



HAL
open science

Des modèles pour partager des représentations

C. Le Page, Géraldine Abrami, Olivier Barreteau, Nicolas Becu, P. Bommel,
A. Botta, A. Dray, Claude Monteil, Véronique Souchère

► **To cite this version:**

C. Le Page, Géraldine Abrami, Olivier Barreteau, Nicolas Becu, P. Bommel, et al.. Des modèles pour partager des représentations. La modélisation d'accompagnement : une démarche participative en appui au développement durable, Editions Quae, p. 71 - p. 101, 2010, Update Sciences & Technologies, 978-2-7592-0620-9. hal-00569251

HAL Id: hal-00569251

<https://hal.science/hal-00569251>

Submitted on 24 Feb 2011

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.

Chapitre 3: Des modèles pour partager des représentations

La mise en œuvre d'une modélisation d'accompagnement se fonde sur un réseau composé d'individus et d'artefacts parmi lesquels les modèles occupent une place spéciale. Ce chapitre présente les différents modèles développés dans un processus de modélisation d'accompagnement à des fins de partage de représentation. Porteurs d'une forme de compréhension de systèmes réels (de référence) au sein desquels s'imbriquent dynamiques sociales et biophysiques, les modèles sont des représentations du fonctionnement de ces systèmes sur la base desquels des exercices de simulation exploratoire sont organisés en impliquant les acteurs du système de référence. Le chapitre 1 a introduit les différentes finalités d'usage des modèles dans un processus de modélisation d'accompagnement :

- rendre visible des points de vue hétérogènes et les mettre en débat ;
- interroger la cohérence de ces points de vue et les conséquences de leur simulation conjointe par rapport au monde réel tel que vécu par les participants ;
- proposer un support pour explorer de manière collective des scénarios par des simulations sur un monde virtuel.

La traduction de multiples points de vue sur un système de référence dans des modèles peut prendre différentes voies. Elle s'appuie sur une conceptualisation du système étudié permettant de décrire la part de réalité perçue comme utile par chacun des acteurs, et aboutit au développement d'artefacts spécifiques, mobilisant des techniques informatiques et des techniques de mise en situation (jeu de rôles). Une brève introduction explicitera le choix des systèmes multi-agents comme mode de représentation privilégié du domaine étudié. Ce chapitre s'articulera ensuite autour des différentes lignées de modèles : modèles du domaine, modèles conceptuels puis modèles de simulation. Ainsi seront successivement présentées les étapes d'extraction des connaissances et d'abstraction, de formalisation et conceptualisation et enfin d'implémentation. L'usage des modèles de simulation comme support à l'exploration de futurs scénarios sera ensuite développé avant de clore le chapitre sur une analyse de la singularité, de la complémentarité et de la polyvalence de ces modèles, caractéristiques qui autorisent une grande flexibilité dans la mise en œuvre de la modélisation d'accompagnement.

1. Introduction

Cette première section explique le choix des systèmes multi-agents comme principal mode de représentation d'un domaine étudié basé sur les agents réels du système de référence. Le processus de traduction d'un modèle du domaine en un modèle exécutable (modèle de simulation), qui passe par le stade de modèle conceptuel, est ensuite présenté. Enfin, on détaille les éléments permettant de caractériser la diversité des modèles de simulation qui prennent la forme d'un simulateur purement informatique, celle d'un jeu de rôles mettant en situation des acteurs du domaine autour de supports de jeu concrets, ou apparaissent comme une combinaison de ces deux modalités extrêmes.

1.1. Modes de représentation de la réalité

Pour nous, un processus de modélisation est un processus d'écriture de connaissances et d'hypothèses hétérogènes qui sont distribuées dans un même artefact afin de permettre de les faire fonctionner ensemble. Ce processus est explicite et plus ou moins apte à prendre en charge des interactions non prévues.

Adoptant une conception constructiviste des représentations (cf. chapitre 1), nous nous limitons ici à des représentations visant à rendre compte d'un système donné, qui sont des perceptions (points de vue) de ce système souvent désigné comme étant « le monde réel ». Le

représenter c'est faire des hypothèses sur ce qui semble le caractériser au mieux selon un objectif visé. Ceci passe par un découpage en briques à assembler pour mettre en interaction ces hypothèses, puis en proposer une reconstruction. On passe ici rapidement en revue quelques modes de structuration possibles parmi les nombreux existant, en détaillant un peu plus les Systèmes Multi-Agents (SMA) qui sont très fréquemment utilisés dans la démarche de modélisation d'accompagnement. Ces modes de structuration ne sont pas exclusifs et plusieurs travaux en cours cherchent à les utiliser de manière conjointe.

On pourra ainsi s'attacher à représenter des stocks et des flux entre ces stocks. C'est l'approche des systèmes dynamiques. Il s'agit de mettre en avant la régulation de ces flux, les possibilités de contrôle et d'action sur ceux-ci, et les éventuelles boucles de rétroaction. Le système est décrit par un ensemble de variables d'état (les stocks) et des équations décrivant leurs dynamiques (les flux). L'enjeu est d'identifier ce que ces stocks représentent par rapport au système en jeu. Il s'agit souvent d'énergie, de biomasse, d'eau, d'unités monétaires... Ce mode de représentation n'est pas particulièrement explicite sur les acteurs liés à ces flux ni sur les conditions de leur intervention.

La théorie des jeux fournit un cadre visant à comprendre ces acteurs et à anticiper leurs choix, en identifiant leurs rationalités et leurs règles de décision de manière stratégique. Ce mode de représentation est statique : tous les scénarios d'interaction possibles doivent être prévus. Le système est représenté par un ensemble d'acteurs stratégiques ayant une fonction objectif sur ce système. La dynamique des ressources en lien avec ces interactions est généralement décrite de manière moins précise.

La description sous forme de SMA s'attache à concevoir des mondes virtuels visant explicitement à reconstruire des situations simplifiées mais néanmoins pertinentes vis-à-vis de la question traitée. Il s'agit alors d'identifier les agents essentiels (entités actives) qui jouent un rôle décisif dans la gestion du système, de préciser leurs entités de gestion, de spécifier leur degré d'autonomie, et de préciser leurs modalités d'interactions avec leur environnement et les autres agents. Ces entités peuvent aussi bien être des objets, des éléments du paysage, des individus ou des groupes d'individus (exploitation agricole, village, institutions, etc.).

Un SMA s'entend donc ici comme une métaphore de la réalité (sociale, biologique et physique) sous la forme d'un ensemble d'entités autonomes en interaction situées dans un environnement, douées d'un objectif et ayant des représentations de leur environnement (Ferber, 1995). Il est à noter qu'ainsi défini comme mode de représentation, un SMA ne fait pas référence à l'informatique, même de manière implicite. Dans notre champ d'application, les entités prennent des décisions en rapport avec des ressources. Elles interagissent donc à la fois avec le support des ressources et avec les autres entités décisionnelles avec lesquelles elles sont en relation. De nombreuses expériences ont montré que les SMA sont bien adaptés pour la simulation dans le domaine de la gestion des ressources (Bousquet et al., 1999).

1.2. De la réalité à sa représentation sous la forme de modèles de simulation

La modélisation d'accompagnement envisage le développement et l'usage des modèles -qui représentent une forme de compréhension d'un système de référence- comme un moyen de partage de représentations simplifiées de ce système. Les modèles sont dans leur immense majorité des modèles dynamiques, c'est-à-dire incluant explicitement des hypothèses et des règles liées à l'évolution dans le temps du système de référence. A l'issue du processus de modélisation, on obtient des outils concrets et opérationnels qu'on utilise pour faire de la simulation, activité d'exploration qui permet, en donnant corps à des visions prospectives discutées et analysées collectivement, de raffiner les formes de compréhension du système de référence et d'en tirer des connaissances nouvelles. Le fait de donner collectivement à voir

aux acteurs l'évolution progressive du système sous l'effet de conditions et de pratiques énoncées stimule en particulier leur capacité à appréhender les mécanismes des processus de décisions (les leurs mais aussi ceux des autres participants). En outre, en incitant à réfléchir sur les mécanismes responsables des sorties exhibées par les simulations, cette pratique contribue à rendre explicites certaines des hypothèses qui resteraient dissimulées au niveau d'un modèle conceptuel qui ne serait pas traduit en modèle opérationnel.

La chaîne de traduction du modèle de référence en un ou une famille de modèles opérationnels exécutables a été décrite dans la littérature (voir par exemple Fishwick, 1998). Drogoul et ses collègues (2003) proposent une analyse détaillée de cette chaîne de traduction dans le cadre spécifique (qui nous intéresse ici) du processus de conception de modèles de simulation basés sur des agents, en considérant les rôles de thématique, modélisateur et informaticien pour chacun des trois stades qu'ils décrivent. Le thématique définit le modèle du domaine en utilisant la sémantique qu'il associe au système de référence. Comme les spécifications du thématique ne permettent pas une transcription directe en un modèle exécutable, le modélisateur adapte le modèle du domaine en un modèle plus formel dit modèle de conception (ou modèle conceptuel) qui a pour but de clarifier les concepts utilisés, de vérifier la cohérence et de supprimer les ambiguïtés potentielles. Le modèle conceptuel résulte d'un processus de co-construction qui unit étroitement les thématiques et le modélisateur. Finalement le modèle conceptuel pourra être transcrit par l'informaticien en un modèle opérationnel ou modèle de simulation. Cette étape est trop souvent négligée, ce qui compromet la possibilité de comprendre l'impact des spécificités purement computationnelles sur l'émergence de structures artefactuelles dans une simulation (cf. section 4.1 de ce chapitre).

Alors que Drogoul et ses collègues argumentent en faveur d'une séparation claire des rôles de thématique, modélisateur et informaticien (d'une part parce que chaque rôle demande des compétences particulières et d'autre part parce que la nécessité de transmettre des éléments entre porteurs de rôle pousse à les formuler de manière claire), on constate fréquemment dans la pratique de la modélisation d'accompagnement un cumul des rôles. Ainsi le modélisateur assurera également la réalisation du modèle opérationnel, ou contribuera également à l'élaboration du modèle du domaine en apportant ses connaissances thématiques. L'avantage de ce cumul est une moindre perte en ligne dans la communication entre les rôles, une plus grande continuité dans l'interaction avec les thématiques. Par ailleurs, la modélisation d'accompagnement ouvre de manière originale les rôles de thématique et de modélisateur aux acteurs des systèmes représentés.

Présentés comme une succession d'étapes (cf. section 2.3 du chapitre 1), les processus de modélisation, focalisés sur le passage du modèle du domaine au modèle de simulation, apparaissent implicitement linéaires. En marge du processus standard consistant à affiner un modèle conceptuel pendant un certain temps avant de passer à la phase de construction d'un modèle opérationnel (qu'on peut manipuler pour faire des simulations exploratoires) qui en soit une directe et fidèle traduction, la modélisation d'accompagnement s'attache à rendre possible et à faciliter les allers-retours entre le cadre de construction collective d'un modèle conceptuel non figé (une gamme de modèles conceptuels) et la constitution de lignées de modèles opérationnels (cf. figure 1).

Figure 1. Lignées de modèles initiées à partir d'un même système de référence, chaque lignée aboutissant à un modèle opérationnel (jeu de rôles ou modèle de simulation informatique) (inspirée de Treuil et al., 2008).

1.3. Des modèles de simulation basés sur divers types d'agents

La section 1.1 a précisé notre choix pour une représentation en SMA. De fait, nos modèles conceptuels sont des SMA. La transformation d'un modèle conceptuel basé sur le mode de

représentation multi-agent en un modèle de simulation fait le choix implicite de traduire chaque agent conceptuel en un agent computationnel qu'on peut classifier selon la nature de ses décisions. Le tableau 1 regroupe les différents types d'agents computationnels qui ont été utilisés dans les mises en œuvre de modélisation d'accompagnement.

Nature de la décision	100% humaine		Intermédiaire	100% informatique
Typologie des agents computationnels	agent humain	agent composite	Agent composite hybride	Agent informatique = agent virtuel
				
	pas d'avatar	avatar non décisionnaire	Avatar partiellement décisionnaire	avatar autonome

Tableau 1 : types d'agent selon la répartition entre décision humaine et décision spécifiée informatiquement.

