issue de la simulation n'a d'autre vocation que de faire réfléchir sur ce qui se passe dans la réalité (jeux d'entreprise) ou qui pourrait se passer (exercices de simulation de politique). La fonction des jeux d'entreprise est de permettre aux parties prenantes à une situation problématique de comprendre les contraintes et points de vue des autres parties prenantes en les voyant faire « comme si ». Ces observations ne sont pas perturbées par une captation de leur attention sur d'autres questions comme dans la vie courante, ni par l'existence d'enjeux opérationnels immédiats. La compréhension mutuelle qui en découle peut alors servir de base de discussion entre les parties prenantes du système simulé. Une synthèse d'expériences avec 88 jeux d'entreprises met en avant les gains en dialogue et en émergence de nouvelles façons de penser (Forssén & Haho, 2001). Les jeux d'entreprise ont un double intérêt pour le monde réel : améliorer la communication entre acteurs d'un même processus et augmenter la capacité à produire de nouvelles idées pour la résolution de problèmes complexes. La réalisation d'un débriefing est capitale pour mettre au clair ce qui a été appris au cours du jeu.
Les exercices de simulation de politique (ESP) s'appuient sur l'écriture de scénarios permettant de sortir des zones de fortes confrontations d'intérêts pour se demander comment on peut y arriver à partir du temps présent (Toth, 1988). La mise en situation potentielle *via* le jeu amène les acteurs de celle-ci, à réfléchir sur leur organisation, leurs capacités d'interaction et d'action commune. Cette réflexion est mise à jour et en commun lors du débriefing. Les ESP sont maintenant utilisés dans de nombreux domaines : gestion hospitalière, gestion d'une compagnie ferroviaire, définition de politiques publiques nationales (Duke & Geurts, 2004). Le jeu fournit une réalité à partir de laquelle les joueurs peuvent agir (Watson & Sharrock, 1990). L'élément clé des ESP est de fournir des réalités qui pourraient se produire.

L'économie expérimentale propose également des outils proches des jeux de rôles, même si elle tient à s'en distinguer en les qualifiant d'expériences ou de jeux expérimentaux en référence à la théorie des jeux. Ces expériences placent des joueurs en situation très contrôlée afin de comprendre les comportements individuels et collectifs induits par ces situations (Callon & Muniesa, 2006). Les objectifs de ces expériences sont soit le test de théories, soit une meilleure connaissance des comportements des humains dans des situations données ou encore le test de nouvelles configurations institutionnelles (Friedman & Sunder, 1994). Ces expériences sont particulièrement efficaces pour les situations présentant des enjeux de communication ou de formes d'interactions entre individus forts (Ostrom et al., 1994). La question de l'intérêt des participants aux sessions de jeu se pose ici, en particulier dans la

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

mesure où leur marge de manœuvre est assez réduite. Les joueurs sont en général rémunérés pour leur participation, en fonction de leurs résultats dans le jeu. Cette rémunération a deux fonctions :

- Inciter à participer et compenser les coûts induits par cette participation. Il s'agit en général d'une partie fixe de la rémunération.
- Mettre les joueurs dans des situations de comportement économique supposées proches de leur comportement réel.

L'objectif de cette famille de jeu n'est jamais de simuler la réalité mais de tester un modèle théorique. Ce champ est actuellement en évolution avec la mise en place d'expériences en milieu réel avec des acteurs concernés par les enjeux idéalisés dans les expériences (Cardenas et al., 2000).

Alors que jeux d'entreprise et exercices de simulation de politique prennent peu de recul théorique sur le réel, en limitant la phase de conceptualisation, l'économie expérimentale a de son côté une très faible accroche sur des enjeux de terrain. Dans un cas la formalisation est implicite et distribuée entre les participants qui s'enrichissent collectivement pour leurs pratiques de terrain au cours d'une session. Dans l'autre cas elle est contrôlée par le concepteur de l'expérience. Celui-ci doit ensuite proposer des interprétations pour expliquer les résultats de l'expérience, ne correspondant pas aux attentes de la théorie. Dans tous les cas, le jeu, que ce soit un jeu de rôles, un exercice de simulation de politique ou une expérience est un moyen de mettre en scène une situation complexe contrôlée, émergeant de la multiplicité et de la distribution des centres de décision (Schelling, 1961).

Le développement de l'association jeu de rôles/SMA repose aussi sur les similitudes entre les deux types d'outils. Plusieurs concepts clé des SMA ont un pendant assez immédiat dans le jeu de rôles, comme le résume le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1 : éléments d'équivalence entre jeux de rôles et SMA

Jeu de rôles	***SMA***
Joueur	Agent
Rôle	Règle
Tour de jeu	Pas de temps
Plateau de jeu	Interface
Session de jeu	Simulation

Ces similitudes reposent plus profondément sur une correspondance d'architecture. Un jeu de rôles a la même architecture qu'un SMA selon sa définition en section 3.1 : système composé d'un espace, un ensemble d'objets situés dans cet espace, parmi lesquels certains, dénommés agents, sont actifs et peuvent communiquer, d'un ensemble de relations entre ces objets et agents, d'un ensemble d'opérations par lesquelles les agents traitent les objets et des opérateurs chargés de l'application de ces opérations et de l'évolution du système suite à ces opérations (Ferber, 1995). Formellement un jeu de rôles correspond aussi à cette définition. Ceci m'amène à considérer un jeu de rôles comme un SMA humain, et les SMA au sens classique comme des SMA informatiques. Par souci de clarté, je continuerai néanmoins à les dénommer respectivement jeu de rôles et SMA selon leur dénomination usuelle.
Cette similitude d'architecture vient en particulier de ce qui est relevé comme point clé aussi bien pour les jeux de rôles que pour les SMA : la distribution de processus de décision entre des entités autonomes et en interaction. Dans les deux cas, cette distribution permet de mettre en scène des situations complexes, afin de les étudier et faire émerger des résultats au niveau

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

collectif. C'est là tout l'enjeu du travail sur les processus de décision collective, que ce soit en terme d'analyse ou d'accompagnement.
Au-delà de cette similitude d'architecture, ce constat permet le partage de modèle conceptuel entre un SMA et un jeu de rôles, de la même manière que le plus souvent l'économie expérimentale partage ses modèles conceptuels avec ceux de la théorie des jeux. Ceci conduit à bien distinguer la représentation faite à un moment donné d'un système, c'est-à-dire l'ensemble des hypothèses et leurs mises en interaction et en dynamique, et les traductions qui en sont faites dans des artefacts spécifiques (Barreteau & Bousquet, 2001b). Le modèle conceptuel peut ainsi être bien traduit par différents moyens techniques : jeu de rôles, SMA, ensemble d'équations, etc. Cette pluralité des formes d'instanciation permet au passage de réconcilier modélisation et sciences sociales (Hanneman, 1995). Le choix de la forme peut alors être fait en fonction des besoins et contraintes d'usage, des « niveaux cognitifs » auxquels on veut s'adresser : information, relations interpersonnelles, niveau du groupe (Whitworth et al., 2000). Le jeu permet ainsi de comprendre en expérimentant de l'intérieur alors que le modèle permet de comprendre en répétant des simulations et en explorant des scénarios (D. L. Meadows, 2001).
Il est ainsi possible de s'appuyer sur les atouts respectifs de ces différents outils : capacité de communication pour les jeux de rôles et capacité d'exploration contrôlée de scénarios pour les SMA. La forme jeu de rôles sera utile pour communiquer le contenu d'un modèle alors que la forme SMA sera utile en phase de formalisation des hypothèses ou d'exploration d'une variété de scénarios. Cette dissociation explicite permet également de bien préciser si on travaille sur la validation du modèle conceptuel ou d'un artefact dont les résultats de simulation reproduiraient ceux du monde réel. La forme de l'artefact permet aussi de travailler sur les risques de surinterprétation, le jeu étant moins considéré comme outil de prévision que le modèle *a priori* (D. L. Meadows, 2001).

4.3.2 Concert'eau, un jeu de rôles pour comprendre la gestion concertée

Même si l'association d'un jeu de rôles avec un SMA est souvent bénéfique, elle n'est pas systématique. Au cours de sa thèse, Audrey Richard a développé un jeu, Concert'eau, sans passer par une étape d'implémentation informatique ni développer un outil complémentaire. Ce jeu est basé sur Eco-Logiques, jeu pédagogique s'appuyant sur les régimes de justification sur un cas d'aménagement d'une vallée des Pyrénées (Germe & Thévenot, 1996). L'objectif de Concert'eau est la compréhension des enjeux de gestion concertée au travers de la mise en situation de joueurs. Concert'eau ajoute à la mise en scène des régimes de justification mise en œuvre dans ce jeu, une mise en situation de bascules entre régimes d'engagement. Il a été développé avec en perspective le bassin de la Lentilla présenté en section 2.4 où doit se mettre en place une telle procédure. Cependant, à partir de tests avec des collègues, il est vite apparu qu'il constituait une plateforme très intéressante pour comprendre ce qui se passe dans une situation d'interaction entre des individus hétérogènes et tiraillés entre différentes formes d'engagement. C'est aussi une forme de test du cadre théorique des régimes d'engagement (Thévenot, 2006).
Le jeu met ainsi en scène quatre participants à des discussions situées dans un espace informel public, chacun joué par deux joueurs, portant des logiques de gestion de l'eau différentes. Les joueurs sont alors amenés à discuter de leurs logiques à partir du choix de cartes au sein d'un jeu constitué de photos, d'extraits de documents ou de citations d'entretiens tous en relation avec la gestion de l'eau en zone méditerranéenne. Ensuite on simule des événements et on leur demande de se positionner par rapport à ces événements en poussant à l'émergence de consensus. La dynamique est donnée par l'animateur du jeu qui fait le choix de la succession des événements en fonction des accords trouvés par les joueurs sur les événements précédents. Le jeu est suivi d'un débriefing permettant en particulier aux joueurs de recouvrer

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

leur face (Richard & Barreteau, 2005), de prendre leurs distances s'ils le désirent avec le rôle qu'ils ont eu à jouer.

4.3.3 Place des jeux de rôles dans la modélisation d'accompagnement

Utilisés en modélisation d'accompagnement, les jeux de rôles empruntent beaucoup aux exercices de simulation de politique d'une part et à l'économie expérimentale d'autre part. Ils gardent en particulier des exercices de simulation de politique l'importance du débriefing et la relation forte à des questions contingentes à un terrain. Ils gardent de l'économie expérimentale la référence à un modèle conceptuel rendu explicite, permettant en particulier des répétitions voire des simulations informatiques. Ils constituent cependant une catégorie à part, s'appuyant en particulier sur les spécificités suivantes :

- Existence d'un modèle conceptuel sous-jacent rendu explicite dans le jeu de rôles,
- Mise en scène d'un monde virtuel, incluant des indices de reconnaissance pour proposer des liens avec le monde réel,
- Ouverture systématique à une multiplicité d'objectifs,
- Existence d'un environnement dynamique,
- Réalisation systématique d'un débriefing.

Les joueurs ont un minimum de règles communes à respecter imposées par le jeu, traduction des hypothèses propres au modèle conceptuel sous-jacent. En tant que jeu, ces dispositifs mettent bien en œuvre une distanciation au monde réel résidant dans la mise en scène d'un monde virtuel dans un temps propre, indépendant des dynamiques en cours dans lesquelles les joueurs sont impliqués (Caillois, 1967). Cette distanciation permet aux participants de laisser temporairement de côté leurs enjeux spécifiques durant le temps du jeu. La nouveauté et l'aspect ludique du dispositif incitent les participants à mobiliser des régimes d'engagement (Thévenot, 2006) spécifiques, différents *a priori* de ceux qu'ils mobiliseraient dans une situation de débat classique. Cette situation est supposée déstabiliser les participants pour les pousser à sortir de modes d'action en plan, de « grandir » vers des registres de justification liés à des principes, tout en leur offrant la sécurité de pouvoir se récupérer ensuite sur le mode « ce n'était qu'un jeu ». Elle leur permet même de laisser de côté leur régime de justification propre, leurs valeurs, pour en endosser d'autres, volontairement ou selon les requêtes du maître de jeu (Richard & Barreteau, 2005). Comme montré par William's Daré dans sa thèse, le régime d'engagement familier est probablement le plus difficile à laisser au vestiaire (Daré, 2005). Des choix d'interfaces non réalistes n'autorisant pas la reconnaissance de ses entours personnels incitent les joueurs à laisser de côté leurs intérêts propres. L'être et ses caractéristiques propres, tel que le statut social, déjà mis à mal par la distanciation éventuellement demandée aux valeurs personnelles, n'arrivent par contre pas à disparaître pour en endosser un autre. De fait le jeu de rôles avec cette distanciation autorise et favorise un quatrième régime d'engagement, le régime exploratoire (Auray, 2007). Les joueurs profitent de cette distance et de la sécurité liée à la possibilité de contestation des conséquences de leurs comportements dans le jeu pour tester des comportements originaux, pour mettre en débat des tabous, etc.

L'indépendance au monde réel n'est cependant pas totale. C'est là un des intérêts de l'usage des jeux de rôles dans un contexte d'accompagnement d'un processus de décision collective ou de recherche sur celui-ci : les enjeux simulés dans les jeux sont supposés évoquer aux joueurs des enjeux auxquels ils sont confrontés. Le monde virtuel est parsemé d'indices mis à disposition des joueurs pour qu'ils puissent y reconnaître des éléments de leur monde. Ces indices sont là pour inciter les joueurs à mobiliser leur expérience, leur vécu, leurs habitudes au cours du jeu afin qu'une interprétation vers des processus de décision collective réels soit envisageable au cours d'un débriefing. Ils permettent également que les joueurs aient des

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

comportements dans le jeu ayant un sens pour la réalité. L'effet de la présence de ces indices apparaît clairement quand on compare l'usage d'un même jeu dans un cadre de formation ou sur le terrain avec des gens concernés, comme j'ai pu en avoir l'expérience avec le jeu développé au Sénégal. En formation en France, des comportements purement ludiques et dénués de tout lien à la réalité sont apparus, comme chercher à nuire à un autre irrigant, alors qu'ils n'apparaissent pas quand des agriculteurs des systèmes irrigués de la vallée du Sénégal jouent. Cette ambivalence des jeux de rôles utilisés en modélisation d'accompagnement conduit dans leur conception à la recherche d'un équilibre entre distanciation et présence d'indices, entre fermeture par des règles et ouverture, qui doit être ciblé en fonction de son objectif de mise en œuvre.
Les jeux de rôles pour une modélisation d'accompagnement mettent en présence une diversité d'objectifs : objectifs des joueurs en participant, objectifs endossés par les joueurs dans le jeu (qui peuvent être assignés ou laissés libres), objectif donné au collectif de joueur, objectif du concepteur du jeu. Cette pluralité et cette ouverture des objectifs entraînent l'absence de victoire ou de meilleure partie aussi bien au niveau individuel des joueurs qu'au niveau collectif pour une séance donnée. Cela fait bien du jeu un outil d'explloration. Elle entre aussi en adéquation avec le point de vue retenu sur les processus de décision collective dans la section initiale, la multiplicité des objectifs correspondant à la multiplicité des acteurs en interaction dans le processus de décision collective, que ces interactions soient ciblées sur ce processus de décision collective ou non. Les jeux de rôles reproduisent donc ainsi une situation caractéristique de processus de décision collective.
Le champ d'application préférentiel pour la modélisation d'accompagnement de la gestion des ressources renouvelables a entraîné aussi le développement d'environnements dynamiques pour ces jeux qui associent pour la plupart des modèles de la ressource sous forme de SMA, de fonctions tabulées, de règles arithmétiques simples, de fonctions mathématiques, de scénarisation. Njoobari Ilnoowo met ainsi en œuvre des fonctions tabulées et des règles arithmétiques simples, Pieplue intègre un SMA et Concert'eau comporte un embryon de scénarisation.

Le jeu de rôles devient ainsi un outil utilisé dans la modélisation d'accompagnement au même titre que les simulations informatiques avec des SMA mais avec des capacités de communication et de répétition et de contrôle de scénarios différentes. Il est une forme au même titre que les simulations ou le récit du retour du modèle vers le terrain, correspondant à des types d'interactions souhaitées avec le terrain au cours du processus de modélisation d'accompagnement.

Enfin même si les similitudes et le partage d'architecture et donc la possibilité de partage de modèle conceptuel sont clairs, la mise en œuvre pratique n'est pas nécessairement si aisée. N'importe quel modèle conceptuel pensé comme un système multi-agent ne peut pas être traduit dans n'importe quel artefact. Un problème de taille se pose dans un premier temps pour l'opération de traduction. La traduction dans un outil informatique peut accepter en effet un grand nombre d'entités et de pas de temps répétés, alors que les jeux de rôles sont limités pour des raisons pratiques en nombre de joueurs, en durée, en nombre de pas de temps répétés, en nombre de règles à expliquer. Un modèle conceptuel compliqué ou supposant l'instanciation de classes d'agents dans un grand nombre d'instances ne pourra ainsi pas être traduit directement dans un jeu de rôles. La « traduction » de Shadoc est passée par une phase de simplification du modèle conceptuel.
Il y a également un problème de représentation de l'ouverture. Les jeux incluent une ouverture dans les choix des joueurs : il reste des éléments d'indétermination amenant les joueurs à mobiliser leur expérience propre. Ceci ne peut être inclus dans un modèle

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

informatique. La comparaison entre deux traductions d'un même modèle conceptuel va permettre d'identifier ces espaces d'ouverture. Leur analyse apprend sur les comportements associés à l'expérience personnelle ainsi mobilisée par les joueurs.