Lorsque toutes les décisions d'un agent sont prises par un être humain et qu'il n'y a pas de relais informatique, l'agent computationnel est de type agent humain (communément appelé joueur). Lorsque cette même décision est relayée par un avatar (représentant informatique d'un agent humain) sans aucune autonomie décisionnelle, on parlera d'agent composite simple. A l'opposé, lorsque la décision est intégralement prise en charge par l'avatar autonome (tous les processus de décision sont automatiquement réalisés par l'exécution d'instructions informatiques), on utilisera le terme d'agent informatique (ou virtuel). Le cas intermédiaire d'un agent humain relayé par un avatar partiellement décisionnaire sera dénommé agent composite hybride.

Figure 2. De la réalité à l'implémentation de modèles de simulation basés sur des agents.

La caractérisation d'un modèle de simulation basé sur des agents requiert de considérer tous les agents qui le composent. On peut clairement distinguer deux grands types. D'un côté, on trouve les modèles de simulation exclusivement basés sur des agents humains (MAH), communément appelés jeux de rôles. De l'autre, on trouve les modèles de simulation exclusivement basés sur des agents informatiques ou virtuels (MAV). Entre ces deux extrêmes, on trouve toute une gamme de situations dans lesquelles certaines décisions sont humaines, d'autres sont spécifiées informatiquement (cf. figure 2). Le terme modèle de simulation à base d'agents hybrides (MAHy) regroupe l'ensemble de ces situations intermédiaires.

En marge de la spécification des décisions des agents computationnels, l'informatique est souvent un support efficace pour prendre en charge un certain nombre d'autres fonctions faisant sans ambiguïté partie intégrante du modèle conceptuel représentant le système socio-écologique étudié. Le support informatique n'est alors qu'une composante du modèle de simulation (un des éléments caractérisant sa structure) et non un modèle informatique *per se* utilisé de manière conjointe avec un autre type de modèle de simulation. Les cinq principales fonctions de l'informatique dans les modèles de simulation basés sur des agents sont les suivantes : (i) saisie des décisions des agents humains ; (ii) calcul d'indicateurs liés aux performances (actions) des agents ; (iii) simulation de la dynamique de la ressource ; (iv)

visualisation de l'espace (état des ressources, positionnement des agents, éventuels points de vue sur cet espace spécifiques à chaque type d'agents) ; (v) spécification avec un langage informatique des décisions (comportements) d'agents.

Pour désigner les MAH faisant appel à au moins une des quatre premières fonctions informatiques listées ci-dessus, on utilisera le terme MiAH (qui correspond à ce qu'on appelle plus communément un « jeu de rôles informatisé »). On se propose par la suite de réserver le terme générique « jeu de rôles » à tous les modèles de simulation de type MAH, MiAH (pour ces deux catégories, toutes les décisions sont humaines) et MAHy pour lesquels les décisions sont essentiellement des décisions humaines. A l'inverse, en considérant la dernière fonction relative à la spécification informatique de décisions comme déterminante, on classera les MAHy dans lesquels les décisions sont essentiellement spécifiées informatiquement avec les MAV dans la catégorie « modèle de simulation informatique ».

L'analyse des 63 modèles de simulation mobilisés dans nos cas d'étude montre d'une part que modèles de simulation informatique et jeux de rôles représentent une part équivalente, d'autre part que les jeux de rôles ont très fréquemment une forme de support informatique (cf. figure 3).

Figure 3 : Proportion des différents types de modèle de simulation dans la mise en œuvre de ComMod (n = 63)

Dans la pratique, le caractère adaptatif de la modélisation d'accompagnement produit une grande diversité des modèles de simulation, pas seulement dans leur type mais également dans leur usage et dans leur mode d'association. Il arrive en effet fréquemment que non pas un seul mais une famille de modèles de simulation (faisant tous référence au même cadre conceptuel) soient mobilisés. Pour retracer l'évolution des modèles et révéler leur filiation, il s'avère pertinent de les positionner dans un même tableau basé sur la typologie synthétisée dans le tableau 1. Dans la dernière section de ce chapitre, nous procéderons ainsi pour présenter quelques exemples permettant d'illustrer comment la diversité de modes d'imbrication et d'association de différents modèles confère une grande flexibilité à la mise en œuvre des simulations exploratoires. Auparavant, nous allons détailler les processus d'abstraction et de conceptualisation, en présentant les méthodes et outils mobilisés pour chacun.

2. Extraction de connaissances et abstraction : du système de référence au modèle du domaine

En reprenant la terminologie de la section précédente, la première étape est l'identification des agents réels pertinents, c'est-à-dire la constitution du modèle du domaine. Cette étape consiste à mettre en commun les questions et les points de vue de l'ensemble des « thématiciens » constitué par les chercheurs et acteurs impliqués dans cette étape de la modélisation d'accompagnement. Parce que contradictoire, cette mise en commun implique un apprentissage mutuel sur les points de vue des autres et une évolution des questions.

2.1. Formulation d'une question et d'un cadre pour le processus de modélisation

Le travail commence par la formulation d'une question cadrant le point de vue dans lequel vont interagir les « thématiciens » pour l'élaboration du modèle du domaine. Il y a là un cadrage, provenant des phases antérieures de la modélisation d'accompagnement : cycles de modélisation antérieurs, « commande » provenant d'une partie des acteurs du système, auto-saisine d'une question par une partie des chercheurs. Pour initier le processus, une façon de procéder consiste à recueillir l'impression générale des acteurs concernés invités à participer en utilisant une formulation générale de cette forme : « que pensez-vous de tel aspect lié à telle ressource (à sa gestion) dans telle portion d'espace », par exemple : « que pensez-vous de

l'évolution de la population de thons rouges en Méditerranée ». On peut s'attendre à ce que chaque réponse se réfère à un changement récemment observé (tendance ou événement) et dans le même temps corresponde à un angle de vue spécifique suggérant une forme d'appréciation de ce changement (par exemple : « l'espèce est en danger d'extinction », « les captures ont diminué lors des 5 dernières années »). En effet, pour certaines parties prenantes, cette évolution sera perçue négativement (par exemple les écologistes et les pêcheurs de thons) quand d'autres pourront au contraire la juger positive (par exemple les pêcheurs de sardines). La confrontation des différentes réponses permettra néanmoins de révéler, au delà de l'expression de différentes sensibilités, un caractère commun (par exemple « l'abondance de la population diminue »). Le modèle s'envisage alors comme un moyen d'explorer les combinaisons de facteurs qui reproduisent cette caractéristique. On peut restreindre le cadre en ciblant précisément dès le départ un certain type de facteurs (par exemple les outils classiques de régulation des pêcheries type quotas ou réserves), ce qui permet de justifier la non prise en compte de certains autres facteurs dont on sait pourtant qu'ils ont une influence dans la réalité (par exemple le changement climatique). « Toutes choses égales par ailleurs », ce qui importe est de disposer d'un moyen de comparaison des effets des facteurs choisis pour être spécifiquement explorés.

La première représentation du système de référence, appelée modèle du domaine, constitue un support permettant de recueillir et d'assembler les connaissances des thématiques engagés dans le processus de modélisation. Faisant l'hypothèse qu'un thématique exprime spontanément ses connaissances, en partie tacites, de manière désorganisée, il convient de mettre en œuvre des techniques permettant de les révéler, de les spécifier et de les rendre aussi explicites que possible, pour qu'elles puissent être formalisées au cours d'un processus associant un modélisateur. C'est ce qu'on appelle l'élicitation des connaissances, fondée sur deux opérations qui se combinent : l'extraction et la formalisation.

2.2. Elicitation des connaissances

Il existe de nombreuses techniques d'élicitation. On citera par exemple le suivi de processus pour lequel on met une personne, considérée comme experte dans un domaine particulier, en situation de résolution de problème et on lui demande d'expliquer à voix haute les actions qu'elle entreprend, ou encore l'analyse de transcriptions qui consiste en une analyse lexicale, d'un écrit ou d'une transcription d'entretien, permettant d'identifier et d'organiser l'ensemble des éléments constitutifs de la connaissance d'un domaine.

Appliquées à la modélisation d'accompagnement, les techniques d'élicitation offrent la possibilité d'identifier et de formaliser les connaissances des acteurs des systèmes représentés, leurs modes de raisonnement, leurs règles de décision ou leurs stratégies. Toutefois, ces techniques ont été élaborées pour une utilisation auprès d'experts, dans un environnement contrôlé, bien défini, proche de ce que l'on rencontre dans une expérimentation de laboratoire. Pour pouvoir transposer les méthodes de l'élicitation des connaissances au contexte particulier de la modélisation d'accompagnement (environnement difficilement délimitable, incertain et fluctuant) nous avons développé nos propres techniques d'élicitation. Trois d'entre elles sont passées en revue.

On remarquera que ces techniques d'élicitation font parfois appel à des formalismes plus ou moins élaborés, et dans ce cas là, se réfèrent à des entités conceptuelles préconçues qui servent de « patrons » à la formalisation, parfois collaborative, des connaissances. On considèrera par la suite que le travail de conceptualisation s'attache à la conception de ces « patrons », alors que le travail d'abstraction ou d'élicitation s'attache à leur « instanciation » (en ingénierie des connaissances, c'est la différence entre définir une ontologie et peupler une ontologie). Il n'est bien sûr pas toujours possible de discerner ces 2 phases du travail de

modélisation : dans un atelier collectif (avec des thématiciens) où la définition des entités conceptuelles est non stabilisée et ouverte à la discussion, conceptualisation et abstraction seront intimement mêlées, l'abstraction servant directement à tester la conceptualisation qui évolue donc en direct. La plupart du temps les ateliers sont orientés vers l'une ou l'autre option mais il est parfois difficile de distinguer comme on le voit dans le cas ARDI (2.2.3). Cependant dans ce cas-là il est bien spécifié que la discussion ne porte pas sur la nature des entités, et on est donc plutôt dans un cas d'élicitation.

2.2.1. Extraction des connaissances à partir d'une transcription d'entretien

Le principe de cette technique est d'effectuer dans un premier temps une série d'entretiens auprès d'acteurs dont on souhaite éliciter les connaissances, puis d'analyser la sémantique des transcriptions d'entretiens afin d'en extraire les objets élémentaires constituant leurs connaissances (individuelles ou collectives), et de reconstituer la logique d'ensemble de cette connaissance (ce que certains appellent le modèle cognitif), souvent sous la forme d'un diagramme de type entités-relations. Les deux phases de cette démarche, acquisition des *verbatim* lors d'entretiens et extraction des connaissances à partir de ces transcriptions, sont liées et aussi importantes l'une que l'autre.

Bien que l'acquisition soit délimitée à un sujet donné, par exemple la gestion collective de l'eau dans un périmètre spécifique, les interactions socio-environnementales abordées sont telles qu'il est bien souvent impossible de prédéfinir avant l'entretien l'étendue du domaine qui sera traitée. La technique de l'entretien ouvert, s'appuyant sur un guide d'entretien formé de questions neutres et ouvertes, est de ce fait la plus adéquate. En outre, la représentation d'un acteur et les actions qu'il entreprend sont dépendantes du contexte dans lequel il se trouve au moment où il l'exprime (Suchman, 1987). Pour pouvoir saisir la connaissance empirique d'un acteur il est donc nécessaire de situer l'entretien dans son contexte d'action. Par exemple, pour identifier la représentation qu'un agriculteur se fait des systèmes de gestion de l'eau, l'entretien sera mené sur sa parcelle au moment où il est en train d'irriguer. L'entretien peut aussi se dérouler sur plusieurs lieux successivement, au cours d'une visite de terrain par exemple (Abel et al., 1998). Selon cette même logique de contextualisation, il est recommandé de débiter l'entretien par des sujets relatifs aux activités ou aux événements en cours. Ainsi, si l'on souhaite identifier la représentation qu'un agriculteur a de son interaction avec l'environnement, l'entretien sera mené sur sa parcelle et débutera par des questions relatives à ses pratiques agricoles sur cette parcelle, avant d'aborder les liens qu'il perçoit entre ses pratiques et l'environnement. Enfin, il ne faut pas oublier que la qualité de l'acquisition dépend de la façon plus ou moins directive de mener l'entretien (mode conversationnel ou mode question-réponse) et de la relation de confiance entre l'enquêteur et l'enquêté. Les entretiens sont ensuite enregistrés puis transcrits mot à mot pour la phase d'extraction.

La phase d'extraction consiste à identifier dans la transcription et à enregistrer (en surlignant par exemple) tous les mots ou expressions sémantiques liés aux concepts se rapportant au domaine étudié. L'identification est ensuite répétée pour les autres types de connaissances, à savoir les processus, les règles et les relations. Afin de faciliter ce travail, des logiciels d'analyse lexicographique peuvent être utilisés (Dray et al., 2006). Ces logiciels permettent la codification des expressions sémantiques et l'analyse des réseaux sémantiques, mais l'identification des concepts, règles et relations ne peut en aucun cas être entièrement automatisée. Les résultats de la phase d'extraction sont grandement dépendants des différents types de connaissances, aussi appelés objets de connaissance (Newell, 1982), que l'on choisit d'identifier. Il existe différentes structures ou grilles d'extraction établissant la correspondance entre les objets de connaissances et des expressions sémantiques (le tableau 2

en est un exemple).

Objets de connaissance	Expression sémantique
Concept (objet, personne,...)	Equivalent à des noms : “forestier“, “rivière“, “sol“
Processus (opération, activité)	“construire une maison”, “pêcher la sardine ”
Attribut et valeur	Attribut : “coût,” “âge” ; valeur: “120 kg,” “lourd”
Règle	“Si..., alors...”, “... jusqu’à...”
Relation	Equivalent à des verbes passifs : “...fait partie de ...”

Tableau 2. Correspondances entre objets de connaissance et expressions sémantiques (Becu et al., 2003)

2.2.2. Extraction des connaissances par des mises en situation

L’élucation par mise en situation consiste à demander à un thématique (qui est bien souvent acteur du système représenté dans le cadre des démarches de modélisation d’accompagnement) d’expliquer à voix haute les actions qu’il entreprendrait par rapport à différentes situations qui lui sont présentées. Cette technique permet d’éluciter les connaissances tacites de la personne en stimulant l’introspection, c’est-à-dire la capacité à rendre conscientes des zones de flou ou de dissonances entre émotions, pensées et actes. Ceci permet de rendre plus cohérentes les représentations de la personne interrogée (Ferber et al., 2003). Différentes techniques de mise en situation peuvent être utilisées (récit, diaporama, photos, jeu de rôles...).

Ainsi, la technique des « Playable Stories » (Becu et al., 2005) utilise une mise en situation par le récit. Le récit est divisé en plusieurs temps reproduisant par exemple les différents moments du déroulement d’une saison de culture. A chaque temps, l’animateur décrit oralement le contexte de la situation (par exemple contexte économique, climatique et social d’une période de culture) et demande à son ou ses interlocuteurs d’expliquer à voix haute les activités qu’il entreprendrait en fonction de ce contexte. La séance se poursuit en alternant description du contexte par l’animateur et description des activités entreprises par l’acteur. Dans cette technique, l’extraction des connaissances proprement dite (c’est-à-dire la transcription des expressions sémantiques en objets de connaissances) est réalisée de manière simultanée à la description par l’acteur des activités entreprises. Les informations extraites sont présentées à l’acteur soit sous forme de cartes sur lesquels on inscrit par exemple le nom de l’entité ou du processus, soit sous forme de photos. Au fur et à mesure de la séance, les informations s’assemblent devant l’acteur et celui-ci voit se construire le modèle du domaine. Ce procédé permet à l’acteur d’intervenir directement sur la construction du modèle du domaine (pour l’enrichir ou corriger les interprétations faites de son discours), de la même manière que dans la construction participative de diagramme (2.2.3).

Le jeu de rôles peut également servir à l’extraction de connaissances. Dans ce procédé, l’acquisition se passe par l’observation directe des comportements des joueurs durant la séance. Durant le jeu de rôles, des observateurs (généralement plusieurs) notent les différentes actions entreprises par les joueurs et la situation du jeu dans laquelle l’action a été entreprise. A cette étape ce ne sont pas les connaissances des acteurs qui sont extraites, mais leurs actions dans une situation donnée. Ce n’est que dans un deuxième temps, lors de débriefings individuels ou collectifs, que les connaissances mobilisées par les acteurs pour entreprendre leurs actions, sont élucitées. Pour ce faire, on demande à chacun des joueurs d’expliquer pourquoi il a entrepris telle ou telle action dans le jeu et quelles informations il a utilisées

pour prendre sa décision. C'est de cette manière qu'on stimule l'introspection de l'acteur et qu'on parvient à éliciter ses connaissances tacites.

2.2.3. Extraction des connaissances par des constructions de diagrammes

Les connaissances que l'on cherche à extraire ne concernent pas que des objets de connaissances considérés séparément les uns des autres. Elles se rapportent également aux connaissances sur les relations entre ces objets de connaissances. Dessiner des diagrammes est à la fois un moyen d'éliciter ce type de connaissance sur la structure interactionnelle du système de référence et une première ébauche du modèle du domaine. Il nous semble en effet que le modèle du domaine correspond peu ou prou à ce premier stade d'abstraction qui pourra avantageusement être synthétisé sous la forme d'un simple schéma de type entités/relation où sont positionnés la ou les ressources ainsi que les acteurs sélectionnés, et sur lequel on signifie par des flèches labellisées d'un verbe chaque relation d'un acteur à un autre ainsi que chaque relation d'un acteur à une ressource. Ce format informel, basé sur des termes « naturels » (pas de contraintes sémantiques ni de jargon de modélisation), permet de donner un premier aperçu visuel des éléments constitutifs du modèle et de leurs interactions. Il présente l'avantage d'être aisément appréhendable par des acteurs qui n'ont jamais pratiqué la modélisation.

Pour une question donnée, il s'agit de faire des hypothèses sur les éléments du monde qui sont importants à prendre en compte pour la traiter. Les 3 phases classiquement proposées dans les méthodes d'analyse d'acteurs peuvent ici être successivement considérées : (i) identification des acteurs ; (ii) différenciation et catégorisation des acteurs identifiés ; (iii) spécification des relations entre les acteurs. Lors de chaque phase, il est essentiel de considérer la pertinence des choix envisagés en se référant à la question posée. Dans la majorité des expériences de mise en œuvre de la modélisation d'accompagnement, une ressource est au cœur de la question considérée. Dans la pratique, il s'avère pertinent de ne pas faire abstraction de cette ressource lors de la phase initiale d'identification des acteurs.

Ainsi, comme le propose la méthodologie ARDI mise au point par Etienne (2006), on pourra catégoriser les acteurs selon le caractère plus ou moins direct de leurs actions sur la ressource, ou encore préciser pour chaque type d'acteur la nature de l'entité de gestion spécifique à son action. Il existe toute une gamme d'outils permettant de spécifier de manière plus ou moins structurée les relations entre acteurs (par exemple sous la forme d'une matrice composée de signes + et - pour signifier les influences positives et négatives entre les acteurs pris deux à deux).

Figure 4. Exemple de diagramme conceptuel donnant à voir le modèle du domaine sous la forme d'entités en relation, sur l'un des cas d'étude, le Causse Méjan.

La figure 4 donne un exemple de ce type de diagramme réalisé dans le cadre d'un exercice de modélisation des conflits d'usage sur les pelouses du Causse Méjan. Sur le diagramme de la figure 4 apparaissent les entités considérées comme les acteurs principaux ainsi que celles représentant les ressources, mais également une entité que l'on pourrait qualifier de « passive » (cailloux). Cependant, à ce stade, réfléchir sur la nature des entités importe peu. On cherchera simplement à pouvoir communiquer en la présentant de la manière la plus simple possible une compréhension des éléments clés du fonctionnement du système concerné. Tout autre format permettant de remplir cette fonction est envisageable. Même si le format utilisé n'est pas très formalisé, le respect des quelques grands principes sur lesquels il repose facilitera grandement la confrontation de différentes versions qui pourront avoir été proposées par plusieurs groupes travaillant en parallèle. Il s'avère particulièrement intéressant de mettre en œuvre cette première phase de l'étape de conceptualisation de manière collective, avec des participants qui peuvent être des acteurs du système, des scientifiques, des

décideurs, etc. Confronter les différentes versions produites est un premier pas vers le partage des représentations.

Cette étape s'achève par la stabilisation du modèle du domaine correspondant à un accord, à un instant donné, entre les participants sur la base des zones de recoupement et des correspondances entre les différentes représentations du domaine d'étude. S'il subsiste des incohérences, contradictions, divergences, singularités dans ces représentations, il est important de les mettre en lumière et de s'accorder sur la façon de les traiter, les options possibles et non exclusives incluant :

- traitement par l'évitement : le modèle du domaine est restreint à ce sur quoi il y a accord,
- recherche d'un compromis fondé sur une négociation,
- passage par des scénarios mettant en exergue et permettant d'explorer les zones 'litigieuses' (Dray et al., 2006), ou prenant en charge les points de vue incohérents quand il n'y a pas accord sur une épreuve permettant de les départager, telle qu'une observation commune sur le terrain,
- union des points de vue en se limitant à ceux ne générant pas d'incohérences.

3. Formalisation des connaissances et conceptualisation : du modèle du domaine au modèle conceptuel

Une fois le modèle du domaine posé, la conceptualisation proprement dite peut démarrer. S'il est fréquent que des formalismes, en général simplifiés, soient utilisés dès les premières étapes de l'abstraction du modèle du domaine, il est nécessaire pour la phase de conceptualisation d'adopter de manière rigoureuse un ou des formalismes permettant de décrire complètement les différents aspects nécessaires pour sa traduction en modèle de simulation. La conceptualisation consiste alors à spécifier les différents éléments du modèle du domaine dans le ou les formalismes choisis, et à en préciser différents aspects, notamment dynamiques, pour parvenir à une description complète. A l'instar de l'abstraction, la conceptualisation peut se dérouler de manière participative, auquel cas les processus sont souvent intimement liés. Mais elle peut aussi se mener de manière semi-automatique. Nous verrons enfin les grandes familles d'entités et de processus présents dans nos modèles conceptuels. Il est important de s'interroger sur la nature des entités et des processus que l'on cherche à conceptualiser car les concepts génériques éventuellement disponibles sont fonction de cette nature.

3.1. Formalismes pour la conceptualisation

Un formalisme est un outil d'expression formel basé sur un ensemble de mots obéissant à des règles et des conventions (dites grammaire formelle ou syntaxe) et sur une sémantique sous-jacente. Les formalismes les plus fréquemment utilisés pour la conceptualisation de modèles dans les processus ComMod sont les suivants :

- les équations mathématiques (par exemple pour un processus biologique tels que la croissance d'une ressource, on pourra choisir d'utiliser l'équation logistique). Elles permettent de décrire et préciser des processus particuliers d'évolution de certaines entités ;
- le pseudo-code, langage proche du langage naturel ayant recours à des éléments de syntaxe logique (si, alors...) et à un lexique stabilisé pour désigner des entités, des attributs, et des actions. Il a l'avantage d'être facile à utiliser dans des collectifs incluant des profanes tout en obligeant à une certaine rigueur pour respecter le langage propre à un groupe donné et à un moment donné dans la vie de ce groupe ;
- Unified Modeling Language (UML), qui propose une grammaire stabilisée (à la différence du pseudo-code) et de ce fait comprise par tous ceux qui la connaissent, qu'ils aient participé ou non à la construction du modèle. UML permet de formaliser un modèle orienté

objet, et assez bien un SMA. Il propose notamment une panoplie de diagrammes (appelés « vues » qui permettent de présenter un modèle conceptuel selon des angles différents), tels que les diagrammes de classes pour décrire la structure du modèle en différentes entités, les diagrammes d'activité pour présenter le comportement des entités et les diagrammes d'états-transition pour caractériser des dynamiques de changement de stades (Le Page et al., 2005). Si la réalisation de diagrammes UML est souvent ardue, l'objectif est d'obtenir des schémas clairs et compréhensibles à tous, même à ceux qui n'ont pas participé à la conception, ce qui peut être le cas de l'informaticien qui prendra en charge l'implémentation du modèle conceptuel.