4.3.4 Variété des associations sma/jeux de rôles

Le partage d'un modèle conceptuel est un mode d'association jeu de rôles/SMA. Les jeux de rôles utilisés en modélisation d'accompagnement peuvent avoir recours par ailleurs à des SMA ou à d'autres outils informatiques pour simuler un environnement dynamique. Au bout du compte c'est une multiplicité de types d'associations outils informatiques / jeux de rôles qui existent, avec des fonctionnalités différentes résumées dans le tableau 2 ci-dessous et présentées plus extensivement dans (Barreteau, 2003). Seul le cas du jeu pour apprendre ou comprendre l'utilisation d'un outil informatique (Hämäläinen et al., 2001; Rousseau, 2003) n'a pas d'exemple avec un SMA, et n'aurait rien de spécifique à ce type d'architecture : il s'agit de mettre en situation d'utiliser un modèle hors contexte pour caler son ergonomie ou vérifier ce qu'il apporte par rapport à une situation où il ne serait pas disponible

Tableau 2 : variété d'usages conjoints de jeux et d'outils informatiques

	Modèles conceptuels sous-jacents différents	Même modèle conceptuel sous-jacent
Outil informatique et jeu utilisés simultanément	- Appui mutuel dans l'usage - Variété d'échelles de temps	- Association de joueurs réels et virtuels - Prolongement informatique de joueurs
Outil informatique et jeu utilisés séquentiellement	- Jeu pour comprendre comment on utilise un outil informatique	- Appui mutuel dans la conception et l'évaluation (co-conception, validation, références)

Les trois catégories restantes, appui mutuel dans l'usage, appui mutuel dans la conception et l'évaluation, développement de dispositifs hybrides, sont explicitées ci-dessous.

Le cas d'appui mutuel dans l'usage concerne deux sous-cas, selon la position de dominance du modèle informatique ou du jeu de rôles. Le modèle informatique peut être moteur de la conception du jeu de rôles, en simulant la dynamique d'une ressource (D. Meadows & Meadows, 1993), la vie d'une entreprise (Forssén & Haho, 2001), ou en représentant les conséquences spatiales de choix faits dans le jeu (Duijn et al., 2003). Le jeu peut constituer un mode de communication du modèle qui permet aux joueurs d'apprendre à partir du modèle (Heathcote, 1998).

L'appui mutuel en conception et évaluation repose sur un usage alterné de jeux de rôles ou de modèles informatiques, traductions de versions successives d'un modèle conceptuel, dont ils constituent une famille d'artefacts. Les artefacts informatiques permettent une meilleure calibration du jeu de rôles et une meilleure compréhension du modèle conceptuel (Duffy, 2001). Le jeu de rôles, si son format comprend des règles suffisamment ouvertes, permet d'impliquer les joueurs dans la conception, soit en utilisant le jeu pour apprendre sur le comportement des acteurs (M. P. Hare & Pahl-Wostl, 2003), soit en amenant les acteurs à expliciter leurs représentations du fonctionnement de leur système (D'aquino et al., 2003). L'artefact jeu de rôles permet *via* sa facilité de communication d'amener des acteurs à apporter des points de vue critiques sur un modèle, menant par exemple à la validation d'un modèle (Barreteau et al., 2001). Il permet aussi d'observer des comportements émergeant imprévus conduisant à réviser le modèle conceptuel utilisé pour les deux artefacts (Guyot & Drogoul, 2005). Enfin l'artefact informatique permet de produire des situations de référence

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

théorique facilitant l'analyse ultérieure d'une séance de jeu en comparaison à cette situation de référence (Daré & Barreteau, 2004). Dans tous les cas cet apport mutuel en conception/évaluation correspond de fait à une conception évolutive d'un modèle conceptuel, il y a co-construction des artefacts, *via* le fil directeur du modèle conceptuel qu'ils partagent. Cette conception évolutive au cœur de la démarche de modélisation d'accompagnement, est formalisée par plusieurs auteurs sous différentes formes : Cycle de Kolb (Kolb et al., 1991), Evolutionary System Design (Shakun, 1996). L'association de jeu de rôles et de modèles informatiques permet de faciliter la mise en œuvre de ces protocoles de conception. Le jeu permet de pousser le modèle conceptuel dans ses retranchements (Schelling, 1961).
Enfin quelques cas d'hybridation des outils sont apparus plus récemment. Dans ces cas il y a une imbrication entre jeu de rôles et modèle rendant l'usage de l'un impossible sans l'autre. Il peut s'agir de joueurs virtuels simulés interagissant avec des joueurs réels. Cette hybridation constitue un moyen de prendre en compte les questions de taille d'un modèle conceptuel, lourd à traduire intégralement en jeu de rôles (Perez et al., 2004). Elle permet également de prolonger des joueurs par des agents informatiques leur correspondant pour prendre en charge la nécessité de nombreuses répétitions de pas de temps semblables (Duffy, 2001; Etienne et al., 2003; Rouchier, 2003). Dans les formes les plus avancées d'hybridation, les joueurs contrôlent des agents informatiques qui facilitent leur compréhension du système (Guyot & Honiden, 2006).

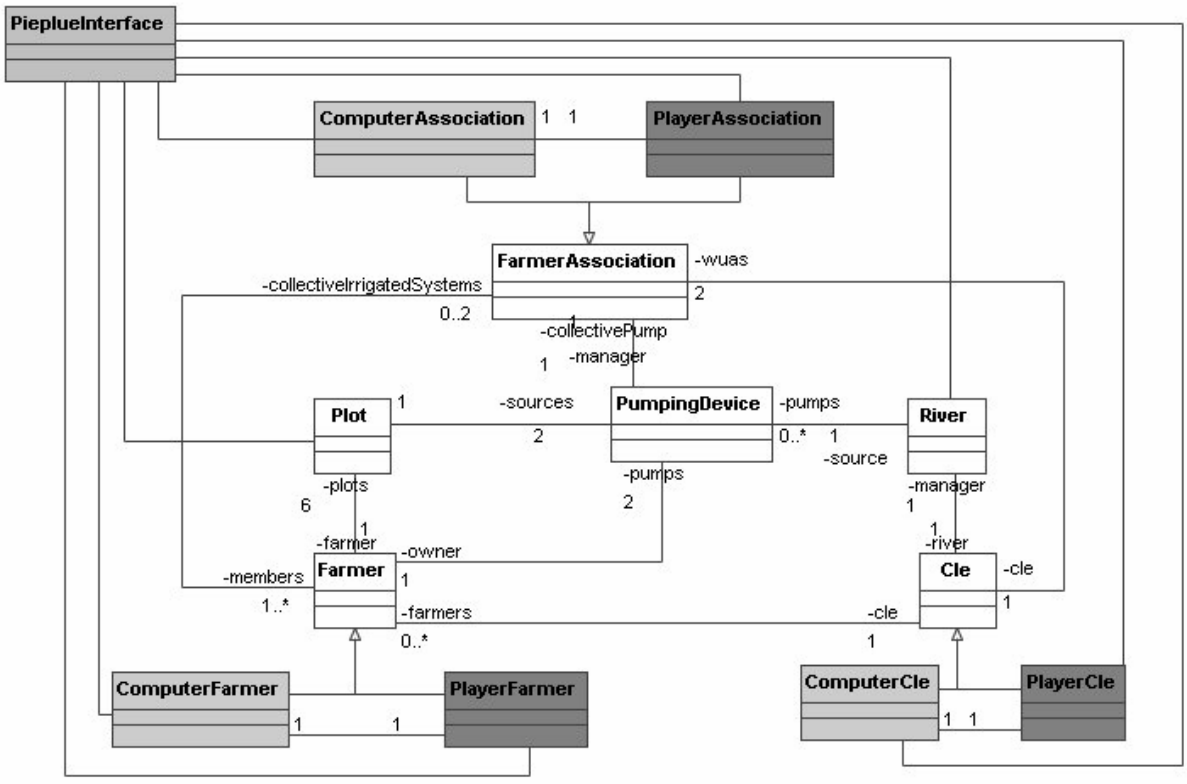

Figure 10 : diagramme de classe donnant une vue de l'organisation générale de PIEPLUE

Le jeu PIEPLUE réalisé sur le cas de la Drôme dans la suite de GibiDrome est également de forme hybride. A chaque joueur correspond un avatar informatique, agent du SMA associé au jeu, qui met en œuvre aux pas de temps courts les choix faits par les joueurs aux pas de temps plus longs. Chaque joueur a un rôle d'agriculteur et dispose de six parcelles et de deux points d'accès à une ressource en eau, individuel ou sur un réseau collectif. Il commence par choisir les cultures qu'il met sur chaque parcelle puis à un pas de temps mensuel décrit comment il organise l'usage de ses ressources en eau sur une semaine type. Cette organisation est ensuite

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

mise en œuvre par son avatar. A la fin de chaque pas de temps mensuel, les joueurs reçoivent une information privée sur l'état hydrique de leurs parcelles au cours du mois passé. Une information publique sur l'état de la ressource et de la mise en œuvre de règles de restriction éventuelles est également diffusée. La confrontation de ces informations permet alors au joueur de s'adapter. Ce type d'association permet de prendre en charge les limites en termes de taille et de durée des jeux de rôles, tout en conservant un dispositif suffisamment interactif et ouvert pour que les capacités de communication ne soient pas altérées (Barreteau, Abrami et al., 2004). La figure 10 montre comment sont organisés les relations entre le monde du jeu et le monde des avatars.

Le questionnement sur la validation des SMA produits pour travailler sur les processus de décision collective a ainsi amené à ouvrir vers d'autres outils, les jeux de rôles, complémentaires des SMA grâce au partage de modèles conceptuels. Ceci renforce le rapprochement entre le modèle et l'expérience, pointé par Jean-Marie Legay (Legay, 1997) : le jeu de rôles prend en effet un statut intermédiaire entre expérience et modèle. L'usage du jeu et/ou du modèle intervient de fait dans le processus de décision collective et ne peut réellement prendre une position de surplomb par rapport à celui-ci. Sa conception et son usage le rendent caduques en modifiant le processus de décision collective lui-même. Le processus de recherche basé sur un jeu de rôles ou sur un outil informatique utilisé de manière interactive est de fait embarqué, il fait donc partie du processus de décision collective, et génère des processus d'apprentissage collectif au sein du système dans lequel il intervient (Hatchuel, 2000). Jeu de Rôles et modèle n'en gardent pas moins des rôles d'exploration, d'apprentissage et de partage. Ceci renforce la nécessité de prendre appui sur l'implication des acteurs concernés dans la conception et l'évaluation des modèles pour proposer de nouvelles approches pour la facilitation des processus de décision collective, c'est-à-dire se positionner dans le cadre d'une démarche post-normale (Funtowicz et al., 1999). Le domaine de la gestion des ressources renouvelables pose alors un autre enjeu, celui de l'identification du système dans lequel le processus de recherche intervient en pratique.

5 Des modèles pour faciliter les processus de décision collective

L'usage, exploratoire, des jeux de rôles sur le cas du Sénégal a montré une aptitude de cette forme de modèle à susciter des discussions entre les acteurs des systèmes représentés. Ceci amène au deuxième objectif de la modélisation d'accompagnement, la facilitation des processus de décision collective.

La capacité des jeux de rôles à servir d'outil de communication est ancienne et reconnue (Cox, 1999; Duke & Geurts, 2004; Toth, 1988). Les jeux permettent de prendre en compte une information imparfaite (Mayer & de Jong, 2004). Ils amènent les participants à mobiliser des savoirs tacites laissés de côté avec d'autres outils issus des nouvelles technologies de l'information (Johannessen et al., 2001). Lors de la mise en œuvre des premiers jeux de rôles, des discussions sur les enjeux des systèmes réels entre les joueurs sont apparues dans les débriefings. Celles-ci m'ont amené à aborder également les jeux de rôles sous l'angle de la facilitation des processus de décision collective. La littérature rapporte de nombreux échecs ou abandons de modèles conçus pour être utilisés en aide à la décision collective, en particulier quand le modèle n'est pas rendu explicite (Reitsma et al., 1996). La complémentarité entre SMA et jeux de rôles ont fourni l'opportunité de revisiter cette question récurrente d'usage de modèles dans des processus de décision collective, en s'appuyant sur la capacité de communication des jeux de rôles. Ceux-ci permettent *a priori* de vérifier certaines conditions de légitimation d'outils pour leur usage dans des processus de

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

décision collective réels, tels que proposés par Landry et ses collègues (Landry et al., 1996) : l'association des deux outils et leur développement itératif permet d'expliciter les hypothèses, mais les espaces de liberté propres aux jeux de rôles et la variété des indicateurs pouvant être saisis par les joueurs permettent à chaque joueur de conserver un « jardin secret ». Les savoirs tacites et privés peuvent être mobilisés ou réservés au libre choix des joueurs.
Cette section revient sur cet objectif de facilitation des processus de décision collective. Il s'agit d'un objectif à part entière, orientant les choix de conception, même s'il est inséparable de l'objectif de compréhension, qui a permis de revisiter la question d'appui à des processus de décision collective avec des modèles.
Après être revenue sur la forme jeu de rôles d'un modèle en tant qu'outil générateur de discussion, cette section aborde les mécanismes en œuvre au niveau des groupes d'acteurs permettant cette génération de discussions, puis les mécanismes en œuvre sous-jacents et enfin quelques spécificités techniques de ces dispositifs. Ceci me conduit enfin à revisiter le métier d'ingénieur.

5.1 Le jeu de rôles : un générateur de discussions

5.1.1 Vers le deuxième objectif de la modélisation d'accompagnement

Un usage en support de négociation était explicitement en perspective au début de la mise en œuvre du jeu de rôles au Sénégal. Cependant les premières expériences visaient à présenter le contenu du modèle réalisé à partir des enquêtes que j'avais faites durant ma thèse aux agriculteurs des systèmes irrigués où j'avais travaillé, par courtoisie vis à vis de ceux-ci et pour travailler sur la validation du modèle. Durant les premières expériences, le débriefing organisé de manière assez ouverte à la fin de la session de jeu a soulevé des discussions sur les périmètres réels, tel que la nécessité de temps de coordination inter-campagne.
Au cours de sa thèse qui explore la mise en œuvre de Njoobaari Ilnoowo, William's Daré a également observé cette capacité d'un jeu de rôles à générer des discussions, à partir des situations virtuelles proposées par le jeu pour les situations réelles vécues par les joueurs (Daré, 2005). Par exemple, des discussions sur l'organisation collective au sein des périmètres ont été soulevées : « … *toutes les difficultés se retrouvent au niveau des parcelles qui sont éloignées de la station de pompage…Donc, c'est seulement la question d'organisation qui nous manque ici, parce que l'on devait discuter ensemble avant de démarrer, parce que ceux qui sont devant n'ont pas sympathisé avec ceux qui étaient derrière pour qu'ils puissent accéder à l'eau. Et cela la plupart du temps, ce sont les responsables de groupement qui en sont les responsables !* » (un agriculteur dans une session de débriefing) (Daré, 2005).

L'exemple de Njoobaari Ilnoowo a, comme d'autres exemples d'usages de jeux de rôles réalisés dans le contexte de démarches de modélisation d'accompagnement, amené les acteurs à expliciter leurs points de vue sur leur système. Le jeu de rôles agit comme « révélateur » de points de vue sur les systèmes concernés, non seulement pour les chercheurs mais aussi pour les acteurs. Cette explicitation des points de vue est la première étape d'un travail de facilitation des processus de décision collective pour la modélisation d'accompagnement (Commod, 2005). Elle peut être le fait de jeux de rôles comme des expériences l'ont montré, même s'il n'y a pas de restriction à cette seule forme d'outil *a priori*. L'explicitation des points de vue permet aux acteurs de reconnaître qu'ils partagent un même système sur lequel ils ont des points de vue éventuellement différents… et qu'ils peuvent se parler ! Dans le travail sur la Drôme, l'organisation collective de réunions publiques de présentation de l'avancement du travail fait sur la définition de modalités de partage de l'eau a conduit les agriculteurs comme les responsables de la CCVD en charge de la mise en œuvre de ce volet du SAGE, à se rendre compte qu'ils pouvaient se parler et avoir des intérêts communs. Le

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

constat par les agriculteurs que la CCVD ne leur était pas *a priori* opposée, ainsi que le constat par la CCVD que les agriculteurs n'avaient pas pour objectif premier de vider la rivière de son eau, ont été le principal résultat de la première étape. Ils ont instauré une amorce de relation de confiance entre les parties prenantes du volet gestion des étiages du SAGE, qui s'est poursuivie dans la finalisation d'un texte spécifiant des modalités de partage de la ressource en eau. Elle a résulté par exemple dans un changement d'attitude de la profession agricole dans la gestion de la crise de l'année 2003. Alors que durant la crise des années 1989-90-91, il n'y avait aucune communication entre la profession agricole et les autres acteurs concernés, en 2003, le secteur agricole a été le plus constructif dans la gestion de la crise du point de vue de la CCVD.