3.2. Le processus de conceptualisation

3.2.1. Déroulement d'un processus de conceptualisation standard

En général, la phase de conceptualisation se compose des activités suivantes, qu'il ne faut pas voir comme distinctes et séquentielles car elles sont le plus souvent imbriquées et itératives.

- Phase de spécification de la structure du modèle : « traduction » des entités du modèle du domaine dans le formalisme choisi : quelles sont ces entités ? quelles sont leurs relations (quelle entité « connaît » telle autre et selon quel point de vue) ? quelles sont les propriétés qui les caractérisent et les actions principales qu'elles peuvent effectuer ? Cette phase est généralement l'occasion de regrouper les entités ayant des comportements similaires en définissant des entités plus génériques. Dans ce cas, on parle de généralisation, activité inverse de la spécialisation. C'est aussi à ce stade que l'on peut utilement réutiliser des éléments issus de travaux de modélisation antérieurs (modèles génériques de simulation sociale par exemple) ou inclure des éléments issus des théories des thématiciens (ainsi la théorie des systèmes agraires se base sur une typologie des agriculteurs selon un certain nombre de critères qui pourra être utilisée pour spécialiser une entité abstraite « Agriculteur »). Si l'on fait une analogie avec l'ingénierie des connaissances, cette phase est comparable avec la phase de construction d'une ontologie (Bommel et al., 2007).
- Phase de spécification des dynamiques propres aux entités, qu'il s'agisse des dynamiques intrinsèques des ressources, des opérations pouvant être réalisées par une entité (comportements) et influencer son évolution ou celle des entités auxquelles elle est reliée, ou des mécanismes de décision mobilisés pour choisir le comportement en fonction de l'état présent de l'entité et du contexte (son environnement). La mobilisation de mécanismes évolués de décisions est en général le propre des entités sociales.
- Phase de spécification de l'ordonnancement dans le temps de ces processus durant un pas de temps de la simulation.

Durant ce travail de conceptualisation, il faut veiller à garder un vocabulaire qui appartienne au domaine modélisé. Les diagrammes produits sont essentiellement destinés aux thématiciens, pour qu'ils puissent les comprendre, se les accaparer et les critiquer.

3.2.2. Conceptualisation participative

Dans la plupart des cas, les ateliers que l'on pourrait qualifier de modélisation participative ont simplement des objectifs d'élicitation. Les supports utilisés permettent aux participants d'explicitier la façon dont ils perçoivent leur système, ou aident simplement à qu'ils se mettent d'accord. On parlera donc de conceptualisation participative ou d'atelier de conceptualisation quand des acteurs et des thématiciens sont réellement impliqués de manière active dans le travail de conceptualisation, que ce soit dans le travail de définition du formalisme ou des entités conceptuelles, ou que ce soit lors de la traduction du modèle du domaine. UbonSeeds constitue un exemple de co-conceptualisation avec des experts locaux : dans le cadre de cette application, un réel travail collaboratif impliquant des chercheurs mais aussi des acteurs du

développement au niveau régional a eu lieu pour concevoir des diagrammes UML. Le modèle conceptuel des jeux de rôles utilisés dans la première phase de l'étude s'appuie sur cette base (Vejpas et al., 2005).

En règle générale, à partir du moment où sont à la fois impliqués les acteurs du système de référence et les thématiciens qui travaillent à la compréhension de ce système, il est quasiment impossible de séparer l'abstraction de la conceptualisation. Ces deux mécanismes sont intimement liés et participent d'un même processus. En s'appuyant sur un formalisme qui permet d'enlever les ambiguïtés, il s'agit en fait de systématiser la description du modèle selon différents points de vue, en raffinant progressivement le modèle du domaine.

Dans le cadre d'ateliers de conceptualisation participative d'un modèle qui rassemblent chercheurs et experts du domaine dans la pratique de l'interdisciplinarité, le modélisateur propose un formalisme (souvent UML) pour traduire le (ou les) modèle(s) du domaine un modèle conceptuel. Son rôle est alors de faciliter la traduction des concepts véhiculés par les experts. Bien qu'il existe des outils (tableaux informatiques, simple tableau noir, post-it) permettant à tous les participants de modifier directement le modèle, c'est souvent le modélisateur qui « tient le crayon » et anime la discussion pour tenter d'intégrer les concepts et de les mettre en synergie. Il faut donc appréhender le formalisme comme un langage permettant de rapprocher les disciplines. C'est ce qu'exprimait déjà F. Morel il y a trente ans:

"C'est pourquoi, la collaboration entre physiologistes de tous horizons d'un côté, informaticiens et biométriciens de l'autre, restera nécessaire et souhaitable encore longtemps. Mais pour être pleinement efficace, cette collaboration suppose que les interlocuteurs des deux camps parcourent les uns comme les autres une partie du chemin qui les sépare trop souvent. Il est essentiel en effet que chacun sache s'exprimer dans un langage accessible à ses partenaires, ne serait-ce que pour pleinement appréhender les limites et les possibilités des approches respectives des uns et des autres." (Morel, 1979).

Considérer UML comme un outil de dialogue entre disciplines, c'est aussi reconnaître avec Morand (2000) que « le diagramme est au cœur du processus cognitif et non pas à la périphérie ».

Avec des acteurs du système de référence, les ateliers de modélisation participatifs peuvent être considérés plus largement ouverts : on demande aux acteurs de participer à la construction d'une représentation selon une « grammaire » prédéfinie, en général peu discutée car peu formalisée et assez intuitive. C'est par exemple le cas de la méthode ARDI proposée par Etienne (2008c), précédemment décrite (section 2.2.3).

3.3. Entités d'un modèle conceptuel

La référence au mode de représentation de type SMA invite tout naturellement à réfléchir, en termes de description, aux entités du système à modéliser - acteurs et objets - et à leurs modes d'action et d'interaction. Par rapport à la phase d'élaboration du modèle du domaine, il s'agit de déterminer les entités conceptuelles qui vont être utiles pour représenter les entités considérées comme faisant partie du modèle du domaine. Rappeler l'objectif du modèle est alors indispensable car cette mise en perspective permet à ceux qui découvrent le modèle de comprendre pourquoi certains aspects du système étudié ont été ignorés (Grimm et al., 2005).

C'est donc à ce niveau que le choix de considérer une entité sera traduit ou non en une classe constitutive du modèle. C'est aussi à ce niveau qu'on va choisir si un groupe est représenté comme une entité unique ou comme une composition d'agents.

On peut distinguer des entités de différente nature dans les modèles conceptuels. Il peut être utile de s'interroger sur la nature des entités que l'on modélise car cela peut aider à faire des regroupements et favoriser des réutilisations de bon escient. On peut distinguer les entités

selon différents critères, mais le découpage que nous présentons ici est celui qui est en général utilisé dans les processus de modélisation d'accompagnement et reproduit dans la plate-forme de modélisation Cormas.

Les entités sociales, appelées agents dans les MAV, sont utilisées pour représenter les individus, groupes d'individus, ou institutions impliqués dans la gestion des ressources. Leur rôle est en général de gérer et/ou d'exploiter les ressources du système, de communiquer avec les autres entités sociales, et d'agir sur et/ou de percevoir d'autres entités spatiales et physiques. Les entités sociales sont celles qui sont porteuses des capacités de décision et les dynamiques qui leurs sont propres sont donc d'ordre cognitif. Celles-ci s'expriment dans leur perception du système (ressources, espace et autres entités sociales), dans la construction des représentations qu'elles s'en font, ainsi que dans le choix, l'adaptation et la mise en œuvre de plans d'action ou de stratégies. Dans les MAV, ces structures cognitives peuvent être plus ou moins évoluées et selon la question posée, il existe des concepts réutilisables dans la littérature multi-agents informatique. Dans les MAH, l'expression de la décision des entités sociales est souvent prise en charge par les joueurs et est donc contrainte par les règles du jeu.

Les modèles que nous utilisons incluent presque systématiquement un support spatial. Ce support est constitué d'entités (parcelles, régions, rivières...) qui configurent l'espace et structurent le réseau d'interactions spatiales. Ces entités spatiales sont aussi parfois des entités de gestion liées à chaque type d'acteur, chacun d'entre eux ayant une vision de l'espace propre à son type d'activité.

Les autres entités des modèles sont donc d'ordre physique, biologique, ou immatériel. Parmi ces entités, les entités ressources peuvent être distinguées comme une classe à part. Les entités ressource ont souvent des dynamiques propres de circulation et de régénération (cycle de l'eau, dynamiques de population mais aussi évolution et diffusion de caractères génétiques par exemple). Dans les MAV, ces dynamiques sont souvent adaptées de modèles disciplinaires simplifiés, et ce support informatique est souvent porté dans les MAH, même si il arrive dans des modèles abstraits que des artefacts physiques permettent de simuler les dynamiques des ressources (par exemple écoulement de l'eau reproduit avec des billes dans Lankford et al., 2007). D'autre part, l'évolution de ces entités ressource dépend de leurs interaction avec les entités sociales (prélèvement, modification de caractéristiques constitutives, échanges et déplacement...) alors qu'inversement c'est sur la dynamique de ces entités que se focalisent les modes de perception et de gestion des entités sociales.

Il peut y avoir dans les modèles des entités représentant des objets physiques autres, pouvant être manipulés et /ou échangés par les entités sociales, ou bien agir sur les entités ressources. Cette large catégorie peut regrouper des concepts aussi divers que des infrastructures (digues) ou de l'argent, mais aussi des médias de communication. Dans tous les cas, les objets physiques permettent de contraindre les interactions du modèle.

Enfin une dernière catégorie est constituée par les entités de communication. Il s'agit d'éléments immatériels (informations, connaissances, croyances, émotions..) que l'on décide de matérialiser dans le modèle car elles font sens pour les entités sociales et que celles-ci les manipulent et se les échangent. La plupart du temps, ces entités de communication sont conceptualisées sous la forme simple de « messages » contenant une information contextualisée (informations sur le niveau d'eau des parcelles dans SHADOC, information sur les besoins et disponibilités en semences dans UbonSeeds, etc.). Mais il arrive que l'on ait besoin de mieux structurer et différencier les informations échangées par les agents, qu'elles soient plutôt socio-techniques (itinéraires techniques) ou psychologiques (états émotionnels). Ce type d'entités est associé aux agents utilisant des informations de manière différenciée pour faire évoluer leur représentation du monde, leurs états émotionnels, mais aussi pour

influencer et éventuellement tromper les autres agents. C'est souvent le cas de modèles abordant les problématiques de gestion des ressources sous l'angle de la diffusion et de l'impact de croyances dans la société (diffusion de l'innovation, solidarité). On pourra également noter que les protocoles de communication selon lesquels ces entités circulent (diffusion centralisée, diffusion de gré à gré, diffusion au sein de réseaux sociaux...) influencent fortement le fonctionnement du système. C'est d'ailleurs souvent, pour les modèles matérialisant l'information, un sujet d'investigation dans différents scénarios.

4. Implémentation : du modèle conceptuel au modèle de simulation

Une des spécificités de la modélisation d'accompagnement est de favoriser l'élaboration de plusieurs modèles opérationnels se référant au même modèle conceptuel (cette spécificité est détaillée dans la section 6.2 de ce chapitre). Dans tous les cas (jeu de rôles ou modèle de simulation informatique), on élabore un simulateur qui permet de « faire tourner » le modèle. L'implémentation rend compte de cette phase d'opérationnalisation du modèle conceptuel en un outil concret.

Dans un premier temps, nous traitons des questions liées à la gestion du temps et au choix de l'ordre dans lequel les entités du modèle sont activées. Pour les modèles de simulation informatique plus particulièrement, ces aspects ont une influence sensible mais pourtant souvent ignorée sur le comportement du système simulé. Puis les aspects pratiques de la fabrication des outils de simulation sont abordés. Une place particulière est accordée aux supports spatiaux des simulateurs, composants essentiels d'outils traitant de questions relatives à la gestion des ressources et ayant pour objectif le partage de représentations. Enfin, le triptyque calibrage-vérification-validation est discuté en considérant les spécificités de la modélisation d'accompagnement.