Pour la facilitation de processus de décision collective, la modélisation d'accompagnement met en œuvre un ou des dispositifs d'interaction tout aussi itératifs, dynamiques et continus que sont les processus de décision collective eux-mêmes. Dans cette posture les savoirs scientifiques et techniques sont considérés comme des sources de savoir parmi d'autres, ayant leur propre source de légitimité, sans faire d'*a priori* sur la véracité relative des différentes sources de savoir (Star & Griesemer, 1989). Il ne s'agit pas de tomber dans une vision relativiste de tous les savoirs en accordant la même valeur *a priori* à tous, mais de considérer que chaque source de savoir a sa légitimité propre dans le monde qui la mobilise et mérite d'être explorée. Ainsi dans un bassin versant du Nord de la Thaïlande, un agriculteur fait ses choix de culture en fonction d'informations sur le marché avec un objectif d'augmenter son revenu et un autre en fonction de l'état de son sol avec un objectif d'augmenter la productivité d'une parcelle, (Becu, 2006). L'identification de cette diversité permet d'identifier *a priori* les difficultés de communication qui surviendraient dans une gestion collective de la ressource en eau. Elle permet aussi d'identifier des zones de non-concurrence dans lesquelles les représentations de chacun deviennent compatibles. La modélisation d'accompagnement, dans son objectif de facilitation de processus de décision collective, ne vise pas *a priori* à produire des savoirs nouveaux. Elle vise à mettre en interaction des sources de connaissance venant potentiellement de mondes différents et concernées par le méta-objet constitutif d'un processus de décision collective. De cette mise en interaction pourront sortir soit des connaissances nouvelles du point de vue du collectif, soit des interrogations de connaissances externes identifiées par les participants. La modélisation d'accompagnement intervient « en amont de la décision technique, lorsqu'il s'agit d'appuyer la réflexion des différents acteurs concernés, en vue de parvenir à une représentation partagée de la problématique et des voies possibles pour engager un processus de prise en charge » (Commod, 2005).
Le jeu de simulation Concert'Eau présenté dans la section 4.3.2, conçu initialement dans un objectif de compréhension des enjeux d'appropriation de dispositifs de gestion concertée d'une ressource en eau, a été utilisé en situation dans le bassin versant de la Lentilla dans les Pyrénées Orientales. Il permet à des joueurs, se posant des questions de mise en place d'une procédure de gestion concertée, d'en ressentir les difficultés afin de mieux les appréhender. Il met en avant les difficultés liées à des bascules entre régimes d'engagement et à la composition avec d'autres acteurs mobilisant leurs propres registres de justification. La prise de conscience de ces difficultés est ressortie lors des débriefings.

5.1.2 La modélisation d'accompagnement comme méthode pour une démarche post normale ?

Cet usage en facilitation de processus de décision collective fait de la modélisation d'accompagnement une méthode adaptée pour la mise en œuvre d'une gouvernance post-normale : « Il ne s'agit pas de trouver la meilleure solution, mais de se donner les moyens de

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

prendre en charge au mieux les incertitudes de la situation examinée en commun » (Commod, 2005).
La charte s'est construite en utilisant explicitement la démarche post-normale parmi ses référents théoriques, et l'extrait ci-dessus correspond bien aux principes posés à la base de ce courant. Une démarche post-normale est adaptée aux questions de décision pour les systèmes complexes ouverts en situation d'incertitude. Cette posture prend en compte les incertitudes et rend explicite les valeurs sous-jacentes. Elle prend pour modèle le dialogue au lieu de la déduction formelle (Funtowicz & Ravetz, 1993). En conséquence, le processus menant à une décision collective a au moins autant d'importance que la nature du choix lui-même sur le devenir de l'action concrète qui en résultera. L'implication d'acteurs concernés dans la construction de choix collectifs est un moyen non seulement d'envisager les incertitudes et la variété des points de vue possibles sur un système complexe, mais aussi de consolider la légitimité ultérieure du choix qui peut en être fait, afin qu'il soit mis en œuvre. Cette notion a un rapport à l'action fort. La science est ici vue comme un mode de justification de modalités d'actions et de choix politiques.

Si un processus de décision collective a recours à un ou des modèles, ceux-ci doivent être d'abord légitimes aux yeux des acteurs concernés, du groupe de pairs impliqués. La modélisation d'accompagnement prend ceci en charge *via* la répétition d'interactions avec les acteurs concernés et la volonté d'explicitation des hypothèses et des données. Elle permet d'ouvrir le contenu du modèle, de le mettre en débat, de le faire évoluer en fonction des points de vue apportés et de l'évolution du contexte et des enjeux. Elle porte ainsi les attendus d'explicitation des valeurs sous-jacentes, de prise en charge des incertitudes, de la complexité et de l'ouverture d'un système. Cette prise en charge de la complexité et des incertitudes se fait *via* la distribution des interventions dans le processus et la diversité des points de vue pris en compte. L'artefact utilisé à un moment donné doit être cohérent avec cette diversité de points de vue, aussi bien au niveau du contenu (pas d'incohérence avec les visions du monde de chaque acteur), que de la forme (possibilité de compréhension afin d'éviter un sentiment d'exclusion de la part de certains acteurs). Cela ne signifie pas le lissage de tous les points de vue *a priori* mais la prise en charge de leur hétérogénéité soit *via* des scénarios[9] soit *via* la reproduction de la diversité des perceptions dans le modèle au niveau des agents implémentés, comme dans la thèse de Nicolas Becu (Becu, 2006).

Il reste une étape pour garantir la légitimité de ce qui pourrait sortir d'un tel appui à un processus de décision collective : la construction de la légitimité du processus lui-même. C'est une étape mise en avant dans les démarches d'évaluation participative : la plupart des démarches proposées dans ce domaine envisagent l'implication des acteurs dans la définition du processus d'évaluation lui-même, son objectif, sa forme, son usage ultérieur (Gregory, 2000). Dans un contexte de modélisation participative il s'agit de définir en particulier : qui est impliqué ? à quelle phase du processus de décision collective ? quelle est la portée de ce qui va sortir du processus de décision collective ? qui anime et de quelle manière ?
Cette question de légitimité procédurale est cruciale pour la modélisation d'accompagnement. Son caractère itératif induit une répétition des interactions avec le processus de décision collective visé. Il y a une évolution des questions en jeu, mais aussi des acteurs concernés et de leur rôle dans l'ensemble des deux processus. Les chercheurs peuvent ainsi commencer par un rôle de recherche et évoluer vers un rôle de facilitation d'une démarche prospective jusqu'à éventuellement un rôle d'appui à la convergence vers un plan ou un programme engageant plus ou moins les acteurs. Cette évolution, si elle est possible doit être explicite et

[9] Dans ce cas la cohérence avec les points de vue des acteurs doit se faire au niveau de l'ontologie sous-jacente à la description de ces scénarios

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

légitime pour les parties concernées. Elle doit aussi se poser la question à chaque fois de la nécessité d'entrants dans le processus.
Je n'ai pas abordé cet enjeu de légitimité procédurale directement dans mes travaux. Rétrospectivement les exemples sur le Sénégal et sur la Drôme en particulier peuvent y apporter des éléments. Au Sénégal la légitimité du jeu de rôles et des discussions qu'il pouvait amener tenait d'une part aux relations personnelles que j'avais nouées sur le terrain avec les agriculteurs par le temps passé en enquêtes, observation et vie sur place, et d'autre part à la position hors de tout enjeu des séances de jeu[10]. Dans la Drôme, l'évolution du processus d'accompagnement a posé plus de problèmes, du fait de l'évolution du processus d'un appui sur des questions d'eau, vers une phase recherche ayant identifié des possibilités d'ouverture du débat, puis une phase de proposition méthodologique autour d'un dispositif interactif mettant en discussion les choix de culture pour les enjeux de gestion de l'eau. Le caractère inhabituel des outils proposés dans le contexte sensible de la gestion quantitative de la ressource en eau a amené à poser la démarche sur le mode expérimental. Ceci nous a amenés à impliquer des acteurs du conseil agricole dans le processus pour la réalisation d'un test de PIEPLUE (présenté en section 4.3.3) à finalité de calibration et d'affinage. Nous avions fait le choix d'organiser ce test avec des professionnels du conseil agricole et des employés de la CCVD, et non avec le public ciblé qui est la profession agricole, afin de ne pas « griller » des joueurs futurs éventuels. Un des professionnels du conseil agricole ayant participé a alors perçu le développement et l'usage de dispositifs tel que le jeu PIEPLUE pour faciliter et ouvrir les discussions entre les agriculteurs sur la gestion de l'eau et les choix de culture comme une concurrence inutile à son activité professionnelle. Il a proposé un usage du jeu de rôles comme un outil de formation, pour convaincre les agriculteurs de la nécessité de gestion concertée de la ressource (Barreteau et al., 2006). Un tel usage prosélyte pose problème et ne peut être admis par les concepteurs du jeu du fait de la non validation du modèle sous-jacent pour ce type d'objectif et du pouvoir manipulatoire qui y est lié. Une évaluation plus poussée serait nécessaire mais il me semble que le rôle des chercheurs n'a pas été suffisamment explicite pour le conseil agricole, qu'il est apparu comme potentiellement concurrent et sans mandat explicite pour cela. Il a manqué, même au niveau du test technique, la participation d'autres types d'acteurs concernés, tels que des agriculteurs.

La mise en pratique d'une expérience de modélisation d'accompagnement comme une démarche postnormale a ainsi conduit à soulever des enjeux de ce type d'approche dans la constitution et l'évolution du groupe d'acteurs effectivement impliqués dans le processus, dans un contexte où il n'y a pas de système client clairement identifié. Il s'agit en particulier de bien respecter la diversité et de savoir prendre en compte les entrants éventuels en cours de processus dans leur information sur l'histoire de celui-ci.

5.2 Mécanismes en œuvre

Je me suis aussi intéressé avec des collègues de l'équipe et du groupe ComMod à analyser ce qui se passe au cours de l'interaction entre processus de décision collective et modélisation d'accompagnement. Cette section s'appuie notamment sur les travaux de thèse de William's Daré et de post-doctorat de Annabelle Boutet que j'ai encadrés et se focalise sur la place des artefacts produits dans les dispositifs interactifs mis en œuvre. Dans sa thèse, William's Daré a conduit une évaluation *ex post* du jeu de rôles mis au point au Sénégal, en organisant, en observant et en analysant des sessions de jeu de rôles dans deux communautés villageoises du fleuve Sénégal, l'une ayant été le lieu d'enquêtes au cours du processus de modélisation

[10] Ce qui ne les empêchait pas de générer des discussions sur les cas réels, et donc d'avoir un écho dans les processus de décision collective en œuvre.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

d'accompagnement dont Njoobaari Illnoowo est issu, l'autre ne l'ayant pas été (Daré, 2005a). Au cours de son post-doctorat, Annabelle Boutet a mené une évaluation « chemin faisant » du processus de co-construction du modèle Phylou dans le cadre du projet Firma (Boutet, 2003), s'appuyant sur l'observation des séances de travail et la conduite d'entretiens ciblés avec les participants à ces séances de travail.

5.2.1 Le modèle comme objet frontière ou intermédiaire

Les artefacts produits, que ce soit des jeux de rôles, des modèles informatiques, des présentations de résultats de simulation sur des présentations formelles ou divers prototypes, ont d'abord servi d'objets intermédiaires (Vinck, 1999) et surtout d'objets frontière (Star & Griesemer, 1989). Pourvu qu'il soit interactif, le processus de construction de ces artefacts facilite le processus de décision dont il est partie prenante. L'artefact produit devient souvent inutile car inapproprié ou obsolète une fois construit. C'est bien le processus plus que le produit qui est important, et qui mérite l'attention la plus importante. Le modèle conceptuel, et ses traductions successives dans des artefacts, circulent parmi les parties prenantes, y compris les chercheurs. Ses formes successives les amènent à se rendre compte qu'ils peuvent communiquer, à échanger leurs représentations propres, à contribuer à la construction d'un objet commun. Ainsi dans la Drôme, le prototype de « modalités de partage de l'eau » s'est retrouvé approprié par les parties prenantes et a évolué au gré des interventions des acteurs dans la modification de ce prototype initial, sans qu'il ne passe plus par son initiateur. L'objet a ainsi au sens propre circulé entre les participants, devenant le support de l'interaction.

L'analyse de l'expérience Phylou a identifié quatre types d'objets intermédiaires : le modèle, le matériel de projection, la séance de travail et le projet de recherche FIRMA dans lequel cette opération était menée (Boutet, 2003). Le modèle a été construit en plusieurs interactions au cours de séances de travail collectives identifiant les points clé des représentations de chacun afin de les prendre en compte dans de nouvelles versions du modèle. L'objet n'a pas circulé au sens propre, n'ayant pas donné lieu à une appropriation technique. Par contre la présentation et la discussion collective des ses versions successives ont été le support des échanges et ont permis de construire une représentation commune au groupe d'un modèle simple de gestion des pollutions diffuses. Les autres éléments intermédiaires du dispositif, techniques, organisationnels et institutionnels ont également été supports de l'échange, d'une part en lui donnant un sens et d'autre part en le rendant possible en pratique. Ils n'ont pas circulé mais ont produit un cadre et des moyens rendant possible la dynamique autour du premier type d'objet intermédiaire.

Le concept d'objet frontière permet d'expliquer d'autres mécanismes mis en œuvre par la manipulation d'artefacts dans la modélisation d'accompagnement, et des jeux de rôles et des SMA en particulier. Les jeux de rôles, avec les espaces d'ouverture dans l'interprétation du modèle, laissés aux joueurs, avec l'invitation qui leur est faite d'amener avec eux dans le jeu des éléments de leur propre vécu, ont la plasticité propre au concept d'objet frontière. Ils permettent à des acteurs de différents mondes de l'interpréter, de le configurer pour ses propres objectifs : compréhension du système pour les chercheurs, mise en discussion de tabous pour certains joueurs, exploration de scénarios pour d'autres, amusement. Même s'il est moins plastique que le jeu de rôles, le SMA est aussi un bon candidat pour constituer un objet frontière car il permet la prise en compte de points de vue variés sur un même objet. Chaque participant interagissant autour d'un SMA, en simultané et en co-présence ou non, peut y trouver les indicateurs qui lui parlent, indépendamment de ce que peuvent y trouver les autres. La plateforme CORMAS implémente explicitement cette notion de point de vue, utilisée par exemple dans les travaux de Michel Etienne (Etienne et al., 2003) ou de Nicolas Becu (Becu, Perez et al., 2003). Un SMA constitue ainsi une représentation d'un système complexe permettant de mettre en discussion différentes caractéristiques selon la forme et le

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

lieu (Gardiner & Ritchie, 1999). La communication des indicateurs peut aussi être contrôlée pour une meilleure appropriation de ceux-ci et la mise en évidence des enjeux de communication sur certains indicateurs entre les participants. Ainsi dans PIEPLUE, les indicateurs sur l'occurrence de stress hydrique sont diffusés de manière privée à chaque joueur, alors que les indicateurs sur le niveau d'eau dans la rivière sont projetés pour tous. Le modèle calcule également d'autres indicateurs dont l'information n'est communiquée qu'à la demande et uniquement aux joueurs pouvant dans la réalité avoir accès à cette information. Il s'agit en particulier des séries climatiques du mois écoulé (pluie et évapotranspiration potentielle), de l'évolution du niveau de crise et du débit amont.

Cette multiplicité des points de vue sur un même objet complexe et cette plasticité des objets produits posent cependant des problèmes sur l'usage spécifique qui en est fait, s'ils peuvent circuler. Aussi bien le jeu PIEPLUE que le modèle PHYLOU ont été vus par les participants aux processus comme des objets permettant de faire comprendre à des acteurs la nécessité de changer de pratiques. Ceci a aussi été le cas quand ces participants avaient participé à la construction de ces outils dès la phase de conception, avec les connaissances que cela devrait induire sur la nature et la validité des hypothèses sous-jacentes à chaque outil (Boutet, 2003) : les acteurs ayant participé au groupe de travail autour de la conception de PHYLOU y ont vu un intérêt pour expliquer la nécessité de nouvelles pratiques d'usage de produits phytosanitaires, quelle que soit la (non) validation du modèle. Il y a là une question d'appropriation des modèles issus de processus de modélisation d'accompagnement qui se pose de la même manière pour toutes les démarches de modélisation participative. Cette question d'appropriation est multiple, puisqu'elle concerne aussi bien les droits d'usage, que le droit de définir ce qu'est le bon usage ou l'aisance à manipuler le modèle (Barreteau et al., 2005). Chaque acteur interprète, avec son propre cadre cognitif, sa propre expérience, le modèle mis en commun. Ce qui permet de bien valoriser la diversité des participants en cours de processus peut poser problème lorsqu'un de ces artefacts sort du processus pour être utilisé en tant que tel, s'il n'y a pas eu dialogue aussi sur la diversité des interprétations et des usages possibles et leur pertinence. Il peut en résulter des usages considérés comme non pertinents par des participants au processus de co-construction. Il peut aussi en résulter une absence d'usage due à une absence de légitimité ressentie par certains participants à utiliser de manière isolée un modèle co-produit. La position d'objet frontière permet un accès facilité en lecture et en écriture à ces outils à des acteurs provenant de mondes différents, sans nécessairement d'accord sur le sens et le statut des informations qu'ils contiennent. Cet enjeu, qui est particulièrement apparu sur l'expérience avec Phylou, n'est pas pris en charge dans les expériences de modélisation d'accompagnement existant jusqu'à présent. Cependant la répétition des interactions entre le processus de modélisation et le processus de décision collective est un moyen de limiter les incompréhensions et mésusages en organisant ou au moins en fournissant l'opportunité des modes de vérification et d'explicitation des apports de chacun dans la série d'outils mis au point.

5.2.2 Favoriser la réflexivité

Un des objectifs de la facilitation d'un processus de décision collective est d'accompagner le changement dans les pratiques en cours, implicitement sans l'orienter. Il nécessite la mise en œuvre d'une réflexivité sur les pratiques et routines en cours, une capacité d'anticipation et de raisonnement moral (Miettinen & Virkkunen, 2005). Cette vision du changement est cohérente avec ce que l'on a pu observer dans une analyse préparatoire au travail sur l'Orb de compréhension des changements de pratique chez les viticulteurs, chez lesquels la mise en œuvre de la réflexivité passe par les dispositifs collectifs existant au moment où les besoins de changement se font sentir. Le scénario qui s'est répété sur plusieurs cycles consiste en l'apparition d'une crise, l'utilisation des lieux collectifs existant pour produire collectivement

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

de nouvelles pratiques, l'individualisation progressive de ces pratiques, l'apparition d'une nouvelle crise (Maton, 2001). La modélisation d'accompagnement prend en charge la triple contingence des processus sociaux posée en section 4.2.1. Elle s'insère dans la trajectoire propre au processus de décision collective *via* des interactions répétées avec celui-ci. Elle respecte ainsi la contingence historique du changement. La contingence aux individus est aussi respectée *via* la confrontation aux acteurs du terrain des représentations produites et de l'état de la compréhension pour la question en cours, même si elle demande un travail délicat d'identification des « personnes concernées » devant être adapté à chaque étape (chaque cycle) de mise en œuvre. La contingence aux outils et moyens est explicitement prise en compte, en visant à mettre à disposition de nouveaux outils, de nouveaux dispositifs, permettant aux acteurs de réfléchir sur leurs pratiques en cours et d'anticiper les effets de changements possibles.

L'observation de sessions de Njoobaari Ilnoowo a permis d'identifier le rôle de miroir révélateur du jeu de rôles (Daré, 2005a). La session de jeu renvoie à l'ensemble des participants l'image de leurs pratiques individuelles mais aussi les conséquences collectives de celles-ci. Elle les amène à y réfléchir collectivement, les ayant vécu ensemble de manière explicite. C'est là un des objectifs du débriefing. Le jeu, ou la discussion d'un modèle est le moyen de prendre conscience de divergences éventuelles de représentation, de l'existence d'effets rétro-actifs et du caractère partagé d'une ressource. Même si ces effets sont souvent plus ou moins connus théoriquement par les acteurs concernés, ils sont grâce au jeu reconnus comme tels car vécus ensemble dans un temps et un espace restreints. Cette réflexion sur des pratiques en cours ressort également des débriefings lors des sessions avec le jeu de rôles Concert'eau dans des sessions organisées sur des terrains concernés. Les participants ont souligné dans le débriefing que le jeu leur permettait de se rendre compte les difficultés à discuter de la gestion du bassin versant. Même hors contexte, la capacité de pousser la réflexivité sur des pratiques du jeu de rôles est mobilisée, si les prises pour faire les liens entre ce qui se passe dans le jeu et ce qui se passe dans la réalité sont disponibles et reconnues comme telles par les joueurs.

5.2.3 Construction de scénarios possibles

Un deuxième mécanisme en œuvre dans l'interaction entre processus de décision collective et processus de modélisation d'accompagnement en facilitation repose sur la possibilité donnée à construire et explorer des scénarios. L'usage en prospective est plus classique pour des outils de simulation. Pourvu qu'ils aient été conçus en prenant la peine d'enquêter sur les enjeux en cours pour les acteurs du terrain, ces outils peuvent simuler des scénarios pertinents pour les acteurs. Les exercices de simulation de politique dont sont en partie inspirés ces jeux de rôles sont conçus pour favoriser l'écriture de scénarios (Toth, 1988) ou des réflexions prospectives (Mermet, 1993) par exemple sur un territoire (Piveteau, 1995). La légitimation de l'outil comme pouvant dire des choses pertinentes dans un cadre de réflexion prospective doit cependant être acquise et pour cela l'association des jeux de rôles avec les SMA est un atout. Ainsi des réflexions prospectives de devenir d'un territoire ont été menées par des collègues du groupe ComMod par exemple sur le causse Mejan (Etienne et al., 2003). Sur la Drôme, le premier outil développé, SimSage, est potentiellement un modèle permettant de simuler différents scénarios d'évolution du bassin. Autant il a été utile pour amener les acteurs du processus à discuter entre eux et à se rendre compte qu'ils pouvaient discuter entre eux, il a été mis de côté quand il s'est agi de discuter des scénarios de partage de l'eau. La calculette et les comptabilités selon les paramètres propres à chacun (eau, rendement, revenu de l'exploitation) et non explicités sont devenus les instruments de la réflexion de chaque participant.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

5.2.4 Au sein des démarches de concertation et de participation

Les mécanismes observés sont de fait présents dans de nombreuses démarches participatives. Pour cela nous nous sommes intéressés à comparer la mise en œuvre de démarches participatives. Il s'agit de prendre appui sur la compréhension de ce qui se passe dans la mise en œuvre de démarches de concertation ou de participation pour mieux analyser ce qui se passe dans d'autres, au sein de projets de recherche rassemblant la mise en œuvre de modèles ou de démarches participatives sur des objets ayant des similarités. Les approches comparatives en sciences sociales, en particulier celles s'intéressant aux démarches impliquant des acteurs de terrain sont rares (Lamont & Thévenot, 2000). L'objectif d'une analyse comparée est non seulement un apprentissage sur les différences entre les cas mais aussi le recours à un décentrement pour mieux comprendre chacune des études de cas. La comparaison est un moyen d'identifier les anomalies et les déviances sur un terrain pour ensuite en chercher les causes (Dogan, 2002). Une démarche comparative exige de définir au préalable l'objet de la comparaison : afin de conserver un regard équidistant sur les différents cas comparés, la définition de cet objet doit prendre garde à ne pas être plus spécifique à un cas qu'à un autre (Werner & Zimmerman, 2003). La définition de cet objet se traduit par la définition d'un ensemble d'informations clefs à recueillir et renseigner au cours de la mise œuvre de chaque étude de cas. Les catégories manipulées par les chercheurs doivent être explicitées et prises en compte dans cet ensemble d'informations recueilli « chemin faisant ».

Dans son travail de master consacré à la comparaison de trois cas du projet Firma, en Angleterre, aux Pays Bas et en France, Jessica de Boer a pu mettre en évidence de nouvelles dimensions aux classifications de démarches comparatives : le temps de la participation, l'ouverture des réseaux impliqués, la formalisation des procédures et les formes d'engagement (de Boer, 2003). L'échelle classique des niveaux d'implication depuis l'information jusqu'à la co-gestion (Arnstein, 1969), avec toutes ses évolutions successives (Mostert, 2003) reste tout à fait pertinente. Elle peut cependant disqualifier des processus de décision collective également ouverts sur les points de vue des acteurs concernés, mais prenant une autre forme que le modèle d'Europe du Nord véhiculé dans les classifications du type de celle d'Arnstein. On retrouve ce modèle dans les législations actuelles qui promeuvent la mise en œuvre d'une démocratie participative, tel que la Directive Cadre sur l'Eau. Les cadres théoriques sous-jacents peinent à rendre compte par exemple de démarches telles que les contrats de rivière, pour lesquels d'autres dimensions doivent être prises en compte. Ainsi l'expérience néerlandaise, la construction d'aménagement d'ingénierie écologique dans la province du Limburg sous contrainte de satisfaire des objectifs nationaux en matière de prévention des inondation, arrive à un niveau assez élevé d'implication de parties prenantes mais dans un choix largement contrôlé au départ. La pertinence de la question n'est pas ouverte au débat, seul le choix entre quelques solutions déjà formatées l'est. L'expérience française, le contrat de rivière de l'Orb, ouvre au contraire largement le débat, à un niveau consultatif, dans la définition des enjeux et des objectifs. Le choix des moyens de les atteindre est plus fermé. L'organisation de la participation se fait sur la base de la mobilisation de réseaux politiques pré-existant. Dans tous les cas analysés cette mobilisation est assez fermée : seuls des acteurs considérés comme légitimes sont impliqués, et une fois un processus participatif lancé les contours de cette population impliquée ne sont pas rediscutés. Aucune des procédures existantes ne mettent en place des modalités ouvertes d'implication d'acteurs ni d'évolution de cette population impliquée. La formalisation et la publicisation des procédures constituent une autre dimension permettant de décrire le type de démarche participative sur lesquelles il y a des divergences entre les cas analysés. Dans le cas britannique, l'approvisionnement en eau domestique dans le bassin de la Tamise, la consultation se pratique essentiellement en coulisse permettant au gouvernement de choisir la diffusion des informations et de rester assez informel. Dans les autres cas même si des

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

négociations interstitielles (Faure et al., 1998) informelles existent, le niveau de formalisme est plus important. Enfin les formes d'engagement peuvent également varier : la posture « moderne » impliquant la participation à la construction de solution est une forme d'engagement, refusée parfois pour se réserver le droit à la critique (Richard, 2000).
La modélisation d'accompagnement se prête plus aux postures de construction collective. Son principal apport par rapport à ces dimensions est d'accompagner un processus de décision collective tout au long depuis l'accord sur les enjeux à discuter jusqu'à des choix de mesure à prendre pour progresser sur leur prise en compte, en autorisant les retours en arrière, pour réviser les enjeux si ceux-ci étaient mal définis au départ ou avaient évolué. Pour les étapes de choix de solution, les simulations doivent permettre de comparer des propositions alternatives, pour les étapes d'agrément sur la nature d'un problème, c'est dans l'explicitation des hypothèses que peut se restructurer la définition du ou des enjeux à traiter. Ainsi parti d'enjeux sur la quantité d'eau disponible aussi bien au Sénégal que sur la Drôme, on est arrivé à des enjeux de crédit et de coordination dans un cas, de choix de cultures dans l'autre cas.

Un phénomène propre à ces ressources et intérêts partagés pour lesquels des intérêts particuliers sont importants est connu sous le nom de NIMBY[11] : une attente forte existe vis-à-vis du collectif mais avec le moins possible d'implications négatives pour soi. Les acteurs s'invitant dans les processus de décision collective seraient motivés *a priori* par des intérêts égoïstes. La détermination de l'emplacement d'une autoroute, d'une nouvelle voie TGV ou d'une décharge est un cas fréquent d'apparition de ce type de phénomène. En situation de participation du public comme demandé par la directive cadre, la mise en scène d'intérêts trop particuliers pourrait alors conduire à l'exacerbation de ce type de phénomène.
Cependant ce point de vue sur les acteurs pouvant s'impliquer dans les processus de participation est à nuancer : ces acteurs sont souvent également intéressés à des accords sur des principes généraux, par exemple sur les rapports entre décision publique et prise en compte de l'environnement (Lafaye & Thévenot, 1993). Ainsi des analyses de processus de mobilisation du public dans des cas d'aménagement, tel que le TGV Méditerranée, montrent que certaines associations ont mis en œuvre une telle « montée en généralité » en amenant à discuter les objectifs visés par la construction de la nouvelle ligne, c'est-à-dire par une re-formulation du problème (Lolive, 1997). Un des objectifs mis aux outils supposés faciliter ces démarches est de faciliter l'accès des discussions à un niveau de généralité suffisant pour ne pas tomber dans des phénomènes de pure défense d'intérêts particuliers. La modélisation d'accompagnement est pertinente sur ce point dans la mesure où elle met dans la discussion des outils, des représentations du réel suffisamment archétypales pour faire sortir des discussions qui montent en généralité. Elle joue sur la distanciation entre le joueur et son rôle, tout en laissant la sécurité de la remise en cause du processus sur le fait que ce n'est qu'un jeu. Les discussions lors des débriefings suite aux séances de Njoobaari Ilnoowo ont porté sur des dimensions collectives de la gestion de l'eau sans mise en accusation d'individus ni mise en avant d'intérêts particuliers au sein de ce collectif. De la même manière, l'intérêt vu par les participants à la construction de Phylou ayant en charge la mise en œuvre de la gestion concertée d'un bassin versant est le caractère générique du modèle produit, permettant de discuter sur des principes plus que sur des intérêts particuliers.

5.2.5 L'apprentissage au cœur de ces processus itératifs

Un des éléments clé dans la littérature sur les démarches participatives au sens large est la notion d'apprentissage. Les jeux de rôles ont une longue tradition en pédagogie. La section 3 a par ailleurs déjà mis en évidence l'usage de la modélisation d'accompagnement pour

[11] « Not in My Back Yard », littéralement « pas dans mon jardin ».

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

l'acquisition de connaissances sur des processus de décision collective, pour le chercheur ou l'organisateur de la session de jeu. Les outils manipulés sont également des moyens de favoriser l'acquisition de connaissances pour les participants, comme c'est l'objectif dans les exercices de simulation de politique par exemple. Cet apprentissage concerne d'abord l'apprentissage des représentations des autres, la prise de conscience du partage de certaines représentations ou de divergences possibles. Au travers des discussions suscitées par la discussion du modèle conceptuel sous-jacent aux artefacts utilisés, par l'exploration de ses failles quand c'est possible, les participants apprennent quels sont les points de vue des autres sur le système qu'ils partagent. C'est là un premier niveau d'apprentissage : il n'y a pas de connaissance nouvelle au niveau du groupe, mais chacun individuellement a appris sur les connaissances des autres. Dans la pratique collective, essentiellement pour les artefacts de type jeu de rôles, il y a un apprentissage collectif par l'action simulée. Il s'agit par exemple de la compréhension des conséquences des actions des uns pour les autres ou des effets de rétro-action au sein d'un système qui sont construits collectivement grâce au jeu. La reproduction de la multiplicité des centres de décision rendue possible par la structure distribuée d'un jeu ou d'un SMA au niveau conceptuel (Ryan, 2000) est cruciale pour ce type de production collective de nouvelle connaissance. Il s'agit là d'un deuxième niveau d'apprentissage : la mise en commun de connaissances partielles sur un système permet de construire de nouvelles connaissances pour le groupe. Enfin des chercheurs dans une posture de modélisation d'accompagnement, embarqués dans un processus de décision collective, sont inclus dans celui-ci de manière symétrique aux acteurs. La proposition de modèles au sein de ce processus crée les conditions d'une modification des représentations. Elle génère ainsi un apprentissage collectif au sein de la population impliquée dans le processus de décision collective (Hatchuel, 2000; Röling & Jiggins, 1998). Dans cette forme d'apprentissage, les deux grandes catégories de parties prenantes, acteurs et chercheurs, sont supposées apprendre (M. Hare et al., 2002), directement et au travers de l'apprentissage de l'autre.

Pour que cet apprentissage des participants puisse avoir lieu, le débriefing collectif est un élément fondamental comme pour tous les jeux de simulation (D. L. Meadows, 2001; Ryan, 2000) : il met en évidence pour les participants quelle connaissance nouvelle ils tirent de l'exercice, les interactions avec les organisateurs du jeu en vérifient la validité, les interactions avec les autres participants informent sur les connaissances retenues par ceux-ci. Enfin, dans une perspective d'appui à un processus de décision collective, la dernière étape du débriefing correspond à un engagement vers l'action ou au moins les suites données par chacun suite à l'expérience et aux connaissances acquises dans le jeu. On y pose en particulier des questions, sur la base de la pertinence de la représentation, relatives aux pistes pour l'action générées et au réalisme de ces pistes (Peters & Vissers, 2004).

5.3 Quelles spécificités techniques

Les mécanismes sociaux observés ou analysés dans les expériences de modélisation d'accompagnement reposent aussi sur des choix techniques et méthodologiques, en particulier pour la conception des modèles conceptuels des artefacts manipulés au cours des interactions avec les terrains. Même si j'ai fait le choix d'une forme multi-agent pour ces modèles conceptuels, d'autres choix techniques et méthodologiques ont pu être explorés. Il s'agit en particulier de la relation du modèle au processus de décision collective d'une part et du niveau de prise en compte des représentations des acteurs dans la conception des modèles d'autre part. Ces choix et la pratique de la modélisation d'accompagnement m'amènent alors à considérer qu'il y a là une nouvelle forme d'ingénierie possible, pour dépasser le simple constat de « bricolage » fait dans la littérature. Cette nouvelle ingénierie rend nécessaire d'inclure des sciences sociales dans les sciences de l'ingénieur. Ceci doit permettre

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

d'appréhender les conditions de la mise en œuvre de choix collectifs d'aménagement ou de modalités de gestion de ressources naturelles, dans la perspective des acteurs concernés et en prenant en charge l'inscription de ceux-ci dans des systèmes socio-techniques réels. Il s'agit bien de sciences sociales pour l'ingénieur et non d'ingénierie sociale : comprendre et s'adapter à un contexte social changeant et non concevoir ou amener à un système social dans une forme souhaitée. Définir cette nouvelle approche de l'ingénierie amène à se poser des questions de choix du type de connaissances réifiées dans un modèle ou des moyens techniques pour tracer des connaissances d'acteurs depuis leurs énoncés jusqu'au modèle conceptuel et au résultat des simulations.

5.3.1 Modèles des enjeux contre modèles du processus de décision collective

La relation du modèle au processus de décision collective avec lequel il est en interaction peut se résumer dans le débat entre les deux pôles suivant : modèle de la décision ou modèle des enjeux. Ce sont deux pôles extrêmes portant chacun des fonctionnalités différentes. Dans ce mémoire c'est plutôt la deuxième catégorie qui est explorée, même si des situations intermédiaires peuvent exister, incluant certaines parties d'un processus de décision collective dans le modèle.