4.1. Gestion du temps, ordonnancement des agents, ordonnancement des actions

Si, comme nous allons le voir, la gestion informatique du temps impose un certain nombre de contraintes techniques qu'il faut pouvoir maîtriser au moment de réaliser l'implémentation d'un MAV, la gestion pratique du temps lorsqu'on utilise des jeux de rôles impose également des contraintes : contrairement à un agent virtuel, un agent humain se lasse très vite d'une activité répétitive. L'organisation d'une session de jeu de rôles doit être pensée de façon à garantir un côté ludique, sans temps mort. Le nombre de pas de temps d'une session de jeu de rôles sera forcément réduit par rapport au nombre de pas de temps qu'une simulation informatique pourra mettre en œuvre. Néanmoins il doit être suffisant pour qu'il se passe quelque chose de déterminant dans le jeu, et la durée que représente un pas de temps doit rester pertinente par rapport aux processus qui sous-tendent les dynamiques des ressources. De ce point de vue, il peut être s'avérer très utile de coupler le jeu de rôles avec un modèle de simulation informatique (Barreteau et al., 2007).

En informatique, le temps est soit dirigé par les événements (le système gère un échancier), soit par une horloge (le temps est segmenté en pas de temps réguliers de même durée : on parle alors de simulation à temps discret). Chacune des deux approches présente des points forts et des points faibles, cependant il est reconnu que l'approche à temps discret simplifie considérablement le développement du simulateur et la compréhension du déroulement d'une simulation (Treuil et al., 2008). Cette approche du temps est systématiquement retenue dans le cadre de la modélisation d'accompagnement.

On a déjà signalé que l'horizon de la simulation (nombre total de pas de temps) est directement en rapport avec la définition de la question posée. Cette dimension est donc généralement déterminée avant de considérer la granularité (durée d'un pas de temps) du

temps, qui dépend quant à elle de la périodicité de tous les processus dynamiques en jeu. En général, la granularité est choisie égale à la plus petite périodicité.

Les acteurs d'un système de référence fonctionnent simultanément. Dans un ordinateur, les agents virtuels qui les représentent sont activés séquentiellement. De même, la séquence d'actions élémentaires exécutées pour chaque agent à chaque pas de temps est séquentielle. Il est particulièrement important de clairement spécifier les règles d'ordonnement qui sont choisies au moment de l'implémentation du modèle, car elles peuvent avoir une très grande incidence sur les résultats de la simulation.

4.2. Supports spatiaux

L'analyse des 63 modèles de simulation mobilisés dans nos cas d'études révèle l'omniprésence de l'espace dans ces modèles : 90% d'entre eux disposent de représentations spatiales. Dans le cas des jeux de rôles, dont la très grande majorité fait pourtant usage de l'informatique (cf. figure 3), la représentation spatiale est le plus souvent non informatisée (74%). Dans ce cas, l'espace est représenté par un plateau de jeu qui peut prendre plusieurs formes. On peut trouver des blocs en 3D lorsque le relief du terrain est une composante importante à prendre en considération (Mae Salaep, SugarRice ou Ubon Rice Seeds), des cartes plus ou moins virtuelles mais représentant un espace réaliste tel qu'un bassin versant, le territoire d'un parc ou de plusieurs communes (Nîmes Métropole, Kat Aware, Méjan, Pays de Caux), des cartes de type grilles spatiale plus ou moins abstraites (Radi, Lingmuteychu, Lam Dom Yai, Ouessant, etc.) ou encore un tableau apposé au mur sur lequel est dessiné par exemple un périmètre irrigué (Njoobaari, Larq'asninchej). Lorsque l'informatique est mobilisée pour représenter l'espace au cours d'une session de JDR, la plupart du temps il est aussi fait usage d'un plateau de jeu (23%). Dans certains cas, cette association est complémentaire : l'ensemble des participants visualisent les deux supports, chacun apportant des informations spécifiques. Ainsi dans le cas d'étude AguAloca, le plateau de jeu permet de localiser le réseau hydrographique et les points de pompage (réseau arcs/nœuds) alors que dans le même temps, sur l'écran de l'ordinateur, les joueurs visualisent le même espace selon différents points de vue (occupation du sol, communes, sous-bassin-versants). Dans d'autres cas, les différents supports spatiaux sont assignés à différents types de joueurs. Ainsi, dans le cadre du jeu de rôles MéjanJeu, les agriculteurs ne disposent que d'une vue locale de l'espace (zoom sur leur exploitation) sous la forme d'une carte imprimée, alors que dans le même temps les naturalistes et les forestiers consultent des points de vue sur l'ensemble de l'espace directement sur l'écran d'un ordinateur.

4.3. Implémentation proprement dite

En ce qui concerne les jeux de rôles, l'implémentation consiste à identifier, le cas échéant fabriquer si on n'en dispose pas, puis préparer les supports de jeu. Un support de jeu est un élément qui délivre de l'information. Un bon support résulte d'un compromis souvent difficile entre stimuler l'aspect ludique, utiliser des outils facilement mobilisables tout en évitant l'excès de technologie et les délais excessifs. Par ailleurs, il convient de s'interroger sur la forme la plus adaptée au type d'information que l'on doit transmettre. Ainsi, pour des flux d'argent ou de matière, on pourra utiliser des pions, post-it, billets. Pour faire intervenir des aléas, on pourra utiliser des cartes « chance », un dé (en considérant qu'il est parfois important de pouvoir « contrôler » l'aléa de manière à reproduire les mêmes conditions, notamment si on souhaite pouvoir comparer des sessions de jeu). Pour divulguer des informations en début de jeu et les laisser à disposition lors de la session de jeu, on pourra prévoir des fiches ou aide-mémoires.

Quand l'informatique tient une part importante (MiAH, MAHy et MAV), l'ordinateur est le

principal matériel utilisé pour construire le modèle opérationnel, et les langages de programmation informatique permettent de « coder » le modèle sous la forme d'une liste d'instructions interprétables par la machine. Plusieurs possibilités existent :

- la programmation spécifique, qui appelle à coder l'ensemble des aspects délégués à l'informatique. L'avantage est de maîtriser entièrement la chaîne de traduction ; l'inconvénient est de passer du temps à reprogrammer des choses qui ont déjà été programmées ;
- l'usage d'un logiciel spécifique pour prendre en charge un aspect précis (par exemple un logiciel de Système d'Information Géographique est bien adapté pour produire une représentation de l'espace) ;
- le recours à un seul logiciel intégrant l'ensemble du « codage ». On qualifie alors le logiciel de « plateforme générique ». Un certain nombre de plateformes génériques ont été spécialement développées pour faciliter l'implémentation de MAV, mais un logiciel commercial tel qu'un tableur peut faire l'affaire : c'est le cas du jeu de rôles SYLVOPAST développé par Etienne (2003).

L'intérêt d'utiliser une plateforme générique pour implémenter un MAV ne fait aujourd'hui plus de doute. Les raisons principales sont les suivantes : (i) le caractère générique de nombreuses composantes (par exemple module de représentation de l'espace) ; (ii) la mise à disposition de services « périphériques » qui permettront de mettre efficacement en œuvre les expérimentations du modèle (lancer des batteries de simulation en spécifiant les gammes de variation d'un ensemble de paramètres, visualiser des indicateurs, etc.) ; (iii) la constitution d'une bibliothèque d'applications, source d'inspiration pour les modélisateurs non informaticiens.

Cormas¹ (Bousquet et al., 1998), plateforme générique développée par le CIRAD depuis le milieu des années 1990 pour faciliter l'implémentation de MAV appliqués à la gestion des ressources, est fréquemment utilisée dans le cadre de mises en œuvre de la modélisation d'accompagnement. Une des grandes forces de Cormas est de s'appuyer sur le langage de programmation Smalltalk, très facile d'accès à des modélisateurs non informaticiens, et qui facilite grandement la réutilisabilité d'extensions déjà développées dans d'autres modèles. Parmi les autres plateformes génériques dédiées à l'implémentation de MAV qui sont très répandues, on peut citer NetLogo, Swarm, Repast.

Lorsque les niveaux et les dimensions du système de référence sont multiples, l'usage des modèles vise l'articulation des représentations spécifiques à ces niveaux et ces dimensions. Dans le chapitre 10 (section 5.2), on présente les options qui sont alors envisageables : soit on cherche à intégrer les représentations diverses au sein d'une seule représentation, soit on cherche à coordonner l'ensemble des représentations spécifiques. En matière de simulateur, la première option requiert un outil intégratif, alors que la seconde nécessite une gamme d'outils (boîte à outils) adaptés à chaque niveau. La vision « intégrative » propose en outre d'associer au sein d'une seule et même « plateforme » l'ensemble des outils mobilisés tout au long du processus de modélisation. Parmi les projets actuels se situant dans cette lignée, citons Mimosa² qui associe à un noyau de simulation l'usage des ontologies et d'un ensemble extensible de formalismes pour spécifier le modèle conceptuel.

¹ <http://cormas.cirad.fr>

² <http://sourceforge.net/projects/mimosa>

4.4. Calibrage, vérification, validation

4.4.1. Calibrage

Le calibrage (calibration en anglais) consiste à régler un modèle de manière à ce que les sorties qu'il produit correspondent bien à des valeurs attendues (le plus souvent, un jeu de données empiriques). Si ce n'est pas le cas, on ajuste le modèle en modifiant les valeurs de certains paramètres. Ce procédé s'apparente au réglage d'un instrument de mesure à l'aide d'un étalon. Les paramètres qui sont sélectionnés pour procéder à cet ajustement ont un statut un peu particulier. Pratiquement, on choisit souvent un paramètre qui à la fois influence sensiblement les sorties du modèle (deux valeurs distinctes produisent des résultats différents) et dont on ne connaît pas la valeur avec certitude. Si l'ajustement des paramètres ne suffit pas à obtenir des résultats satisfaisants, il est alors nécessaire de modifier certains éléments du modèle. Ceci entraîne une remise en cause plus ou moins profonde du modèle opérationnel ou du modèle de conception, voire même du modèle du domaine. A ce stade, il ne s'agit plus de calibrage, mais bien d'une nouvelle boucle d'apprentissage par la modélisation et l'évaluation.

La conception d'un modèle de simulation de type jeu de rôles utilisé pour mettre des acteurs en situation fait parfois usage du calibrage pour conférer au modèle les meilleures chances d'atteindre son objectif spécifique, à savoir stimuler les échanges entre participants. Puisque la question à l'origine de la mise en œuvre de la démarche pose généralement problème à certains acteurs représentés dans le modèle, on recherchera un calibrage approprié permettant d'atteindre après quelques pas de temps de simulation une situation marquée qui provoque les réactions des participants et stimule la discussion.

4.4.2. Vérification

La vérification s'attache à juger de la bonne réalisation du simulateur, c'est-à-dire de l'implémentation sans défaut d'un modèle sur une machine. En d'autres termes, il s'agit de savoir si on a bien construit le modèle : « Building the model right » (Balci, 1988). Mais comment s'assurer que les sorties des simulations découlent uniquement des mécanismes que l'on pense avoir élaborés dans le modèle ? Car nombreuses sont les possibilités de faire apparaître des artefacts liés à des erreurs de programmation ou de calcul, à une gestion approximative du temps de la simulation et des interactions entre agents, ou à tout autre comportement erratique du simulateur sans lien avec le modèle conceptuel qu'il est censé exprimer. Divers petits défauts ou approximations peuvent être, par amplification, la source d'erreurs plus importantes qui risquent d'influencer fortement le comportement global du système.

Pour des modèles relativement complexes tels que ceux qui simulent le fonctionnement de socio-écosystèmes, garantir l'absence totale de coquilles (bugs) est un objectif pratiquement impossible à atteindre. Ainsi, selon Gilbert (2008), le nombre de bugs d'un MAV suit une fonction exponentielle négative : après une diminution rapide, il n'atteint jamais zéro, même après un long travail de déverminage. Ce constat met à mal le principe scientifique fondamental de reproductibilité des résultats. Plusieurs études récentes, cherchant à reproduire des résultats de simulation publiés, sont venues confirmer ce problème (Edmonds et al., 2003; Rouchier, 2003). Sensibilisés, les chercheurs qui utilisent les modèles de simulation informatique s'organisent en préconisant des recommandations censées faciliter la découverte de biais et bugs récalcitrants (Gilbert, 2008).

Dans le contexte de la modélisation d'accompagnement, les modèles développés sont souvent très simples. On les appelle parfois modèles-jouet (« toy-models »). Ils n'ont pas nécessairement vocation à être réutilisés en dehors du contexte pour lequel ils ont été

spécialement conçus (« modèles jetables »). Ces caractéristiques tendraient à les rendre moins sensibles au point soulevé plus haut ; non pas qu'ils soient moins sujets aux bugs ou aux artefacts, mais plutôt parce que les conséquences de ces erreurs ne sont pas décisives vis-à-vis de la démarche : la modélisation d'accompagnement ne cherche pas à proposer des solutions d'experts, finement calibrées, mais elle vise à susciter un dialogue entre les participants, à tel point que le modèle peut être considéré comme un prétexte. Il arrive ainsi qu'on modifie ces modèles (non seulement des valeurs de paramètres, mais aussi éventuellement des éléments structurels) pendant qu'on les utilise, saisissant les suggestions faites par les participants aux ateliers de simulation participative. Ces modifications apportées « à la volée », sans prendre le temps de repasser par la réflexion conceptuelle, ni de vérifier qu'elles n'introduisent pas de biais computationnels, rendent les modèles difficilement communicables à des personnes autres que celles qui ont réalisées les modifications, ce qui pose le problème de leur transférabilité.

4.4.3. Validation et validité

Selon Balci (1988), la validation consiste à comparer le comportement du modèle avec le système « réel » qu'il est censé représenter. Si la comparaison est satisfaisante, la validation serait avérée. En d'autres termes, on cherche à savoir si on a construit le bon modèle : « Building the right model » [ibid.]. Un « bon » modèle est de fait souvent perçu comme un modèle qui « colle » bien aux données. Certes, la mise en regard des résultats de simulation avec des grandeurs mesurables sur le terrain constitue une dimension incontournable de la validité d'un modèle. Cependant, considérer cette seule dimension n'est pas suffisant. Sans même parler des corrélations accidentelles, il existe un grand nombre de problèmes théoriques ou pratiques lorsque l'on veut comparer les sorties d'un modèle à des données empiriques (Amblard et al., 2006). Une bonne corrélation avec des données peut provenir d'un facteur externe non pris en compte par le modèle. Celui-ci peut aussi exhiber des résultats cohérents avec des données alors même que les mécanismes modélisés s'avèrent totalement erronés. De plus, si les données utilisées pour calculer cette corrélation ont aussi servi à calibrer le modèle, conclure à sa validité en référence à ce seul critère relève de l'imposture.

La modélisation d'accompagnement s'inscrivant dans la lignée du constructivisme, les connaissances construites par l'expérience de modélisation ne constituent pas dans ce cadre des principes normatifs ni des théories prédictives. Elles prennent la forme de « propositions génériques », destinées à « éclairer le lecteur, susciter sa réflexion et ses questionnements, ainsi qu'à stimuler son imagination et son action créatrice » (Avenier et al., 2007). Ainsi, les savoirs ne sont pas « validés » au sens classique, mais « légitimés » par la cohérence de la méthode de construction et par l'usage qui est fait postérieurement des savoirs.

5. Des modèles de simulation pour explorer collectivement des futurs possibles

Dans le chapitre 2, la dimension humaine de l'animation des sessions de simulation participative (et plus particulièrement des sessions de mise en situation par la pratique d'un jeu de rôles) a été présentée en détaillant les rôles que doivent se répartir les membres de l'équipe d'animation. Nous présentons ici un point de vue complémentaire qui décrit d'un point de vue pratique la mise en œuvre d'ateliers d'exploration collective de scénarios basés sur la pratique des jeux de rôles et/ou sur la simulation informatique d'un monde virtuel.

5.1. Mise en place de l'atelier de simulation

En préalable à l'introduction du modèle aux participants, un atelier de simulation participative débute par une présentation générale du cadre dans lequel il s'inscrit, afin d'apporter des

éléments de réponse aux questions suivantes : qui a pris l'initiative de la mise en œuvre de la démarche et dans quel but ? Qui a sélectionné les participants et selon quels critères (acteurs dont les activités dans la réalité sont représentées dans le modèle, acteurs légitimes pour représenter un groupe, prise en compte des relations entre acteurs dans la vie de tous les jours, etc.) ? Quel est l'objectif spécifique de l'atelier et selon quel programme va-t-il se dérouler ?

Dans le cas des jeux de rôles, la configuration de l'espace dans lequel se déroulera l'atelier est à penser en fonction des caractéristiques spatiales du système de référence, afin de positionner les joueurs à des endroits identifiés comme des lieux clés ayant un statut clairement défini (marché, lieu de réunion publique ou lieu privé) et permettant de restituer certaines propriétés importantes comme les voisinages, les distances.

5.2. Introduction du modèle de simulation

La présentation du modèle est une phase délicate. Elle doit être courte pour permettre aux participants de devenir actifs le plus rapidement possible, mais elle doit dans le même temps apporter toute une gamme d'information pour permettre d'appréhender la structure du modèle (représentation de l'espace et types d'agents composant le modèle), les décisions à prendre par les joueurs à chaque tour de jeu ou les actions réalisées par les agents informatiques à chaque pas de temps, les indicateurs mis à disposition pour rendre compte des conséquences de ces décisions et actions, la dynamique de la ressource et enfin la temporalité de la simulation (périodicités des processus, durée que représente un pas de temps et nombre total de pas de temps simulés).

La quantité d'information communiquée aux participants lors de cette phase d'introduction du modèle doit être minimale mais néanmoins suffisante pour que puissent s'enclencher efficacement les mécanismes d'apprentissage selon les principes de la pédagogie active (cf. chapitre 9). Dans le cas des jeux de rôles, l'information est souvent asymétrique : les participants reçoivent des éléments spécifiques à leur rôle qui ne sont pas divulgués aux autres.

Pour s'assurer de la bonne compréhension du modèle, dans le cas d'une session de jeu de rôles on pourra pratiquer un « tour à blanc » ; dans le cas d'une simulation informatique, on pourra vérifier que les participants anticipent correctement les changements d'état progressifs (en mode « pas à pas ») des entités simulées. Le déroulé complet d'un premier scénario peut alors être envisagé.

5.3. Scénarisation

La scénarisation participative stimule la créativité des participants par des outils simples (courtes narrations, diagrammes, etc.) qui permettent d'envisager les trajectoires vers les futurs possibles d'un système socio-écologique (Evans et al., 2006; Peterson et al., 2003).

Dans le cadre de la modélisation d'accompagnement, « scénario » s'entend plutôt comme un mode de fonctionnement du modèle de simulation, ou plus exactement un ensemble de facteurs qui va modifier son fonctionnement : tel acteur modifie son comportement, telle dynamique écologique est perturbée, telle variable de forçage sociale ou économique est changée. Il est aussi fréquent que l'on envisage une modification de l'organisation des interactions (nouveaux systèmes d'échange, nouveaux protocoles de négociation).

Les scénarios sont très souvent définis de manière collective, au moment où sont discutés les résultats de la simulation d'un premier scénario, ce qui incite à proposer des scénarios alternatifs. Il arrive cependant que le premier scénario, dit « de base » (établi en référence à la situation actuelle du système étudié), ait été préparé par les concepteurs des ateliers comme point de départ du processus d'exploration.

La technique du jeu de rôles est très efficace pour générer des propositions de scénarios mais beaucoup moins pour leur exploration. Lors d'une séance de jeu, la réalisation d'un pas de temps (tour de jeu) demande en effet beaucoup de temps. Tout en veillant à conserver un caractère ludique, il faut imaginer les moyens de pouvoir enchaîner suffisamment de tours de jeu pour s'approcher de l'horizon de simulation pertinent par rapport à la question posée et à la vitesse d'évolution des processus représentés. C'est ici que la simulation informatique trouve tout son intérêt.

5.4. Exploration et observations

Dans le cadre d'une démarche expérimentale, il est toujours utile de réaliser une exploration avancée des propriétés du modèle, afin de s'assurer de sa robustesse et de mesurer sa sensibilité aux différents paramètres susceptibles d'être mobilisés pour définir des scénarios. Le modèle, exécuté un très grand nombre de fois, produit des milliers d'observations. Il convient alors de concevoir des plans d'expérience de façon à produire l'information ciblée à un coût minimal. En utilisant des plateformes de simulation telles que Cormas, on accède à tout un ensemble de fonctionnalités facilitant grandement la réalisation de ces plans d'expérience.

Cette phase d'exploration systématique de l'espace des possibles n'est pas la plus intéressante à mettre en œuvre de manière participative. Un des principes de base de la modélisation d'accompagnement stipule que la simulation exploratoire, en structurant les échanges, permet aux acteurs de parvenir à valider les interactions entre les différentes représentations et les dynamiques du système intégrées dans le modèle. La simulation participe alors à un processus de co-apprentissage (ou apprentissage réciproque entre participants et animateurs de l'atelier) sur le système étudié dans l'interaction avec et entre les acteurs locaux (cf. chapitre 9).

5.4.1. Indicateurs et points de vue pour suivre l'évolution du système simulé

Les indicateurs permettant de suivre l'évolution du système simulé et de comparer les scénarios proposés sont calculés à partir des variables du modèle. Dans le cas de modèles de type multi-agent, ces variables correspondent à des attributs des entités, qu'elles soient spatiales, actives (agents) ou passives. Un attribut donné peut directement être considéré comme un indicateur pertinent, mais on peut également s'appuyer sur des fonctions dont le calcul dépend de plusieurs attributs pour élaborer des indicateurs plus synthétiques. Au cours des différentes étapes de la démarche, un panel d'indicateurs mentionnés comme pertinents par certains participants, est progressivement constitué et enrichi. Ces indicateurs, qui correspondent à ce que chacun des acteurs a l'habitude ou l'envie de considérer dans ses activités, instrumentalisent leur perception du monde virtuel.

Un modèle de type multi-agent étant composé d'un nombre souvent important d'entités, il est fastidieux de ne passer que par des graphes pour suivre l'évolution de tous les indicateurs. Un moyen pratique de pouvoir observer les indicateurs sur tout un ensemble d'entités consiste à définir des points de vue propres à chaque type d'entité comme une fonction de visualisation qui attribue une image de forme et de couleur particulières à chaque valeur ou intervalle de valeurs de l'indicateur. Appliqué à l'ensemble des entités définissant le support spatial du modèle de simulation informatique, ce qui est ici dénommé ici « point de vue », et qui correspond à un « thème » dans les Systèmes d'Information Géographiques, offre une représentation spatiale dynamique de la simulation sur laquelle on peut superposer les représentations dynamiques des entités situées.

Ainsi dans le cadre de la mise en œuvre d'une modélisation d'accompagnement sur le Causse Méjan (Etienne et al., 2003), une série de points de vue a été construite pour faciliter la compréhension du processus d'enrésinement des pelouses par les pins en distinguant

clairement l'aspect physionomique (les pins se voient dans le paysage), de l'aspect fonctionnel (de jeunes plants de pins se sont installés dans la parcelle). Une autre a été construite pour localiser les enjeux patrimoniaux de faune, de flore ou de paysage, pour en produire une représentation synthétique. Une autre permet de rendre compte des travaux effectués et de leur localisation, soit selon le regard du sylviculteur, soit selon le regard du naturaliste. Certains points de vue ont cherché à traduire un regard particulier comme par exemple l'évolution du niveau de risque d'enrésinement à partir des crêtes.

Il existe plusieurs modes de visualisation des éléments observables d'une simulation, qui correspondent à des modes de partage de l'information. Soit les éléments observables sont imprimés ou donnés à voir sur l'écran d'un ordinateur (ce qui permet de spécialiser les informations selon les participants à qui elles sont destinées), soit ils sont directement projetés dans la salle (information partagée par tous les participants).

Les points de vue se présentent dans leur diversité aux participants qui observent (simulations informatiques) ou vivent de l'intérieur (jeux de rôles) l'évolution du système simulé. Les points de vue qui ne sont pas les leurs sont plus facilement accessibles aux participants lorsque, soumis à des conditions identiques lors de la simulation d'un même scénario, ils les appréhendent en même temps que ceux dont ils sont plus familiers. Le partage des représentations s'en trouve facilité.

5.4.2. Comportements et interactions entre les joueurs

La mise en situation des participants à une session de jeu de rôles influence la façon dont ils prennent leurs décisions et interagissent avec les autres participants. L'enregistrement des arguments avancés lors des phases de discussion entre joueurs est un moyen de capter l'information sur les rationalités mobilisées pour ces décisions. Le dédoublement des rôles permet d'obliger à verbaliser les raisonnements, ce qui les rend plus facilement accessibles, mais biaise l'exploration vers des comportements plus standards comme il a été montré sur des situations d'économie expérimentale (Bornstein et al., 1998). Enfin, l'observation des attitudes et des comportements des joueurs est une autre source de renseignements. Cette activité requiert de mobiliser des assistants capables d'assurer cette fonction (cf. chapitre 2) et entièrement dédiés à cette tâche (un assistant posté à chaque lieu stratégique). Les observations qui en résultent se révèlent souvent très riches. Elles sont collectivement analysées lors de la phase de débriefing d'une session de jeu. Elles permettent également d'amorcer l'évolution du modèle utilisé, en remettant en cause soit le modèle du domaine, soit le modèle conceptuel, soit le modèle de simulation. C'est le premier moteur du processus itératif.

5.5. Analyse

A l'issue de l'exploration des différents scénarios de simulation, les participants ont pu tirer des conclusions, à partir de ce qu'ils ont observé et de ce qui leur a semblé révélateur. Il est fondamental de consacrer suffisamment de temps à discuter collectivement ces conclusions que chacun retire de l'expérience, afin qu'elles puissent être partagées, éventuellement invalidées du fait de la distance entre le monde virtuel ayant permis d'y aboutir et le monde réel qui pourrait les subir. Cette discussion collective des conclusions est d'autant plus importante quand elles concernent les participants à un niveau individuel. Il faut donner l'occasion aux participants de rétablir leur identité afin de ne pas perdre la face devant leur groupe (Richard-Ferroudji, 2008). C'est le débriefing collectif présenté au chapitre 1 qui permet cela.

Dans le cas des ateliers de jeu de rôles, cette analyse à chaud bénéficie grandement de la disponibilité des observations du déroulement de la session. Ainsi, si les décisions des joueurs

sont enregistrées sur un support informatique, on pourra faire expliciter des décisions jugées problématiques à partir de séquences rejouées en accéléré, ou montrer des évolutions différentes en rejouant d'autres sessions organisées par ailleurs. Si les phases de négociation ont été suivies par un observateur, on pourra analyser les discours et discuter des argumentations. Si la session a été filmée, on pourra analyser des attitudes, ou tenter d'interpréter les déplacements des joueurs dans l'espace de jeu (prise d'initiative pour provoquer des interactions avec les autres), etc.

La phase d'analyse permet d'aborder le retour du monde virtuel vers le monde réel. Les participants sont invités à dire s'ils ont repéré des liens entre ce que l'expérience de simulation a exhibé et ce qui se passe dans la réalité, ou au contraire, si certains aspects exhibés lors de l'expérience de simulation ne sont jamais observés dans la réalité. Il s'agit là du deuxième, et principal, moteur du processus itératif : lors de cette analyse, les participants peuvent remettre en cause les représentations mobilisées, leur mise en œuvre ou faire évoluer les questions posées. Enfin, au-delà du repérage de similitudes, l'analyse doit inclure une forme d'évaluation de l'atelier par les participants, en particulier en leur demandant s'ils ont perçu un quelconque type d'intérêt à y participer par rapport à la question posée (cf. chapitre 6).

6. Singularité, complémentarité et polyvalence des outils de modélisation

Ce chapitre a présenté les différentes étapes et moyens de construction de mondes virtuels à des fins de partage de représentation et d'exploration collective de futurs possibles. Les étapes ont été présentées dans un certain ordre, ce qui peut laisser à penser que la séquence se déroule toujours selon cet ordonnancement, la fin d'une étape conditionnant le démarrage de la suivante. Dans la pratique, il n'en est rien : les interférences entre les différentes étapes sont fréquentes. Ce caractère est encore renforcé lorsque les acteurs sont impliqués -à des degrés divers- dans un certain nombre d'étapes, et qu'il leur est en outre donné la possibilité d'orienter le processus. La démarche de modélisation d'accompagnement se doit d'être adaptative et les outils qu'elles mobilisent doivent être flexibles. En nous basant sur la diversité des expériences analysées, la dualité entre singularité et généricité des modèles est discutée, en faisant le lien avec le degré de réalisme des modèles mobilisés. Nous analysons ensuite l'intérêt de pouvoir combiner au cours de la mise en œuvre de la démarche les deux principaux types d'outils de simulation, à savoir les JDR et les MAV. Enfin, la polyvalence et la versatilité des modèles utilisés en modélisation d'accompagnement est mise en avant.

6.1. Singularité / généricité des modèles

Un modèle singulier, construit spécifiquement pour aborder la représentation du système de référence considéré, est construit au cours de la mise en œuvre de la démarche. A l'inverse, un modèle générique, qui présente l'intérêt indéniable de pouvoir être mobilisé dans des contextes différents, n'est pas co-construit (ou n'est co-construit qu'une fois). Alors que la modélisation d'accompagnement met en avant le processus de co-construction, quelles sont les implications pour le statut des modèles génériques en son sein ? Nous faisons parfois référence à des outils jetables. Le modèle « jetable » est caractéristique d'un état des représentations et des questions à un instant donné. Son usage amenant à faire évoluer les questions, voire sa construction amenant à faire évoluer les représentations, il n'est pertinent que dans son rôle de catalyseur du processus dans l'instant. Afin de dépasser ce concept, le modèle générique permet de monter en généralité à partir d'un cas spécifique. Il permet d'identifier la « famille ». Il peut aussi constituer le support d'une trace des adaptations. Le modèle générique sert alors à générer de nouveaux modèles jetables, qui contextualisent le modèle générique pour le rendre éventuellement plus pertinent.

Concrètement, le caractère singulier versus générique des modèles est souvent directement lié au degré de réalisme de la représentation du système de référence, qui va de paire avec le degré de complexité du modèle. On peut identifier trois niveaux.

- Lorsque les liens avec un système de référence particulier sont explicites, les acteurs, les ressources et les configurations spatiales sont caractérisés dans le modèle sur la base des caractéristiques du système de référence. Cette option est souvent celle que les partenaires de terrain privilégient de prime abord. Retrouver dans le modèle certains aspects particuliers du système étudié « rassure » les participants sur la capacité de l'outil à représenter leur problématique spécifique. Il peut arriver que cette voie soit suivie simplement pour amener les participants à considérer le modèle avec confiance, comme dans le modèle développé dans le cadre du cas d'étude DOMINO à La Réunion, dans lequel la complexité du module démographique du MAV n'a finalement pas été mobilisée dans les scénarios prospectifs discutés. En règle générale, il n'est jamais aisé de savoir s'arrêter dans la recherche de toujours plus de réalisme. Ce travers limite en outre la capacité du modèle à distancier ses utilisateurs de leur réalité, ce qui peut empêcher de considérer certaines options dans lesquelles des problèmes sensibles du système de référence surgiraient à nouveau.
- Lorsque les liens avec un système de référence particulier sont implicites, le modèle est un archétype, basé sur une simplification réaliste des catégories d'acteurs, des ressources et des configurations spatiales telles qu'ils se présentent dans le système de référence. La simplification doit être reconnue légitime par les participants, ce qui demande de reproduire dans le modèle certaines propriétés ou caractéristiques marquantes, sans recourir à des détails spécifiques. Ainsi le modèle SylvoPast (Etienne, 2003) propose une représentation d'une forêt méditerranéenne « quelconque » sur la base de proportions des différentes combinaisons de strates de végétation qu'on observe généralement sur le terrain.
- Enfin, lorsqu'il n'y a aucun lien avec un système de référence particulier, le modèle propose une représentation abstraite qui a simplement comme objectif de traiter d'un enjeu. D'un côté, certains participants risquent d'être rebutés par un outil trop abstrait dans lequel ils ne se reconnaissent pas, entravant de fait leur capacité à se projeter dans cette représentation. Dans d'autre cas, les participants eux-mêmes considèrent qu'un modèle abstrait correspond mieux à leurs besoins d'élicitation et de partage de représentation. Ainsi, dans le cadre du projet « Levelling the Playing Field » aux Philippines, la version de base du modèle CherIng, habituellement utilisé dans des sessions de formation où son extrême simplicité et son abstraction sont bien appropriées à un usage pédagogique (cf. chapitre 11), a été plus appréciée par certains participants qu'une version contextualisée du même modèle.

6.2. Combinaisons de différents modèles de simulation dans la mise en œuvre de la démarche

Dans le cadre des cas d'étude analysés, 63 modèles de simulation ont été élaborés. Les cas n'ayant mobilisé qu'un seul modèle de simulation représentent un peu moins de 40% des cas, cette portion se divisant à part égale entre les cas d'usage d'un JDR uniquement et les cas d'usage d'un MAV uniquement. Il s'avère donc que dans la majorité des cas, plusieurs modèles de simulation ont été combinés. A la suite d'une première catégorisation des bénéfices d'usages conjoints de jeux et de modèles informatiques pour les enjeux de négociation (Barreteau, 2003), nous analysons ici les atouts de chaque type de combinaison pour un appui à la conception, à la communication, à l'exploration, à la validation.

Dans tous les cas d'étude combinant plusieurs modèles de simulation, on trouvera des liens de filiation entre les modèles. Ainsi, même dans le cadre du cas Mae Salaep, qui est le plus

prolifère avec 7 modèles de simulation développés en 6 ans, on retrouve des éléments communs entre les différents modèles développés pour aborder le problème de l'érosion, de l'accès au crédit, du partage de l'eau.

Lorsque le jeu de rôles précède le modèle de simulation informatique, le JDR apporte un appui à la communication du modèle conceptuel, tandis que le MAV renforce et élargit la dimension prospective en permettant l'exploration d'un plus grand nombre de scénarios que le JDR. Ce type de combinaison se décline selon deux cas de figure. Dans le premier cas, le MAV est une transcription directe du JDR, et il est le plus souvent utilisé dans la continuité de (ou quelques jours seulement après) la session de jeu de rôles, avec les mêmes participants. L'application SelfCormas au Sénégal a ouvert la voie à ce type de combinaison (D'Aquino et al., 2003). La compréhension du lien direct unissant les deux outils est facilitée par la proximité des éléments d'interface et en particulier de la représentation spatiale : ce qui apparaît sur l'écran de l'ordinateur est une reproduction fidèle du plateau de jeu, divers symboles peuvent également reprendre les figures des cartes distribuées dans le jeu. Ce type de combinaison permet aux participants de bien comprendre la structure et les principes du modèle conceptuel en le jouant, de proposer des scénarios et ensuite de les suivre sur l'ordinateur, en ayant ainsi bien conscience du statut du modèle de simulation informatique. Celui-ci n'apparaît pas comme un outil complexe délivrant des recommandations, mais comme un équivalent du jeu de rôles plus efficace pour explorer les scénarios. Le second cas de figure d'usage d'un MAV à la suite d'un JDR, moins fréquent que le premier, fait référence à un MAV qui n'est pas la reproduction d'un JDR, mais souvent une représentation plus élaborée du domaine de référence. Il s'agit là plutôt d'un appui à la conception. Une application réalisée en Thaïlande (LamDomeYai) a démontré que ce mode d'association peut se révéler très efficace pour développer des modèles de simulation informatique relativement complexes avec des acteurs locaux qui peuvent ensuite se l'approprier : à la fin de ce projet, les villageois ayant participé au processus d'élaboration du MAV (qui s'est appuyé sur 3 sessions de JDR) sont allés présenter « leur » outil de simulation lors d'un séminaire à l'université. Dans ce cas de figure, contrairement au premier, le concepteur du MAV tirera avantage de l'analyse de plusieurs séances de jeu de rôles afin de s'appuyer sur des typologies de comportements plutôt que sur des comportements particuliers pour définir les agents virtuels.

Lorsque le modèle de simulation informatique précède le jeu de rôles, le JDR est souvent une simplification du MAV qui peut être utile pour faire comprendre sa structure (« ouvrir la boîte noire ») à des participants pas très familiers de ce type de modèle de simulation informatique (cas de Njoobari et Shadoc, les deux modèles de simulation apparentés représentant le fonctionnement des systèmes irrigués dans la vallée du Fleuve Sénégal). Il y a là encore un appui à la communication, avec potentiellement un appui à la validation sociale du modèle conceptuel ou à l'apprentissage de ses usages pertinents. Ce type de combinaison correspond également à des situations dans lesquelles le JDR intègre certains modules développés dans le cadre de l'élaboration du MAV, principalement ceux qui sont liés aux processus naturels (par exemple le module de dissémination des pins dans le cas d'étude sur la cause Méjan).

La tendance récente à produire des modèles de simulation hybrides (MAHy), qui intègrent de par leur structure les propriétés spécifiques des JDR et des MAV, démontre que les deux formats sont très utiles à la mise en œuvre de la modélisation d'accompagnement. Pour permettre de gérer au mieux la contrainte de temps des jeux de rôles (cf. section 4.1), les modèles de simulation hybride offrent des possibilités intéressantes. Les avatars prennent ainsi le relais des joueurs pour réaliser certaines actions répétitives (MejanJeu) ou à une périodicité plus petite que celle à laquelle se prennent les décisions intéressantes dans le cadre du JDR (Pieplue). Pour que le modèle de simulation comporte un nombre suffisant d'agents

par rapport à la question posée, l'introduction d'agents virtuels en complément à un nombre raisonnable d'agents humains est également une fonction qui peut être réalisée avec un MAHy (AtollGame).

6.3. Polyvalence des outils de modélisation

Bien que les modèles de simulation aient des atouts spécifiques comme nous l'avons vu, il arrive que des démarches de modélisation d'accompagnement s'appuient uniquement sur des modèles conceptuels ou des représentations spatiales. Ces outils peuvent avoir une raison d'être qui leur est propre et dans ce cas, ils sont mobilisés de manière relativement autonome (on peut citer notamment le cas de figure des zonages à dire d'acteurs). Il arrive également que le développement ultérieur d'un modèle de simulation s'inspirant de ces outils n'ait pas été mené jusqu'à un point ayant permis de mettre en œuvre des séances d'exploration prospective (dans l'échantillon des modèles de simulation analysés, c'est le cas pour 5 MAV sur 30). Quel que soit le cas de figure, du fait qu'ils aient été élaborés collectivement, ces outils auront contribué à partager des représentations.

Certains outils peuvent remplir des fonctions diverses. Ainsi, une session de jeu de rôles, au même titre qu'un atelier participatif de simulation informatique, permet d'explorer collectivement différents scénarios (cf. section 5.4). Elle peut également être mobilisée comme technique d'extraction des connaissances (cf. section 2.2.2) : c'est ce qui justifie son usage en accompagnement du développement d'un MAV (cf. section 6.2). D'autre part, la possibilité de « rejouer » en différé une session de jeu de rôles permet de remplir diverses fonctions. Les décisions des joueurs ayant été enregistrées, leur restitution informatique est une forme de simulation en mode continu (comme dans le cas d'un MAV) qui permet de présenter en quelques minutes le résultat de scénarios qui prennent beaucoup plus de temps à jouer. Utilisé en débriefing à chaud avec les participants à la session de JDR pour analyser leurs décisions en situation, utilisé également pour diffusion auprès d'acteurs concernés par la démarche n'ayant pas assisté/participé au JDR, cet outil est également très utile pour illustrer la démarche par des études de cas lors de sessions de formation (cf. chapitre 11).

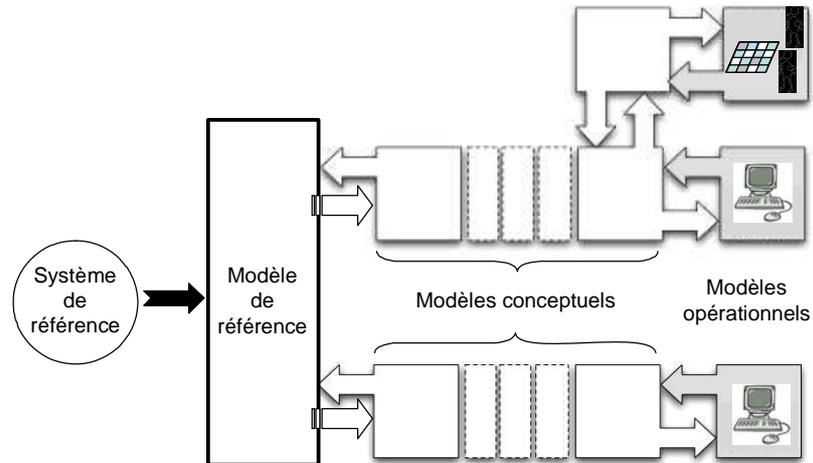


Figure 1. Lignées de modèles initiées à partir d'un même système de référence, chaque lignée aboutissant à un modèle opérationnel (jeu de rôles ou modèle de simulation informatique) (inspirée de Treuil et al., 2008).

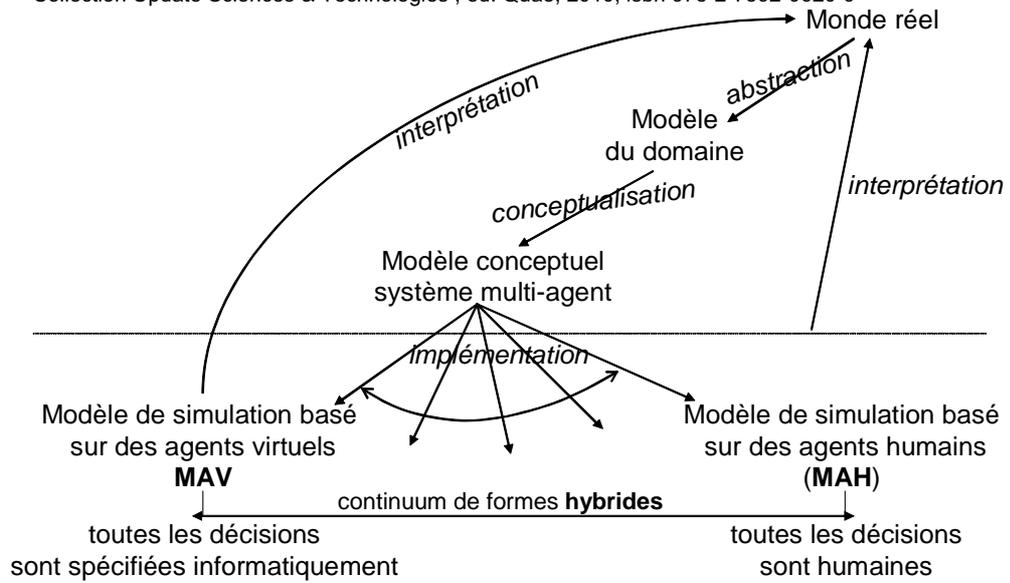


Figure 2. De la réalité à l'implémentation de modèles de simulation basés sur des agents.

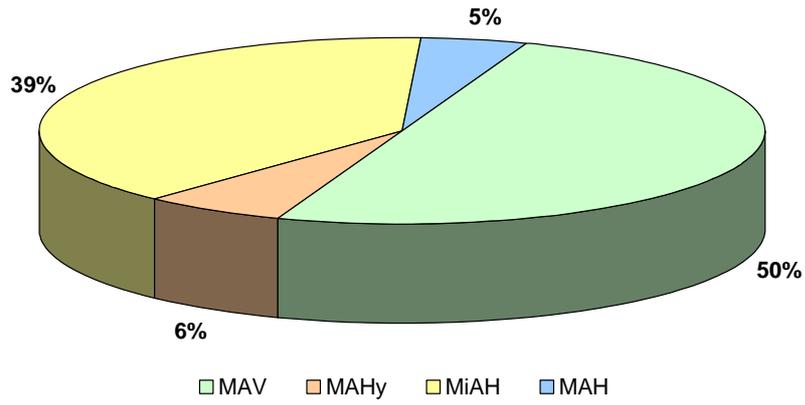


Figure 3 : Proportion des différents types de modèle de simulation dans la mise en œuvre de ComMod (n = 63)

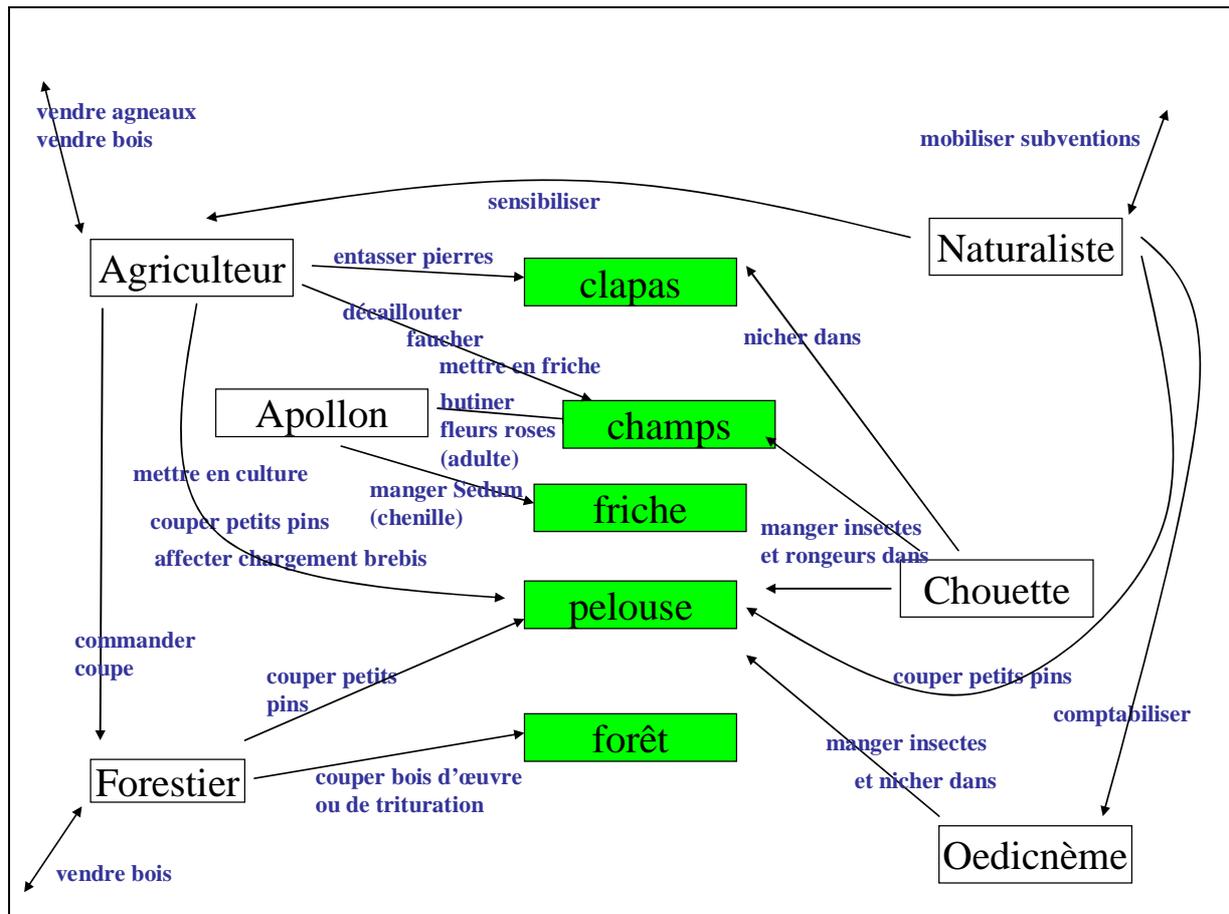


Figure 4. Exemple de diagramme conceptuel donnant à voir le modèle du domaine sous la forme d'entités en relation, sur l'un des cas d'étude, le Causse Méjan.