Les modèles, et plus spécifiquement les modèles informatiques, sont de fait de plus en plus utilisés en tant qu'outils d'aide ou de recherche à propos des processus de décision collective. Les modèles de négociation sont les plus nombreux. Ils sont destinés à stimuler la concertation *via* l'organisation de sa mise en œuvre (Burkardt et al., 1998) ou à mieux comprendre le processus de concertation lui-même avec des modèles théoriques tels que ceux développés par la théorie des jeux ou des algorithmes de résolution de conflit (Faratin et al., 2001; Grosz, 2000). Un autre point de vue consiste à considérer le processus de négociation dans son ensemble et à le faciliter en élargissant l'information disponible aux participants au processus (Benbasat & Lim, 2000). L'expérience montre que apporter aux acteurs une explicitation des conséquences envisageables des choix s'ouvrant à eux dans un processus de décision collective les implique de manière plus active dans ce processus (Driessen et al., 2001). L'objectif du modèle est alors de représenter la dynamique des enjeux au cœur de ces processus de décision collective afin de les amener à faire progresser la formulation commune des questions visées par le processus. Le modèle est ici un outil permettant de partager les points de vue, d'apprendre sur ceux-ci, avec comme finalité éventuelle de les faire évoluer grâce à ce partage et à cet apprentissage.

Dans un usage de la modélisation d'accompagnement pour comprendre les processus de décision collective aussi, le modèle des enjeux est un outil pertinent. Il permet en effet la mise en situation des acteurs concernés, les amenant à révéler leurs indicateurs pertinents dans l'interaction avec l'artefact proposé, leurs représentations du système en critiquant celle présente dans le modèle utilisé, leurs modalités d'interaction quand on prend la forme d'un jeu de rôles.

De fait j'ai réalisé des outils hybrides entre les deux pôles, plus proches du modèle des enjeux cependant. De la même manière que Pieplue a été réalisé afin de séparer les représentations des temps court et long entre la partie informatisée et la partie jouée du dispositif, les artefacts que j'ai pu mettre en œuvre ne sont pas des purs modèles des enjeux mais y incluent des représentations de composantes du processus de décision collective à un grain assez fin. Ainsi dans l'expérience au Sénégal les mécanismes de coordination et d'arrangements pour l'accès à l'eau ou au crédit au sein de réseaux sociaux sont inclus dans le modèle. Dans Pieplue les modalités de partage de l'eau sont incluses dans le modèle, seule leur révision est ouverte à la discussion. Dans les deux cas il s'agit de mettre dans le modèle les représentations sur lesquelles on veut faire réagir pour simuler un processus de décision collective à une échelle organisationnelle, temporelle et spatiale donnée. Le grain cible dans le cas Sénégalais est la

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

mise en place des mécanismes de coordination au niveau des systèmes irrigués. Les coordinations existantes dépendant des réseaux sociaux externes au périmètre sont donc mises dans le modèle : (i) pour vérifier s'il y a accord sur leur existence et leur fonctionnement, (ii) pour comprendre quelles modalités de coordination existent ou peuvent se mettre en place au sein du système irrigué. Sur la Drôme la cible est la discussion/révision de modalités de partage de la ressource en eau au pas de temps inter-annuel. La représentation de la dynamique du système sur une saison complète comportant des règles de partage de la ressource en cas d'étiage sévère est donc simulée, pour donner des éléments à la simulation de la discussion de leur révision.

5.3.2 Modélisation à dires d'acteurs

Même si ce n'est pas une contrainte formelle pour la mise en œuvre d'une démarche de modélisation d'accompagnement, la modélisation à dires d'acteurs se retrouve en filigrane derrière cette démarche. Les modèles sont sensés dire le monde tel que les acteurs le voient ou aimeraient le voir. Ceci ne signifie pas une vision consensuelle du monde parmi les acteurs, le modèle devant être à même de mettre en scène des points de vue divergents, éventuellement incohérents, mais rendus intelligibles aux autres comme des points de vue ayant leur légitimité et étant également dignes de considération. Les scénarios ou la possibilité de représentations hétérogènes dans le même cadre conceptuel multi-agent rendent possible cette co-existence de points de vue variés. Le modèle est supposé alors faciliter la discussion entre des acteurs portant des visions du monde différentes. La modélisation à dires d'acteurs peut être mise en œuvre *via* la confrontation de versions successives d'un modèle à des acteurs concernés comme cela a été le cas dans l'expérience Phylou. Les acteurs sont alors amenés à critiquer les versions successives, et ce faisant à préciser leurs points de vue, sans obligation de cohérence d'une fois sur l'autre.

Tableau 3 : correspondance entre types d'entités sémantiques et éléments de description d'un SMA

Expression sémantique		***Elément de SMA***
type	***exemple***	
nom	agriculteur	classe
Article + nom	Cet agriculteur	instance
Complément circonstanciel	Chaque lundi, j'irrigue le champ du haut Si le maïs a soif, j'irrigue	règle
Verbe actif	Irriguer	opération
Verbe d'état	Pierre est membre de l'association d'irrigants	relation
Adjectif qualificatif	La rivière asséchée	Valeur d'attribut
Valeurs numériques	Le champ de 2 ha	Valeur d'attribut
Complément de nom	Le champ de Pierre	Valeur d'attribut

Cette modélisation à dires d'acteurs peut aussi se faire *via* une approche plus radicale visant à amener les acteurs eux-mêmes à expliciter leurs représentations afin d'en reconstituer ensuite un modèle en mettant en place un mécanisme de traduction transparent. Pour cela nous nous appuyons sur des travaux en ingénierie des connaissances ayant mis en place des démarches de transfert des experts vers des modèles (Menzies, 2002). La thèse récente de Athmane Hamel a proposé une approche coopérative de conception de modèles fondée sur l'implication de spécialistes dans des séances de jeu de rôles. Cette méthode, ACKA, s'appuie sur l'analyse de ces séances de jeu et notamment des interactions entre ces spécialistes pour proposer un modèle (Hamel & Pinson, 2005). Nous avons cependant cherché avec Nicolas Becu à aller également dans cette direction dans des expériences dans la vallée de l'Orb et en Thaïlande en

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

amenant les acteurs, considérés comme spécialistes de leurs pratiques, à expliciter leurs représentations (Becu, 2006). Le choix de l'architecture multi-agent est à nouveau efficace du fait du formalisme objet qui la sous-tend, et de la proximité de celui-ci avec le langage naturel (Becu, Bousquet et al., 2003). Le tableau 3 présente les correspondances.

Cette proximité n'est cependant pas encore déterministe et ne peut servir à traduire de manière automatique les visions du monde portées par les acteurs. Une interprétation reste nécessaire. Par ailleurs les indicateurs correspondant à la détermination des règles manquent souvent de précision. Elle nous a servi de point de départ pour dégrossir les représentations des acteurs. D'autres auteurs ont développé parallèlement des approches comparables en cherchant à contraindre l'ontologie manipulée dans l'animation de la séance de modélisation interactive (Etienne, 2006). A partir d'entretiens en situation, c'est-à-dire sur le ou les lieux de concernement des acteurs pour l'enjeu sur lequel porte la modélisation (souvent la parcelle pour les terrains qui nous concernent), nous avons pu identifier les entités qui étaient pertinentes pour les acteurs pour décrire leur système, les relations qu'ils voyaient entre elles et quelques dynamiques d'évolution de celles-ci. Une automatisation complète n'était pas possible car un minimum d'analyse du sens était nécessaire par exemple pour décider si un nom commun est un identifiant de classe ou un identifiant d'attribut. La taille du modèle aurait rapidement explosé. Cette démarche ne permet ni de prioriser les éléments relevés dans les textes ni d'identifier d'éventuelles digressions. Nicolas Becu a alors complété ce type d'analyse par la génération d'histoires avec des entités choisies parmi celles identifiées dans la première étape. Il a ainsi pu observer comment les acteurs mobilisent des entités qu'ils ont proposées après le filtre de son analyse. A partir de là il a pu proposer un modèle conceptuel d'un bassin versant du Nord Thaïlande, cohérent avec les représentations de chaque personne interrogée, et complété pour la représentation de la dynamique de la ressource par une modélisation d'expert (Becu et al., 2006).
Les difficultés rencontrées pour cette conception de modèles à dires d'acteurs illustrent également les difficultés rencontrées dans la traduction de jeux de rôles dans des SMA. Le travail de traduction comporte toujours une part d'interprétation, les itérations restent donc nécessaires non seulement pour accompagner la dynamique des représentations et des intérêts sur le terrain, mais aussi pour lever le plus d'ambiguïtés possible en explicitant les hypothèses des modèles conceptuels produits.

5.3.3 Vers un nouveau travail d'ingénierie

Le travail sur les processus de décision collective amène ainsi de nouvelles demandes pour les métiers d'ingénieur, concernant la mise au point de méthodes et d'outils spécifiques pour les processus de décision collective. Tout ce qui précède relève de cette mise au point de méthodes et d'outils, de leurs conditions d'utilisation et de la légitimité de leur usage.
Deux aspects me paraissent devoir être mis en avant : contingence des démarches et implication des acteurs des dynamiques réelles. La contingence des démarches en particulier correspond à une évolution du métier d'ingénieur, non pas dans la pratique mais dans sa conception. Elle part de l'observation d'une grande dépendance au contexte dans la conception, que ce soit pour de la conception d'objets matériels, mais aussi d'objets virtuels ayant recours aux NTIC (Kujala, 2003). Cette observation rentre en opposition avec une autre tendance forte du métier d'ingénieur qui est celle du développement de normes décrivant ce qui doit être fait (Thévenot, 2006). Il ne s'agit pas de rejeter toute description *ex ante* de ce qui doit être fait, mais d'y ajouter une capacité à s'adapter à son contexte de mise en œuvre. La mise en situation et les itérations proposées dans la modélisation d'accompagnement permettent notamment de mobiliser des savoirs tacites, que les acteurs mobilisent en situation mais ne rendent pas explicites en collectif (Johannessen et al., 2001). C'est la raison qui a

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

poussé Nicolas Becu dans son travail de modélisation à dires d'acteurs exposé ci-dessus à conduire ses enquêtes le plus possible *in situ* afin d'améliorer son accès à ce type d'information. Enfin la demande croissante de légitimité des outils apportés dans une société est cohérente avec une pratique située et contingente qui permet de préserver les connaissances et les indicateurs du domaine privé que des acteurs ne voudraient pas mettre sur la table, mais qui sont mobilisés dans l'action (Whitworth & de Moor, 2003).
L'implication des acteurs dans la conception est la deuxième caractéristique importante de l'approche présentée dans ce mémoire par rapport à une conception classique de métier d'ingénieur. Cette implication des acteurs ne se retrouve pas seulement pour la conception de systèmes immatériels, flous ou complexes, mais aussi pour des biens matériels présents dans la vie quotidienne, tel qu'un photocopieur pour reprendre un exemple classique de la littérature (Suchman et al., 2002). Une telle implication rentre en opposition avec un point de vue classique sur le métier d'un ingénieur expert, détenteur d'un savoir technique et d'une compréhension des fins, le rendant apte à utiliser ce savoir pour parvenir à ces fins. Il ne s'agit pas ici de remettre en cause ni l'existence de cette expertise technique ni la capacité de l'ingénieur à comprendre des finalités recherchées. Il s'agit d'accorder une valeur à d'autres formats de connaissance, issus de la pratique d'un lieu ou d'une activité. Il s'agit aussi d'accepter que des finalités puissent ne pas être bien définies ou évoluer, se révélant au fur et à mesure de propositions nouvelles et d'interactions entre personnes concernées. L'anticipation du type d'année climatique dès le printemps permettant de se préparer à une sécheresse plus ou moins dure ou la connaissance de la relation entre les assecs de deux points de la rivière sont ainsi ressortis dans les entretiens ou les réunions de travail sur la Drôme. Le président d'un groupement d'irrigants anticipe par exemple comment va se passer l'étiage en fonction des orages du printemps. Ces connaissances ne sont pas suffisamment généralisables ou explicables pour être mobilisées dans un travail de conception de règles de partage de l'eau. L'action en plan, paradigmatique du métier d'ingénieur doit pouvoir composer avec d'autres formes d'engagement, en particulier familier (Thévenot, 2006), éventuellement portés par des acteurs qui sont concernés par la mise en œuvre d'un processus de décision collective.
Ces deux conditions au développement d'outils et méthodes pour la compréhension et la facilitation de processus de décision collective, adaptabilité et ouverture aux usagers, amènent plusieurs courants de la littérature à mettre en avant les figures du *bricoleur* de Levi-Strauss mettant en œuvre une part d'improvisation (Innes & Booher, 1999), de *l'artisan* au raisonnement pratique capable de trouver des solutions sous-optimales (Cecchini & Rizzi, 2001), de *l'artiste* qui allie flexibilité et rigueur (Zhu, 2002). Ces courants rejoignent également la notion de façonnage développée par Ostrom pour la mise en place d'institutions permettant une gestion viable à long terme de systèmes irrigués (Ostrom, 1992). Tous ont à cœur de tenir compte de la contingence propre à chaque situation de mise en œuvre d'un processus de décision collective. Cela implique de la part d'un ingénieur une compétence à s'appuyer sur une diversité existante, diversité de relations au monde, diversité de points de vue sur celui-ci, diversité de modes de raisonnement. Une telle évolution se situe dans la continuité de dynamiques d'évolution telles que celles qui ont vu le rôle de l'ingénieur prendre en compte progressivement des enjeux de relations humaines.

6 Discussion

Ce travail sur les processus de décision collective dans le domaine de la gestion de l'eau et sur les méthodes pour les appréhender ou les faciliter amène à participer à la dynamique des questions de recherche dans trois domaines : la gestion de l'eau, les enjeux dans l'accès à

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

l'information, et la modélisation participative. Cela correspond au champ thématique et aux deux piliers théoriques et méthodologiques exposés en introduction.

6.1 Du point de vue de la gestion de l'eau

La norme actuelle pour la gestion de l'eau est celle d'une gestion par bassin versant. La définition d'un espace autour des limites physiques de la ressource pour la gestion de celle-ci a été conçue dès le 19ème siècle pour transcender les intérêts particuliers (Viellard-Coffre, 2001). Les usagers restent hors de la gestion, qui devient du ressort exclusif de spécialistes de l'eau. Cette délimitation pose cependant rapidement problème du fait de la complexité des enjeux de la gestion de l'eau : comment prendre en compte le recouvrement entre différentes ressources (nappe souterraine et réseau de surface), comment prendre en compte les échanges d'eau organisés (transferts interbassin), comment prendre en compte la localisation des usages et les transferts d'eau virtuelle ainsi induits… Au bout du compte, les limites des territoires où se discute la gestion de l'eau sont discutées au sein de la sphère technique, quand bien même l'implication des usagers est mise à l'honneur. D'autres territoires seraient possibles, tel que bassin d'approvisionnement, territoires de demande, mais les enjeux écologiques ramènent souvent « naturellement » au sacro-saint bassin versant (Mermet & Treyer, 2001).
Tout montre cependant que le bassin versant n'est pas un espace fonctionnel de gestion pour les acteurs de terrain. Il renvoie spécifiquement à la rationalité de l'expert (Salles & Zelem, 1998). Les objectifs d'aménagement du territoire, de production énergétique nationale ou d'autosuffisance alimentaire génèrent des décisions généralement hors du contexte d'une institution de bassin, alors qu'elles ont des incidences sur les hydrosystèmes en lien avec ce territoire. Elles prennent en compte des besoins spécifiques tel que la préservation de l'emploi dans un territoire donné ou les attaches culturelles à une certaine forme de paysage hydraulique. Ces formes de paysage hydraulique peuvent être issues d'autres zones géographiques[12].
Le caractère naturel de la justification de la constitution des institutions en charge de la gestion de l'eau est un moyen de dépasser leur nécessaire mortalité telle que décrite par Hatchuel (Hatchuel, 2000). Tant que l'eau coule l'institution de bassin se doit d'exister. Le même type de rationalisation par les dynamiques naturelles a conduit dans le contexte de sociétés agricoles dirigées par une classe bureaucratique à ce qui a été décrit comme le despotisme oriental des états hydrauliques d'Asie (Wittvogel, 1964). Cette rationalisation n'est pas seule à l'origine de cette forme de pouvoir, l'absence d'échelons intermédiaires entre le pouvoir central et les individus est en particulier une condition présente dans l'analyse de Wittvogel qu'on ne retrouve pas dans les politiques de l'eau actuelles. La mise en place d'un mode de gouvernance déterministe et technique de la gestion de l'eau est un élément permettant une évolution dans ce sens.

Nous avons vu dans ce qui précède que s'appuyer sur la diversité des points de vue permet des décisions collectives efficaces et robustes. La prise en compte de cette diversité se fait en suivant les réseaux au fur et à mesure des interactions, que celles-ci soient de nature physique, sociale ou économique, donc sans limite géographique *a priori*. Le métier d'un ingénieur ayant en charge la bonne gestion de l'objet bassin versant devrait alors s'appuyer sur cette diversité et l'existence éventuelle d'institutions indépendantes du bassin versant mais interagissant avec celui-ci. Une des pistes que nous engageons actuellement avec plusieurs

[12] La notion de débit minimum défini par une valeur statistique en zone méditerranéenne conduit ainsi certains animateurs de bassin versant à dire que les rivières sont « hors la loi » car naturellement sèches de manière épisodique, ces rivières ayant un débit très variable !

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

collègues est de travailler sur la notion de solidarité, dont l'ensemble des interactions existantes et identifiées peuvent être le support.

6.2 Un questionnement sur les jeux autour de l'information

Un processus de gestion intégrée de bassin versant commence souvent par la mise en place d'un système d'information, base de connaissance partagée, censée résoudre les problèmes de coordination et de comportements de passagers clandestins dans la gestion du bien commun qu'est le bassin versant. Tout est affiché, chaque usage non conforme avec les règles communes peut être identifié, l'état de la ressource et la mise en œuvre de règles spécifiques déclenchées par l'évolution de cet état sont transparents. Cependant cette information est en fait localisée ou moyennée sur une portion de territoire donnée, les bornes d'enregistrement sont parfois vandalisées, le traitement de l'information peut sembler une boîte noire pour des usagers dont l'accès à cette base de connaissance partagée est parfois difficile du fait d'indicateurs qui ne leur conviennent pas nécessairement. La confiance dans l'usage qui sera fait de l'information délivrée d'une part et dans la pertinence de l'information reçue est mise en cause. Ainsi, dans la Drôme, les agriculteurs sont prêts à diffuser de l'information sur leurs pratiques d'usage de l'eau et leurs assolements au sein d'une structure dépendant de la profession agricole. Celle-ci pourra ensuite échanger des synthèses de ces informations avec les autres secteurs. Les agriculteurs ne sont pas prêts à diffuser individuellement ces informations au niveau de la CLE. Ils souhaitent conserver au niveau de leur profession le contrôle sur les échanges d'infirmation concernant leurs pratiques (Brochier, 2000).
Ces systèmes d'information, ainsi que tout l'appareillage technique et social qui y est associé, se retrouvent en effet pris dans les réseaux d'interactions sous-jacents aux processus de décision collective. Les connaissances apportées lors de la construction d'un système d'information partagé dépendent des réseaux de relations entre les acteurs qui les apportent, tout comme elles modifient ces réseaux.
D'un point de vue théorique, cela pose la question de l'analyse des jeux autour d'un système d'information. Chaque partie prenante ayant intérêt à recueillir le plus possible d'informations valides en en délivrant le moins possible. On se retrouve devant un problème classique de partage d'un bien commun. D'un point de vue opérationnel cela pose les questions de construction de confiance entre les acteurs du bassin, connectés à un système d'information. Le système d'information ne peut pas être imposé comme la solution a priori, mais il doit être construit. Si un système d'information est identifié comme un moyen pertinent, il s'agit alors d'arriver à une combinaison des filtres d'indicateurs pertinents pour les différents. Des moyens tel que la construction progressive et révisable ainsi que le recours à une décontextualisation partielle dans la restitution de cette information peuvent être envisagés.
La simulation sociale et la modélisation d'accompagnement constituent des pistes pour aborder cette question. Les jeux autour de l'information sont complexes et leur simulation interactive permet de se donner les moyens de mieux les comprendre, en explorant des scénarios de relations entre détenteurs/usagers/information/gestionnaire. Dans une perspective d'appui à la mise en place d'un système d'information partagé, la modélisation d'accompagnement a le potentiel pour amener à préciser les objectifs qu'il recouvre et à explorer différents scénarios.

6.3 Modélisation interactive : vers une sociologie expérimentale

Enfin une grande part de ce travail concerne la modélisation participative ou interactive, dont la modélisation d'accompagnement peut être vue comme une forme particulière. Une originalité du travail de la communauté se retrouvant dans la modélisation d'accompagnement

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

composée en grande partie de modélisateurs est le caractère secondaire accordé au modèle. La majorité des travaux s'intéressant à la modélisation participative mettent la participation au service de la modélisation. La participation est supposée améliorer la qualité du modèle du point de vue des attentes d'un client qui aura ensuite à l'utiliser (Rouwette et al., 2002). Au sein du réseau ComMod, l'objectif est la compréhension ou la facilitation d'un processus de décision collective, la modélisation en interaction avec les acteurs de ce processus a pour but de mieux atteindre cet objectif.
Cela nous a amené à développer une forme de sociologie expérimentale (Richard & Barreteau, 2006) au travers de jeux de simulation comme Concert'eau. En effet nous reproduisons une micro-société, aux règles plus ou moins fermées, permettant de tester les conséquences d'un ensemble de règles de comportements individuels et collectifs et d'observer des individus en interaction afin d'améliorer notre compréhension de leurs comportements. Il s'agit d'une sociologie expérimentale dans un sens proche de celui utilisé pour l'économie expérimentale, et non du test de nouvelles règles ou dispositifs sur un échantillon de population comme cela a été parfois le cas (Chapin, 1938). L'éventail des jeux présentés ici et développés au sein du groupe ComMod couvre deux des idéaux-types proposés par Callon et Muniesa (Callon & Muniesa, 2006) : l'expérience de type laboratoire et la plateforme expérimentale. Le premier, dont est assez proche un jeu comme Njoobari, laisse a priori peu de marges de manœuvre au joueur. Les règles de comportement sont définies et on vise à observer ce qu'elles produisent, en comparaison avec des simulations informatisées. Le deuxième, dont sont assez proches Pïeplue ou Concert'eau, laissent plus de place aux joueurs dont on va observer les choix ou que l'on va conduire à discuter ensuite de ces choix. Cependant même dans le premier cas, les joueurs arrivent à trouver des adaptations possibles. Il s'agit, dans l'animation du jeu, de laisser cette créativité s'exprimer et de se donner les moyens de la saisir. C'est là une différence majeure avec l'économie expérimentale canonique qui considère mettre en scène des sujets avec lesquels on ne revient pas sur les choix de leurs actions, le débriefing individuel et collectif utilisera au contraire ces éléments inattendus pour enquêter plus avant.

Ce choix méthodologique pose des questions. Pour un usage en compréhension, quelle est la valeur de connaissances pouvant sortir d'un tel processus ? Les modèles ne sont pas toujours validés. Les observations se font en partie sur des situations virtuelles. Le processus est en fait générateur d'hypothèses, de théories, restant à invalider par l'expérience et la confrontation à des terrains. La modélisation d'accompagnement et les artefacts qu'elle produit ont vocation à s'intégrer dans des démarches de recherche pouvant comporter d'autres modes d'observations. Elle permet de cibler ces observations et *via* la production de situations décalées, d'amener les acteurs à révéler et partager plus d'informations sur leurs points de vue et interactions avec un système de gestion d'une ressource naturelle.
Pour un usage en appui à un processus de décision collective, il se pose la question de la légitimité de ce qui peut sortir d'un tel processus. Cette légitimité dépend de la légitimité des participants (chercheurs modélisateurs inclus) à intervenir dans le processus de décision collective. Il se pose la même question que pour d'autres démarches participatives : pour une forme de décision prétendant mettre en œuvre une démocratie participative impliquant les acteurs, quelle est la légitimité d'un groupe, aussi grand et organisé dans des mécanismes de représentation acceptés par tous, à décider pour des acteurs ne faisant pas partie de ce groupe. Les pratiques consistant à générer des contraintes pour des acteurs ou des territoires non impliqués sont très présentes dans ces processus. Ce sont par exemple les irrigants de la basse vallée de la Durance qui arrivent à s'entendre grâce à l'eau du barrage de Serre-Ponçon. Une manière de progresser pourrait être de poser comme règle qu'un choix émanant d'un processus participatif ne peut concerner que la population légitimement représentée dans ce

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

processus, les participants au processus doivent donc avoir une activité réflexive pouvant les amener à redéfinir la géométrie de leur groupe.

7 Conclusion

Ce mémoire retrace un parcours entre des disciplines. A partir de questions sur les processus de décision collective en œuvre pour la gestion de l'eau, je suis arrivé à proposer et tester des modes d'interactions spécifiques avec des hydrosystèmes, s'appuyant sur l'usage de diverses formes de modèles. Ceci m'amène à proposer des sciences sociales pour l'ingénieur basées sur la manipulation d'outils permettant la simulation de comportements humains en interaction et la mise en œuvre expérimentale de ces comportements. Elles visent à faciliter la prise en compte de la diversité présente dans les systèmes complexes, à s'appuyer sur elle, plutôt qu'à tenter de la réduire. Cette diversité est prise en compte en particulier au niveau social.

Ce parcours se fait sur les enjeux de la gestion de l'eau qui constituent tous les exemples et les cas d'application qui ont nourri cette recherche. Le travail d'explicitation des points de vue rendu nécessaire par la prise en compte de la diversité a permis d'identifier des points sur lesquels des arrangements sont possibles même quand tout semble bloqué. L'explicitation de la présence d'un usager derrière chaque usage, puis la compréhension de ses objectifs permet d'identifier des pistes pour faire avancer des processus de décision collective sur la gestion de l'eau : impliquer les différents territoires concernés et refuser l'externalisation de contraintes vers des territoires non impliqués, identifier les voies de solidarité, faire prendre conscience à chaque partie prenante des contraintes et points de vue des autres acteurs.

Une grande partie de ce travail concerne le développement d'outils et surtout de méthodologie de conception et d'usage de ces outils, modèles et jeux de rôles. Le modèle, quelle que soit la forme de son implémentation, est un mode d'écriture d'un état des connaissances à un moment donné. Cette forme d'écriture peut être renvoyée aussi bien à des chercheurs qu'à des acteurs sur le terrain. Cela dépend de l'objectif de la démarche en cours : acquisition de nouvelles connaissances ou appui à un processus de décision collective. Les Systèmes Multi-Agents constituent une forme particulièrement adaptée pour les systèmes complexes pour deux raisons : elles permettent la mise en scène d'une multiplicité de centres de décision et donc de simuler une « complexité manipulable », elles autorisent une diversité de formes d'implémentation complémentaires, informatique et jeux de rôles, pouvant s'appuyer mutuellement sur la base d'un même modèle conceptuel. Les artefacts ainsi produits peuvent générer de la complexité pour la simuler mais aussi appréhender la diversité des points de vue de manière intrinsèque et s'adapter à des systèmes ouverts. Le principe retenu dans ce travail, et plus généralement dans la démarche de modélisation d'accompagnement à laquelle j'ai contribuée, est d'accorder un rôle transitoire au modèle. Celui-ci permet la réflexivité *via* un effet miroir. Les acteurs ont alors moyen de réagir à l'image qui leur est renvoyée de leur système et de faire évoluer la représentation sous-jacente. La fixation momentanée d'une représentation d'un système dans un modèle implémenté, n'a pour but que de constituer un artefact, un objet intermédiaire, permettant la discussion et la critique sur une référence partagée.

Enfin ce travail permet d'avancer sur les processus de décision collective d'une manière plus générale. Dans un contexte de mise en avant des démarches participatives dans la décision publique, il revisite les questions d'implication des acteurs et propose des outils et démarches concrets facilitant la mise en œuvre d'un mode de gouvernance post-normal. Il reprend en particulier la nécessité d'une posture embarquée du chercheur travaillant sur ou pour un processus de décision collective. A partir de là l'explicitation de sa posture est nécessaire pour

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

assumer ce positionnement embarqué. Une des finalités du caractère itératif de la modélisation d'accompagnement est de rendre explicites les représentations des chercheurs à chaque étape d'une recherche, et d'accepter la mise à l'épreuve répétée de ces représentations. Une des conséquences de ce positionnement devient alors la difficulté à définir la limite des processus de décision collective sur lesquels on peut être amenés à intervenir, demandant une rigueur dans la prise en compte des effets externes et du mandat : savoir s'arrêter aux limites des compétences légitimes du groupe d'acteurs avec lesquels on est en interaction aussi bien qu'aux limites du mandat nous permettant d'intervenir.

Ce travail ouvre enfin des perspectives de recherche dans les trois domaines qui le portent : gestion de l'eau, outils et modèles, processus de décision collective.
Du point de vue de la gestion de l'eau, il s'agit de poursuivre une réflexion sur les moyens de mettre en œuvre une réelle appropriation de celle-ci par les acteurs avec toutes les limites et garde-fous que cela implique. La définition des limites des espaces pertinents pour travailler sur la gestion de l'eau devrait rester une question ouverte. Les objectifs, et non les seuls besoins, des usagers de l'eau ou des usagers de l'espace ayant des attentes ou des impacts vis-à-vis de l'eau et des milieux aquatiques devaient être pris en compte. C'est une condition pour s'appuyer sur la diversité des acteurs en présence et ouvrir des situations de conflits apparemment bloqués. Les conséquences de cette diversité pour les processus de décision collective liés à l'eau pourront alors être abordés. Les interactions entre des territoires urbains et ruraux constituent un champ d'application que je souhaite explorer : pour dépasser l'externalisation de contraintes, identifier parmi l'ensemble des interactions entre les acteurs concernés celles pouvant les conduire à identifier des moyens d'avancer ensemble.
Du point de vue des outils et des modèles, il se pose tout d'abord des questions concernant leur évaluation. C'est l'enjeu actuel du groupe ComMod. Des formes d'évaluation originale doivent encore être trouvées : les objectifs étant par définition évolutifs, la seule comparaison entre des objectifs atteints et des objectifs fixés initialement n'est pas pertinente *a priori*. Il faut mettre en place les moyens de tracer ces changements pour les identifier et les discuter. Alors que l'enjeu de la place de l'information est au centre de nombreuses démarches de gestion concertée, sa représentation dans des outils de modélisation se fait peu, et pas pour des usages interactifs avec des acteurs. La représentation des connaissances et de leur dynamique dans un modèle suffisamment simple pour rester manipulable constitue une question à part entière.
Enfin du point de vue des processus de décision collective, la prise en compte de la contingence aux personnes concernées pose question pour des systèmes ouverts dont la composition et le concernement des populations évoluent. Les moyens de tracer les évolutions d'un processus de décision collective, la consolidation des accords construits à un moment donné en conservant des possibilités d'évolution constituent des champs à explorer pour mieux les comprendre et les faciliter.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

8 Références :

8.1 Travaux personnels

Barreteau, O. (1998). *Un système multi-agent pour explorer la viabilité des systèmes irrigués : dynamique des interactions et modes d'organisation.* Thèse de doctorat, Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts.

Barreteau, O. (2003). The joint use of role-playing games and models regarding negotiation processes: characterization of associations. *Journal of Artificial Societies and Social Simulations, 6*(2), http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/2/3.html.

Barreteau, O., Abrami, G., & Chennit, S. (2004). *Combining various time scales though joint use of Agent Based Modelling and Role Playing Games: application to a river basin management game.* Paper presented at the ISAGA'04, Münich.

Barreteau, O., Abrami, G., Chennit, S., & Garin, P. (2006). Support to Stakeholder Involvement in Water Management. Circumventing some Participation Pitfalls. In S. Perret, S. Farolfi & R. Hassan (Eds.), *Water Governance for Sustainable Development* (pp. 275-289). Montpellier, Londres: Earthscan.

Barreteau, O., & Bousquet, F. (1999). Jeux de rôles et validation de systèmes multi-agents. In P. Marcenac (Ed.), *Ingénierie des systèmes multi-agents, actes des 7èmes JFIADSMA* (pp. 67-80): Hermès.

Barreteau, O., & Bousquet, F. (2000). SHADOC: a Multi-Agent Model to tackle viability of irrigated systems. *Annals of Operations Research, 94*(1-4), 139-162.

Barreteau, O., & Bousquet, F. (2001a). Des systèmes irrigués virtuels aux systèmes irrigués réels : retour par les jeux de rôles. In S. Lardon, P. Maurel & V. Piveteau (Eds.), *Représentations spatiales et développement territorial* (pp. 163-174): Hermès.

Barreteau, O., & Bousquet, F. (2001b). *From a Conceptual Model to its Artifacts: Building on Experiments using the SHADOC Model.* Paper presented at the MODSIM'01, Canberra.

Barreteau, O., Bousquet, F., & Attonaty, J.-M. (2001). Role-playing games for opening the black box of multi-agent systems: method and teachings of its application to Senegal River Valley irrigated systems. *Journal of artificial societies and social simulations, 4*(2), http://jasss.soc.surrey.ac.uk/4/2/5.html.

Barreteau, O., Bousquet, F., Millier, C., & Weber, J. (2004). Suitability of multi-agent simulations to study irrigated system viability: application to case studies in the Senegal River Valley. *Agricultural Systems, 80*, 255-275.

Barreteau, O., D'aquino, P., Bousquet, F., & Le Page, C. (2002). Le jeu de rôles à l'interface entre systèmes réel et virtuel pour la gestion de ressources renouvelables. In D. Orange, R. Arfi, M. Kuper, P. Morand & Y. Poncet (Eds.), *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales* (pp. 799-814). Paris: IRD éditions.

Barreteau, O., Garin, P., Dumontier, A., Abrami, G., & Cernesson, F. (2003). Agent-Based Facilitation of Water Allocation: Case Study in the Drome River Valley. *Group Decision and Negotiation, 12*(5), 441-461.

Barreteau, O., Hare, M., Krywkow, J., & Boutet, A. (2005, 20-25 avril 2005). *Model designed through participatory processes: whose model is it ?* Paper presented at the Joint Conference On MultiAgent Modelling for Environmental Management, CABM-HEMA-SMAGET 2005, Bourg St Maurice - Les Arcs.

Becu, N., Barreteau, O., Perez, P., Saising, J., & Sungted, S. (2006). A methodology for identifying and formalizing farmers' representations of watershed management: a case

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

study from Northern Thaïland. In F. Bousquet, G. Trebuil & B. Hardy (Eds.), *Companion Modeling and Multi-Agent Systems for Integrated Natural Resource Management in Asia* (pp. 41-62). Los Baños: IRRI.

Becu, N., Bousquet, F., Barreteau, O., Perez, P., & Walker, A. (2003). A Methodology for Eliciting and Modelling Stakeholders' Representations with Agent Based Modelling. In D. Hales, B. Edmonds, E. Norling & J. Rouchier (Eds.), *Multi-agent-based simulation iii. 4th international workshop, MABS 2003 Melbourne, Australia, july 2003, revised papers* (pp. 131-148): Springer.

Becu, N., Perez, P., Walker, A., Barreteau, O., & Le Page, C. (2003). Agent based simulation of a small catchment water management in northern Thailand: Description of the CATCHSCAPE model. *Ecological modelling, 170*, 319-331.

Bousquet, F., Barreteau, O., D'aquino, P., Etienne, M., Boissau, S., Aubert, S., et al. (2002). Multi-agent systems and role games: an approach for ecosystem co-management. In M. Janssen (Ed.), *Complexity and Ecosystem Management: The Theory and Practice of Multi-agent Approaches* (pp. 248-285): Edward Elgar Publishers.

Bousquet, F., Barreteau, O., Le Page, C., Mullon, C., & Weber, J. (1999). An environmental modelling approach. The use of multi-agent simulations. In F. Blasco & A. Weill (Eds.), *Advances in environmental and ecological modelling* (pp. 113-122): Elsevier.

Boutet, A., Barreteau, O., Cernesson, F., & Garin, P. (2005). L'usage de la modélisation d'accompagnement dans la gestion de l'eau à l'épreuve du modèle des forums hybrides : le projet Phylou. *Annales des Mines. Responsabilité & Environnement*(37), 59-68.

Commod. (2005). La modélisation comme outil d'accompagnement. *Nature Sciences Sociétés, 13*(2), 165-168.

D'aquino, P., Barreteau, O., Etienne, M., Boissau, S., Aubert, S., Bousquet, F., et al. (2002, June 24th-27th). *The Role Playing Games in an ABM participatory modeling process: outcomes from five different experiments carried out in the last five years.* Paper presented at the IEMSS, Lugano.

D'aquino, P., Etienne, M., Barreteau, O., Le Page, C., & Bousquet, F. (2001). Jeux de rôles et simulations multi-agents. In E. Malézieux, G. Trébuil & M. Jaeger (Eds.), *Modélisation des agro-écosystèmes et aide à la décision* (pp. 373-390): Cirad-Inra.

Daré, W., & Barreteau, O. (2004, 16-20 august 2004). *Agent-Based Simulations Backing Use of Role-Playing Games as Dialogue Support Tools: Teachings From Experiments.* Paper presented at the RC33 Sixth International Conference on Social Science Methodology, Amsterdam.

Grelot, F., Barreteau, O., & Guillaume, B. (2005, 30 June - 2nd July 2005). *SIGECORIS : Modelling on flood.* Paper presented at the ACEPOL'05, Bielefeld.

Herimandimby, V., Randriarijaona, E., Barreteau, O., & Bousquet, F. (1999). Systèmes Multi-Agents et démarche patrimoniale : utilisation de jeux de rôles. In N. Ferrand (Ed.), *Modèles et systèmes multi-agents pour la gestion de l'environnement et des territoires* (pp. 261-278): Cemagref éditions.

Richard-Ferroudji, A., & Barreteau, O. (2005). *Composing different pieces of knowledge for a participative water management. A study based on a game.* Paper presented at the International conference "environment, knowledge and democracy, Marseille.

Richard-Ferroudji, A., & Barreteau, O. (2006). *Concert'eau : un outil de sociologie expérimentale pour l'étude de dispositifs de gestion locale et concertée de l'eau.* Paper presented at the Conférence de l'Association Française de Sociologie, Bordeaux.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

8.2 Références bibliographiques

Abrami, G. (2004). *Niveaux d'organisation dans la modélisation multi-agents pour la gestion de ressources renouvelables. Application à la mise en oeuvre de règles collectives de gestion de l'eau agricole dans la basse vallée de la Drôme.* Thèse de doctorat, ENGREF.

Aggeri, F. (2005). L'environnement en quête de théories. *Nature Sciences Sociétés, 13*(2), 138-140.

Aguilera-Klink, F., Perez-Moriana, E., & Sanchez-Garcia, J. (2000). The social construction of scarcity: the case of water in Tenerife (Canary island). *Ecological economics, 34*, 233-245.

Amblard, F., Rouchier, J., & Bommel, P. (2006). Evaluation et validation de modèles multi-agents. In D. Phan (Ed.), *Modélisation et simulation multi-agents pour les Sciences de l'Homme et de la Société : une introduction* (pp. in press): Hermès.

Arnstein, S. (1969). A ladder of citizen participation. *Journal of the American Planning Association, 35*(4), 216-224.

Aubert, S., Le Page, C., Joly, H., Razafindrabe, R., Ranaivoson, J. F., Ralalaoherivony, S. B., et al. (2002). *Conception, adaptation and diffusion of a computer-assisted role game about phytogenetic resources management at a rural level in Madagascar.* Paper presented at the ISEE'2002, Sousse, Tunisia.

Auray, N. (2007). Une autre façon de penser le lien entre technique et politique : les technologies de l'Internet et le réagencement de l'activité autour de l'exploration. In L. Thévenot (Ed.), *Politiques du proche*. Paris: La Découverte.

Babin, D., Bertrand, A., Weber, J., & Antona, M. (1999). Patrimonial mediation and management subsidiarity: managing pluralism for sustainable forestry and rural development. In *Pluralism and sustainable forestry and rural development* (pp. 277-303). Rome: FAO-IUFRO-Cirad.

Becu, N. (2006). *Identification et modélisation des représentations des acteurs locaux pour la gestion des bassins versants.* Thèse de doctorat, Université Montpellier 2, Montpellier.

Benbasat, I., & Lim, J. (2000). Information technology support for debiasing group judgments: an empirical evaluation. *Organizational behavior and human decision processes, 83*(1), 167-183.

Benoît, M. (2001). D'un SIG de recherche à un SIG de gestion territoriale. Le périmètre de Vittel. In S. Lardon, P. Maurel & V. Piveteau (Eds.), *Représentations spatiales et développement territorial*: Hermès.

Boissau, S., & Castella, J.-C. (2003). Constructing a common representation of local institutions and land-use systems through simulation gaming and multiagent modeling in rural areas of northern Vietnam: The samba-week methodology. *Simulation & Gaming, 34*, 342-357.

Borderelle, A.-L. (2002). *Vers un modèle qualitatif de transfert de produits phytosanitaires* Mémoire de DEA ENGREF. Montpellier: ENGREF/Cemagref.

Bouleau, G., & Barthélémy, C. (2006). *Les demandes sociales de restauration des rivières et leurs traductions scientifiques et politiques.* Paper presented at the ASTEE, Deauville.

Bourdieu, P. (1994). *Raisons Pratiques. Sur la théorie de l'action*: Le Seuil.

Bousquet, F., Bakam, I., Proton, H., & Le Page, C. (1998). Cormas : common-pool resources and multi-agent systems. *Lecture Notes in Artificial Intelligence, 1416*, 826-838.

Bousquet, F., Lifran, R., Tidball, M., Thoyer, S., & Antona, M. (2001). Agent-based modelling, game theory and natural resource management issues. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 4*(2).

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Boutet, A. (2003). *Phylou dans tous ses états. Analyse de la co-construction d'un outil d'accompagnement dans la gestion locale de l'eau* (Working Paper No. WP 2003-01, N°1080): Cemagref.
Brochier, L. (2000). *L'enjeu de l'information dans la gestion concertée : application à la gestion des étiages du SAGE Drôme.* Mémoire de DEA, ENGREF, Montpellier.
Brouwers, L., & Verhaen, H. (2003). *Applying the consumat model to flood management policies.* Paper presented at the 4th Workshop on Agent-Based Simulation,, Montpellier.
Brown, J.-P., Contini, B., & McGuire, C. B. (1972). An economic model of floodplain land use and land use policy. *Water Resources Research, 8*(1), 18-32.
Burkardt, N., Lamb, B. L., & Taylor, J. G. (1998). Desire to bargain and negotiation success: Lessons about the need to negotiate from six hydropower disputes. *Environmental management, 22*(6), 877-886.
Caillois, R. (1967). *Les jeux et les hommes*: Gallimard.
Callon, M., Law, J., & Rip, A. (1986). *Mapping the dynamics of science and technology : sociology of science in the real world*: McMillan.
Callon, M., & Muniesa, F. (2006). Economic Experiments and the Construction of Markets. In D. MacKenzie, F. Muniesa & L. Siu (Eds.), *Performing Economics: How Markets Are Constructed*. Princeton: Princeton University Press.
Cardenas, J.-C., Stranlund, J., & Willis, C. (2000). Local Environmental Control and Institutional Crowding-Out. *World development, 28*(10), 1719-1733.
Cecchini, A., & Rizzi, P. (2001). Is urban gaming simulation useful? *Simulation and gaming, 32*(4), 507-521.
Chapin, F. S. (1938). Design for social experiments. *American Sociological Review*, 786-800.
Claeys-Mekdade, C. (2001). Qu'est ce qu'une population concernée ? L'exemple camarguais. *Géocarrefour, 76*(3), 217-223.
Conein, B., & Jacopin, E. (1994). Action située et cognition. *Sociologie du Travail, 94*(4), 475-500.
Cox, B. M. (1999). Achieving intercultural communication through computerized business simulation/games. *Simulation and gaming, 30*(1), 38-50.
d' Aquino, P. (2001). Ni planification locale, ni aménagement du territoire: pour une nouvelle approche de la planification territoriale. *Géographie, Economie, Société, 3*(2), 517-542.
d' Aquino, P., Seck, S. M., & Camara, S. (2002). Un SIG conçu pour les acteurs : l'opération pilote POAS au Sénégal. *L'espace géographique* (1), 23-37.
d'Aquino, P., Le Page, C., Bousquet, F., & Bah, A. (2003). Using Self-Designed Role-Playing Games and a Multi-Agent System to Empower a Local Decision-Making Process for Land Use Management: The SelfCormas Experiment in Senegal. *Journal of Artificial Societies and Social Simulations, 6*(3), http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/3/5.html.
Daré, W. (2005). *Comportements des acteurs dans le jeu et dans la réalité : indépendance ou correspondance ? Analyse sociologique de l'utilisation de jeux de rôles en aide à la concertation pour la gestion de l'eau.* Thèse de doctorat, ENGREF, Paris.
de Boer, J. (2003). *Interactive Governance in River Basin Management: A comparative research on three case studies of river basin management within the European FIRMA project.* Thèse de Master of Art, University of Twente, Enschede.
Dogan, M. (2002). Strategies in comparative sociology. *Comparative Sociology, 1*(1), 63-92.
Doran, J. E. (1999). Trajectories to complexity in artificial societies: rationality, belief and emotions. In T. Kohler & G. Gummerman (Eds.), *Dynamics in human and primate societies* (pp. 89-105): Oxford University Press.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Driessen, P. P. J., Glasbergen, P., & Verdaas, C. (2001). Interactive policy making - a model of management for public works. *European Journal of Operational Research, 128*, 322-337.
Duffy, J. (2001). Learning to speculate: experiments with artificial and real agents. *Journal of Economic Dynamics and Control, 25*, 295-319.
Duijn, M., Immers, L. H., Waaldijk, F. A., & Stoelhorst, H. J. (2003). Gaming Approach Route 26: a combination of computer simulation, design tools and social interaction. *Journal of Artificial Societies and Social Simulations, 6*(3), http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/3/7.html.
Duke, R. D., & Geurts, J. L. A. (2004). *Policy games for strategic management*: Dutch University Press.
Epstein, J., & Axtell, R. (1996). *Growing artificial societies, Social Science from the bottom up*: MIT Press.
Etienne, M. (2003). SYLVOPAST a multiple target role-playing game to assess negotiation processes in sylvopastoral management planning. *Journal of Artificial Societies and Social Simulations, 6*(2), http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/2/5.html.
Etienne, M. (2006). Modélisation d'accompagnement et aménagement forestier. In M. Bouamrane (Ed.), *Biodiversité et acteurs : des itinéraires de concertation* (pp. 44-52). Paris: Unesco.
Etienne, M., Le Page, C., & Cohen, M. (2003). A step by step approach to build up land management scenarios based on multiple viewpoints on multi-agent systems simulations. *Journal of Artificial Societies and Social Simulations, 6*(2), http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/2/2.html.
Faratin, P., Klein, M., Sayame, H., & Bar-Yam, Y. (2001). *Simple Negotiating Agents in Complex Games: Emergent Equilibria and Dominance of Strategies, Seattle, USA, pp. 42--53.* Paper presented at the 8th Int Workshop on Agent Theories, Architectures and Languages (ATAL-01), Seattle (USA).
Faure, G. O., Mermet, L., Touzard, H., & Dupont, C. (Eds.). (1998). *La négociation - situations et problématiques*: Nathan.
Ferber, J. (1995). *Les systèmes multi-agents, vers une intelligence collective*: InterEditions.
Ferber, J., Gutknecht, O., & Michel, F. (2003). *Agent/Group/Roles : Simulating with organization.* Paper presented at the Agent Based Simulation, Montpellier.
Fianyo, E., Treuil, J.-P., Perrier, E., & Demazeau, Y. (1998). Multi-AgentArchitecture Integrating Heterogeneous Models of Dynamical Processes: TheRepresentation of Time. In J. Sichman, R. Conte & N. Gilbert (Eds.), *Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation* (pp. 226-236): Springer.
Fishwick, P. A. (1998). A taxonomy for simulation modeling based on programming language principles. *IIE Transactions, 30*(9), 811-820.
Forssén, M., & Haho, P. (2001). Participative development and training for business processes in industry: review of 88 simulation games. *International Journal of Technology management, 22*(1/2/3), 233-262.
Friedman, D., & Sunder, S. (1994). *Experimental methods, a primer for economists*: Cambridge University Press.
Funtowicz, S. O., Martinez-Alier, J., Munda, G., & Ravetz, J. R. (1999). *Information tools for environmental policy under conditions of complexity* (Environmental issues No. 9): European Environment Agency.
Funtowicz, S. O., & Ravetz, J. R. (1993). Science for the post-normal age. *Futures, 25*(7), 739-755.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Gardiner, P. D., & Ritchie, J. M. (1999). Project planning in a virtual world: information management or technology going too far? *International Journal of Information Management, 19*(6), 485-494.
Gascuel-Odoux, C. (2006). Spatial modelling of discharge and concentration of matter along a stream network. *Compte-Rendus de l'Académie des Sciences, Géosciences, 338*, 585-586.
Germe, J.-F., & Thévenot, L. (1996). *Le traitement local des conflits en matière d'environnement Jeu éco-Logiques Rapport Final Volume 2 : Un jeu pédagogique sur les logiques d'argumentation dans les conflits autour de projets d'aménagement.* Paris: Institut international de Paris La Défense.
Goldspink, C. (2002). Methodological implications of complex systems approaches to sociality: simulation as a foundation for knowledge. *Journal of Artificial Societies and Social Simulations, 5*(1), http://jasss.soc.surrey.ac.uk/5/1/3.html.
Green, K. C. (2002). Forecasting decisions in conflict situations: a comparison of game theory, role-playing and unaided judgment. *International Journal of Forecasting, 18*(3), 321-344.
Grelot, F. (2004). *Gestion collective des inondations. Peut-on tenir compte de l'avis de la population dans la phase d'évaluation économique a priori ?* Thèse de doctorat, École Nationale Supérieure des Arts et Métiers, Paris.
Gregory, A. (2000). Problematizing Participation: A Critical Review of Approaches to Participation in Evaluation Theory. *Evaluation, 6*(2), 179-199.
Grimm, V. (1999). Ten years of individual-based modelling in ecology: what have we learned and what could we learn in the future. *Ecological Modelling, 115*, 129-148.
Grosz, B. J. (2000). *What's needed to Build Team Players.* Paper presented at the ICMAS'2000, Boston.
Guyot, P., & Drogoul, A. (2005, 20-25 avril 2005). *Maîtrise ou Surprise - Émergence et Participation.* Paper presented at the Joint Conference On MultiAgent Modelling for Environmental Management, CABM-HEMA-SMAGET 2005, Bourg St Maurice.
Guyot, P., & Honiden, S. (2006). Agent-Based Participatory Simulations: Merging Multi-Agent Systems and Role-Playing Games. *Journal of Artificial Societies and Social Simulations, 9*(4), http://jasss.soc.surrey.ac.uk/9/4/8.html.
Hämäläinen, R. P., Kettunen, E., Ehtamo, H., & Marttunen, M. (2001). Evaluating a framework for multi-stakeholder decision support in water resources management. *Group decision and negotiation, 10*, 331-353.
Hamel, A., & Pinson, S. (2005). Conception participative de simulations multi-agents basée sur une approche d'analyse multi-acteurs. In A. Drogoul & E. Ramat (Eds.), *Vers la conception de systèmes artificiels socio-mimétiques* (pp. 14). Paris: Hermès.
Hanneman, R. A. (1995). Simulation modeling and theoretical analysis in sociology. *Sociological perspectives, 38*(4), 457-462.
Hare, M., Heeb, J., & Pahl-Wostl, C. (2002, 6-9 march 2002). *The Symbiotic Relationship between Role Playing Games and Model Development: A case study in participatory model building and social learning for sustainable urban water management.* Paper presented at the ISEE'2002, Sousse.
Hare, M. P., & Pahl-Wostl, C. (2003). Stakeholder categorisation in participatory integrated assessment processes. *Integrated Assessment, 3*(1), 50-62.
Hatchuel, A. (2000). Quel horizon pour les sciences de gestion? Vers une théorie de l'action collective. In R. Laufer (Ed.), *Les nouvelles fondations des sciences de gestion. Eléments d'épistémologie de la recherche en management.*: Vuibert.
Heathcote, I. W. (1998). *Integrated watershed management, principles and practice*: John Wiley & sons.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Henry, C. (1987). *Affrontement ou connivence : la nature, l'ingénieur et le contribuable*. Unpublished manuscript, Palaiseau.
Innes, J. E., & Booher, D. E. (1999). Consensus building as role playing and bricolage: toward a theory of collaborative planning. *Journal of the American Planning Association, 65*(1), 9-26.
Johannessen, J.-A., Olaisen, J., & Olsen, B. (2001). Mismanagement of tacit knowledge: the importance of tacit knowledge, the danger of information technology, and what to do about it. *International Journal of Information Management, 21*(1), 3-20.
Kohler, T. A. (1999). Putting social sciences together again: an introduction to the volume. In G. J. Gumerman (Ed.), *Dynamics in human and primate societies* (pp. 1-18): Santa Fe Institute.
Kolb, D., Rubin, I. M., & Osland, J. S. (1991). *Organizational behaviour, an experimental approach*: Englewood cliffs.
Kujala, S. (2003). User involvement: a review of the benefits and challenges. *Behaviour and Information Technology, 22*(1), 1-16.
Küppers, G., & Lenhard, J. (2005). Validation of simulation: patterns in the social and natural sciences. *Journal of Artificial Societies and Social Simulations, 8*(4), http://jasss.soc.surrey.ac.uk/8/4/3.html.
Labbé, F., Ruelle, P., Garin, P., & Leroy, P. (2001). Modelling irrigation scheduling to analyse water management at farm level, during water shortages. *European Journal of Agronomy, 12*, 55-67.
Lafaye, C., & Thévenot, L. (1993). Une justification écologique ? Conflits dans l'aménagement de la nature. *Revue française de sociologie, 34*(4), 495-524.
Lamont, M., & Thévenot, L. (2000). Introduction: Toward a Renewed Comparative Cultural Sociology. In M. Lamont & L. Thévenot (Eds.), *Rethinking Comparative Cultural Sociology* (pp. 1-22): Cambridge University Press.
Landry, M., Banville, C., & Oral, M. (1996). Model Legitimation in Operational Research. *European Journal of Operational Research, 92*, 443-457.
Landry, M., Malouin, J.-L., & Oral, M. (1983). Model validation in operations research. *European Journal of Operational Research, 14*(3), 207-220.
Lansing, J. S. (2002). *Artificial societies and the social simulations*. Santa Fe: Santa Fe Institute for Complex Studies.
Latour, B., & Woolgar, S. (1988). *La vie de laboratoire. La production des faits scientifiques*: La Découverte.
Law, A. M., & Kelton, W. D. (1991). *Simulation modeling and analysis*: McGraw-Hill.
Le Bars, M. (2004). *Méthode de validation de modèles dédiés à l'appui à la gestion collective de ressources communes* (Working Paper). Montpellier: Cemagref.
Le Bars, M., Attonaty, J.-M., Pinson, S., & Ferrand, N. (2005). An Agent-Based Simulation testing the impact of water allocation on farmers' collective behavior. *Simulation, 81*(3), 223-235.
Lederman, L. C. (1992). Debriefing: Toward a Systematic Assessment of Theory and Practice. *Simulation & Gaming, 23*(2), 145-160.
Legay, J.-M. (1997). *L'expérience et le modèle. Un discours sur la méthode.*: INRA éditions.
Leik, R. K., & Meeker, B. F. (1995). Computer simulation for exploring theories, models of interpersonal cooperation and competition. *Sociological perspectives, 38*(4), 463-482.
Lolive, J. (1997). La montée en généralité pour sortir du Nimby. La mobilisation associative contre le TGV Méditerranée. *Politix, 39*, 109-130.
Louchart, X., Voltz, M., & Andrieux, P. (2000). Dynamique de la mobilisation et du transfert du diuron par ruissellement. *Compte-Rendus de l'Académie des Sciences, Géosciences, 331*, 475-481.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Manson, S. M. (2002). Validation and Verification of Multi-Agent Systems. In M. A. Janssen (Ed.), *Complexity and Ecosystem Management* (pp. 63-74): Edward Elgar.
Maton, L. (2001). *La dynamique du comportement des viticulteurs du bassin versant de l'Orb* (Série Irrigation Mémoire de 3ème cycle No. 2001-10). Montpellier: Cemagref.
Mauriras-Bousquet, M. (1984). *Théorie et pratique ludiques*: Economica.
Mayer, I., & de Jong, M. (2004). Combining GDSS and Gaming for Decision Support. *Group Decision and Negotiation, 13*, 223-241.
Meadows, D., & Meadows, D. (1993). *Fish Banks news*. Durham, NH, USA: Fish Banks limited and Laboratory for Interactive Learning University of New Hampshire.
Meadows, D. L. (2001). Tools for understandings the limits to growth: comparing a simulation and a game. *Simulation & Gaming, 32*(4), 522-536.
Menzies, T. (2002). Knowledge elicitation: the state of the art. In S. Chang (Ed.), *Handbook of Software Engineering and Knowledge Engineering.* (Vol. 2, pp. 607-627): World Scientific.
Mermet, L. (1993). Une méthode de prospective : les exercices de simulation de politiques. *Nature Sciences Sociétés, 1*(1), 34-46.
Mermet, L., Billé, R., Leroy, M., Narcy, J.-B., & Poux, X. (2005). L'analyse stratégique de la gestion environnementale : un cadre théorique pour penser l'efficacité en matière d'environnement. *Nature Sciences Sociétés, 13*(2), 127-137.
Mermet, L., & Treyer, S. (2001). Quelle unité territoriale pour la gestion durable de la ressource en eau? *Annales des Mines*(avril), 67-79.
Miettinen, R., & Virkkunen, J. (2005). Epistemic objects, Artefacts and Organizational Change. *Organization, 12*(3), 437-456.
Moss, S., & Davidsson, P. (Eds.). (2001). *Multi-Agent-Based Simulations*: Springer.
Mostert, E. (2003). The Challenge of Public Participation. *Water Policy, 5*(2), 179-197.
Nijkamp, P. (1999). Environment and Regional Economics. In J. C. J. M. van den Bergh (Ed.), *Handbook of Environmental and Resource Economy* (pp. 525–538.). Cheltenham,: Edward Elgar.
Ollagnon, H. (1989). Une approche patrimoniale de la qualité du milieu naturel. In M. Jollivet (Ed.), *Du rural à l'environnement, la question de la nature aujourd'hui* (pp. 258-268): L'Harmattan.
Ostrom, E. (1990). *Governing the commons: the evolutions of institutions for collective action.*: Cambridge University Press.
Ostrom, E. (1992). *Crafting institutions for self governing irrigation systems*. San Francisco: ICS Press.
Ostrom, E. (2005). *Understanding Institutional Diversity*. Princeton: Princeton University Press.
Ostrom, E., Gardner, R., & Walker, J. (1994). *Rules, games and common-pool resources*: The University of Michigan Press.
Perez, P., Dray, A., Le Page, C., d' Aquino, P., & White, I. (2004, 16-20 august 2004). *Lagoon, Agents and Kava. A Companion Modelling Experience in the Pacific.* Paper presented at the RC33 Sixth International Conference on Social Science Methodology, Amsterdam.
Peters, V., & Vissers, G. A. N. (2004). A simple classification model for debriefing simulation games. *Simulation & Gaming, 35*(1), 70-84.
Piveteau, V. (1995). *Prospective et territoire : apports d'une réflexion sur le jeu*: Cemagref éditions.
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*(1), 64-70.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Riaux, J., & Richard-Ferroudji, A. (2006). *Mises à l'épreuve et adaptations de la gestion collective de l'eau de la Lentilla.* Paper presented at the Séminaire Wademed - Avenir de l'agriculture Irriguée en Méditerranée, Cahors.
Richard, A. (2000). *Analyse comparée de l'acceptabilité des SAGE et contrats de milieu* (Rapport de stage de fin d'études). Palaiseau, Montpellier: Cemagref/ Ecole Polytechnique.
Röling, N. G., & Jiggins, J. (1998). The ecological knowledge system. In N. G. Röling & M. A. E. Wagemakers (Eds.), *Facilitating sustainable agriculture* (pp. 283-311): Cambridge University Press.
Rouchier, J. (2003). Re-implementation of a multi-agent model aimed at sustaining experimental economic research: The case of simulations with emerging speculation. *Journal of Artificial Societies and Social Simulations, 6*(4).
Rousseau, L. (2003). *Comparaison de points de vue pour la formulation de problèmes en gestion des territoires.* Thèse de doctorat, Université de Paris-Dauphine.
Rouwette, E. A. J. A., Vennix, J. A. M., & van Mullekorn, T. (2002). Group model building effectiveness: a review of assessment studies. *System Dynamics Review, 18*(1), 5-45.
Ryan, T. (2000). The Role of Simulation Gaming in Policy Making. *Systems Research and behavioral Science, 17*, 359-364.
Salles, D., Barraqué, B., Busca, D., & Garin, P. (2006). *L'eau des villes et l'eau des champs. Négociation territoriale et génie de l'environnement. Programme Interdisciplinaire Développement Urbain Durable- D2RT Politiques Territoriales et Développement Durable. Rapport final.* Toulouse: CERTOP-Cemagref-LATTS.
Salles, D., & Zelem, M.-C. (1998). *Les modalités de la décision publique dans le cadre des politiques de gestion de l'eau. Le cas des contrats de rivière dans le bassin Adour Garonne.* Paper presented at the Politique publique et développement local, Clermont Ferrand.
Schelling, T. C. (1961). Experimental games and bargaining theory. *World politics, 14*(1), 47-68.
Shakun, M. E. (1996). Modeling and supporting task-oriented group processes: purposeful complex adaptive systems and evolutionary systems design. *Group Decision and Negotiation, 5*, 305-317.
Star, S. L., & Griesemer, J. R. (1989). Institutional Ecology, 'Translations' and Boundary Objects: Amateurs and Professionals in Berleley's Museum of Vertebrate Zoology, 1907-39. *Social Studies of Science, 19*(3), 387-420.
Steinberg, P. E., & Clark, G. E. (1999). Troubled water? Acquiescence, conflict and the politics of place in watershed management. *Political Geography, 18*, 477-508.
Suchman, L., Trigg, R., & Blomberg, J. (2002). Working artefacts: ethnomethods of the prototype. *British Journal of Sociology, 53*(2), 163-179.
Tesfatsion, L. (2001). Introduction to the special issue on agent-based computational economics. *Journal of Economic Dynamics and Control, 25*(2-3), 281-293.
Thévenot, L. (2006). *L'action au pluriel. Sociologie des régimes d'engagement*: La Découverte.
Toth, F. L. (1988). Policy exercises: objectives and design elements. *Simulation and games, 19*(3), 235-255.
Tsoukias, A. (2005). *On the concept of decision aiding process*. Paris: Université Paris Dauphine.
Vennix, J. A. M. (1996). *Group model building, facilitating team learning using system dynamics*: John Wiley.
Viellard-Coffre, S. (2001). Gestion de l'eau et bassin versant: de l'évidente simplicité d'un découpage naturel à sa complexe mise en pratique. *Hérodote, 102*, 139-156.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Vinck, D. (1999). Les objets intermédiaires dans les réseaux de coopération scientifique. *Revue Française de Sociologie, 40*(2), 385-414.
Watson, D. R., & Sharrock, W. W. (1990). Realities in simulation/gaming. In D. Crookall & R. Oxford (Eds.), *Simulations, gaming and language learning* (pp. 231-238). New York: Newbury House Publishers.
Weber, J. (1995). Gestion des ressources renouvelables : fondements théoriques (Cirad, working paper, 21 pages). Montpellier.
Werner, M., & Zimmerman, B. (2003). Penser l'hisoire croisée : entre empirie et réflexivité. *Annales HSS, 58*(1), 7-36.
Whitworth, B., & de Moor, A. (2003). Legitimate by design: towards trusted socio-technical systems. *Behaviour and Information Technology, 22*(1), 31-51.
Whitworth, B., Gallupe, B., & McQueen, R. (2000). A cognitive Three-Process model of computer mediated group interaction. *Group Decision and Negotiation, 9*(5), 431-456.
Wittvogel, K. (1964). *Le despotisme oriental. Etude comparative du pouvoir total*: Editions de minuit.
Zask, J. (2000). De quelle sorte d'accords l'union sociale dépend-elle? Le point de vue pragmatiste. *Cycnos, 17*(1), 95-107.
Zhu, Z. (2002). Evaluating contingency approaches to information systems design. *International Journal of Information Management, 22*, 343-356.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

9 Annexe : Résumé synthétique des activités d'animation de la recherche

9.1 Encadrement de doctorant

- W. Daré : « Comportements des acteurs dans le jeu de rôles et la réalité sociale : indépendance ou correspondance ? », thèse ENGREF, Direction de thèse Jacques Weber, soutenue le 29/04/2005
- G. Abrami : « Une architecture Agent-Groupe Rôles pour la conception de systèmes multi-agents pour faciliter la gestion concertée de la ressource en eau », thèse ENGREF, Direction de thèse : Sylvie Lardon, co-encadrement : Flavie Cernesson, soutenue le 29/11/2004
- N. Becu : « Identification et modélisation des représentations des acteurs locaux pour la gestion des bassins versants », thèse en co-tutelle Université Montpellier 2 et ANU Canberra, Direction de thèse François Bousquet et Andrew Waker, co-encadrement Pascal Perez, soutenue le 20/06/2006
- A. Richard-Ferroudji : « Appropriation des cadres de participation de gestion de l'eau par les acteurs locaux », thèse EHESS Paris, Direction de thèse Laurent Thévenot, co-encadrement Patrice Garin, soutenance prévue mi 2007

9.2 Encadrement de DEA et Master

- S. Zanker (1999 – Ingénieur ENGREF) Modélisation et gestion de la demande agricole en eau dans la Drôme, cas de la mise en application du SAGE Drôme
- L. Brochier (2000 – DEA ENGREF : Sciences de l'eau) L'enjeu de l'information dans la gestion concertée : application à la gestion des étiages du SAGE Drôme.
- L. Maton (2001 – DEA Univ. Paris 10: Economie de l'Environnement) La dynamique des comportements des viticulteurs du bassin versant de l'Orb : une analyse à partir de récits de vie.
- A. Richard (2002 – DEA EHESS: sociologie). Les associations face aux processus de décision dans la gestion locale de l'eau en France. Le cas du bassin versant de l'Orb
- J. De Boer (2003 – Master of Art, University of Twente, Netherlands: Policy Studies). Interactive Governance in River Basin Management: A comparative research on three case studies of river basin management within the European FIRMA project
- S. Chennit (2005 – Master Of Science, Institut Agronomique Méditerranéen) Analyse d'un jeu de rôles pour le choix de modalités de partage de l'eau
- C. Breton (2006 – Master Professionnel, Université Paris 1 : géographie). Retour d'expériences sur la gestion des sécheresses (encadrement conjoint avec Rémi Barbier

Participation aux encadrements de :

- N. Becu (2001 – DEA ENGREF: Sciences de l'eau) Modélisation de la gestion de l'eau d'irrigation à l'échelle d'un bassin versant et exploration du système via simulations (Co-encadrement avec Pascal Perez et Andrew Walker de ANU Canberra)
- A.-L. Borderelle (2002 – DEA ENGREF: Sciences de l'eau). Vers un modèle qualitatif de transfert de produits phytosanitaires (Co-encadrement avec Flavie Cernesson, UMR 3S)

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

9.3 Supervision de postdoctorat

- A. Boutet (2002-2003). Sociologue. Analyse du processus de co-construction du modèle Phylou.
- C. Gramaglia (commencé en novembre 2006). Sociologue. Comparaison de mise en œuvre de modélisation participative

9.4 Activités d'animation scientifique

- Coordinateur du projet « Modèles et jeux de rôles pour l'aide à la négociation dans les processus de gestion de ressources renouvelables » du programme Concertation Décision Environnement du MEDD (2000-2004)
- Membre du Conseil Scientifique de l'Atelier Modélisation Environnement depuis 2003
- Animateur au sein du Cemagref du thème de recherche Usages sur « Gouvernance de l'eau et Outils pour la gouvernance » (20 ingénieurs et chercheurs) depuis 2004
- Co-coordinateur du Work Block sur la mise en œuvre des études de cas dans le projet intégré européen 6ème PCRD « NeWater : New Approaches to Adaptive Water Management under Uncertainty » (2005-2009)
- Co-coordinateur de la tâche comparaison du projet de l'ANR ADD COMMOD « La modélisation d'accompagnement : une pratique de recherche en appui au développement durable » (2005-2008)

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref