

**UNIVERSITE MONTPELLIER II
SCIENCES ET TECHNIQUES DU LANGUEDOC**

THESE de DOCTORAT

pour l'obtention du grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE MONTPELLIER II

Discipline : Sciences de l'Eau

Formation Doctorale : Sciences de l'Eau dans l'Environnement Continental

Ecole Doctorale : Sciences de la Terre, de l'Eau et de l'Espace

Présentée par

Nicolas BECU

**IDENTIFICATION ET MODELISATION
DES REPRESENTATIONS DES ACTEURS LOCAUX
POUR LA GESTION DES BASSINS VERSANTS**

Soutenue publiquement le 20 Juin 2006, devant le Jury composé de :

M. Michel Desbordes, Professeur - Université Montpellier II	Président
M. François Bousquet, Chercheur - CIRAD	Directeur de Thèse
M. Alexis Drogoul, Directeur de recherches - IRD	Rapporteur
M. Patrick Le Goulven, Directeur de recherches - IRD	Rapporteur
M. Olivier Barreteau, Chercheur - CEMAGREF	Examineur
M. Luc-André Leclerc, Directeur délégué à l'évaluation - CEMAGREF	Examineur
M. Pascal Perez, Chercheur - CIRAD	Examineur
M. Andrew Walker, Chercheur - Australian National University	Examineur

Remerciements

Je tiens à remercier très chaleureusement les personnes qui m'ont encadré tout au long de cette thèse, François Bousquet, qui a également dirigé la thèse, Olivier Barreteau, Pascal Perez et Andrew Walker. La qualité de leurs conseils, la diversité de leurs regards sur les travaux menés et leur soutien ont grandement contribué à la réalisation de cette thèse.

Un grand merci à Marie Bénédicte pour les moments de bonheur sans cesse partagés qui m'ont apporté l'enthousiasme et le recul nécessaire pour la poursuite de mes travaux de recherche. Merci également à mes parents ainsi qu'à mon frère et à mes sœurs pour m'avoir encouragé tout au long de ma thèse.

Cette thèse ne serait bien sûr rien sans les agriculteurs des villages de Sai Mun et de Buak Jan du Nord Thaïlande et plus particulièrement Po Luang Pradjak, Nong, Pi Thun et son mari ainsi que Pi Lek et sa famille. Au-delà du temps qu'ils m'ont consacré, c'est leur amitié et leur accueil que je voudrais saluer. Merci aussi aux viticulteurs du bassin versant du Taurou pour les discussions passionnées sur les questions d'érosion et de ruissellement.

Je voudrais également remercier Francis Forest qui a eu un rôle clé dans l'initiation de cette thèse et dans mes débuts dans la recherche et à qui je tiens à exprimer ma profonde estime. Je tiens à remercier tous ceux qui ont accompagné mes réflexions sur l'identification et la modélisation des représentations et sur la gestion des bassins versants du Nord Thaïlande : Nils Ferrand, Patrice Garin, Christophe Le Page, Pierre Bommel, William's Daré, Kanjana Chuenpichai, Andreas Neef et les nombreux autres. Nos fructueuses discussions et leurs regards critiques se retrouvent dans cette thèse.

Merci à mes compères du Cemagref de Montpellier Géraldine Abrami et Iana Guenova pour leur amitié et leur appui.

Un grand *Krop Khun Krap* à Jaruwan Saising et Supranee Sungted-Davis pour leur aide précieuse, la qualité de leurs traductions et les fous-rires partagés.

En outre, cette thèse a été soutenue par plusieurs partenaires institutionnels. L'Université de Montpellier II et son Ecole Doctorale « Sciences de la Terre et de l'Eau » en la personne de M. Daignières et M. Desbordes. Le laboratoire Irrigation du Cemagref de Montpellier qui a accueilli cette thèse et où je tiens à remercier Thierry Rieu, Patrice Garin et François Lacroix, lequel m'a également accueilli dans ses bureaux de Paris, ainsi que l'ensemble du personnel

des deux sites. Le Cirad et plus particulièrement l'équipe GEC (département CA) qui a co-encadré la thèse. Merci une nouvelle fois à Francis Forest, ainsi qu'à Christine Casino. L'Office of Highland Development de Chiang Mai qui a été le partenaire local. Mes sincères remerciements à Monsieur Sawasdee. En outre, des démarches, n'ayant malheureusement pas pu aboutir, avaient été engagées pour établir une cotutelle avec l'ANU (Australian National University). Je souhaite remercier toutes les personnes qui ont œuvré pour la mise en place de ce projet et tout particulièrement Andrew Walker qui, du point de vue scientifique, a toujours tenu le rôle de co-directeur de thèse.

Je remercie enfin le Ministère de l'Education Nationale, de la Recherche et de la Technologie qui m'a accordé une allocation de recherche durant les trois premières années de thèse, ainsi que le Farm Management Institute de l'Université d'Hohenheim qui m'a laissé l'opportunité de pouvoir terminer la rédaction de cette thèse tout en étant en poste.

Table des matières

<i>Introduction</i>	7
<i>Partie I : Etat de l'art</i>	11
1. <i>Modélisation des représentations et dynamiques des bassins versants</i>	11
1.1. Points de vue hétérogènes et interactions dans les bassins versants	12
1.2. Les approches de la modélisation participative	14
2. <i>Les approches du concept de représentation</i>	24
2.1. La nature cachée de la représentation	24
2.2. Les théories de la représentation	25
3. <i>Systèmes Multi-Agents et modélisation des représentations</i>	30
3.1. La modélisation des représentations sur la base de théories	32
3.2. La construction participative de modèles développée en modélisation d'accompagnement	40
4. <i>Les techniques de l'ingénierie des connaissances</i>	51
4.1. La démarche de transfert	52
4.2. La démarche modélisatrice	66
4.3. Conclusion	69
<i>Partie II : Problématique</i>	73
5. <i>Problématique</i>	73
5.1. Rappel de la question de thèse	73
5.2. Positionnement et choix techniques	74
5.3. Questionnement de la thèse	78
5.4. Démarche suivie	80
<i>Partie III : Méthodologie</i>	82
6. <i>Démarche générale de la méthodologie</i>	82
6.1. Une méthodologie dirigée par le modèle d'agent	82
6.2. Identification de l'hétérogénéité des représentations	83
6.3. Objectifs coordonnés des phases de la méthodologie	85
7. <i>Méthodologie d'identification et de formalisation des représentations</i>	88
7.1. Technique d'enquête : l'entretien situé	89
7.2. Formalisation des représentations dans les diagrammes EPR	91
7.3. Vérification des représentations à l'aide des Playable Stories	100
8. <i>Méthodologie de modélisation des représentations</i>	118
8.1. Intégration des représentations dans les agents	119
8.2. Couplage des agents avec le modèle biophysique	124

<i>Partie IV : Application et résultats</i>	128
9. Présentation du cas d'étude	129
9.1. Présentation du site d'étude	129
9.2. Les deux villages étudiés	133
9.3. Echantillon d'agriculteurs enquêtés	139
9.4. Thématiques étudiées	140
10. Résultats de l'étape d'identification et de formalisation des représentations	141
10.1. Phase d'enquête	142
10.2. Phase de formalisation	146
10.3. Phase de vérification	155
11. Résultats de l'étape de modélisation des représentations	160
11.1. Le méta-modèle de l'agent-agriculteur	161
11.2. Les différents rôles et stratégies des agents-agriculteurs	163
11.3. Couplage des agents-agriculteurs avec le modèle biophysique	167
11.4. Les modèles de la dynamique biophysique	168
12. Simulations	180
12.1. Paramètres d'initialisation	181
12.2. Vérification et variabilité des résultats de simulation	185
12.3. Stratégies et évolutions des croyances et des comportements	193
12.4. Perceptions hétérogènes et points de vue de l'interface spatiale	210
13. Test du modèle durant des séances de simulations participatives	219
13.1. Protocole d'expérimentation	219
13.2. Résultats de la validation à dire d'acteurs	229
13.3. Résultats de l'usage du modèle pour la concertation	233
13.4. Conclusion	239
<i>Partie V : Discussion</i>	243
14. Utilisation coordonnée des différents outils dans la méthodologie d'ensemble	244
14.1. Les apports de chaque technique pour la méthodologie d'ensemble	244
14.2. L'usage conjugué des différentes techniques	251
15. Utilisation et adaptation des techniques de l'ingénierie des connaissances	263
15.1. Adaptation au cadre « in situ » des bassins versants	263
15.2. Analyse de protocole et formalisme Orienté-Objet	269
15.3. Gestion des points sensibles des techniques de l'ingénierie des connaissances	270
Conclusion générale	274
Bibliographie	283
Annexes	299

Introduction

Gérer un bassin versant, et de manière générale des ressources naturelles, implique de considérer les dynamiques biophysiques des ressources du bassin, ainsi que les usages de ces ressources. Bien souvent, de multiples acteurs se côtoient dans les bassins versants et partagent une même ressource, pour de multiples usages et en des points variés du bassin versant (Allen et al. 2002, van Noordwijk et al. 2001, Heathcote 1998, Mermet 1991). Au travers de leurs usages, ces acteurs agissent sur les dynamiques biophysiques liées à la ressource. En retour, ces dynamiques biophysiques vont influencer les différents usages. Ainsi, le fonctionnement du bassin versant en tant que système, est régi par de multiples interactions opérant entre les usages et les ressources, et entre les différents usagers. A de petites échelles, il est souvent possible de planifier l'usage de la ressource, par exemple par des modèles biophysiques, et de comprendre les comportements d'acteurs et la dynamique des interactions comme savent le faire les approches ethnographiques (Rodríguez et Hammen 1999, Ruf 1994, Tanabe 1994). Néanmoins, lorsque le nombre d'usagers et d'usages augmente, les interactions se multiplient et il devient difficile de maîtriser l'ensemble des implications des comportements individuels. A de grandes échelles, l'outil statistique est alors souvent utilisé comme par exemple pour El-Shaarawi et Piegorsch (2002). Mais entre ces deux échelles, s'insère la sphère des systèmes complexes et des interactions complexes.

Pour ces méso-échelles les chercheurs tendent aujourd'hui à développer des modèles de bassin versant intégrant les dynamiques biophysiques ainsi que les dynamiques d'usage et de gestion locale des ressources. Dans le cas des bassins versants anthropisés, s'ajoute une composante particulière à ces systèmes complexes : la forte structuration spatiale des interactions. La gestion des bassins versants et la planification des ressources et de leurs usages, passent alors par la compréhension et la modélisation des interactions entre les dynamiques biophysiques et les dynamiques sociales. Pour cela il est donc nécessaire de modéliser comment les acteurs locaux (les usagers et les autres acteurs agissant sur la ressource) agissent et se comportent par rapport à la ressource. Les approches économiques considèrent les acteurs locaux des bassins versants et les usagers de la ressource en eau, comme des agents économiques. Leurs comportements sont alors souvent modélisés par des fonctions d'optimisation assorties de différentes contraintes, comme par exemple pour Jakeman et Letcher (2003a). D'autres approches visent en premier lieu à mieux comprendre comment les acteurs locaux se comportent. Certains travaux, comme ceux de Saxena sur la gestion des ressources naturelles dans les écosystèmes himalayens, se basent sur les savoirs villageois afin de mieux comprendre les équilibres société/écosystème et les modes de gestion locaux (Saxena et al. 2001). Ces

travaux mettent en évidence des comportements d'acteurs locaux, vis à vis de la gestion des ressources naturelles, relativement différents de ceux d'un agent économique. Pour Saxena les comportements des acteurs locaux sont le résultat d'une certaine connaissance locale du milieu, ainsi que de croyances par rapport au fonctionnement de ce milieu et par rapport à la gestion de ses ressources. Ces savoirs locaux et ces croyances s'inscrivent dans la représentation que les acteurs se font de la ressource et du système dans lequel ils évoluent.

Bien qu'ayant une vision différente de la nature des représentations, les anthropologues et les chercheurs en sciences cognitives, sont d'accord pour dire que les représentations jouent un rôle important dans les processus décisionnels des individus. Ainsi, pour modéliser les comportements des acteurs locaux d'un bassin versant, il est important de comprendre et d'identifier leurs représentations de la ressource, de sa dynamique et de sa gestion. Afin de simuler l'évolution des comportements d'acteurs en fonction de leur environnement, une approche possible consiste alors à modéliser leurs représentations.

Par ailleurs, dans le cadre de la gestion des bassins versants, la prise en compte des représentations que les acteurs locaux se font de leur système présente un autre intérêt, qui a trait à l'aide à la concertation entre les acteurs. En effet, dans de nombreux bassins versants, les ressources naturelles étant partagées entre des usagers différents et la liberté d'action de la gestion de ces ressources étant de plus en plus étroite, des conflits et des oppositions apparaissent de plus en plus couramment. Face à cela, certaines approches développées dans le domaine de l'aide à la négociation, visent à comprendre et à faire partager entre les acteurs la pluralité de leurs points de vue (Rousseau 2003, Bousquet et al. 1999, Ferrand 1997, Easterbrook 1992). L'hypothèse sous jacente est que chaque acteur a son propre point de vue sur la façon dont la ressource doit être gérée, et que la différence des points de vue peut créer des incompréhensions entre les différents acteurs, et donc par la suite engendrer des conflits. Or le point de vue d'un acteur est fonction de sa représentation du système et de ses intérêts propres par rapport à la gestion de la ressource.

Ainsi, dans un système où différents acteurs sont amenés à gérer ensemble une même ressource, l'identification des représentations de chacun peut aider à mettre en évidence les différences de points de vue par rapport à la gestion de cette ressource, et ainsi s'inscrire dans une démarche d'aide à la concertation. Dans certaines démarches de modélisation participative (et notamment celles dédiées à la gestion des ressources naturelles), le processus de concertation mis en œuvre est également basé sur le partage de la pluralité des points de vue. Les chercheurs se servent alors de l'outil de modélisation pour simuler l'influence des différentes représentations d'acteurs et l'évolution de leurs comportements par rapport à la ressource (Bousquet et Le Page 2004). Au cours de séances de simulations

participatives avec les différents acteurs impliqués, les participants sont alors amenés à partager leurs points de vue, et ce en rapport avec des simulations de l'évolution du système selon différents scénarios.

Dans ce contexte, cette thèse vise à apporter des réponses à la thématique suivante : « la modélisation des représentations des acteurs locaux pour la gestion des bassins versants : quels intérêts et quelles méthodes ? ». La focalisation de cette thèse sur les méthodes permettant de réaliser une modélisation des représentations s'explique par les difficultés méthodologiques auxquelles les chercheurs font face dans ce domaine.

En effet, une première approche pour modéliser les représentations des acteurs locaux, consiste à modéliser les représentations sur la base de théories provenant notamment des sciences cognitives et de la sociologie (Castelfranchi 2001, Conte et Paolucci 2001, Janssen et Jager 2001b, Rouchier et al. 2000). Dans le cadre de la recherche sur les Systèmes Multi-Agents, cette approche a permis de développer des architectures d'agents informatiques qui intègrent la notion de représentation pour simuler des comportements. Ces architectures offrent un cadre théorique pour la modélisation des représentations. Néanmoins, elles ne répondent que partiellement à la question de l'intégration et de l'identification des représentations d'acteurs locaux. Une deuxième approche consiste à modéliser les représentations des acteurs locaux à partir d'observations faites sur le terrain. Cette approche est notamment utilisée dans le cadre de la modélisation d'accompagnement (Barreteau et others 2003) qui est une forme de modélisation et de simulation participative. Cette démarche de modélisation parvient à intégrer les représentations des acteurs locaux dans un modèle en impliquant les acteurs dans la construction du modèle. L'usage de jeux de rôles permet de faire transparaître les représentations des acteurs locaux et ainsi de pouvoir les observer et les caractériser (l'identification et la caractérisation des représentations passent alors par l'observation des actions des participants durant les séances de jeux de rôles et par des compléments d'enquêtes). Néanmoins, il n'existe pas de méthodes formelles permettant de passer de l'observation à la modélisation des représentations. C'est pourquoi, nous avons axé cette thèse sur les aspects méthodologiques permettant de passer de l'observation à la modélisation des représentations.

Afin de traiter la question de thèse, nous avons développé une méthodologie en trois phases successives consistant à identifier, formaliser et modéliser les représentations des acteurs locaux des bassins versants. Les phases d'identification et de formalisation ont d'abord été testées sur un cas d'étude centré sur la vision qu'ont les viticulteurs des problèmes d'érosion et de ruissellement dans un bassin versant de la vallée de l'Orb. Ce test a permis d'identifier certains points sensibles de notre méthodologie afin de les corriger. Une fois la nouvelle

version de la méthodologie mise en place, nous l'avons appliquée dans un bassin versant du Nord Thaïlande, ce qui a abouti à la modélisation des représentations des agriculteurs d'un village de ce bassin versant. Le modèle obtenu a ensuite été utilisé dans le cadre de séances de simulation participative auprès des agriculteurs et des autres acteurs impliqués dans la gestion des ressources naturelles de ce village. Cette expérience a permis de tester l'usage de notre méthodologie dans le cadre d'une démarche participative pour l'aide à la concertation entre différents acteurs.

Bien que la méthodologie ait été élaborée en deux temps (l'application sur l'Orb et l'application dans le Nord Thaïlande), nous présentons, pour la clarté du manuscrit, les trois phases de la méthodologie dans un premier temps, puis les résultats obtenus à chacune de ces phases lors de l'application au Nord Thaïlande. Les résultats obtenus sur la vallée de l'Orb ayant contribué à l'élaboration de la méthodologie, certains d'entre eux sont présentés dans la partie traitant de la méthodologie. Les autres résultats de la vallée de l'Orb sont présentés dans l'annexe 4.

Cette thèse est articulée en cinq parties. Dans la première partie nous présentons l'état de l'art permettant d'étayer la question de thèse. Pour cela nous décrivons tout d'abord les recherches effectuées sur la modélisation des représentations d'acteurs locaux pour l'analyse des bassins versants. Le concept de représentation est ensuite analysé selon différents courants tant anthropologiques que sociocognitifs. Puis, nous traitons les différentes approches de modélisation des représentations dans le domaine des Systèmes Multi-Agents (SMA), outils issus de l'Intelligence Artificielle Distribuée que nous employons dans cette thèse pour la modélisation. Dans le dernier chapitre de cette première partie nous présentons les techniques de l'ingénierie des connaissances qui nous ont permis d'élaborer une méthode formelle d'identification et de formalisation des représentations. L'utilisation conjointe des techniques de l'ingénierie des connaissances, de différentes approches de terrain et de la modélisation multi-agents constitue l'aspect innovant de cette thèse et représente le cœur de la problématique de cette thèse qui est traité dans la deuxième partie. La troisième partie est, elle, consacrée à la méthodologie, elle-même constituée de deux étapes : la première consacrée à l'identification, la formalisation et la vérification, et la deuxième centrée sur la modélisation. Dans la quatrième partie, le cas d'étude du bassin versant du Nord Thaïlande est d'abord présenté, puis les résultats sont décrits selon les étapes méthodologiques. Le test du modèle final auprès des acteurs locaux et ses résultats sont également présentés dans cette partie. Enfin, dans la cinquième partie nous discutons nos deux questions de thèse, l'une ayant trait à l'utilisation conjointe dans une méthodologie d'ensemble de différents outils et techniques tels que les SMA et les techniques d'éllicitation, l'autre étant centrée sur l'adaptation des techniques de l'ingénierie des connaissances dans le contexte des bassins versants.

1. Modélisation des représentations pour l'analyse des dynamiques des bassins versants

Les termes « représentation » et « point de vue » sont des concepts qui reviennent abondamment dans cette thèse. Nous rappelons ci-dessous leur sens commun et ultérieurement nous expliciterons le sens particulier que nous donnons à ces termes dans le cadre de notre application. Une représentation est une forme de connaissance ayant une visée pratique concourante à la construction d'une réalité (source : dictionnaire Larousse). Elle relève de l'idée que se fait une personne sur un objet, un individu ou encore un système, par rapport à son propre référentiel. Ainsi la représentation qu'un acteur a de la ressource et du système dans lequel il évolue relève de l'idée qu'il se fait de la réalité qui l'entoure, et ce en fonction de son savoir et de ses croyances. Un point de vue quant à lui est une manière particulière d'envisager une question, de traiter un sujet, de concevoir quelque chose (source : dictionnaire terminologique du CNRS¹). Il indique une opinion personnelle résultant de la manière d'envisager les choses. Nous proposons dès à présent de lier ces deux notions en suggérant qu'un point de vue est une opinion particulière d'une personne résultant de sa représentation et de ses objectifs, et éventuellement de sa stratégie pour atteindre un but.

Le point de vue est justement le point de départ de cette thèse. Nous soutenons dans le premier chapitre que les bassins versants sont le lieu de multiples points de vue différents et que l'hétérogénéité des points de vue, source de richesse lorsqu'ils sont partagés peut être source de conflit lorsqu'il y a incompréhension du point de vue d'autrui. Cela nous amènera à considérer les représentations des acteurs locaux, explicatives des points de vue selon notre définition, comme point d'entrée pour une modélisation des bassins versants plus explicatives de la diversité des comportements qui y sont rencontrés et des dynamiques sociales façonnant ces systèmes. Dans la suite de ce premier chapitre, nous parcourrons différents types d'applications intégrant la notion de représentation et la diversité des points de vue des acteurs. Néanmoins, si ces tentatives sont intéressantes, elles ne se posent pas directement la question de la modélisation de la représentation. Pour cela il nous faudra tout d'abord expliciter le concept de représentation et les différentes approches possibles pour sa modélisation dans le chapitre 2. Les chapitres 3 et 4 seront eux consacrés aux techniques dont nous aurons besoin pour procéder à la modélisation des représentations. Le chapitre 3

¹ Trésors de la Langue Française : <http://www.atilf.fr/tlfi.htm>

est axé sur la modélisation multi-agents, tandis que le chapitre 4 est lui consacré aux techniques de l'ingénierie des connaissances à partir desquelles nous chercherons à établir une méthode d'identification et de formalisation des représentations basée sur la notion d'élicitation.

1.1. *Points de vue hétérogènes et interactions dans les bassins versants*

Dans le Nord Thaïlande comme ailleurs, les bassins versants sont multifonctionnels et font intervenir une diversité d'acteurs venant d'horizons différents. Les intérêts et objectifs de ces différents acteurs quant au bassin versant varient.

Une première fonction des bassins versants dans le Nord Thaïlande est la production agricole. Les populations rurales traditionnellement agricoles produisent une variété de produits pour leur propre consommation et la vente sur les marchés locaux. Déjà au sein de ces populations agricoles, différents types d'exploitations peuvent être identifiés. Ainsi, si l'on suit les démarches classiques d'analyse des exploitations agricoles notamment utilisées par les économistes et les agronomes, l'analyse des caractéristiques d'exploitations révèle des dissemblances. Par exemple, les exploitations de grandes tailles ne poursuivent pas les mêmes stratégies que les petites exploitations. L'âge du chef d'exploitation est également un facteur discriminant permettant d'expliquer une vision à long terme des objectifs d'exploitations ou inversement. L'intégration plus explicite des objectifs et des contraintes de chacun des usagers permet d'obtenir de meilleures prévisions quant aux réactions des usagers aux diverses mesures mises en œuvre, en pratique par les décideurs. Ainsi, en agriculture, l'hétérogénéité des contraintes financières et de main d'œuvre des agriculteurs, leurs perceptions ainsi que les réseaux de communications importent (Rogers 1995, Mermet 1991).

Certains chercheurs en sciences sociales s'intéressent à cette diversité sous un autre angle. Ils caractérisent les exploitants agricoles par leur attitude, voire leur caractère, résultat de l'environnement social, de l'éducation et des expériences vécues par les individus. Il apparaît alors que les caractéristiques propres de chacune de ces exploitations agricoles entraînent un point de vue particulier sur le fonctionnement de l'exploitation mais également sur la place de l'exploitation par rapport à son environnement. Les anthropologues qui se sont intéressés aux connaissances des communautés rurales distinguent différentes formes de connaissances et de façons de se représenter le monde parmi ces populations (Bentley et Baker 2005).

Ces différentes visions de l'environnement sont d'autant plus disparates dans le cas du Nord Thaïlande où des populations rurales d'origines culturelles différentes se côtoient et exploitent les ressources des bassins (Becu et Perez 2004, Walker 2001, Cooper 1984). Ces groupes sont d'une part, les Thaï d'origine qui vivent et produisent plutôt dans les fonds de

vallées et d'autre part les ethnies minoritaires (selon le terme employé dans la littérature sur le Nord Thaïlande), constituées entre autres de populations Karen, Hmong, Akha, Lahu et Lisu. Ces dernières se sont à l'origine installées dans les hauteurs des bassins versants (l'immigration s'est étalée de la fin du XIX^{ème} siècle jusque dans les années 1970) et sont perçues encore aujourd'hui comme des peuples de montagne pratiquant une agriculture d'abattis-brûlis responsable de la déforestation des bassins versants (Krairapanond et Atkinson 1998, Rigg 1995, Kanok et Benjavan 1994, Tanabe 1994, Cooper 1984) alors que leurs systèmes agricoles se sont radicalement transformés et que certains groupes pratiquent aujourd'hui une agriculture quasi-similaire à celle des Thaï d'origine (Walker 2004, 2003, Delang 2002, Fox et al. 2000).

En outre, la problématique de la déforestation et de la conservation des ressources naturelles dans le Nord Thaïlande démontre la divergence des vues et des intérêts existant entre les différents types d'acteurs impliqués dans la gestion des bassins versants. Le Royal Forest Department (RFD) considère l'amont des bassins versants comme des zones de production d'eau pour les vallées ; fonction antagoniste selon le RFD avec l'agriculture pratiquée par les ethnies minoritaires. Le Land Development Department (LDD) quant à lui voit l'agriculture des versants comme la source d'une érosion des sols grandissante et la conséquence d'une intensification agricole due aux intérêts mercantiles et au comportement non-respectueux de l'environnement de certains agriculteurs (en particulier ceux d'origines Hmong). Enfin le Royal Project Foundation (RPF) a pour objectif l'aide au développement des populations agricoles les plus défavorisées via des activités de vulgarisation et inclut depuis les années 1990 des programmes de soutien pour une gestion durable des ressources naturelles.

Au-delà de cette hétérogénéité de représentations, les bassins versants sont également le lieu de multiples interactions entre les usagers et la ressource. Pour comprendre cette complexité, l'outil de modélisation est souvent privilégié, et plus précisément les modèles dits « intégrés ». Ces modèles associent des outils et des approches venant de différents domaines scientifiques (économie, hydrologie, agronomie, sociologie ou encore anthropologie,...) afin d'analyser les interactions qui ont lieu entre les composantes de ces systèmes. Les interactions représentées sont autant du domaine biophysique (e.g. interactions entre le cycle de l'eau et l'occupation du sol) que sur les usages (e.g. interactions entre l'offre et la demande en eau au travers de la relation amont-aval), le tout étant lié. Ainsi, les changements d'occupation du sol par exemple modifient les processus hydrologiques tels que l'évapotranspiration et la recharge des nappes qui à leur tour vont avoir un impact sur les usages futurs des sols. Il s'agit donc pour ces modèles, d'intégrer les différents processus biophysiques qui régissent la dynamique des ressources mais aussi de modéliser les interactions entre ces ressources et leurs usages.

En outre ces interactions, qui ont une forte structuration spatiale dans les bassins versants, sont également à mettre en relation avec les différences de points de vue entre les usagers. Les conflits liés au partage de l'eau entre les usagers à l'amont et ceux à l'aval des bassins versants dans le Nord Thaïlande sont particulièrement marquants (Neef et al. 2004, Prabudhanitisarn et al. 2002a, Waranoot et Bengtsson 1996, Charoenmuang 1994). Walker décrit le cas du bassin versant de Mae Uam où l'accroissement des manques d'eau qui sont devenus de plus en plus courants dans ces régions, serait dû plutôt à une augmentation de la demande en aval qu'à une diminution de l'offre (Walker 2003). Or ce discours est à l'inverse des perceptions locales. Les agriculteurs d'origines Thaï des zones aval, souvent encouragés ou influencés par les institutions et les médias, estiment que la responsabilité doit être attribuée aux agriculteurs des zones amont, appartenant aux diverses minorités ethniques, et à leurs pratiques agricoles trop intensives et sources de déforestation (Pinkaw 1998). Cet exemple témoigne assez bien des problèmes que posent les interactions existant entre ces populations d'origines différentes ayant des points de vue particuliers sur le fonctionnement et les dynamiques du bassin versant.

Ainsi, si cette thèse vise la prise en compte des représentations d'acteurs pour conceptualiser les comportements, elle s'inscrit également dans des démarches plus participatives où la compréhension et l'explicitation des points de vue permettent d'aborder les conflits quant à la gestion des ressources naturelles sous un angle différent. Notre sujet d'étude étant le bassin versant anthropisé et sa complexité intrinsèque liée aux multiples interactions qui le régissent, c'est donc vers les outils de modélisation des bassins versants et plus particulièrement les outils de modélisation participative que nous nous sommes orientés. C'est en effet dans la littérature de la modélisation participative que nous avons trouvé le plus de tentatives de modélisations des représentations².

1.2. Les approches de la modélisation participative

La modélisation participative s'inscrit dans des démarches prenant explicitement en compte le point de vue des acteurs pour promouvoir la réflexion collective et favoriser la compréhension des points de vue des autres entre différents acteurs liés par un enjeu commun (Bousquet et al. 2005, Rousseau 2003, Ferrand 1997, Mermet 1992). L'objectif poursuivi par ces démarches est le support à la décision collective, éventuellement la recherche de consensus, dans un contexte où les points de vue et les intérêts des acteurs en jeu divergent. Par rapport à des démarches participatives pour la résolution de conflits

² L'exception étant à notre connaissance les tentatives en « *indigenous modelling* » pour lesquelles la modélisation des représentations a pour but la validation de théories sociologiques ou anthropologiques.

plus classiques, la modélisation participative fait appel aux outils de modélisation pour promouvoir l'utilisation de la démarche dans le cas de systèmes complexes³ et/ou explorer avec les acteurs en jeu la dynamique du système et son évolution dans le temps (dans ce type de cas les outils de simulation sont privilégiés). Ces approches sont également des tentatives de transfert de nouvelles technologies venues de la recherche auprès des acteurs locaux.

Les expériences de modélisation participatives ne sont pas très nombreuses. Nous avons choisi de nous intéresser à une série d'expériences parmi lesquelles nous avons inclus les approches spatiales et les SIG (Système d'Information Géographique) participatifs (Abbot et al. 1998) dont les applications dans le domaine de la gestion des ressources naturelles sont riches d'enseignements. Nous nous intéressons également à des applications s'inspirant du concept de modèle mental permettant de mieux comprendre et de comparer les différences de points de vue entre les acteurs. Nous présentons également quelques expériences utilisant des outils de simulations. Dans ce paragraphe nous évoquons l'approche de la modélisation d'accompagnement – une approche de modélisation participative utilisant les Systèmes Multi-agents et les jeux de rôles – de manière succincte. Nous reviendrons sur cette approche au chapitre 3 qui est consacré exclusivement à la modélisation multi-agents, et ce afin d'explicitier le rôle central que la modélisation d'accompagnement joue dans cette thèse.

1.2.1. Approches spatiales et SIG participatifs

Dans le domaine de la géographie, les chercheurs distinguent les représentations spatiales internes des représentations spatiales externes. Les premières sont considérées comme des modèles mentaux, socialement construits, et utilisés pour les raisonnements menant à une décision d'action (Maurel 2001). Downs et Stea s'y intéressent par exemple pour étudier l'action de se représenter l'espace qu'ils définissent comme « l'abstraction de ce qui regroupe les aptitudes cognitives et mentales qui nous permettent de collecter, organiser, mémoriser, se rappeler et manipuler les informations de notre environnement spatial » (Downs et Stea 1977). Les représentations spatiales externes sont quant à elles des objets physiques et des modèles de l'espace tels que les cartes, les croquis (Dorel 1997), les cartes des SIG (Système d'Information Géographique) ou les chorèmes⁴ (Brunet 1986).

³ Nous définissons le système complexe comme un ensemble d'entités en interaction entre elles et/ou avec l'extérieur. Le système et ses interactions évoluent en fonction de son état et de perturbations extérieures. Le système est dit complexe car sa dynamique résultant de ces interactions est telle qu'il n'est pas possible de l'expliquer par un système de causalité.

⁴ Un chorème est un schéma souvent abstrait des structures et des processus d'un espace donné.

Nous décrivons ci-dessous deux types d'applications, l'un étant le zonage à dire d'acteurs et l'autre étant les SIG participatifs.

a) Zone à dire d'acteurs

Le zonage à dire d'acteurs consiste à demander à différents groupes d'acteurs de réaliser des croquis ou des cartes situant les différentes entités physiques ou sociales (il peut également s'agir d'enjeux) dans un espace donné. Ces croquis ou ces cartes sont ensuite comparés afin d'engager une discussion au sujet des enjeux étudiés.

Barreteau et al. ont par exemple cherché à identifier les références spatiales et sociales des acteurs du bassin versant de l'Orb⁵ (Barreteau et al. 2002). Pour cela ils ont demandé aux acteurs de répondre à un entretien à questions ouvertes en dessinant un croquis du bassin versant (Brunet 2000). La première question demandait de déterminer les contours de la zone en les dessinant sur une feuille de papier blanc, et la deuxième consistait à déterminer les différentes zones de gestion relatives aux enjeux étudiés. La réalisation de ces croquis a permis d'identifier la perception des acteurs des lieux et des interactions spatiales liés aux enjeux. Les différents croquis réalisés ont ensuite été comparés avec la participation des acteurs et ont permis d'identifier les lieux d'interactions entre acteurs et les principaux conflits liés à l'espace tels que dans les relations amont-aval ou les relations de voisinage.

Cette méthodologie peut être enrichie par des tours de plumes préalables à la réalisation des croquis (Clouet 2001) ou par la réalisation d'une carte commune à la fin du processus (Caron 2001). Néanmoins le principe du zonage à dire d'acteurs reste toujours le même : identifier les différentes représentations spatiales internes des acteurs afin de matérialiser leurs différences de points de vue, et c'est l'hétérogénéité des représentations et leurs différences qui enrichissent et facilitent la discussion entre les acteurs.

b) SIG participatifs

Se rapprochant plus des outils de modélisation et des nouvelles technologies de l'information, le champ dit des SIG participatifs offre des possibilités d'utilisations élargies s'étendant au domaine de la vulgarisation pour l'aménagement rural (ESSC et CBFMO 1998).

Les SIG participatifs exploitent les capacités intégratives, analytiques et génératrices de cartes des SIG pour faciliter l'apprentissage collectif au sein d'un groupe d'acteurs regroupés autour d'un enjeu donné (Gonzalez 2000, Abbot, et al. 1998). Gonzalez par exemple utilise la technologie SIG pour stocker des données et construire des cartes indiquant le

⁵ Les références spatiales sont les appréhensions de l'espace par une personne alors que les références sociales sont liées aux stratégies adoptées par un individu face à son environnement spatial et à ses relations spatiales aux autres individus.

découpage des zones de gestion traditionnelles de l'eau dans les bassins des Ifuagos au nord des Philippines (Gonzalez 2000). Ces informations ont ensuite été recoupées avec des données techniques et les découpages administratifs de la région pour, au cours de séances participatives, en déduire des stratégies de gestion et de partage des rôles et des tâches entre les différents acteurs en jeu (communautés locales, institutions locales et provinciales etc.). Si l'usage des SIG offre des possibilités analytiques plus développées que les cartes ou les croquis, le principe reste encore une fois ici celui de l'explicitation des points de vue des différentes communautés et leur utilisation est dédiée à la médiation et à la décision collective et non pas à la prescription d'un modèle comme le souligne Cockes et Ive (1996). En outre dans des applications similaires comme celles de la réalisation de maquettes 3D du territoire par les acteurs locaux, les chercheurs constatent que le changement de perspective induit par l'outil offre aux acteurs locaux une vue plus large (spatialement) du système et de ses enjeux leur permettant de définir des stratégies de gestion plus intégrées (Puginier 2005, Ramdaldi et Callosa-Tarr 2005).

McKinnon indique également que les SIG participatifs établissent une transparence et une articulation des enjeux et des problèmes permettant leurs partages sous une forme qui satisfait autant les décideurs (les SIG étant des outils aujourd'hui bien acceptés par ces derniers) que les agriculteurs⁶ (McKinnon 2005). Cette transposition des savoirs locaux dans l'arène publique est alors à la fois un processus de consultation ascendant et un support à la décision collective (Ramdaldi et Callosa-Tarr 2005, Abbot, et al. 1998, Fox 1998). Néanmoins, ces auteurs soulignent également que la réalisation de cartes peut avoir tendance à détruire la nature parfois évasive mais flexible des délimitations spatiales et à rendre publique des informations confidentielles ce qui peut poser problème et engendrer des rapports de forces non désirables entre les différents acteurs (Abbot, et al. 1998, Fox 1998).

Ainsi ces approches spatiales de modélisation participatives reposent sur l'établissement d'une compréhension et d'une réflexion partagée du système. La participation des acteurs intervient soit durant la construction du modèle soit lors de son utilisation. Nous avons vu qu'une telle démarche pose le problème de la légitimité du modèle et de sa mise en place ; aspect sur lequel nous reviendrons dans la conclusion de cette thèse. La notion d'espace dans ces applications sert de référence pour la comparaison des représentations mais nous allons voir dans les applications qui suivent que ce type de démarche peut s'abstraire d'une telle référence pour aborder plus en profondeur les différences existant dans la façon de se

⁶ Dans son expérience, McKinnon constate que les cartes SIG sont bien acceptées et comprises par les agriculteurs des zones rurales reculées d'Asie du sud-est auprès de qui il travaille.

représenter le fonctionnement du système et leurs liens avec les processus de prises de décisions individuelles.

1.2.2. Démarches pour explorer les modèles mentaux

Les modèles mentaux que nous étudierons plus en détail à la section 2.2.2 se rapportent à la façon dont les personnes se représentent l'état d'un système et son fonctionnement. L'étude des modèles mentaux a fait l'objet de nombreuses recherches que nous introduirons plus loin dans cette thèse. Dans ce chapitre nous souhaitons présenter deux applications directement liées à notre contexte d'étude. La première propose une méthodologie de terrain pour transposer des techniques venues des sciences cognitives et de l'ingénierie des connaissances au domaine de l'aménagement du territoire. La deuxième basée sur l'utilisation des cartes cognitives montre comment la construction participative de modèles permet d'enrichir à la fois le modèle final et le processus de concertation qui l'accompagne.

a) Une méthodologie de terrain pour l'identification des modèles mentaux

Dans le cadre d'un enjeu sur la gestion des zones de brousses et de pâturages australiennes impliquant différents groupes d'acteurs (éleveurs, gestionnaires, vulgarisateurs, chercheurs) Ross et Abel ont développé une méthodologie permettant d'éliciter les modèles mentaux de ces acteurs afin de les utiliser en aide à la concertation et à la négociation (Abel et al. 1998, Ross et Abel 1998). Nous reviendrons sur la notion d'élicitation au chapitre 4 et pour l'instant nous l'assimilons à la notion d'identification.

Leur méthodologie repose sur les fondements théoriques des modèles mentaux dont l'hypothèse est que « *les individus peuvent créer des modèles mentaux des processus physiques pour s'expliquer comment une chose fonctionne et opère en pratique* » (Johnson-Laird 1983). Sur cette base ils considèrent qu'un modèle mental peut être représenté par un ensemble de concepts reliés entre eux ; et que des affirmations du type « si, alors » révèlent la pensée d'une personne à propos du fonctionnement d'un processus (Abel 1998).

L'originalité de ce travail réside notamment dans la façon dont Abel et Ross ont adapté les techniques d'enquêtes utilisées en ingénierie des connaissances aux conditions particulières de leur application. La question était centrée sur la perception des différents acteurs des enjeux et des dynamiques environnementales dans les zones de bush. Pour ce faire ces chercheurs ont procédé à des entretiens individuels, menés sur le terrain, au cours desquels ils parcouraient la zone d'étude selon une section transversale. Différents points d'arrêt étaient prédéterminés à des endroits stratégiques de la zone (d'où l'on pouvait observer différents processus naturels relatifs à l'étude menée) et à chaque point d'arrêt les mêmes questions étaient posées. Les questions étaient du type « que se passe-t-il ici ? » mais, du fait qu'ils se déplaçaient, les questions étaient spécifiques au paysage environnant. En outre, du fait que les entretiens se déroulaient en plein air et pour éviter les réticences des

personnes interrogées, l'usage du magnétophone a été écarté et remplacé par une technique de prise de notes rapide « mot à mot » à laquelle les enquêteurs se sont entraînés au préalable.

Par la suite les transcriptions d'entretiens ont été analysées à l'aide d'une grille de codage ressemblant à celles utilisées en analyse de protocole (technique que nous détaillerons dans la section 4.1.3 et que nous utiliserons également dans notre méthodologie) et des diagrammes d'influences pour chaque groupe d'acteurs ont été établis. Ces diagrammes, qui peuvent être assimilés à des cartes cognitives, indiquent les éléments de l'écosystème perçus et les processus naturels qui les lient, toujours selon la vision de chacun des groupes d'acteurs. L'utilisation de ces diagrammes ressemble ensuite à ce que nous avons vu dans les applications précédentes. Les diagrammes des différents groupes d'acteurs sont comparés et permettent d'identifier les points de désaccord ainsi que les différences de connaissances entre les groupes d'acteurs (par exemple lorsque le diagramme d'un des groupes décrit un processus particulier non présent dans ceux des autres groupes).

Outre, l'intérêt d'aborder directement les modèles mentaux des acteurs, les travaux d'Abel et Ross ont démontré que l'on pouvait identifier et modéliser l'hétérogénéité des représentations d'acteurs dans un contexte de terrain (« in situ ») en s'appuyant sur des techniques formelles provenant notamment de l'ingénierie des connaissances. Cet aspect est un point central de cette thèse car comme nous le verrons les techniques de l'ingénierie des connaissances sont généralement utilisées auprès d'experts dans des environnements contrôlés et restreints tant spatialement que dans l'étendue des processus considérés. La question est alors la transposition de ces techniques dans le contexte « in situ » des bassins versants.

Mais nous allons voir auparavant comment ces diagrammes des modèles mentaux abordent la complexité des systèmes.

b) La construction participative de cartes cognitives

Les cartes cognitives sont des diagrammes représentant des réseaux constitués de nœuds et de liens (Axelrod 1976, Wrightson 1976, Downs et Stea 1973). Elles schématisent comment les connaissances, les croyances ou les concepts sont reliés entre eux dans la représentation qu'une personne se fait d'un objet, d'une situation ou d'un problème (Ehlinger 1996). Les nœuds représentent des concepts, des idées, des causes, ou des conséquences et les liens entre ces nœuds, pouvant être des flèches, représentent les relations entre ces concepts. Il existe différents types de cartes cognitives suivant ce que l'on choisit de représenter dans les nœuds ; le plus courant étant les cartes causales où l'on représente les liens de causalité entre les nœuds (causes-conséquences). Les cartes causales permettent d'explorer l'action et sont réputées pour être les plus adéquates pour décrire la décision

(Chaib-draa 2002). Un des pionniers dans l'utilisation de ces modèles est Axelrod, il utilisa les cartes cognitives pour décrire comment les décideurs politiques prenaient leurs décisions afin de les aider à améliorer leur gouvernance et leurs prises de décisions (Axelrod 1976). Aujourd'hui, les cartes cognitives sont utilisées dans de nombreux domaines tels que le business, le management (Fiol et Huff 1992), le design ou encore les sciences de l'administration et servent de support à la gestion et à la décision.

Certaines utilisations des cartes cognitives démontrent l'intérêt de la construction participative de modèles pour l'aide à la décision. Dans ces applications, la carte cognitive est faite simultanément au cours de l'entretien permettant d'acquérir les informations nécessaires à sa construction, et donc devant les yeux de la personne dont le modèle mental est schématisé par la carte. C'est ce que réalise Bougon avec une technique d'entretien qui consiste à laisser la personne dont on réalise la carte cognitive, s'interroger elle-même (Bougon 1983) sur sa propre logique de décision et à se poser de nouvelles questions qui permettront de poursuivre la réalisation de la carte. Cette méthode permet de capturer toute la richesse de la perception de l'individu et de diminuer l'influence du facilitateur. Néanmoins, le processus consistant à ce que les participants s'interrogent eux-mêmes est parfois difficile à mettre en place et est sujet à certaines réticences de la part des participants (Ambrosini et Bowman 1999).

Cette méthode de construction participative s'accorde bien avec la technique de réalisation de la carte elle-même. En effet, les cartes cognitives sont généralement construites au fur et à mesure en partant de l'identification des nœuds d'ancrages jusqu'aux nœuds terminaux qui sont respectivement, dans le cas des cartes causales, les causes premières de l'action et les buts à atteindre (Laukkanen 2000). Les liens entre concepts (nœuds) sont identifiés au cours du processus et peuvent être fléchés et caractérisés par un attribut définissant la nature de la relation causale (positif, négatif, neutre). Dans les démarches non participatives de construction de cartes cognitives, les informations identifiant les nœuds et les liens sont extraites de documents écrits pouvant être des rapports ou des transcriptions d'entretiens. Néanmoins, cette phase d'identification est cruciale car l'analyste doit examiner le contenu du texte mais également sa structure. Le résultat dépendra alors de sa compétence à interpréter correctement les données et des risques d'erreurs d'interprétation importants existent (Edkins 1998). La méthode de construction participative de la carte quant à elle, évite ou tend à diminuer de telles erreurs d'interprétations du fait du rôle moindre de l'analyste.

La réalisation de cartes cognitives est donc un moyen de représenter, de structurer, d'explorer et de communiquer à propos de la complexité d'un système entre différentes personnes, et ainsi de faciliter la négociation ou la décision à propos de ce système (Rodhain 1999, Edkins 1998, Fiol et Huff 1992). Une fois une carte cognitive construite, sa

lecture linéaire indique le cheminement de pensée qui permet à la personne, dans le cas d'une carte causale, d'atteindre un but par rapport à une situation initiale. Le réseau de nœuds et de liens permet de comparer différentes manières d'atteindre un but ou encore d'identifier des argumentations circulaires représentant des cercles vicieux dont les effets peuvent être positifs ou négatifs (Bougon 1983).

Nous venons de voir comment des méthodes formelles d'identification des représentations et des modèles mentaux de personnes permettaient de comparer différentes façons d'entrevoir un système. La méthodologie d'Abel et Ross indique que de telles techniques sont applicables auprès d'acteurs d'un territoire donné et montre le lien existant entre les représentations de ces acteurs et leur environnement immédiat. Les démarches de construction participative de cartes cognitives démontrent l'enrichissement du processus d'identification et la diminution des biais d'interprétation résultant d'une telle approche. Les modèles conceptuels que nous venons de présenter se rapportent aux représentations que des acteurs se font des dynamiques du système et ne se limitent plus à la perception d'un état du système ou de ses enjeux comme cela peut être le cas dans l'utilisation des SIG participatifs. Néanmoins, les systèmes qui nous intéressent ici, les bassins versants, sont complexes par les nombreuses interactions qui les composent mais également du fait qu'ils sont en perpétuelle évolution. A cela, les outils de simulation permettent d'apporter une solution. En simulant l'évolution des processus biophysiques d'un bassin versant et en y intégrant les différentes représentations de ses acteurs, les outils de simulation offrent la possibilité d'analyser comment différentes représentations influencent les comportements d'acteurs en fonction de l'évolution du système.

1.2.3. Les outils de simulations

L'apprentissage collectif et le support à la décision collective sont les usages courants de la modélisation participative. Le développement et l'usage des outils de simulations comportent différentes phases que nous avons résumées ici à la construction du modèle proprement dit ; elle commence par la conception du modèle conceptuel, se poursuit par son implémentation, le choix et le développement de scénarios (scénarios d'exploration de la dynamique du système et scénarios de gestion) et l'analyse des résultats de simulations produits. La participation des acteurs du système étudié peut alors se faire à ces différents stades. Par exemple le développement du modèle RAINS (regional air pollution information and simulation model) qui est devenu un standard international pour l'aide à la gouvernance en rapport avec la pollution de l'air (IIASA 1999) a été réalisé en participation avec des experts du domaine et des décideurs politiques. La participation d'acteurs variés dans le cas du modèle QUEST (Quite Useful Ecosystem Scenario Tool), logiciel informatique qui

s'apparente à un jeu pour l'apprentissage des stratégies de gestion des écosystèmes, est particulièrement centrée sur le choix et la conception de scénarios.

Le statut de la participation dans ces travaux de modélisation a d'abord eu pour intérêt d'accroître la pertinence des modèles par rapport à leurs usages futurs et de faciliter leur acceptation par les utilisateurs (Alcamo et al. 1996, Costanza et Ruth 1996, Van Asselt 1994). Plus tard, ces approches ont également été reconnues comme un moyen d'enrichir le modèle par l'apport de connaissances pratiques et expertes du système étudié (Van der Sluijs et Kloprogge 2000)

L'approche proposée par Costanza et Ruth, qui utilisent le logiciel de simulation de dynamiques non-linéaires STELLA, voit la participation des acteurs se faire à tous les stades du processus (Costanza et Ruth 1998). Dans une première étape, différents groupes d'acteurs sont invités à définir collectivement la structure du modèle et les processus qui seront implémentés. Puis au cours du développement du modèle informatique proprement dit, des réunions sont organisées avec les acteurs afin d'assurer le suivi du projet et de maintenir le lien entre les acteurs et le modèle qui tend à se complexifier. La troisième étape de construction participative du modèle est centrée sur l'identification de scénarios et d'options de gestion sur la base des résultats obtenus durant le processus. Le but recherché par Costanza et Ruth est la construction d'un consensus pour l'aide à la décision collective (Costanza et Ruth 1998). Les représentations des différents groupes d'acteurs sont partagées durant l'étape d'établissement du modèle conceptuel et les discussions sont orientées par les animateurs vers la définition d'un modèle et d'une vision consensuelle du système et de ses dynamiques.

Ainsi, dans ces applications l'outil de simulation est utilisé pour imiter les dynamiques des systèmes complexes. Il sert de support à la discussion en simulant la réponse du système à des décisions et des stratégies de gestion qu'envisagent les participants (Van Asselt et al. 2001a). Il amène également les participants à prendre du recul par rapport aux évolutions possibles du système et à adopter une vision globale du système (Vennix et al. 1996). Le modèle prend alors le statut d'un dispositif de consultation ou encore d'un outil de transposition d'accords négociés entre les participants en un « nouvel état du monde » (Van Asselt et al. 2001b). Il supporte et accompagne la discussion mais ne la dirige pas. Une focalisation trop importante sur le modèle peut bloquer la créativité et la réflexion prospective dans les échanges entre les participants. Le rôle de l'outil de simulation doit rester celui d'un outil permettant de décrire une situation réaliste offrant suffisamment de profondeur pour inspirer les participants, susciter leur intérêt et leur réflexion et les inviter à jouer leur rôle de partie prenante.

Dans une communication de 2001, Van Asselt anticipait que les processus de modélisation participative et plus généralement les approches participatives allaient devenir de plus en

plus multi-acteurs pour des usages en décision collective et s'orienter vers des modes de décision ascendants qui supplanteraient le schéma traditionnel de la décision verticale descendante (Van Asselt 2001).

Les démarches de la modélisation d'accompagnement promues par le groupe ComMod (Barreteau et others 2003) s'orientent vers cette voie. Dans ces démarches, l'utilisation des Systèmes Multi-Agents (SMA) comme outil de modélisation et de simulation est privilégiée et le processus participatif est basé sur la construction d'une représentation partagée. La démarche passe par (1) la modélisation de l'hétérogénéité des représentations que se font les acteurs de leur système physique et social, ce qui permet (2) la création d'une représentation partagée lors d'ateliers de travail réunissant l'ensemble des acteurs autour du modèle multi-agents développé, et (3) fournit ainsi un objet commun aux acteurs sur la base de laquelle des négociations et des décisions collectives peuvent être engagées.

Si les étapes deux et trois, relevant du processus participatif, peuvent être étudiées et atteintes par d'autres outils tels que le zonage à dire d'acteurs, les SIG participatifs (Gonzalez 2000, Abbot, et al. 1998) ou les cartes cognitives par exemple, la spécificité des SMA dans ce processus réside dans la simulation des interactions. En effet, contrairement aux autres outils cités plus haut, les SMA sont des modèles permettant de simuler les interactions entre les dynamiques physiques et les dynamiques sociales ainsi que les interactions au sein de chacune de ces composantes. Via la simulation, le modèle permet d'explorer, de manière interactive avec les acteurs, l'évolution du système selon certaines hypothèses, et la viabilité des interactions dans le cadre de différents scénarios. Ainsi, le modèle n'est plus seulement une représentation de la situation à un moment donné, mais un outil permettant d'explorer les dynamiques résultant d'une situation initiale.

Les objectifs, le processus et la mise en application de la modélisation d'accompagnement seront étudiés plus en détail dans la section 3.2. Nous retiendrons à ce stade qu'il s'agit d'accompagner les acteurs vers une gestion commune d'un système complexe comportant de multiples interactions telles que celles constatées dans un bassin versant, en passant par un partage des représentations sur la base d'outils de simulations permettant d'explorer collectivement différents scénarios. Nous verrons alors que la mise en place d'une telle démarche, qui requiert par ailleurs une réelle implication des différents acteurs et une durée plus importante que des démarches participatives plus classiques, pose un certain nombre de problèmes liés notamment à l'identification des représentations d'acteurs et à leur transposition dans le modèle informatique.

Ces tentatives de modélisation d'accompagnement laissent entrevoir des apports intéressants pour la gestion de bassins versants mettant en jeu différents types d'acteurs. Les intérêts potentiels de ces approches participatives peuvent être synthétisés ainsi :

- L'apport de nouvelles connaissances et de perspectives incite les différents acteurs à réfléchir sur leur système et sur leurs interactions avec les autres et avec l'environnement naturel.
- La démarche et le modèle favorisent la compréhension du point de vue des autres et les encouragent à prendre en compte des points de vue différents dans leur réflexion sur leur système.
- Le processus de création d'une représentation partagée et l'outil de simulation favorisent la définition d'une gestion commune où les intérêts des différents acteurs sont potentiellement considérés.

Différentes applications sont d'ailleurs en cours à l'échelle du bassin versant (Barnaud et al. 2005). La plus proche de notre contexte de recherche est celle menée par Promburon (2004) dans un bassin versant du Nord Thaïlande auprès d'agriculteurs et d'acteurs institutionnels thaïlandais tels que le LDD et le RFD dont nous avons souligné l'importance au début de ce chapitre. La modélisation participative et les Systèmes Multi-Agents sont bien adaptés à la prise en compte des représentations hétérogènes et c'est pourquoi nous avons axé nos recherches sur ces démarches et ces outils.

2. Les approches du concept de représentation

Le concept de représentation n'est pas universellement défini. Il est, en réalité, souvent sujet à des controverses et à des incompréhensions entre chercheurs de différentes disciplines (Lauriol 1994). Plusieurs théories et définitions du concept de représentation ont été proposées.

Dans ce chapitre, nous mettons en lumière le fait que la nature d'une représentation est telle qu'il n'est pas possible pour une personne d'exprimer et de décrire sa représentation du monde de manière explicite, au même titre qu'elle le ferait pour expliquer, par exemple, ses objectifs ou ses stratégies. Cela nous amène à tenter de définir plus précisément ce qu'est une représentation au travers d'un aperçu, non exhaustif, de différentes approches du concept de représentation. Dans cette synthèse nous cherchons à préciser comment une modélisation des représentations se place par rapport aux différentes théories existantes et quels sont les éléments à prendre en compte pour parvenir à une telle modélisation.

2.1. *La nature cachée de la représentation*

Un grand nombre de disciplines s'accordent pour dire que la connaissance, les représentations et les processus cognitifs⁷ menant à une prise de décision, sont des

⁷ Nous verrons par la suite que ces trois notions sont intimement reliées

processus internes qui ne sont pas toujours conscients.

Pour les tenants du cognitivisme, cela est dû à la structure même de la connaissance qui, constituée d'une multitude d'éléments unitaires appelés symboles, nécessitent un ensemble d'opérations « de bas niveau », inconscientes, pour prendre forme dans l'esprit d'une personne (Newell 1982). Ainsi un individu peut délibérément prendre une décision selon un ensemble de connaissances préalablement acquises, mais il n'aura pas conscience de la façon dont ces connaissances s'agencent pour parvenir à cette décision. Le traitement de l'information dans le cerveau demeure caché. Le philosophe Searle rejoint la même vision dans sa théorie sur l'intentionnalité lorsqu'il énonce que la faculté de se représenter quelque chose dépend du « *Background* », un ensemble d'aptitudes, de capacités et de présuppositions, qui sont « non-représentationnelles », non figuratives, et inconscientes (Searle 1997).

Pour les tenants de la perspective « constructiviste », il en va plutôt de la nature de la représentation qui est dite « *socialement construite* ». La construction de la représentation qu'un individu se fait de son environnement repose sur les actions et interactions que celui-ci a avec son environnement extérieur (individus, objets, informations, sensations,...) (Piaget 1947). L'environnement étant en perpétuelle évolution (du fait des actions de l'individu et des actions extérieures), il en résulte que la représentation de cet individu est également en perpétuelle évolution (Rölling 1982). Dans cette perspective, c'est donc la nature éphémère de la représentation et le fait qu'elle résulte d'une multitude d'interactions avec l'extérieur, qui la rendent impalpable et difficilement exprimable par l'individu.

De nombreux travaux ont été effectués sur les processus conscients et inconscients mais, ce qui nous intéresse ici, est le fait que la représentation est en quelque sorte « cachée » aux yeux de l'individu. De ce fait, il est difficile pour un individu d'énoncer explicitement la représentation qu'il a d'un objet. Les chercheurs en intelligence artificielle travaillant sur les représentations et les connaissances des individus ont élaboré diverses techniques plus ou moins sophistiquées pour parvenir à « extraire » des individus leurs connaissances (Menziez 2000). C'est notamment le travail de l'ingénierie de la connaissance qui consiste à capitaliser un ensemble de connaissances acquises et « extraites » auprès de personnes expertes d'un domaine, pour les intégrer ensuite dans un logiciel informatique appelé « système expert » capable de fournir des solutions à des problèmes complexes, comme le ferait un expert humain (Lukose et Kremer 1996, Gaines et Shaw 1993). Ces travaux sont riches d'enseignements et nous nous y intéresserons par la suite dans le chapitre 4.

2.2. Les théories de la représentation

La richesse des concepts et des théories établis autour de la notion de représentation ne nous permet ici que d'en donner un bref aperçu. Parmi les nombreuses approches de la

représentation, notre choix s'est porté sur le concept de « système de représentations » utilisé en anthropologie puis sur les thèmes abordés en sciences cognitives en relation avec l'Intelligence artificielle. C'est notamment dans cette deuxième approche que nous avons trouvé le plus de référence pour une modélisation informatique des représentations telle que nous l'entrevoions. Nous présentons deux paradigmes des sciences cognitives : le cognitivisme et le constructivisme⁸. Nous montrons que ce qui différencie ces approches n'est pas tant la structure de la représentation, mais plutôt son statut dans le cerveau ou dans son rapport à l'environnement extérieur (Varela 1989).

2.2.1. La perspective anthropologique

La vision anthropologique des représentations est relativement différente des approches des sciences cognitives. Les anthropologues parlent de « systèmes de représentations » où les représentations y sont définies comme les systèmes de valeurs et d'idées des sociétés (Friedberg 1992). De ce fait, les anthropologues ont d'abord étudié les systèmes de représentations en identifiant les classifications des éléments de la nature utilisées dans différentes sociétés (Descola 1996, Friedberg 1992). A la suite de ces travaux de terrain, les chercheurs ont ensuite essayé de retrouver des tendances générales parmi les classifications identifiées. C'est ainsi que Roy, par exemple, positionne les représentations selon trois axes : la nature des choses, le domaine spatial de référence et la sphère spirituelle (Roy 1996). Comme pour les sociologues, les systèmes de représentations sont socialement construits (Hornborg 1996), n'ont pas d'existence physique, et sont cachés aux yeux des individus. En outre, pour la plupart des anthropologues, les représentations demeurent « *des guides pour l'action dans l'esprit des individus* » (Descola 1996)⁹ et prennent part au processus de décision tout en interagissant avec ce dernier. Geertz souligne alors l'ambiguïté de ce modèle avec la perspective sociologique, car les représentations sont à la fois considérées comme des appropriations du monde et comme des plans pour l'action (Geertz 1996).

En outre, Sperber défend que « *les représentations mentales ont une structure instable : le sort normal d'une idée est d'être altérée ou de se mélanger à d'autres idées ; ce qui est exceptionnel c'est la reproduction d'une idée* » (Sperber 1985). Pour Sperber l'évolution d'une représentation est dirigée par les changements de l'environnement mais également

⁸ Des informations complémentaires sont indiquées à l'annexe 1 à propos des paradigmes des sciences cognitives

⁹ Descola explicite cette idée en énonçant que « bien que la plupart des membres d'une communauté sont incapables d'exprimer explicitement les principes élémentaires de leurs conventions culturelles, en définitive, leurs pratiques, s'avèrent se conformer à un ensemble de modèles sous-jacents ».

par sa nature chaotique. Ainsi, l'action est opérée mais le processus menant à cette action n'est pas définissable.

2.2.2. Le paradigme "cognitivist"

Le cognitivisme s'appuie sur le modèle de Simon et Newell décrivant la cognition comme un processus de calcul rationnel (Newell et al. 1957, Newell et Simon 1956, Simon 1955). La faculté que possède tout individu de se représenter le monde d'une certaine façon est l'hypothèse forte de ce paradigme. La théorie rationnelle qui en découle est alors que, plus la représentation qu'un individu a du monde est proche de la réalité, plus son comportement sera approprié à la situation rencontrée.

Dans cette approche, les représentations sont construites mentalement et existent physiquement dans le cerveau sous la forme de symboles utilisés par l'individu pour prendre des décisions (Simon 1984, Newell 1980). Ce paradigme a donné naissance à toute une série de concepts largement explorés en sciences cognitives : les modèles mentaux (Johnson-Laird 1983), les cartes mentales (Downs et Stea 1973), les images mentales (Denis et Vega (de) 1993). Afin d'illustrer le sens donné à la représentation dans l'ensemble de ses concepts, nous détaillons ci-dessous les modèles mentaux.

Dans la suite des idées précurseurs de Craik (1943), Johnson-Laird proposa le concept de modèles mentaux comme une forme de connaissance (Johnson-Laird 1983). Un modèle mental se réfère à une situation et décrit ce qui est semblable à l'ensemble des trajectoires pouvant mener à cette situation (Mental model Website¹⁰). La cognition consiste alors à manipuler des modèles mentaux temporaires à l'aide d'inférences logiques (par exemple en comparant et évaluant des trajectoires permettant d'atteindre une situation désirée) ; ce processus mène alors à la création de nouvelles connaissances qui sont stockées sous forme de représentations dans le cerveau (sortes de modèles mentaux permanents) et peuvent être réutilisées par la suite. Pour ce paradigme, les représentations sont donc mentalement construites, et ce au moyen de modèles mentaux et d'inférences (Cavazza 1993). Nous entrevoyons ici la similitude entre cette conception de la représentation et le traitement computationnel d'un ordinateur, ce qui ouvre la voie à une modélisation des représentations basée sur cette notion d'inférence.

2.2.3. Le paradigme constructiviste

C'est sur le refus de cette capacité supposée du cerveau à manipuler des symboles à l'aide de traitements computationnels, aussi appelée hypothèse calculatoire (Giroto 1993), que s'est bâti le paradigme constructiviste. Schématiquement, le schisme s'est opéré sur :

¹⁰ http://www.tcd.ie/Psychology/Ruth_Byrne/mental_models/

- le refus d'une réalité physique des symboles,
- la réfutation de la capacité du cerveau à opérer des calculs rationnels,
- le refus d'une construction des représentations qui soit un processus strictement interne.

L'environnement est un élément essentiel dans la notion de représentation qu'établit le paradigme constructiviste.

Pour le constructivisme, la représentation d'un individu est socialement construite au travers de ses activités, de ses interactions avec d'autres individus et avec son environnement (Piaget 2003, Mesny 1991, Piaget 1947). Les décisions qui sont prises en fonction de ces représentations, affecteront l'environnement qui possède par ailleurs sa propre dynamique, ce qui engendra un ajustement des représentations à leur tour. Ainsi, nos représentations sont perpétuellement modifiées en fonction de nos actions et de l'évolution du monde, et les représentations et les processus de décisions interagissent continuellement (Varela 1989).

Dans la même mouvance, Steinberg et Meyer tentent d'explicitier la nature des représentations et de la connaissance (Steinberg et Meyer 1995). Ils reprennent pour cela le concept des plans (Suchman 1987) qui décrivent des modes de comportements et d'actions qui structurent la connaissance d'une personne. La construction sociale des représentations est alors décrite par l'évolution de ces plans que Steinberg et Meyer identifient d'abord au stade de l'enfance puis au cours du développement de l'individu. Ces plans se comportent comme des classifications ou des logiques de pensées permettant à un individu d'agir et de prendre des décisions. Là encore, différents concepts ont été établis sur la base de cette théorie fondatrice : les schémas cognitifs (Minsky 1975), le concept de « *Personal construct psychology* » (Kelly 1955). La transposition de ces idées en agronomie a par exemple donné le modèle d'action décrit par Sébillotte et Soler (1990).

Pour comprendre comment une modélisation des représentations se placerait par rapport à ces différents concepts, nous tentons ci-dessous d'entrevoir comment différents auteurs conçoivent l'établissement et l'état d'une représentation.

Une première vision peut être qualifiée de branche psycho-cognitive du constructivisme. Le psychologue Piaget précise ainsi que l'élaboration "psychologique" de la représentation suit la phase sensorielle et qu'à ce stade elle est indépendante de l'environnement social (Piaget 2003, 1971). Pour Sébillotte, les représentations sont des guides pour l'action, qui ont une existence interne, mais qui sont construites par le truchement de l'environnement extérieur (Sébillotte et Soler 1990). Ainsi, ces auteurs différencient la création d'une représentation et son existence.

La branche sociologique quant à elle, dénonce cet état interne des représentations et considère qu'il n'existe pas de représentations sans une relation à un objet. « *Elle peut être considérée du point de vue cognitif, c'est à dire comme le produit et le processus d'une*

activité d'appropriation d'une réalité extérieure, mais aussi comme l'élaboration psychologique et sociale de cette réalité. La représentation, en tant qu'acte de pensée relie un sujet à un objet. Il ne peut donc pas y avoir représentation sans objet » (Lauriol 1995). Dans l'approche socio-cognitive, on parle alors de représentations sociales (Moscovici 2001). Celles-ci sont constituées d'un ensemble de valeurs, d'idées et d'habitudes qui dirigent notre perception du monde et nous permettent de communiquer avec les autres. Les représentations sociales mènent à l'élaboration de la connaissance (Winograd et Flores 1986) mais elles ne sont pas internes, ni mentales, et elles sont en perpétuelles interactions avec l'environnement social (Moscovici 1976, 1973).

2.2.4. Implications pour la modélisation des représentations

Cet aperçu des différentes approches du concept nous amène à penser que le statut de la représentation dans son rapport à l'environnement extérieur est capital.

Dans le constructivisme, les représentations sont indissociables de l'environnement dans lequel évoluent les individus. Cet aspect est primordial car il implique en premier lieu que l'identification et la compréhension des représentations ne peut se faire sans une référence et une compréhension de l'environnement. C'est notamment ce que suggère le concept d'action située (Gigerenzer et Todd 1999, Suchman 1987) qui considère que la représentation est dépendante du contexte spatial et temporel dans lequel se trouve la personne qui l'exprime. En second lieu, l'indissociabilité entre représentation et environnement suppose qu'une modélisation des représentations doit tenir compte de l'environnement et de son évolution.

En outre le cognitivisme n'est pas complètement antagoniste à cette notion. Ainsi Hutchins indique que « *pour une grande part des sciences cognitives, la cognition est exclusivement un processus mental ... mais cela n'exclut pas que les actions et décisions prises par les individus sont produites au sein d'un référentiel socialement et culturellement construit* » (Hutchins 1999)¹¹. Dans un but de réconciliation entre les différentes perspectives, Hutchins propose alors le concept du modèle culturel, qui est une forme partagée du modèle mental.

En outre, que la représentation soit une conception objective de la réalité pour les uns ou un truchement entre l'esprit et une réalité objective ne pouvant jamais être atteinte pour les autres (Ferber et Guérin 2003), il subsiste que dans chacune de ces approches la représentation prend part aux processus de décisions (voir l'annexe 1 pour plus de détail sur le rapport entre représentation et décision dans les différentes approches). Cela implique pour la modélisation des représentations qu'il y ait un rapport étroit entre représentation et

¹¹ Cette approche est également liée à celle de l'anthropologie, étant donné que les modèles culturels sont envisagés comme « *faisant partie de l'héritage culturel* » (Hutchins 1999).

processus décisionnel qu'il convient de discerner au moment de la conceptualisation, voire de l'identification des représentations.

Enfin, les différentes théories semblent se rejoindre quant à la structure des représentations. A ce titre, il est notable que le constructivisme qui refuse la réalité physique des symboles du cognitivisme, ne réfute pas forcément leur utilisation. En effet, qu'il s'agisse de la structure des représentations, présentée par Steinberg et Meyer sous forme de plans, ou celle de Minsky sous forme de schémas¹², ou encore celle de Kelly sous forme de modèles (« *template* » en anglais)¹³, ou encore celle des sociologues et des anthropologues sous forme de valeurs et d'idées, on retrouve à chaque fois des concepts qui s'apparentent à une structure de type « symbolique »¹⁴.

Ainsi, de manière schématique on peut voir une représentation comme étant constituée d'un ensemble d'éléments, que nous pouvons appeler les éléments de la représentation. Ces éléments correspondent à des objets du monde, à des situations, des comportements à adopter, ou encore à des relations entre d'autres éléments. Les éléments de la représentation sont construits à partir de la perception qu'un individu a de son environnement et de ses croyances.

Les concepts de perception, d'environnement et de croyance sont largement utilisés dans les techniques de la modélisation multi-agents et c'est pourquoi nous avons privilégié cet outil dans notre approche de la modélisation des représentations.

3. Systèmes Multi-Agents et modélisation des représentations

Dans ce chapitre nous approchons les Systèmes Multi-Agents uniquement sous l'angle de la modélisation des représentations. Nous traitons donc des techniques de la modélisation multi-agents utilisées pour la modélisation des représentations.

Les Systèmes Multi-Agents (SMA) sont une technique de l'intelligence artificielle permettant de modéliser des agents (des entités informatiques autonomes) ayant une représentation de leur environnement et pouvant agir sur cet environnement. Plus précisément, Ferber (1995) définit un SMA comme un système composé des éléments suivants (Figure 1):

¹² Pour Minsky, les schémas cognitifs correspondent à des « situations types » et à de l'information sur ce qu'il convient de faire face à une situation donnée et le produit qui en résultera (Minsky 1975).

¹³ Pour Kelly, « *une personne anticipe les événements en construisant des répliques* » et ces constructions sont des « *modèles que l'individu tente d'ajuster à la réalité* » (Kelly 1955).

¹⁴ Une exception notable est celle de l'anthropologue Sperber pour qui les représentations ont une structure chaotique. D'autres soutiennent également une intelligence sans représentation (Brooks 1991).

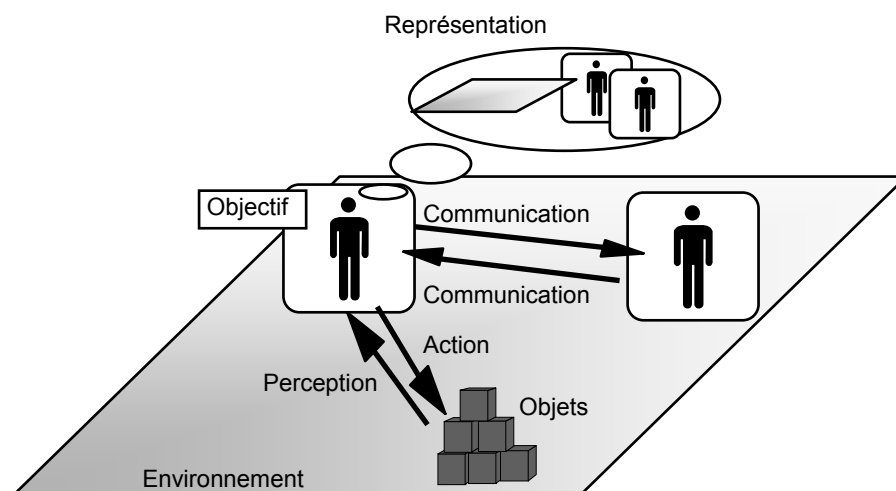


Figure 1 : Représentation imagée d'un système multi-agents (Ferber 1995)

- un environnement E , c'est-à-dire un espace disposant généralement d'une métrique,
- un ensemble d'objets O . Ces objets sont situés, c'est-à-dire que, pour tout objet, il est possible, à un moment donné, d'associer une position dans E . Ces objets sont passifs, c'est-à-dire qu'ils peuvent être perçus, créés, détruits et modifiés par les agents,
- un ensemble A d'agents, qui sont des objets particuliers, lesquels représentent les entités actives du système,
- un ensemble de relations R qui unissent des objets entre eux,
- un ensemble d'opérations Op permettant aux agents de A de percevoir, produire, consommer, transformer et manipuler des objets de O ,
- des opérateurs chargés de représenter l'application de ces opérations et la réaction du monde à cette tentative de modification, que l'on appellera les lois de l'univers.

Ainsi, les agents interagissent avec leur environnement et avec les autres agents en fonction de leurs représentations. Différents types d'agents peuvent être modélisés, chacun ayant une représentation propre de son environnement. Ce cadre théorique des SMA est donc particulièrement bien adapté à notre problématique puisqu'il permet la modélisation des dynamiques biophysiques des bassins versants dans ce qui est appelé « l'environnement », et la modélisation de différents types d'acteurs ayant des points de vue différents sur la ressource au sein des agents, chacun ayant une représentation propre de son environnement.

Dans les SMA, et dans la modélisation orientée agent en général, deux approches sont possibles pour modéliser les représentations.

- La première consiste à exploiter des théories et des modèles conceptuels préexistants du concept de représentation provenant des sciences cognitives, de la sociologie, de l'économie, (...) et à les implémenter dans un modèle informatique.

- La deuxième est une démarche qu'on pourrait qualifier de naturaliste. Elle consiste à construire un modèle informatique de la représentation à partir de l'observation sur le terrain¹⁵.

Ces deux démarches aboutissent à des modélisations de la représentation différentes et ne poursuivent pas toujours le même objectif. L'annexe 2 répertorie quelques unes des applications de la littérature étudiées dans cette thèse et propose de les classer en fonction de la démarche de modélisation des représentations utilisée et de l'objectif poursuivi.

3.1. La modélisation des représentations sur la base de théories

Dans le champ des SMA, les chercheurs adoptent encore différentes postures pour leur modélisation des représentations sur la base de théories, et ce notamment en fonction de la communauté scientifique à laquelle ils appartiennent.

Une tendance majeure dans le domaine des sciences informatiques est de considérer les représentations individuelles comme des plans pouvant être implémentés dans les agents sous diverses formes. Des architectures spécifiques comme l'architecture modulaire ou l'architecture BDI (*Beliefs-Desires-Intentions*) procurent au modélisateur un cadre pour intégrer les représentations. Cette tendance fera l'objet des deux premières parties de ce paragraphe.

Les chercheurs en sciences sociales plaident pour des théories plus « sociales ». Jager et Janssen appellent à des « *règles pour les agents basées sur une structure théorique capturant les processus comportementaux élémentaires. Une telle structure devrait être basée sur un état de l'art des théories comportementales et validée à l'échelle micro en utilisant des données expérimentales ou de terrain des comportements individuels* » (Jager et Janssen 2003). Pour cela, les chercheurs utilisent des théories des sciences sociales et tentent de les adapter aux SMA (Castelfranchi 2001, Gilbert 1995). Des applications de cette tendance, relatives à la notion d'apprentissage seront traitées dans la troisième partie de ce paragraphe.

3.1.1. La Représentation comme une base de connaissances

La première façon de modéliser la représentation, et certainement la première sur le plan historique, consiste à concevoir un agent comme une entité autonome munie d'une base de connaissances sur le monde. A travers cette base de connaissances, l'agent se forge une image de la réalité qui lui est propre, et dont il se sert pour prendre des décisions. Cette

¹⁵ Souvent, les chercheurs adoptant cette méthode se placent dans le cadre de l'un des paradigmes du concept de représentation étudiés au chapitre précédent, sans toutefois présupposer d'un modèle au départ

conception de la représentation n'est pas sans rappeler les fondements de la rationalité limitée. En effet, le concept de rationalité limitée, qui supplanta l'hypothèse d'un agent omniscient ayant une connaissance pleine et parfaite du monde qui l'entoure, pose trois limites à la rationalité des agents : l'incertitude quant aux occurrences, l'information incomplète et les limites cognitives des agents (Simon 1957). En attribuant une représentation interne aux agents sous la forme de bases de connaissances (qui du point de vue informatique peuvent être conçues comme des mémoires de valeurs et de processus), le modélisateur répond aux deuxième impératif de la rationalité limitée.

Les applications qui utilisent cette approche sont nombreuses. Rouchier implémente dans des agents-pastoraux une base de connaissances sur l'état de pâturage du territoire. Au travers de l'acquisition de nouvelles informations (via l'observation ou l'échange d'informations avec d'autres agents) les agents se construisent une carte du territoire sur l'état de la ressource (Rouchier et al. 2001). De ce fait, au cours de la simulation, la carte des agents, c'est à dire leur représentation de l'état de la ressource, évolue et engendre des comportements et des choix de pâturage différents. Ce type de modélisation de la représentation d'une ressource (agents munis d'une représentation évoluant avec l'environnement naturel et les autres agents) se retrouve dans bien d'autres domaines d'applications tels que la pêche (Kozlack et al. 1999) ainsi que dans des applications plus théoriques (Epstein et Axtell 1996).

D'autres applications modélisent à l'intérieur de ces bases de connaissances, non plus des états de la ressource ou du monde en général, mais des stratégies (Ducrot et al. 2004, Mathevet et al. 2003, Gilbert et al. 2001, Walker et Wooldridge 1995). C'est par exemple le cas d'applications de la théorie des jeux sur les ressources en bien commun (Ostrom et al. 1994). Dearden et al., par exemple, modélisent des agents avec pour base de connaissances, différentes stratégies d'exploitation de la ressource qu'ils évaluent et choisissent en fonction des résultats obtenus au tour précédent (Dearden et al. 2000). De même, Le Bars implémente dans ses agents une base de connaissances des cultures et de leurs besoins en eau mais également des stratégies pouvant être adoptées pour atteindre un but (Le Bars et al. 2002). Ces stratégies sont faites de règles pouvant évoluer en fonction de nouvelles informations et d'une meilleure connaissance du comportement des autres agents. Ici encore l'un des intérêts de ces simulations réside dans l'analyse de l'évolution des stratégies (Parker et al. 2003).

Les architectures d'agents permettent d'organiser et de structurer les différentes procédures qui vont régir le comportement des agents. Certaines sont particulièrement intéressantes dans le cadre de cette thèse car elle offre un cadre à l'intégration de représentations dans les agents.

3.1.2. Des architectures d'agents pour intégrer les représentations

Nombre d'architectures d'agents rentrent dans le cadre du cycle « Perception-Délibération-Exécution » proposé par Ferber (Ferber 1995)¹⁶. Ce cycle décrit le comportement d'un agent en interaction avec son environnement (Figure 2). Le processus décisionnel de l'agent est séparé des facultés perceptives et exécutives de l'agent et est intégré dans le compartiment « Délibération ». C'est à ce niveau que l'agent traite les informations qu'il perçoit de son environnement afin de prendre une décision qu'il va ensuite mettre à exécution.

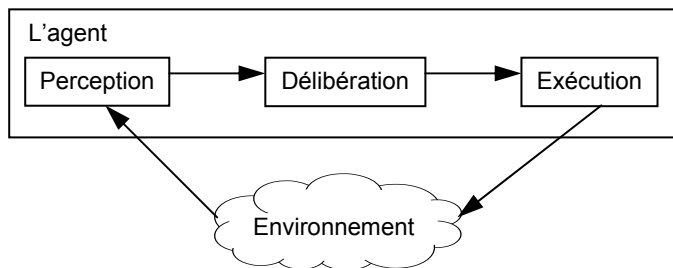


Figure 2 : Architecture d'agent Perception-Délibération-Exécution (Ferber, 1995)

Dans ce cycle, la représentation de l'agent n'est pas mentionnée explicitement. Les architectures d'agent basé sur ce modèle divise donc la partie « Délibération » afin d'intégrer les processus représentationnels et de les séparer de la partie décisionnelle à proprement parlé. Ci-dessous, nous décrivons deux architectures qui correspondent à ce schéma. L'architecture modulaire horizontale divise la partie « Délibération » en trois compartiments : représentation, prise de décision et objectif. L'architecture BDI se concentre plus sur la partie décisionnelle et intègre la notion d'intentionnalité de l'agent.

a) Architecture modulaire horizontale

L'architecture modulaire horizontale permet d'implémenter les informations liées aux croyances et celles liées aux règles de décisions dans des compartiments différents (compartiments « Représentation » et « Prise de décision » respectivement, Figure 3). Le compartiment « Objectif » définit les buts de l'agent qui vont influencer le processus de décision. Le compartiment « Planification » permet de traiter des tâches dont la prise de décision et l'exécution sont différées dans le temps. Le compartiment « Représentation » qui nous intéresse tout particulièrement ici, intègre les croyances et les hypothèses formulées sur la base des perceptions de l'agent. Dans cette architecture, le traitement de l'information est réalisé de manière linéaire : les perceptions génèrent des croyances qui vont alors prendre part au processus décisionnel. Nous verrons par la suite que si cette architecture

¹⁶ Il existe également des architectures d'agents du côté de l'ingénierie des connaissances (comme CoMoMAS, Glaser 1997) ne correspondant pas à ce cycle, mais celles-ci sont plus orientées vers la structuration des données que vers l'expression d'un comportement ou d'un processus décisionnel

pose les bases de l'intégration des représentations dans les agents, le traitement de l'information liée aux représentations, tel que nous les avons formalisées, requière quelques ajustements.

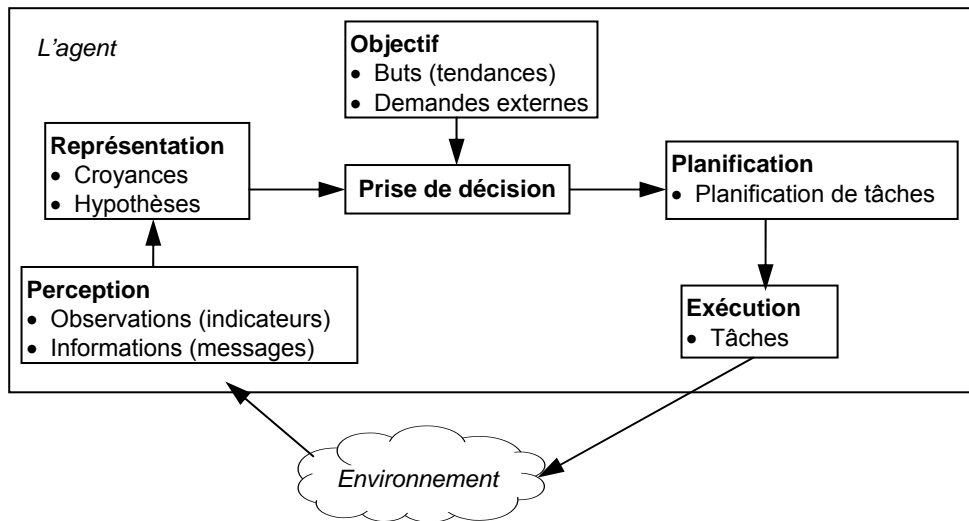


Figure 3 : Architecture modulaire horizontale (Ferber, 1995)

b) L'architecture BDI liant représentation et intentionnalité des agents

A la suite d'échanges entre les différentes disciplines impliquées dans les sciences cognitives, des architectures d'agent plus « complexes » ont été élaborées sur la base de différents concepts psychologiques et sociologiques. Ces architectures permettent de modéliser des agents aux facultés cognitives plus évoluées que précédemment tout en permettant de garder une bonne lisibilité des processus cognitifs implémentés dans les agents. L'architecture BDI, « *Beliefs-Desires-Intentions* », est un exemple de ce type d'architecture.

L'architecture BDI, distingue ce qui relève de la représentation de l'agent, de ce qui relève de la prise de décision (Rao et Georgeff 1995). La représentation est englobée dans les concepts de *Beliefs*, pour Croyances, et de Désirs, pouvant être assimilé aux objectifs que l'agent cherche à atteindre, ou encore à ses motivations (Conte 2000, Conte et Castelfranchi 1995, Rao et Georgeff 1995). Le processus de prise de décision suit la phase de détermination des objectifs et prend également en compte la notion d'Intention permettant de faire le lien entre la décision et le passage à l'acte.

Selon Ferber, « *L'intention..., c'est à dire la volonté consciente d'effectuer un acte,... s'inscrit dans le temps, l'action et les croyances. Un agent désire accomplir une action parce qu'il croit que ce qu'il va faire va permettre de satisfaire un but* » (Ferber 1995). En introduisant la notion d'intention, l'action ne correspond plus forcément aux objectifs fixés par l'agent et ce en raison des contraintes extérieures ou de nouvelles informations acquises à la suite de la détermination des objectifs. En outre, l'action intentionnelle présuppose forcément que

l'agent a une représentation du monde ; ainsi qu'une représentation « anticipée » des conséquences de ses actions pour pouvoir les évaluer.

La Figure 4 décrit le modèle de l'architecture BDI proposé par Wooldridge et dans lequel les désirs sont assimilés à des options, c'est à dire à des possibilités d'action.

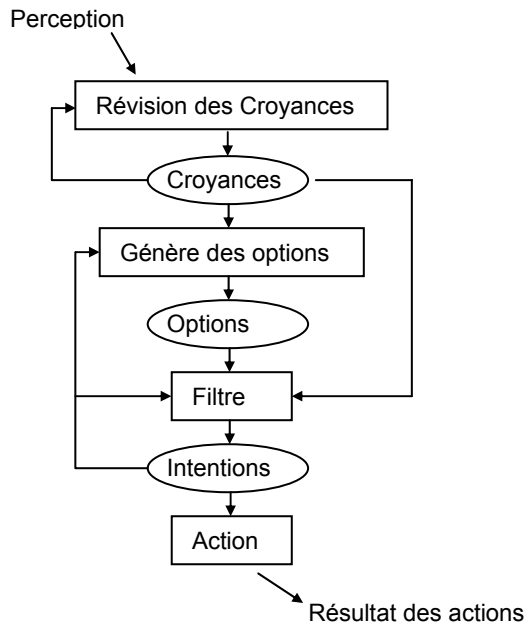


Figure 4: Architecture Belief-desire-intention (Wooldridge 1999)

Dans ce type d'architecture le système de représentation est donc imbriqué dans le système décisionnel. En outre les croyances ont leur propre dynamique et peuvent être révisées en fonction des nouvelles informations acquises par le système perceptif. Bien souvent l'architecture de révision des croyances suit le modèle suivant : (1) des croyances sont formées à partir d'informations issues du système perceptif de l'agent, ces croyances sont alors appelées les croyances factuelles de l'agent et seront utilisées par la suite pour générer des intentions ; (2) mais ces croyances factuelles peuvent être révisées en fonction des nouvelles informations issus du système perceptif et des croyances précédentes (Figure 5).

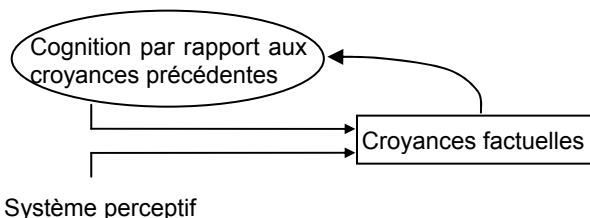


Figure 5 : Elaboration et révision des croyances.

Les croyances portent sur la structure et l'état du monde, comme par exemple l'état de la ressource, mais également sur les lois d'évolutions du monde et sur le comportement des

autres agents. Ainsi, un agent peut avoir une représentation qui lui est propre de la dynamique de son environnement : il peut par exemple croire que l'eau coule de bas en haut ou qu'un sol de couleur noire est plus fertile qu'un sol de couleur rouge.

Ferber distingue différents types de croyances (Ferber 1995) :

- Les croyances environnementales qui sont relatives à l'état de l'environnement, aux caractéristiques des objets du monde. Ces croyances sont souvent acquises par l'observation. Elles incluent également la représentation que l'agent a des lois de l'univers, ce qui lui permet de prévoir un état futur du monde et d'avoir des actions anticipées si besoin
- Les croyances sociales qui regroupent les différentes lois sociales, telles que le code de la route ou les règles de gestion collective d'un périmètre irrigué par exemple.
- Les croyances relationnelles qui sont des représentations du comportement, des compétences et des activités des autres agents. Ces croyances permettent à l'agent d'accéder à des informations sur les autres sans avoir à leur demander et ainsi de pouvoir élaborer des plans tout en anticipant les actions et réactions des autres.

De même, Ferber distingue différents types de motivations :

- les motivations personnelles qui sont en rapport avec les buts que poursuit l'agent
- les percepts qui sont en rapport à des besoins essentiels tels que la faim ou cultiver du riz à la saison des pluies comme dans le cas de notre terrain d'étude
- les motivations sociales qui reflètent le poids de la société et qui peuvent être apparentées à des devoirs tels qu'aller voter ou se joindre aux travaux collectifs (comme dans le cas de la récolte du riz qui se fait collectivement dans l'un des villages que nous avons étudié)
- les motivations relationnelles pour lesquels le moteur de l'action n'est pas dans l'agent mais dans les demandes et les influences provenant des autres agents. C'est par exemple obéir à une consigne d'irrigation du chef du périmètre irrigué.

Ainsi différentes croyances et motivations sont implémentées dans les architectures BDI, qui serviront à anticiper les états futurs du système et à établir des plans, des intentions. Nous ne détaillerons pas plus en détail la partie décisionnelle de l'architecture BDI, qui fait appel à d'autres concepts tels que l'engagement aux décisions précédentes. Néanmoins, nous tenons à préciser que l'intentionnalité est l'un des concepts clés de cette architecture, comme le souligne le philosophe Bratman : « *l'intention joue un rôle significatif et distinct dans le raisonnement pratique et ne peut être réduit aux croyances et aux désirs* » (Bratman 1987).

3.1.3. La simulation des représentations à partir de théories sociales

Dans ce chapitre, nous nous intéressons à une branche des sciences cognitives appelée la simulation sociale qui s'intéresse notamment à la modélisation de comportements d'agents basés sur des théories sociales, psychologiques ou encore économiques.

Bien souvent, le but poursuivi par la modélisation de ces différentes théories est la recherche de nouvelles formes de rationalité pour les agents. Les chercheurs s'emploient à conceptualiser et à modéliser des comportements d'agents régis par d'autres lois que la rationalité pleine et parfaite décrit par Simon (Simon 1957). Les SMA dont les agents sont définis comme des entités autonomes ayant une perception limitée de leur environnement, permettent aux chercheurs d'implémenter des agents à la rationalité limitée.

Par exemple, Berger (2001) implémente pour un bassin versant du Chili des agents-agriculteurs effectuant des choix de cultures et d'irrigation en fonction de leurs contraintes et leurs ressources à un instant donné. Dans ce modèle, les agents optimisent l'usage des ressources par un algorithme mathématique pour maximiser leurs profits. Néanmoins, chaque agent étant situé en un lieu spécifique du bassin versant, ses contraintes sont locales et les choix réalisés vont différer d'un agent à l'autre (Berger et Ringler 2002). Balmann (Balmann 1997) modélise quant à lui les changements structurels agricoles en implémentant des exploitations agricoles ; ces dernières étant localisées sur un automate cellulaire définissant les caractéristiques technique et économique propres à chacune. Les travaux de Balmann ont ensuite été utilisés pour développer le modèle AgriPolis dans lequel la rationalité des agents est limitée par l'accès aux informations sur le marché foncier (Happe et al. 2003).

Ainsi, dans ces modèles les agents ont une représentation limitée du monde, soit du fait de leur localisation spatiale, soit par des restrictions quant aux informations globales du modèle. L'évolution des représentations est alors simulée au travers des interactions que les agents ont avec leur environnement local. Et c'est au travers de l'évolution des représentations que les chercheurs parviennent à modéliser des hétérogénéités de comportements et de représentations au sein du système.

D'autres applications se servent des interactions entre les agents eux-mêmes pour simuler l'évolution des représentations. Ici, la problématique de la rationalité des agents est abordée d'une manière différente qui peut se résumer de la manière suivante : du moment qu'un agent n'est plus omniscient, il a besoin de comportements sociaux pour évoluer (Carley 1996). Le cas du modèle « Consumats » proposé par Jager et Janssen (Jager et al. 1999, Janssen et Jager 1999) est particulièrement intéressant car il constitue une tentative de réunion de différentes théories socio-psychologiques en une « métathéorie » des comportements (Jager 2000). Les Consumats sont des agents ayant des besoins de consommation qui évoluent dans un environnement proposant différents biens. A chaque

pas de temps de la simulation, ces agents vont avoir le choix entre différents modes comportementaux pour déterminer quels biens ils vont consommer. Quatre types comportementaux sont définis (Janssen et Jager 2001b), chacun relevant d'une théorie particulière : la répétition (consommer les mêmes biens qu'au pas de temps précédent), l'imitation (imiter la consommation d'un autre agent du réseau social), la délibération (choisir parmi l'ensemble des possibilités de consommation, les biens qui vont maximiser le niveau de satisfaction) et la comparaison sociale (l'agent compare ses propres comportements passés à ceux des autres agents et choisit celui qui produit une satisfaction maximum). Le choix du type de comportement à adopter au pas de temps t , dépend du niveau de satisfaction obtenu au pas de temps $t-1$ et du degré d'incertitude dans lequel l'agent se trouve au pas de temps t . Lorsque le degré d'incertitude est faible et que l'agent a été satisfait des résultats du pas de temps précédent, celui-ci va répéter son choix précédent. A l'inverse, si l'incertitude est forte et que sa satisfaction est faible¹⁷, il va opter pour la comparaison sociale¹⁸.

Ainsi, on voit se développer une nouvelle forme de rationalité où l'interaction entre les agents prend part au processus décisionnel via la représentation qu'ont les agents de la situation présente et passée (la représentation dans le modèle des Consumats peut être assimilée au niveau de satisfaction et au degré d'incertitude de l'agent). La notion d'apprentissage joue un rôle important dans ces modèles. Les systèmes d'apprentissage permettent à un agent de réviser ses croyances et sa représentation du système. Chaque agent étant situé dans un rapport particulier avec son environnement et avec le réseau social, l'apprentissage se fait de manière distincte pour chacun des agents.

La notion d'apprentissage joue donc un rôle important pour la modélisation de l'hétérogénéité des représentations, et a beaucoup intéressé la branche sociocognitive de la simulation sociale. Dans ce domaine, c'est au travers du rapport aux autres, et de ce que les sociologues appellent l'interaction sociale et l'apprentissage social, que les chercheurs tentent de définir une nouvelle rationalité de l'agent. Les SMA sont alors un outil pour développer et tester différentes théories sociales comme le font Conte et Castelfranchi. Pour Conte l'apprentissage social résulte de phénomènes sociaux dont les plus importants sont ceux qu'elle appelle la facilitation et l'imitation (Conte et Paolucci 2001). La facilitation

¹⁷ Un niveau de satisfaction élevé et un fort degré d'incertitude résulte en un comportement type « imitation ». Une faible satisfaction couplée avec une faible incertitude entraîne un comportement d'optimisation (« délibération »).

¹⁸ En outre, le modèle des Consumats introduit la notion d'effort cognitif. L'idée est qu'un agent économique ne va pas déployer beaucoup d'efforts cognitifs dans le cas où il est déjà satisfait de ses choix passés et que le système ne présente pas un fort degré d'incertitude ; sa stratégie sera alors la répétition des choix passés (Janssen et Jager 2001a)

consiste à apprendre en observant ce qui arrive aux autres. Ainsi, un agent adoptera le comportement d'un autre agent s'il estime que cela lui sera bénéfique par rapport à ses propres objectifs. L'imitation par contre consiste à adopter les objectifs d'un autre agent et à s'en servir comme d'un modèle pour l'action, et ce tant que l'agent imité est perçu comme étant un bon modèle. Dans sa théorie de la fonction sociale, Castelfranchi présente un autre concept de l'apprentissage : le renforcement. Pour lui, la fonctionnalité d'un agent, c'est à dire ce qui lui permet d'exister et de survivre, réside dans les effets non-intentionnels de l'action qui, si l'action est bénéfique, vont venir renforcer les croyances et les objectifs ayant engendré cette action, et ainsi permettre la reproduction de ce comportement (Castelfranchi 2001). Le renforcement est donc une forme d'apprentissage « sans compréhension », c'est à dire que l'agent ne cherche pas à comprendre la raison pour laquelle l'action lui a été bénéfique ; d'une certaine manière on pourrait assimiler cette forme d'apprentissage à de l'empirisme.

Nous avons parcouru dans ce paragraphe quelques applications et identifié les concepts qui permettent à ces chercheurs de modéliser les représentations. Les bases de connaissance de l'agent servent à stocker des croyances qui prennent part à la représentation qu'à l'agent du système à un instant donné. L'apprentissage qu'il soit implémenté explicitement ou qu'il soit modélisé au travers de l'évolution des représentations, permet à l'agent de réviser ses croyances (il constitue en soit une nouvelle forme de rationalité des agents). L'interaction avec l'environnement et avec le réseau social sont des concepts clés pour la modélisation de l'évolution des représentations.

Dans notre recherche, nous cherchons à modéliser les représentations d'acteurs locaux. Si ces concepts et les différentes architectures d'agents apportent un cadre pour l'implémentation des représentations, ils ne répondent pas à la question de l'identification des représentations sur le terrain. La modélisation d'accompagnement est quant à elle dédiée à une modélisation de terrain et apporte des éléments de réponse pour l'identification des représentations

3.2. La construction participative de modèles développée en modélisation d'accompagnement

La modélisation d'accompagnement est présentée ici comme exemple des démarches participatives basées sur l'usage des SMA en simulation (SMA participatifs). Cette approche consiste à faire participer les acteurs du système étudié aux différentes phases du processus de modélisation. Les acteurs sont invités à définir les éléments du système modélisé, ou les règles de gestion implémentés dans le modèle ou encore les scénarios simulés. Le fondement de cette approche repose sur le fait que la participation des acteurs à la construction du modèle permettra (i) une meilleure appropriation du modèle par les acteurs,

(ii) la construction d'une représentation du système qui soit partagée entre les différents acteurs.

Après une présentation des fondements théoriques de cette démarche, nous décrivons ses modes opératoires et ses applications.

3.2.1. Fondements théoriques : représentations hétérogènes et représentations partagées

Le terme de « modélisation d'accompagnement » est utilisé pour suggérer « un accompagnement de la réflexion » des acteurs et par les acteurs (Barreteau et al. 1996, Bousquet 1996). La démarche trouve ses fondements dans les recherches de l'équipe Green du Cirad. Bousquet définissait alors le cadre d'action poursuivi par l'équipe de la façon suivante :

« Nous proposons [...] de passer par la représentation d'objets « médiateurs », ou d'objets « communs ». Il s'agit des objets qui sont une représentation à la fois individuelle et partagée et qui tendent à la fois à créer le groupe social et à être l'expression de son existence.[...] A travers la perception de ces objets, chaque agent se perçoit comme membre du tout et contribue ainsi à la création ou au maintien de ce tout » (Bousquet 1996).

La démarche de la modélisation d'accompagnement poursuit deux objectifs distincts pouvant être menés conjointement dans une même application.

« La première voie cherche sa légitimité scientifique dans la production de connaissances et la pertinence de celles-ci, la deuxième voie cherche sa légitimité scientifique dans l'amélioration de la qualité des processus de décision collective. » (Charte de la modélisation d'accompagnement)¹⁹

Pour mener à bien cette démarche, les chercheurs s'appuient sur des objets intermédiaires qui, comme nous allons le voir, peuvent être des modèles informatiques multi-agents ou des jeux de rôles.

a) Pourquoi passer par un objet intermédiaire ?

La modélisation d'accompagnement s'appuie sur les représentations individuelles des acteurs pour créer un objet « commun ». Du fait que les représentations sont « internes » aux personnes, c'est au travers d'objets intermédiaires que les représentations s'expriment (Vinck 1999, Suchman 1987). La démarche consiste alors à transcrire les représentations des différents acteurs dans un même objet pour qu'elles puissent être partagées par le groupe (Figure 6).

¹⁹ <http://commod.org/>

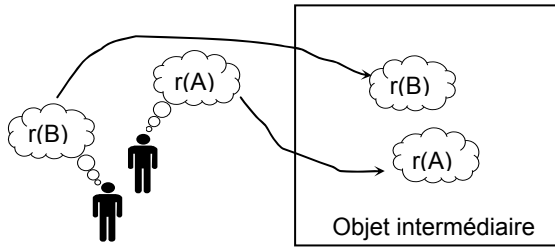


Figure 6: Transcription des représentations individuelles dans un objet intermédiaire

b) Des points de vues différents et une représentation partagée

Les représentations individuelles étant transcrites dans cet objet intermédiaire, chaque acteur peut se retrouver dans cet objet et peut retrouver, ou découvrir s'il ne la connaît pas déjà, la représentation de l'autre. A ce stade nous préférons parler de point de vue plutôt que de représentation car c'est bien le point de vue particulier de l'autre avec ses croyances mais aussi ses objectifs et ses stratégies, qui est observé. La première hypothèse de cette approche est qu'en aidant par cet objet intermédiaire les acteurs à observer les points de vues des autres, cela va (1) susciter une réflexion des acteurs sur les autres et sur leur place dans ce système, (2) les amener à prendre en compte l'avis des autres dans leur représentation du système dans son ensemble. C'est cette interaction entre les acteurs et l'objet intermédiaire qui est supposée créer une représentation partagée du système par les acteurs.

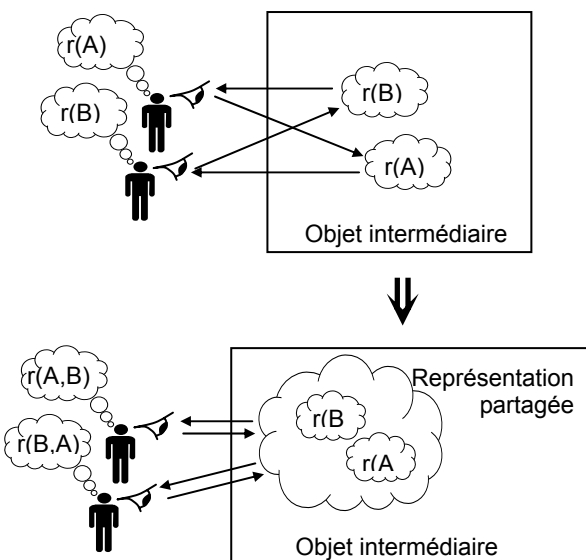


Figure 7 : Prise de conscience du point de vue de l'autre et création d'une représentation partagée

c) Un objet commun, pourquoi ?

A partir du moment où une représentation partagée du système s'est créée au sein du groupe, l'objet intermédiaire devient un objet commun. C'est à dire qu'il devient le reflet du

groupe et plus seulement celui de chaque individu pris séparément²⁰. La deuxième hypothèse de cette approche réside dans la relation entre la vue de cet objet commun et la vue de la réalité. Pour fonctionner, cette démarche présuppose que les acteurs se servent de l'objet commun comme d'un moyen d'aborder la réalité, non plus individuellement, mais collectivement. La validation de cette hypothèse a été l'objet de la thèse de Daré qui s'est intéressé à la façon dont la réalité interfère avec les interactions sociales se déroulant lors d'un jeu de rôle (Daré 2005). Celui-ci démontre notamment que le jeu est perçu par certains comme une simulation de la réalité et pour d'autres comme une « représentation théâtrale » détachée de la réalité (Daré et Barreteau 2003). Néanmoins, dans chacun des cas les joueurs ont recours à leurs connaissances du système réel démontrant l'introduction de la réalité dans le jeu et leurs comportements traduisent cette interférence entre jeu et réalité (Daré 2005).

A partir du moment où l'on accepte l'hypothèse d'un lien perçu entre la réalité et l'objet commun, il est possible d'envisager divers usages de cet objet commun (Barreteau et al. 2001). L'un d'eux consiste à s'appuyer sur cet objet commun pour établir et prendre des décisions collectives par rapport à un problème donné.

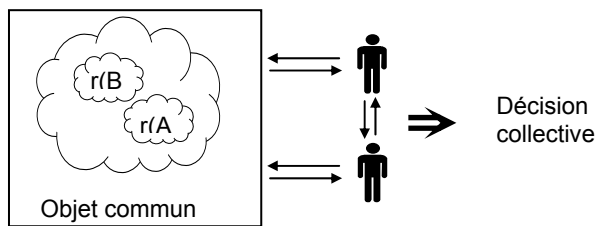


Figure 8 : *Objet commun servant de support à la définition de décisions collectives*

d) Pourquoi utiliser les SMA ?

Comme nous venons de le voir, la transcription des représentations individuelles dans l'objet intermédiaire est un préalable au processus participatif engagé dans la démarche de la modélisation d'accompagnement. En outre, cette démarche n'a de sens que dans le cas de systèmes où les acteurs sont en interaction, sinon il n'y aurait pas d'intérêt à créer une représentation partagée. L'usage des SMA comme objet intermédiaire permet alors, au travers de la simulation, de comprendre et d'exprimer les liens entre des fonctions écologiques et les représentations individuelles, ainsi que d'explorer la viabilité de ces interactions (Bousquet, et al. 1999).

²⁰ Ce qui ne veut pas dire qu'on annihile toute notion d'individualité. Chacun peut se percevoir individuellement dans l'objet commun, mais une autre dimension est suggérée, celle du groupe.

Par ailleurs, les SMA permettent d'implémenter des agents qui ont des capacités de représentation ainsi que d'analyser le système en terme d'agents qui ont différents points de vue. Enfin, la proximité des formalismes entre SMA et jeux de rôles, facilite l'utilisation conjointe de ces deux outils. Les SMA seront alors plutôt utilisés pour simuler des évolutions à long terme, tandis que les jeux de rôles auront plutôt un but d'apprentissage tant pour les chercheurs (compréhension des comportements d'acteurs durant le jeu de rôle) que pour les acteurs (réflexion sur le système et les interactions).

Ainsi, les SMA sont l'outil de modélisation privilégié de la modélisation d'accompagnement, et notamment dans le cadre d'applications liées à la gestion des ressources naturelles.

e) La communauté de la modélisation d'accompagnement

Aujourd'hui, les chercheurs utilisant la modélisation d'accompagnement se sont regroupés dans une communauté qui possède son propre forum et dont les membres se retrouvent annuellement lors de séminaires au cours desquelles ils échangent leurs expériences et consolident les fondements de leur démarche. Devant l'enthousiasme d'un certain nombre de chercheurs désirant appliquer cette démarche et en raison de l'impact encore mal défini que ce type d'applications peut avoir sur le terrain, la communauté a ressenti le besoin de définir une charte déontologique de la modélisation d'accompagnement (Barreteau et others 2003)²¹. En outre, deux éditions spéciales de JASSS (Journal of Artificial Societies and Social Simulation) ont été dédiées à l'usage des jeux de rôles pour la modélisation d'accompagnement²².

3.2.2. Modes opératoires de la modélisation d'accompagnement

Pour parvenir à la mise en place d'une telle démarche, diverses méthodes existent. Néanmoins, une constante se retrouve dans l'ensemble de ces méthodes. Il s'agit de l'implication des acteurs dans la construction du modèle, et ce pour deux raisons :

- étant donné que le modèle est dédié à être présenté et utilisé par les acteurs, leurs implications dans sa construction facilite (1) la compréhension de la structure du modèle par les acteurs, (2) l'appropriation du modèle par les acteurs (Barreteau, et al. 2001)
- en construisant le modèle par eux-mêmes, les acteurs y intègrent, de fait, leurs représentations individuelles et, si la construction est faite de manière collective, elle témoigne, de fait, de la construction d'une représentation partagée.

Bien entendu, ces deux aspects sont liés et interagissent : l'appropriation du modèle passe par le fait que les acteurs y intègrent leurs représentations et inversement.

²¹ <http://cormas.cirad.fr/pdf/ComModCharte.pdf>

²² <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/2/contents.html> et <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/3/contents.html>

Nous avons distingué deux manières d'opérer la modélisation d'accompagnement. La première implique les acteurs dans des phases de simulations s'inscrivant dans un cycle de construction du modèle pouvant être répétés plusieurs fois. La deuxième façon implique les acteurs dans la création et la construction du modèle au cours de séances pouvant être effectuées sur une période de quelques jours.

a) Cycle de la modélisation d'accompagnement

Pour Barreteau, la modélisation d'accompagnement implique la réalisation de boucles permanentes entre trois phases du processus de modélisation : (i) l'observation, l'analyse et l'interprétation du terrain, (ii) la modélisation des informations recueillies sur le terrain et (iii) la simulation de scénarios qui soulèvent de nouvelles questions devant être explorées lors de retours sur le terrain (Figure 9). La mise en place de cette approche permet de récolter, rapidement et de manière continue tout au long de la construction du modèle, l'avis des acteurs sur la structure du modèle et les scénarios simulés, permettant ainsi de corriger et d'améliorer le modèle.

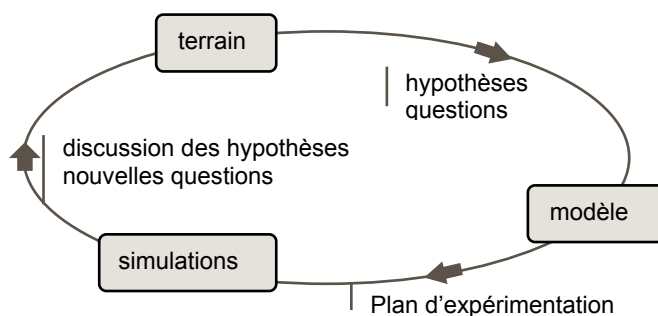


Figure 9 : Le cycle terrain-modèle-simulation de la modélisation d'accompagnement (Barreteau 1998)

Pour la construction du modèle Shadoc, Barreteau se sert de cette boucle à plusieurs reprises en impliquant les acteurs de la gestion de périmètres irrigués de la vallée du fleuve Sénégal à chaque phase de simulation. Il se sert d'ailleurs durant cette phase d'une version informatique du modèle ou d'une version du modèle sous forme de jeu de rôle (Barreteau, et al. 2001). Ce processus cyclique de construction du modèle est repris dans d'autres applications (Barreteau et al. 2003, Etienne et al. 2003, Borderelle 2002) et reste vrai pour la plupart des applications menées dans le cadre de la modélisation d'accompagnement. En outre l'usage du jeu de rôle dans l'expérience de Shadoc a suscité un vif intérêt et a participé à la mise en place d'un deuxième mode opératoire pour l'application de la modélisation d'accompagnement.

b) Conception du modèle par les acteurs

Le principe de ce mode opératoire repose sur une phase de construction du modèle par les acteurs suivie d'une phase de simulation dont les scénarios auront été définis par les acteurs. Pour garder un maximum d'interactivité entre le modèle et les acteurs, les chercheurs tentent de concentrer la phase de conception et de simulation au cours d'une même séance. En pratique ces séances se déroulent sur plusieurs journées mais ne dépassent jamais une période de cinq jours. Pour être opérationnel, ce type de séances nécessite une bonne connaissance préalable du terrain et de ses problématiques afin de pouvoir accompagner les acteurs dans leur conception du modèle.

La première tentative d'application fut menée en 1998 au Sénégal et impliquait des agriculteurs et des éleveurs sur une problématique d'accès à l'eau (d'Aquino et al. 2002). La séance se déroulait sur trois jours. Au cours du premier jour les acteurs ont été amenés à définir les éléments du système devant être représentés dans le modèle. Lors du deuxième jour, les acteurs ont joué à un jeu de rôle reprenant les éléments définis la veille et se sont ainsi familiarisés avec les concepts de simulation et de SMA étant donné les correspondances existantes entre jeux de rôles et SMA²³. Au cours de cette journée les acteurs ont également été invités à définir différents scénarios répondant à la problématique d'accès à l'eau. En outre le jeu de rôle a permis aux chercheurs d'identifier les règles de gestion et les dynamiques exprimées par les acteurs durant la session de jeu. Au cours de la nuit entre le deuxième et le troisième jour, le jeu de rôle fut transcrit sous forme de modèle multi-agents dans l'ordinateur en reprenant les éléments et les règles préalablement identifiés. Le troisième jour, le modèle fut présenté aux acteurs et les scénarios identifiés furent simulés. Ce qui valida alors la démarche fut la réaction des acteurs qui, rappelons le, n'avaient jamais utilisé d'ordinateurs auparavant. Ces derniers ont rapidement su s'approprier le modèle : discutant les résultats des simulations, émettant des réserves sur la validité de certaines informations provenant du modèle, proposant de nouvelles simulations pour tester d'autres solutions aux problèmes rencontrés (Figure 10).

Le modèle n'était plus une boîte noire dont on ne comprend pas le fonctionnement, mais bel et bien un objet commun aux participants, et un outil, dont on maîtrise les faiblesses et les atouts, permettant d'explorer divers scénarios. Le succès de cette première application, baptisée selfCormas (d'Aquino et al. 2003, Bousquet et al. 2001b), amena par la suite la communauté grandissante de la modélisation d'accompagnement à renouveler l'expérience et bien d'autres applications furent menées ou sont en cours d'exécution (Lacombe et al.

²³ Joueur et agent ; rôle et règles ; plateau de jeu et interface ; session de jeu et simulation ; tour de jeu et pas de temps (Barreteau 2003)

2005, Barnaud 2004, Gurung 2004, Perez et al. 2004, Promburom 2004, Veipas et al. 2004, Campo 2003, Mathevet, et al. 2003, Trébuil et al. 2002, Bousquet et al. 2001a).



Figure 10 : Agriculteurs et éleveurs discutent les résultats de la simulation présentés sur l'ordinateur. En arrière plan sur le mur, le plateau du jeu de rôle joué la veille.

Différents modèles d'organisation des séances de conception et d'utilisation de ces SMA ont été testés. Boissau et Castella utilisent des séances de six jours avec leur modèle SAMBA dédié à la compréhension des dynamiques agraires dans les montagnes du Nord Vietnam (Castella et al. 2005, Boissau et Castella 2003, Castella et al. 2002). Le premier jour est consacré au choix des participants et à la collecte de diverses informations sur le village dans lequel la séance se déroule. Durant le deuxième jour, les acteurs participent à un jeu de rôle dont le plateau de jeu est constitué de cubes dont chaque face représente par un code de couleur une occupation du sol. A chaque tour de jeu, les joueurs peuvent changer l'occupation du sol en faisant tourner les cubes (Figure 11).



Figure 11 : Le plateau de jeu de SAMBA et ses joueurs (Castella et al. 2003)

Durant les trois jours suivants, l'équipe de chercheurs interroge les participants sur les raisons des choix qu'ils ont faits durant le jeu. Les règles de gestion et de comportements des acteurs alors identifiées sont implémentées dans un modèle informatique dont l'interface est similaire au plateau de jeu. Le sixième jour, le modèle est présenté aux participants et des scénarios sont simulés.

La phase d'enquête effectuée entre le jeu de rôle et la présentation du modèle s'est avérée particulièrement importante pour arriver à une formalisation adéquate des représentations des acteurs dans le modèle. Si Boissau effectue cette phase sur une durée de trois jours, en raison de l'objectif de SAMBA qui est plus orienté vers l'acquisition des représentations des acteurs que l'aide à la concertation, les applications qui ont suivi, ont conservé cette phase d'enquête tout en la raccourcissant. Ainsi l'organisation des séances semble actuellement s'orienter vers le modèle suivant : (1) session de jeu de rôle le premier jour, (2) un ou deux jours d'enquêtes, (3) présentation du modèle et simulations (Gurung 2004, Vejpas, et al. 2004).

3.2.3. L'identification et la modélisation des représentations dans la modélisation d'accompagnement

La modélisation d'accompagnement est donc avant tout une démarche de modélisation, combinant les techniques de la modélisation et les approches participatives. Ces dernières prennent diverses formes et sont utilisées à différentes phases du processus de modélisation. Néanmoins, le jeu de rôle, dont le formalisme peut être assimilé à celui des SMA, est de plus en plus utilisé.

Dans la réalité les comportements s'expriment en des lieux et à des moments divers et variés. Le jeu de rôle est alors un artifice permettant de rassembler, dans un univers plus ou moins contrôlés, les comportements et les interactions sociales en une unité de lieu et de temps. Les séances de jeux de rôles se comportent alors comme des plates-formes d'observation des comportements d'acteurs. Ils offrent la possibilité aux chercheurs d'observer et d'analyser toute la complexité des décisions et des interactions sociales. L'usage du jeu de rôle est par ailleurs souvent complété par d'autres méthodes d'observation. Par exemple, dans l'expérience de selfCormas, le premier jour consacré à la définition des éléments du modèle par les acteurs, fait penser à un « focus group » permettant d'identifier collectivement les structures du système avec la participation d'un animateur. Dans l'expérience menée sur la gestion des systèmes rizières de plaine dans le Nord-Est de la Thaïlande (Vejpas, et al. 2004), comme dans de nombreuses autres applications (Barnaud 2004, Perez, et al. 2004, Boissau et Castella 2003), des entretiens sont effectués à la suite du jeu de rôle pour identifier les raisons qui ont conduit les participants à prendre telle ou telle décision durant le jeu. Ces techniques peuvent également être complétées par des observations directes sur le terrain. Dans la modélisation d'accompagnement, la démarche d'identification des comportements et des représentations d'acteurs est donc l'interprétation des observations faites durant le jeu de rôle, et dans certains cas dans la réalité. Le rôle de l'animateur, que ce soit lors de simples discussions ou durant une séance de jeu de rôle, est un élément important de la démarche. Il intervient, de

fait, dans la construction du modèle. L'animateur et l'équipe de modélisateurs doivent avoir une bonne connaissance du système étudié, ainsi qu'une bonne maîtrise et expérience des outils utilisés et de la démarche de modélisation d'accompagnement. Il n'en reste pas moins, que dans toutes ces démarches la question est celle de l'interprétation des observations pour la modélisation.

Parmi les différents comportements d'acteurs qui apparaissent lors d'une séance de jeu de rôle, quels sont ceux retenus et ceux écartés pour la modélisation ? La même question se pose à propos des éléments du système que nous choisissons de représenter dans le modèle. La modélisation d'accompagnement suggère que c'est au travers des allers-retours entre le terrain et le modèle que ces choix s'opèrent et que c'est aux acteurs eux-mêmes d'indiquer ce qui doit être dans le modèle et ce qui peut en être écarté - cette démarche est notamment utilisée dans (Borderelle 2002). Mais alors comment s'assurer que certains groupes d'acteurs ne vont pas dominer le processus et imposer leur représentation ? En d'autres termes, comment parvenir à un modèle respectant l'hétérogénéité des représentations ?

Comment interpréter les observations en termes de règles qui puissent ensuite être implémentées dans un modèle ? Les architectures d'agents et les concepts tels que la perception, l'apprentissage, les bases de connaissances que nous avons présentés précédemment, peuvent aider à structurer les informations recueillies mais qu'en est-il alors de la microstructure du modèle ; des procédures et des interactions entre les éléments du modèle ? Là encore, les biais d'interprétations sont présents et la littérature de la modélisation d'accompagnement ne propose pas vraiment de méthodes pour minimiser ces biais.

En outre, si les jeux de rôles et les techniques associées révèlent les comportements d'acteurs, la question de la représentation reste à cerner. Si la modélisation d'accompagnement passe par la modélisation des représentations, sa méthode d'acquisition reste centrée sur les comportements et les représentations ne font que transparaître des comportements modélisés. N'y a-t-il pas alors besoin de mettre en place des méthodes d'acquisition qui soient plus spécifiques à l'identification des représentations ?

A toutes ces questions, la littérature de la modélisation d'accompagnement ne répond que partiellement. En effet, il est notable que la modélisation d'accompagnement ne se sert pas de modèles prédéfinis pour établir une méthodologie formelle et générique d'intégration des représentations dans le modèle. Chacun procède à sa manière pour réaliser cette intégration. Souvent les articles présentent une description de la zone d'étude puis la description du modèle, mais il est rare que la méthode permettant de passer du terrain au modèle soit décrite. Le jeu de rôle y est souvent présenté comme étant la méthode

d'identification et de formalisation des représentations, mais peu de détails sont indiqués quant à l'identification des règles du modèle et l'interprétation des observations

Ces constats nous incitent à penser qu'il n'existe pas pour l'instant de méthodes formelles pour identifier, formaliser et modéliser les représentations dans le cadre des SMA participatifs et de la modélisation d'accompagnement. Ce constat constitue le cœur de notre problématique. Nous pensons que, maintenant que (i) la modélisation d'accompagnement a prouvé son efficacité à promouvoir la concertation, la négociation et la prise de décisions collectives entre des acteurs aux points de vues hétérogènes, et que (ii) la démarche commence à être utilisée par de plus en plus de chercheurs, l'établissement d'une méthodologie formelle d'intégration des représentations des acteurs dans le modèle (la première étape de la modélisation d'accompagnement) devient nécessaire. Une telle méthodologie permettrait (i) de structurer la démarche de la modélisation d'accompagnement facilitant ainsi sa mise en place sur de nouveaux terrains, et (ii) d'apporter un côté générique au processus d'intégration des représentations des acteurs dans le modèle.

La méthodologie que nous proposons dans cette thèse intervient sur trois points.

- L'interprétation des dires d'acteurs, via les techniques d'élicitation de l'ingénierie des connaissances.
- La distinction des représentations hétérogènes, au travers de l'établissement de profils de représentations et de méthodes d'acquisition centrées sur les représentations.
- L'intégration et l'implémentation des représentations dans un modèle multi-agents, via une architecture d'agent dans laquelle les représentations sont explicitement définies.

L'ingénierie des connaissances est un domaine qui s'est beaucoup intéressé à l'acquisition et à l'intégration des connaissances dans un modèle informatique, souvent appelé système expert. Les méthodes utilisées ont fait l'objet de nombreuses recherches et bénéficient de la longue expérience de mise en pratique des ingénieurs de ce domaine. L'élicitation est le procédé par lequel les connaissances sont extraites et formalisées. Nous pensons que les techniques d'élicitation utilisées dans ce domaine peuvent constituer l'outil formel qui manque à la modélisation d'accompagnement pour identifier et modéliser les représentations. L'usage des techniques d'élicitation en modélisation d'accompagnement est novateur. Mais si les principes de ces techniques doit être étudié avec soin, comme nous allons le voir dans le chapitre suivant, la question centrale reste celle de l'usage de ces différentes techniques dans une méthodologie d'ensemble (chapitre 5).

Nous allons donc à présent nous intéresser au domaine de l'ingénierie des connaissances, aux méthodes d'élicitation, à la façon de formaliser les connaissances, ce qui nous vaudra un détour du côté de la représentation des connaissances et du formalisme Orienté-Objet, et enfin aux limites et contraintes de ces techniques.

4. Les techniques de l'ingénierie des connaissances

Dans ce chapitre nous nous proposons d'examiner la modélisation des représentations et de la connaissance en dehors du champ des SMA. Nous nous intéressons plus particulièrement aux techniques « d'élicitation » provenant de l'ingénierie des connaissances. Le terme « élicitation » est un anglicisme dont nous n'avons pas pu trouver de traduction française acceptable et dont nous proposons ci-dessous une définition.

Définitions

Eliciter : ▪ (dictionnaire Oxford) Susciter ou obtenir, acquérir une réponse ou un fait d'une personne en réaction à une question, une impulsion ou une action perpétrée par une autre personne.

Elicitation de la connaissance : ▪ (sciences cognitives) Extraction ou acquisition de la connaissance d'une personne. L'hypothèse étant qu'une personne ne peut exprimer sa connaissance spontanément, les chercheurs se servent de diverses techniques d'élicitation (interview, mise en situation, zonage à dire d'acteur, ...) pour « capturer » et spécifier la connaissance des personnes.

L'ingénierie des connaissances est la technique de l'intelligence artificielle appliquée par les ingénieurs de la connaissance pour construire, ce que l'on peut regrouper sous le terme « systèmes intelligents », des systèmes experts, des systèmes à base de connaissances, des systèmes d'aide à la décision à base de connaissances, des bases de données expertes (McGraw et Harbison-Grigg 1989). Le principe de l'ingénierie des connaissances est relativement simple. Il consiste à demander à des experts humains²⁴ de décrire et de fournir des informations afin de pouvoir les modéliser. Ces informations portent sur : (i) comment ils prennent des décisions lorsqu'ils sont confrontés à un problème, (ii) quelles informations et données ils utilisent pour prendre leurs décisions, (iii) quelles sont les opérations à effectuer pour parvenir à résoudre le problème. Ainsi l'accent est porté sur la connaissance de l'expert sur un domaine particulier et la façon dont il prend ses décisions et les met en action. Le processus « d'extraire » ces informations d'un expert est appelé élicitation de la connaissance ou acquisition de la connaissance. Le système intelligent construit sur la base des connaissances élicitées est alors censé être capable de résoudre des problèmes et de fournir des solutions automatiquement, comme le ferait un expert humain.

²⁴ Nous utiliserons le terme expert pour parler de la personne dont on souhaite éliciter la connaissance ; et nous parlerons de l'ingénieur pour évoquer la personne qui procède à l'élicitation de la connaissance de l'expert.

L'ingénierie des connaissances doit donc traiter l'élicitation de la connaissance et la modélisation de la connaissance. Deux courants et démarches différents sont utilisés par les ingénieurs pour parvenir à ce but : la « démarche de transfert » et la « démarche modélisatrice » (Lukose et Kremer 1996). Dans la démarche de transfert, l'élicitation de la connaissance et sa modélisation sont opérées en deux phases successives, alors que dans la démarche modélisatrice, l'élicitation de la connaissance est incorporée au processus de modélisation.

Dans ce chapitre, nous examinons ces deux démarches en nous intéressant plus particulièrement à la démarche de transfert dont nous utilisons les techniques dans cette thèse. En outre, le langage de programmation que nous utilisons pour la modélisation étant basé sur le formalisme Orienté-Objet, nous nous sommes également intéressés aux parallèles existant entre les techniques d'élicitation et le formalisme Orienté-objet. Ainsi, dans la partie consacrée à la démarche de transfert, nous étudierons les travaux réalisés en représentation des connaissances dans une perspective de formalisation Orientée-objet. En conclusion de ce chapitre nous mettrons l'accent sur les limites de l'ingénierie des connaissances et des techniques d'élicitation.

4.1. La démarche de transfert

La démarche de transfert applique des techniques d'élicitation de la connaissance pour transférer la connaissance dans un logiciel informatique appelé système intelligent (Menziez 2000). De manière schématique cela est effectué en deux phases : la phase d'élicitation et la phase de modélisation. Cette deuxième phase consiste à formaliser et à conceptualiser la connaissance de façon à pouvoir l'intégrer et l'implémenter dans l'ordinateur. Néanmoins, le formalisme de l'ordinateur engendre de nombreuses contraintes sur le processus dans son ensemble. Cela est principalement dû au fossé existant entre la façon dont l'expert s'exprime et le formalisme du langage informatique (Lépy 1997). C'est pourquoi, les opposants à ce courant appellent cette démarche « élicitation dirigée par l'implémentation » et ont voulu par la démarche modélisatrice opérer une « élicitation dirigée par le modèle conceptuel ».

Les étapes classiques d'une « élicitation dirigée par l'implémentation » sont : (i) identification du domaine (concepts, relations), (ii) élicitation, (iii) conceptualisation, (iv) implémentation, (v) test du modèle (Waterman et Newell 1971). Dans cette partie nous nous intéresserons plus particulièrement aux trois premières étapes, et nous avons structuré notre discussion sur les différentes techniques d'élicitation utilisées.

4.1.1. Entretien

L'entretien a été la première technique d'élicitation utilisée en ingénierie des connaissances et reste aujourd'hui la plus utilisée par les ingénieurs (Trimble 2000). La raison en est que

cette technique permet d'éliciter un grand nombre de niveaux de connaissances (knowledge levels). Les niveaux de connaissances ont été définis dans la théorie de Newell qui distingue différents types de connaissances : les faits et les règles, les concepts et relations, et les connaissances tacites (Newell 1982). L'entretien permet d'éliciter les deux premiers niveaux mais n'est pas adéquat pour les connaissances tacites.

Mis à part les entretiens aux questions fermées, qui limitent grandement la liberté d'expression de l'expert, deux types d'entretiens sont utilisés. L'entretien semi-structuré repose sur un plan de discussion constitué de questions ouvertes qui sont posées à l'expert de façon ordonnée ou désordonnée. La personne menant l'entretien doit alors laisser un maximum de liberté d'expression à l'expert tout en évitant les digressions (Rialle 1990). Pour éviter les digressions, Rialle suggère que l'expert soit informé de l'objectif de l'entretien et que l'ingénieur posant les questions utilise une grille de discussion afin de mieux structurer la discussion. L'entretien non-dirigé est la technique la plus difficile à mettre en place et nécessite une bonne expérience de la part de la personne menant l'entretien (Trimble 2000). Dans cette technique, aucune question n'est préparée à l'avance. Comme dans le cas des récits de vie, une seule question est posée en début d'entretien et l'enquêteur n'est pas autorisé à interrompre l'expert, mais seulement à poser des questions de relance si nécessaire. Rialle estime que l'entretien non-dirigé n'est pas approprié à des domaines trop complexes étant donné la difficulté d'analyse des informations recueillies (Rialle 1990).

La principale limite des entretiens réside dans le fait que suivant les questions et le type de questions posées et la façon dont elles sont formulées, la réponse peut différer et le type de connaissance extraite sera différent (La France 1987). Ainsi, l'ingénieur ne peut pas savoir à l'avance si une question va ouvrir un nouveau domaine de connaissance ou si elle va amener l'expert à approfondir le domaine de connaissance en cours de discussion (Lépy 1997). Afin de trouver une solution face à l'incertitude de la réponse, La France soutient que chaque réponse à une question doit d'abord être analysée à l'aide d'une grille d'analyse, avant qu'une nouvelle question soit posée. Cette opération devant être effectuée au cours de l'entretien, la personne menant l'entretien doit être entraînée à l'utilisation de cette grille d'analyse. Néanmoins, De Lamater répond qu'entraîner un enquêteur à l'utilisation d'une telle grille, engendre forcément une appropriation des questions, ce qui a pour conséquence d'accentuer la subjectivité des questions posées. Au travers de différentes expériences ce dernier observa une plus grande disparité dans les réponses avec des enquêteurs entraînés qu'avec des enquêteurs non-entraînés (De Lamater 1982).

En outre, bien qu'ils puissent éliciter des concepts et des choix conscients (connaissances déclaratives), les entretiens ne peuvent éliciter des processus de décisions ou des procédures inconscientes (connaissances procédurales ou tacites) (Lépy 1997). C'est pourquoi McGraw et Harbison-Gribb suggèrent que pour les connaissances tacites, d'autres

techniques doivent être utilisées en plus des entretiens telles que l'analyse de tâches, l'analyse de protocoles ou l'observation de l'expert durant son travail d'expertise (McGraw et Harbison-Grigg 1989).

4.1.2. Techniques dédiées aux connaissances tacites

Un premier type de techniques dédiées aux connaissances tacites est le brainstorming et le brainwriting (version écrite et non pas orale du brainstorming). Ces techniques peuvent être réalisées en groupe, ou avec une seule personne, en demandant au(x) participant(s) de formuler les concepts et les idées qui leurs viennent à l'esprit, un par un et le plus rapidement possible. Le fait de demander à l'expert de penser et de formuler ses idées le plus rapidement possible est supposé permettre de contourner les obstacles mentaux de la verbalisation ou de l'écriture (Rialle 1990). Dans un certain sens, cette technique opère un peu comme l'écriture automatique du surréaliste André Breton, permettant de générer des associations d'idées ou d'images inconscientes (Breton 1924).

Un deuxième type de technique réside dans l'observation directe (Galloin 1988, Hoffman 1987) qui consiste à observer l'expert en situation de résolution de problème. Le rôle de l'ingénieur est alors d'observer et d'enregistrer les actions et les comportements de l'expert au moment du déroulement du travail. Il peut également intervenir pour poser des questions selon les hypothèses de travail et les contraintes imposées par la situation observée. Dans le cas de processus de résolution de problèmes particuliers, les actions de l'expert peuvent être enregistrées sur un support vidéo. Une fois la séance réalisée, un entretien avec l'expert peut enrichir les informations recueillies (notes ou bande vidéo), et ces dernières sont ensuite analysées (Lépy 1997). L'élicitation des connaissances tacites est permise du fait qu'elles sont inscrites dans les actions exécutées par l'expert, bien que ce dernier n'en ait pas pris conscience, et que l'ingénieur les ait enregistrées. Dans la pratique, l'observation peut être réalisée en situation réelle, quand l'expert est sur son lieu de travail et exécute ses activités de tous les jours, ou en laboratoire, dans lequel cas l'expert est mis en situation et les actions sont simulées.

Les méthodes telles que le suivi de processus (dédié à la résolution de problèmes) ou l'analyse de tâches (dédiée à l'élicitation de procédures) sont dédiées à des niveaux de connaissances spécifiques (McGraw et Harbison-Grigg 1989). Elles consistent à demander à l'expert de réfléchir à voix haute à l'ensemble des actions, processus ou tâches qu'il effectue pour atteindre son objectif face à une situation donnée. Les paroles de l'expert sont enregistrées, transcrites mot pour mot sur papier, puis analysées grâce à des techniques comme l'analyse de protocole.

4.1.3. Analyse de protocole

Nous avons jusqu'à présent présenté des techniques consistant à enregistrer des informations à propos de différents processus. Ces informations peuvent être enregistrées sur divers supports, le plus répandu étant tout simplement une transcription écrite. La deuxième étape de la phase d'élicitation consiste à analyser ces informations afin d'en extraire les informations nécessaires pour la modélisation. Il arrive que les ingénieurs utilisant les techniques présentées plus haut fassent une analyse informelle des informations recueillies et en extraient directement les informations qui leur sont nécessaires. Cela peut être envisagé dans le cas où l'ingénieur sait exactement ce qu'il recherche, ou si la quantité d'informations est faible ou si l'ingénieur est particulièrement expérimenté pour analyser correctement les actions et les déclarations des experts. Néanmoins, dans le cas de processus complexes ou de l'analyse de transcriptions provenant de plusieurs experts, et lorsque l'on souhaite s'assurer d'une certaine structure et de la reproductibilité de la méthode d'analyse, un formalisme explicite est nécessaire. Pour cela, l'analyse de protocole est la principale technique employée en ingénierie des connaissances²⁵.

a) Description de la méthode

Les bases de l'analyse de protocole viennent de la psychologie cognitive, qui utilise des méthodes d'introspection pour acquérir une meilleure connaissance des processus mentaux (Newell 1982, Newell et Simon 1972, Waterman et Newell 1971). Pour procéder à une analyse de protocole la première condition est d'obtenir une transcription portant en elle les informations sur le domaine, les tâches ou d'autres niveaux de connaissances. Il peut s'agir de la transcription d'un entretien, d'un brainstorming, d'une analyse de tâches, etc. Certains ingénieurs utilisent également des rapports d'experts ou diverses documentations écrites par les personnes cibles (Trimble 2000). Le point important est que le document utilisé traduise le plus fidèlement possible la pensée de la personne dont on veut acquérir la connaissance. C'est pourquoi, dans le cas d'entretien, il est vivement recommandé que la transcription soit faite mot pour mot.

L'analyse consiste alors à identifier dans la transcription et à enregistrer (en surlignant par exemple) tous les mots et expressions sémantiques liés aux concepts se rapportant au domaine étudié. L'identification est ensuite répétée pour les autres types de connaissances cités par Newell, à savoir les faits, les règles et les relations. Afin de faciliter ce travail, des logiciels informatiques tels que Atlas-ti, Nud-Ist ou FSQ, peuvent être utilisés (Shapiro et

²⁵ Dans certains ouvrages le terme « analyse de protocole » est employé pour parler d'une technique similaire à l'analyse de tâches et de la méthode d'analyse des transcriptions obtenues. Dans cette thèse, nous employons ce terme pour parler uniquement de la méthode d'analyse des transcriptions, qui peut d'ailleurs être utilisée avec d'autres techniques de recueil d'informations.

Hughes 1999, Barry 1998, Murray 1998). Ces logiciels, qui sont également utilisés par les sociologues pour l'analyse de données qualitatives, permettent l'annotation et la codification des mots et des expressions sémantiques. Des classifications, des rapports organisés par niveau de connaissances ou d'autres formalisations²⁶ peuvent alors être générés automatiquement, mais en aucun cas l'identification des concepts, règles et relations ne peut être automatisée.

b) Les objets de connaissance

L'expérience et la pratique de l'analyse de protocole, ont permis aux ingénieurs de la connaissance d'affiner et d'adapter la classification de Newell des niveaux de connaissances. Ils ont identifié différents types de ce qu'ils appellent des objets de connaissances (knowledge objects) et y ont associé des expressions sémantiques typiques pour chacun d'entre eux (Ehret et al. 2000, Gray et Kirschenbaum 2000, Mao et Benbasat 2000, Milton et al. 1999, Gray et Anderson 1987). Le Tableau 1, présente une adaptation de la classification de Milton des objets de connaissances et des expressions sémantiques qui leur sont associées.

Objets de connaissance	Description	Expression sémantique
Concepts (objet physique, idée, personne, organisation)	Un concept est décrit par sa relation à d'autres concepts et par ses attributs et ses valeurs	Habituellement équivalent à des noms propres ou des noms communs
Instances	Instance d'une classe de concept	Ex. "ma voiture" est une instance du concept "voiture"
Processus (tâche, activité)	Ensemble d'actions exécutées pour satisfaire un but ou un ensemble d'objectifs. Ils sont décrits par d'autres objets de connaissance, tel que inputs et outputs, des ressources, des rôles ou des éléments de décision	Ex. "bâtir une maison", "concevoir un moteur", "planifier un projet"
Attributs et valeurs	Décrit les propriétés d'autres objets de connaissance. Attributs : Propriétés, caractéristiques génériques d'une classe de concept. Valeurs: Caractéristiques spécifiques d'un concept. Les valeurs sont associées à un attribut spécifique.	Attribut Ex. "poids", "coût", "âge" Valeur Equivalent aux adjectifs numériques: Ex. "120 kg", "6 ans" catégoriques: "lourd", "jeune"
Règles	Déclaration de la forme de "Si ... alors"	Ex. "Si... alors..." "Faire... jusqu'à ce que..."
Relations	Relation entre concepts ou tâches. Le type de relation peut être une classification ou une composition	Habituellement équivalent à des verbes passifs Classification: Ex. "...est un..." Composition: Ex. "...fait partie de ..."

Tableau 1 : Correspondances entre objets de connaissances et expressions sémantiques selon Milton et al. (1999)

²⁶ C'est par exemple le cas d'Atlas-ti qui, une fois les concepts et relations identifiés, permet de les représenter sous la forme d'un réseau, un peu à la manière d'une ontologie.

Dans le cadre de cette thèse, ce qui nous intéresse particulièrement dans cette classification est la proximité de sa structure d'extraction (les objets de connaissances) avec le formalisme de la programmation Orientée-objet que nous utilisons pour la modélisation multi-agents. Cela nous a amené à nous intéresser plus spécifiquement à la technique de l'analyse de protocole et à la façon de l'adapter pour formaliser de manière synthétique la représentation d'un individu²⁷. Pour cela nous avons recherché du côté de la représentation des connaissances²⁸, des structures d'extraction pouvant s'adapter aussi bien à la structure du langage qu'à la programmation Orientée-objet. La structure d'extraction Concept-Relation présentée au paragraphe suivant a répondu à nos attentes.

4.1.4. Représentation des connaissances, analyse de protocole et formalisme Objet

a) La structure Concept-Relation

Lorsqu'il s'agit de structurer et d'extraire les connaissances d'un texte ou du discours d'une personne, les linguistes (les morpho-linguistes notamment) et les modélisateurs s'accordent souvent pour distinguer les connaissances déclaratives des connaissances procédurales (Hui et al. 2003, Paquin et Dupuy 1995, Paquin et al. 1990). Les connaissances déclaratives d'un domaine reviennent à se poser la question : « de quoi le domaine est-il fait ? » Les connaissances procédurales posent la question : « Comment ? ». Certains ajoutent également les connaissances structurelles qui reviennent à se poser la question : « Pourquoi ? ». Appliquées à notre recherche sur la représentation qu'une personne se fait d'un système, ces trois questions deviennent : « de quoi le système est-il constitué ? » (déclaratif), « pourquoi fonctionne t-il de telle façon ? » (structurel) et « comment fonctionne t-il ? » (procédural).

Du point de vue morpho-linguistique, les connaissances déclaratives sur un domaine sont exprimées dans le discours d'une personne par des propositions constituées de concepts reliés entre eux par des prédicats qui sont des objets relationnels (Gensel 1995a). Ce découpage entre concepts et relations (relations entre les concepts) est couramment utilisé en ingénierie des connaissances car il permet une représentation simple et synthétique de la structure d'un domaine (Menziez 2000). On retrouve cette structure Concept-Relation dans de nombreux champs de la représentation des connaissances : dans les structures

²⁷ En effet, il nous est apparu important dans la méthodologie de cette thèse d'avoir une formalisation synthétique et explicite des représentations des acteurs enquêtés afin de pouvoir faire vérifier les résultats obtenus par les acteurs eux-mêmes.

²⁸ La représentation des connaissances est un champ de l'intelligence artificielle dont le but est de rendre compte et de formaliser un domaine particulier d'application de sorte que la représentation ou le modèle obtenu soit manipulable par une machine.

ontologiques (Heylighen 1991), dans les cartes cognitives (Chaib-draa 2002, Eden et al. 1992) ou encore dans le champ de la modélisation de données (Data Modeling) (Debenham 1998, Ullman 1988). L'une des raisons pour laquelle cette structure d'extraction des connaissances est si répandue vient du fait que si les concepts et relations sont explicatifs des constituants du système (connaissances déclaratives), ils portent également en eux le « pourquoi » et le « comment » du fonctionnement de ce système (connaissances structurelles et procédurales) (Hui, et al. 2003). Par exemple, une assertion causale comme « Il pleut donc mes cultures sont de bonne qualité » renseigne sur la structure du domaine (Pluie, Culture, Relation entre Pluie et Culture) mais aussi sur son fonctionnement (« lorsqu'il pleut les cultures sont de bonne qualité »). Ainsi la structuration de l'extraction en terme de concept et de relation est un formalisme à la fois simple et riche (extraction du « de quoi », du pourquoi et du comment) des dires d'acteurs.

Appliquée à notre domaine d'étude, cette structure d'extraction revient à identifier et à formaliser les entités du système d'une part, et les relations entre ces entités d'autre part. Néanmoins, cette structure doit également répondre à un critère d'implémentation que nous abordons à présent.

b) La structure Concept-Relation et l'approche Orientée-Objet

Etant donné le type de modélisation envisagé (SMA basés sur un langage de programmation Orientée-objet), nous avons recherché les liens existants entre une structure Concept-Relation (aussi appelée Entité-Relation) et le formalisme Orienté-objet. Ce rapprochement est grandement facilité par la proximité existant entre ces deux formalismes (la structure Concept-Relation a d'ailleurs participé historiquement à l'élaboration du paradigme Orientée-objet) (Graham 2001). Dans le domaine de la programmation Orientée-objet, il existe une sémantique conceptuelle qui a pour but d'unifier les différentes sémantiques des langages de programmation. Cette sémantique, appelée UML (Unified Modelling Language), est très utilisée par les programmeurs et permet de conceptualiser la structure et les procédures d'un modèle Orienté-Objet de manière précise et rigoureuse (Booch et al. 1996). Néanmoins, si la sémantique UML permet de conceptualiser aisément la notion de concept, il n'en va pas toujours de même pour la notion de relation. C'est ce que nous montrons dans ce paragraphe et que nous développons dans les paragraphes suivants.

Du concept à l'objet

Il existe une grande similitude entre la notion de concept et celle d'objet (Campbell 2001). Ainsi, dans le formalisme Orienté-objet, les concepts sont représentés par des objets, et les attributs et valeurs des concepts (ce qui renseigne et caractérise les concepts) trouvent leur équivalent dans les attributs et valeurs des objets. De même les activités et les tâches réalisées par ces concepts, sont décrites sous la forme d'opérations exécutées par les

objets. Ainsi, les connaissances déclaratives (ce que sont les objets d'un domaine, de quoi ils sont faits et ce qu'ils peuvent faire) peuvent être facilement représentées dans la sémantique UML (Figure 12).

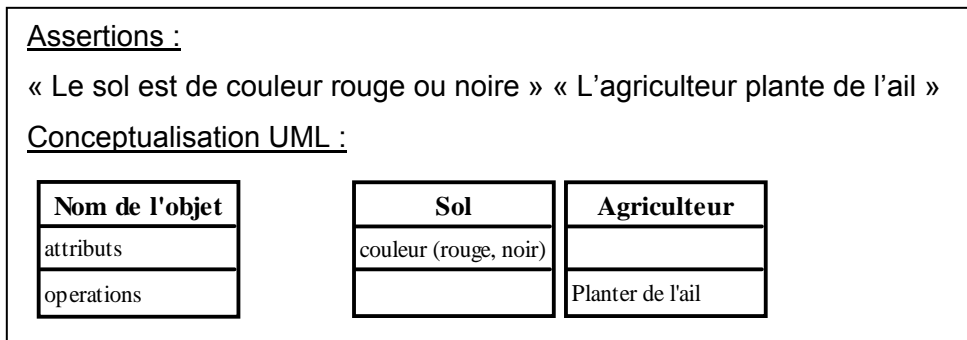


Figure 12 : Sémantique des connaissances déclaratives en UML

Les relations de composition et de classification

Un certain nombre de relations trouvent également leurs équivalents dans l'approche Orientée-objet. C'est notamment le cas des relations de classifications ou de compositions de concepts du type « est un », « est une partie de » qui possèdent leurs équivalents directs dans la sémantique UML.

Toutes les structures vues jusqu'ici (objet, attributs, opérations, classification, composition) peuvent être représentées en UML dans un même diagramme appelé diagramme de classe.

Les relations structurelles et procédurales

Néanmoins, lorsque l'on aborde les relations relatives au pourquoi et au comment du fonctionnement du système, on ne retrouve pas d'équivalence directe dans la sémantique UML (Gensel 1995a). Par exemple, dans l'assertion « lorsqu'il pleut, les cultures sont de bonne qualité », « pleuvoir » est une opération et « qualité » est un attribut de l'objet « culture », mais la relation existant entre la pluie et les cultures ne peut être représentée directement en UML. Attardons-nous un instant sur cet exemple et sur la façon dont il peut être représenté dans la sémantique UML pour revenir ensuite sur le cas général des relations structurelles et procédurales que nous appellerons par la suite les règles de fonctionnement du système.

Cas type : représentation des règles dans la sémantique UML

Comme nous le verrons par la suite les relations telles que celle de l'exemple ci-dessus peuvent s'énoncer sous forme de règles. Ainsi l'exemple ci-dessus équivaut à définir à la règle suivante : « s'il pleut, alors les cultures sont de bonne qualité ». En UML, les règles sont généralement décrites au sein d'une opération sous la forme d'une succession d'inférences logiques et ce à l'aide de diagrammes d'activités. Dans un diagramme d'activité une règle du type si-alors, telle que celle de notre exemple, est représentée de la manière suivante (Figure 13).

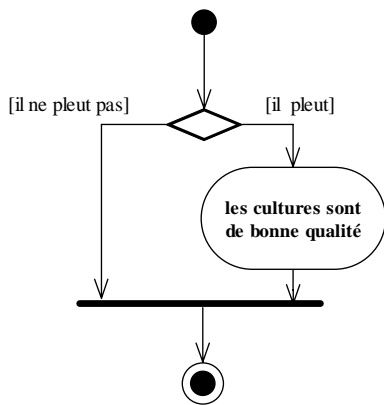


Figure 13 : Représentation d'une règle Si-Alors dans un diagramme d'activité

Or, une telle représentation s'adapte mal à la structure concept-relation dans le sens où il n'est pas possible de faire figurer sur ce diagramme les relations en même temps que les concepts. L'utilisation de « Swimlanes » dans les diagrammes d'activités permet de pallier à ce manque (Odell 1998). Dans cette sémantique, les activités sont rangées dans des colonnes, chaque colonne étant associée à un objet particulier, ce qui permet de retrouver les concepts auxquels les relations sont attachées. A supposer qu'il existe un objet climat et un objet culture, l'exemple précédent prend alors la forme suivante (Figure 14).

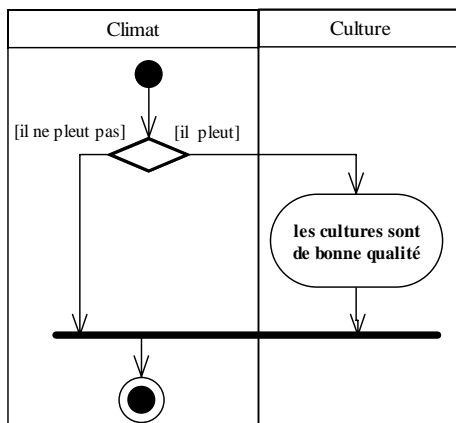


Figure 14 : Représentation d'une règle « Si-Alors » dans un diagramme d'activité avec utilisation des swimlanes

Nous venons donc de voir comment une grande partie des règles sont représentées dans la sémantique UML. Si ce type de schéma réussit à faire ressortir les objets auxquels les activités sont associées, il est pourtant difficile de distinguer de manière explicite la relation qui existe entre les objets de la règle. Dans la Figure 14, la relation part du losange, symbolisant la condition, pour arriver à l'ovale, représentant l'activité exécutée lorsque la condition est vérifiée. Pourtant, lorsque l'on s'intéresse à la description qu'un acteur peut faire du bassin versant dans lequel il évolue, de multiples concepts et de multiples règles sont à prendre en compte. Dans ce contexte, l'utilisation de tels diagrammes résulterait dans

des diagrammes forts complexes et difficiles à manier. L'objectif que nous poursuivons est à l'inverse celui d'une schématisation synthétique de la représentation qu'un acteur se fait de son système ; schématisation pouvant potentiellement être utilisée dans une démarche participative de construction du modèle avec les acteurs. C'est pourquoi nous pensons que les diagrammes d'activités sont, dans notre cas, inadaptés.

Cas général : les règles de fonctionnement du système

Revenons à présent au cas général des relations structurelles et procédurales. Ces relations sont ce que nous appelons les « règles de fonctionnement du système », c'est à dire l'ensemble des relations qui décrivent et qui expliquent comment le système fonctionne, et accessoirement pourquoi il fonctionne de telle manière. Cette locution, que nous emploierons dans notre méthodologie, reflète, à notre sens, l'une des composantes des représentations des individus. L'annexe 3 apporte quelques précisions quant à cette notion de règles de fonctionnement du système.

Si ces relations peuvent prendre dans le discours des acteurs une forme syntaxique sous forme de règles (Si-Alors ou autre type d'inférence), elles peuvent également prendre la forme d'un fait fonctionnel. Un fait fonctionnel est un prédicat pouvant être exprimé comme une fonction d'un élément influant sur un autre élément (DEKARTES 1998). Contrairement aux règles, les faits fonctionnels ne sont pas énoncés de manière procédurale mais plutôt à la manière d'un fait (fait qui agit sur l'état du système) (Casas Gomez 2002). Néanmoins du point de vue de la description du fonctionnement du système ces deux formes d'expression sont identiques (DEKARTES 1998, Maniezzo et al. 1993). Ainsi, l'assertion « s'il pleut, alors les cultures sont de bonne qualité » correspond à la forme procédurale (règle), et « la pluie agit sur la qualité des cultures » correspond au fait fonctionnel. On remarque que dans un fait fonctionnel la condition peut être absente. De plus, la façon dont le second concept est affecté peut également être absente. Dans l'exemple ci-dessus, on ne sait pas si la qualité des cultures est affectée positivement ou négativement. On peut également rencontrer des faits fonctionnels où le verbe est un verbe d'état comme dans l'exemple suivant : « Le climat est bon pour le sol ». Les chercheurs expliquent que ces deux formes d'expression (règle ou fait fonctionnel) reviennent au même du point de vue fonctionnel (pour l'ordinateur), et que l'on peut utiliser l'une ou l'autre dans la formalisation d'un modèle sans perte d'information et sans dénaturer le sens de l'assertion de départ (Menzies 2000, Debenham 1998). Ainsi, nous ferons référence à une règle de fonctionnement du système pour l'une ou l'autre de ces deux formes d'expression.

A présent que nous avons défini la notion de règles de fonctionnement du système et décrit les formes linguistiques qu'elles prennent dans les dires d'acteurs, nous allons aborder la façon de les formaliser dans une sémantique donnée. Pour cela, il nous faut approfondir la

problématique existante à propos de ces règles, et qui a notamment été traitée dans le champ de la représentation des connaissances. Cette problématique réside dans (1) l'importance du rôle que les règles jouent dans la description du système, tant au moment de la description du système par les individus, qu'au niveau de la formalisation de ce système, et dans (2) la difficulté à transcrire ces règles de manière explicite dans un formalisme Orienté-objet (Cibran et al. 2003, Bock 2001, Wu et Cai 2000, Gottesdiener 1999, Gensel 1995b). Dans les deux paragraphes suivants nous développons successivement ces deux aspects.

c) Importance des règles

Les relations d'ordre structurel ou procédural que l'on retrouve dans le discours des acteurs participent pour beaucoup à la description du système. Graham indique que les règles retrouvées dans la description qu'un expert fait du fonctionnement d'un domaine, enrichissent la sémantique du modèle qui en résulte et ce du fait de la description comportementale qu'elles font du système (Graham 2001).

Dans le champ de la représentation des connaissances, de nombreux chercheurs parlent de ces règles comme d'un impératif à la bonne compréhension du système. Suivant le domaine d'application, ces chercheurs insistent sur différents types de règles.

Dans le domaine de la gestion et du business, les chercheurs ont défini ce qu'ils appellent les règles de business (business rules) : « *une règle de business définit ou contraint certains aspects du business. Elle a pour but de soutenir la structure du business ou de contrôler le comportement du business* » (The business rules group 2000). Du point de vue de la modélisation, ces règles sont soit des contraintes (invariance ou condition sur les valeurs de certains attributs des objets du système), soit des déclencheurs d'opération (souvent exprimés par des règles de type cause-conséquence) (Wu et Cai 2000). Ce qui rend ces règles importantes aux yeux des chercheurs de ce domaine réside entre autres dans la nécessité de pouvoir manipuler ces règles aisément du fait des perpétuels changements opérés dans le milieu des affaires et de la gestion (Cibran, et al. 2003). Ainsi en manipulant et en changeant ces règles les utilisateurs peuvent adapter leur modèle aux changements de l'environnement. Bock étend cette perspective à tous les domaines où ce qui prime n'est pas « qui doit faire quoi » (quel objet est responsable de telle action) mais « comment atteindre un but en fonction d'un certain nombre de moyens donnés » (Bock 2001). Ainsi, dans sa proposition d'une modélisation orientée par les buts, il insiste sur l'importance des relations de type moyen-but, qu'il décrit comme des règles devant être lues, corrigées, validées, modifiées et vérifiées par les utilisateurs.

Cette importance reconnue des règles avait amené dans les années 90 l'essor des systèmes à base de règles. Dans ces systèmes, les règles (aussi appelées règles de production²⁹) sont considérées comme la forme élémentaire de représentation de la connaissance. Il était alors soutenu, et cela est toujours soutenu, que les règles de productions se prêtent bien à l'expression du savoir-faire d'un expert, et qu'elles sont un formalisme permettant la représentation du comportement humain, ainsi que les stratégies employées (Gensel 1995a). S'il est effectivement possible de formaliser efficacement la connaissance et le comportement humain dans un système à base de règles, cette approche souffre d'un important manque de structuration de la connaissance (Gensel 1995a). Ainsi, lorsque les chercheurs se sont attachés à modéliser des systèmes de plus en plus complexes, les systèmes à base de règles sont devenus inadaptés, car trop peu à même de structurer le domaine ; et après une quinzaine d'années de recherche dans le champ de la représentation des connaissances, de plus en plus de chercheurs se sont tournés vers un formalisme hybride entre les systèmes à base de règles et la modélisation Orientée-Objet (Cibran, et al. 2003, Graham 2001, Wu et Cai 2000, Gottesdiener 1999)³⁰.

d) Difficulté rencontrée dans les formalismes hybride Règle-Objet

L'idée de ces formalismes hybrides entre systèmes à base de règles et modélisation Orientée-objet est de pouvoir bénéficier de la complémentarité entre objet et règle : les objets permettent de structurer le système et les règles permettent l'intégration des connaissances expertes (Wu et Cai 2000, Gensel 1995a). Néanmoins, ces chercheurs se sont heurtés à la difficulté de transcrire ces règles de manière explicite dans un formalisme Orienté-objet. Le problème vient en fait de la notion d'encapsulation qui est l'un des fondements du formalisme Orienté-objet. L'encapsulation consiste à décrire l'ensemble du système par des objets comportant des attributs et des méthodes (Odell 1998). Ces objets peuvent interagir entre eux, mais leurs interactions sont décrites dans les objets eux-mêmes. Ainsi, les règles qui décrivent le fonctionnement du système sont intégrées et gérées par les objets du système. L'encapsulation n'est pas un problème en soit (elle permet de structurer, de classer et de définir les composantes d'un système très efficacement), mais c'est le fait qu'une fois rangées dans les objets, les règles ne sont plus facilement accessibles pour l'utilisateur. Ainsi, du point de vue de la représentation des connaissances, l'encapsulation engendre une perte d'informations pour une bonne lisibilité extérieure des règles (Cibran, et

²⁹ Règles du type Si-Alors.

³⁰ Il est intéressant de noter qu'historiquement un certain nombre de spécialistes de la représentation des connaissances se sont d'abord intéressés aux règles comme moyen d'exprimer la connaissance, pour ensuite venir chercher dans l'approche Orientée-objet un formalisme permettant de structurer les connaissances.

al. 2003, Bock 2001). Gottesdiener fait le même constat et explique que la formulation des règles selon la sémantique UML fait que les règles deviennent transparentes aux yeux de l'utilisateur³¹ (Gottesdiener 1999). Afin de rendre ces règles plus explicites et de pouvoir les partager avec les utilisateurs, les chercheurs en représentation des connaissances ont donc cherché à les externaliser des objets.

Dans l'Aspect-Oriented Programming, Cibran formalise les règles comme des objets à part entière (Cibran, et al. 2003). D'autres ont plutôt cherché à découper les règles en éléments atomiques. Une règle de type Si-Alors est alors vue comme un ensemble de pré-requis qui lorsqu'ils sont vérifiés amène à une conclusion. Cette approche a notamment donné naissance au formalisme OCL (Object Constraint Language) qui permet de renseigner dans un diagramme de classes, la nature et les contraintes des relations existantes entre les classes (Felfernig et al. 2001). Dans le même registre, mais appliqués au champ des Systèmes Multi-Agents, il existe des formalismes permettant de spécifier les protocoles de communication entre les agents d'un modèle (Vlahavas 2002). Mais ici encore ce type de formalisme s'attache plutôt à définir des contraintes plutôt que des aspects procéduraux. Hui, utilise la structure « Entité-relation » et spécifie les relations entre entités au moyen de règles qui vont contraindre chacune des relations. Il parvient ainsi à sortir du cadre de la spécification des relations entre classes pour arriver à une spécification de règles intervenant dans la résolution de problèmes (Hui, et al. 2003).

Graham se place dans un cadre d'intégration des règles aux objets beaucoup plus conceptuel. En tant que modélisateur Orienté-objet, il considère les règles comme des informations nécessaires à la compréhension d'un domaine dans son ensemble et il cherche à les représenter dans un diagramme conceptuel du domaine (Graham 2001). Il propose pour cela de reprendre la notation des diagrammes de classes, mais en indiquant les règles de chaque objet dans un quatrième compartiment juste en dessous du compartiment des opérations (Figure 15).

Nom de l'objet
Attributs
Opérations
Règles

Figure 15 : Notation objet à quatre compartiments, incluant les règles

Cette notation permet la représentation des règles à propos de l'objet, c'est à dire les invariants de l'objet. Néanmoins lorsqu'il s'agit de règles faisant intervenir plusieurs objets à

³¹ Les règles restent toutefois accessibles aux yeux du modélisateur qui sait lire différents

la fois, les règles doivent être re-conceptualisées, interprétées, parfois fragmentées en plusieurs règles pour pouvoir être intégrées dans une telle notation (Graham 2001).

Ainsi, nous venons de parcourir certaines techniques d'élicitation de l'ingénierie des connaissances en nous intéressant plus particulièrement à l'analyse de protocole. Nous avons défini ce qui, à notre sens, constitue une structure d'extraction de l'analyse de protocole adaptée aux dires d'acteurs et à l'explicitation par ces derniers de leur représentation du système. Les questions que pose cette structure d'extraction pour une formalisation Orientée-objet ont été abordées et nous avons mis l'accent sur la difficulté de formaliser les règles de fonctionnement du système dans une sémantique UML ou dans des sémantiques associées. Ces constats nous amèneront dans notre méthodologie à définir notre propre sémantique de formalisation des dires d'acteurs. L'objectif que nous poursuivrons alors est celui d'une formalisation à la fois synthétique des dires d'acteurs et proche de la sémantique Orientée-objet afin de faciliter le travail d'implémentation qui s'en suit.

Néanmoins, les techniques d'élicitation ne se résument pas à l'analyse de protocole et à la formalisation des dires d'acteurs. Les méthodes de classifications et les méthodes employées dans la démarche modélisatrice de l'ingénierie des connaissances sont riches d'enseignements et apportent un regard différent sur la façon d'éliciter les connaissances des individus.

4.1.5. Méthodes de classifications

Nous abordons brièvement ici une dernière technique de la démarche de transfert de l'ingénierie des connaissances, dont l'un des objectifs est de structurer le domaine élicité au moyen de méthodes de classifications.

Les diverses méthodes utilisées consistent à demander à l'expert de classifier des concepts qu'il aura défini lui même ou qui lui sont proposés. Les différentes classes de concepts définis par l'expert permettent à l'ingénieur de structurer le domaine étudié (Trimble 2000). L'ingénieur peut également demander à l'expert d'expliquer les raisons qui l'ont amené à classifier d'une certaine manière, ce qui permet alors d'éliciter les relations entre concepts d'une même classe, ainsi que les relations entre les classes (Murray-Prior 1998).

Le premier à proposer une méthode de classification est Kelly. Dans sa théorie des constructions psychologiques personnelles (Personal Constructs Psychology), Kelly propose l'utilisation de grilles de classification, appelées « *Repertory Grids* », « *comme un moyen d'examiner comment une personne conçoit la structure conceptuelle des relations*

interpersonnelles, en demandant à cette personne de classifier un ensemble de personnes importantes à ses yeux, à partir de constructions personnelles préalablement élicitées » (Shaw et Gaines 1992). La mise en place des Repertory Grids consiste à demander à l'expert d'identifier les objets d'un domaine, puis de les situer sur différents axes bipolaires, tels que bon-mauvais, froid-chaud. Ensuite on demande à l'expert de classer les concepts, et parfois la taille des classes est imposée (souvent on demande à l'expert de regrouper les concepts, trois par trois). Différents types de grilles et de structures sont alors utilisées pour permettre à l'expert de représenter sa classification : des grilles, des schémas en échelles, des pyramides (Portmann et Easterbrook 1992, Gaines et Shaw 1989). L'un des avantages des méthodes de classifications est qu'en raison du support pour schématiser les classifications, elles permettent de diminuer les biais de la verbalisation.

Diminuer les biais de verbalisation est également l'un des soucis des méthodes de la démarche modélisatrice de l'ingénierie des connaissances. Comme nous allons le voir, il s'agit alors de diminuer le rôle de l'analyste en définissant un système, qui est souvent un logiciel informatique, dans lequel l'expert dont l'on veut éliciter la connaissance, pourra entrer directement par lui-même les connaissances qu'il mobilise en situation de résolution de problème.

4.2. La démarche modélisatrice

Le paradigme de la démarche modélisatrice estime que l'interprétation de données verbales ou écrites est fortement influencée par le formalisme de l'implémentation, et que cela induit des systèmes à bases de connaissances confus et trop superficiels, difficiles à entretenir et à valider (Lukose et Kremer 1996). L'alternative consiste alors à prédéfinir un modèle conceptuel du système à base de connaissance, qui permettra de bien structurer et organiser les connaissances élicitées.

Après avoir présenté le système commonKADS (Développement commun de systèmes à base de connaissances) qui est l'un des plus utilisés en Europe, nous décrirons rapidement d'autres travaux et tendances actuelles de l'ingénierie des connaissances, puis nous détaillerons les difficultés rencontrées par cette démarche et qui sont également vraies dans d'autres démarches de modélisation.

4.2.1. Le système commonKADS

Le système commonKADS, illustre bien le concept de la démarche modélisatrice. Il a été conçu dans le cadre d'une recherche inter-institutionnelle regroupant une douzaine de centres européens (Wielinga et al. 1992). Le concept majeur est de laisser l'expert implémenter par lui-même sa connaissance dans l'ordinateur. L'expert peut être seul devant la machine ou assisté de l'ingénieur. Le logiciel commonKADS fournit différents outils à

l'expert pour lui permettre de réaliser cette implémentation, et ce, selon une structure conceptuelle prédéfinie et correspondant au formalisme de la modélisation de la connaissance utilisée par commonKADS. Ainsi, le système expert (le modèle) est généré directement à partir des données entrées par l'expert dans l'ordinateur. La seule séparation restante entre l'expert et le modèle est l'interface du logiciel.

L'élicitation dans commonKADS se déroule en deux étapes : l'élicitation et la modélisation de la structure du système, puis l'élicitation et la modélisation des processus de raisonnement :

- Pour structurer le domaine, trois sous-modèles doivent être caractérisés par l'expert. Le premier est dédié à l'organisation générale du système, le deuxième décrit à un niveau général les tâches exécutables, et le troisième décrit les caractéristiques et les aptitudes des agents du système. Les agents sont les exécuteurs des tâches et peuvent correspondre à des personnes ou à des machines.
- Une fois la structure du système défini, l'expert établit les échanges d'informations opérant entre les différents agents lors de l'exécution de chaque tâche (c'est le modèle de communication). Enfin le dernier modèle à compléter est le modèle d'expertise qui est le cœur du système. Il doit décrire les processus de résolution de problème des agents lors de l'exécution des tâches. Un processus est décrit et modélisé par un moteur d'inférences dont les éléments sont prédéfinis et proposés à l'expert afin qu'il reproduise dans la machine ce processus.

Un dernier modèle convertit et présente les connaissances modélisées sur différents diagrammes permettant à l'expert de voir et de corriger ce qui est implémenté dans le système.

CommonKADS est aujourd'hui considéré comme un standard en Europe pour la construction de systèmes à base de connaissance. Son formalisme proche des SMA a, tout naturellement, amené un certain nombre de chercheurs à coupler commonKADS et SMA et différentes expériences ont été menées à l'INRIA, au CNRS et en Espagne (Glaser 1997, Iglesias et al. 1997, Iglesias et al. 1996).

4.2.2. D'autres travaux

a) Interactions homme-machine et expert-ingénieur

Si dans commonKADS l'expert est face à l'ordinateur, l'assistance de l'ingénieur reste néanmoins nécessaire étant donné la « complexité » du système. Afin de diminuer les biais d'interprétation et l'influence de la subjectivité de l'expert, d'autres travaux ont cherché à réduire l'interaction entre l'expert et l'ingénieur à son strict minimum (Magee 1987). Certains utilisent des logiciels capables de poser des questions à l'expert de manière automatique et ce afin de guider l'expert dans son implémentation et de s'assurer que tous les paramètres nécessaires ont bien été définis (Gaines 1998). Mais cette technique demeure pour certains

encore inadaptée car les logiciels génèrent trop de questions redondantes et sous des formes trop complexes pour être facilement compréhensibles (Cendrowska 1987).

b) Vers une élicitation dirigée par le modèle formel

D'autres travaux estiment qu'une élicitation dirigée par le modèle conceptuel est encore insuffisante. Pour Ford (1997), il existe un écart encore trop important entre le modèle conceptuel et le formalisme de la machine et c'est pourquoi il souhaiterait voir apparaître des systèmes à base de connaissances dont l'élicitation soit dirigée par le modèle formel de la machine.

c) Objets de connaissances et formalisme Orienté-objet

Enfin une tendance actuelle rencontrée en ingénierie des connaissances est l'utilisation du formalisme Orienté-objet (également souvent utilisé dans les SMA) pour la construction des systèmes à base de connaissances. Comme le décrit Menzies, les langages Orientés-objet sont des outils adéquats pour l'ingénierie des connaissances, particulièrement durant la phase de modélisation, car leurs structures sont très similaires à la structure des connaissances élicitées. Par exemple, les concepts d'un domaine peuvent être modélisés par des objets, et leurs caractéristiques peuvent être implémentées au niveau des attributs de l'objet (Menzies 2000). Menzies insiste également sur la réutilisation possible des concepts modélisés lorsqu'ils sont implémentés dans un langage Orienté-objet. Le lien entre les objets de connaissances définis à partir de la théorie de Newell et le formalisme Orienté-objet est alors envisageable. Gaines parle « *d'un système à base de connaissances Orienté-objet, dans lequel la connaissance est représentée formellement dans une structure à héritage-multiple de classes, d'objets, de propriétés, de valeurs et de relations* » et soutient que « *Une telle structure généralise le jeu de données entités-attributs utilisé dans différents systèmes d'acquisition de connaissances des débuts (de l'ingénierie des connaissances), et a prouvé sa généralité et sa performance dans diverses applications* » (Gaines et Shaw 1993). Menzies souligne néanmoins que l'utilisation des approches Orientées-objet a tendance à générer une grande quantité de classes pouvant entraîner une certaine confusion, chez l'expert, comme chez l'ingénieur (Menzies 2000).

4.2.3. Conflits entre les points de vue multiples

Au moment de la modélisation des connaissances élicitées, l'une des difficultés rencontrées par les ingénieurs est la gestion de connaissances provenant de différents experts. Le problème vient des différences d'opinions, de points de vue entre les différents experts, qui s'avèrent souvent conflictuelles. Les ingénieurs retrouvent également des opinions et des arguments conflictuels au sein du discours d'un même expert. Les conflits d'opinions sont un des problèmes majeurs de l'élicitation des connaissances et les ingénieurs ne savent

souvent pas comment les gérer. Dans les approches traditionnelles dont le but est d'obtenir une représentation consensuelle, les opinions conflictuelles sont écartées de l'analyse et seules les idées faisant l'objet d'un consensus entre les différents experts sont utilisées.

Cependant, des recherches ont été faites pour comprendre la nature de ces opinions conflictuelles. Kelly compare des grilles de classifications - élaborées par la méthode de classification des *Repertory Grids* - de différents experts pour montrer les similitudes et les différences entre plusieurs opinions (Kelly 1955). Par cette méthode, quatre types de relations entre opinions ont été identifiés : (i) le consensus, (ii) la correspondance (différentes terminologies pour un même concept), (iii) le conflit (une même terminologie pour différents concepts), (iv) le contraste (différentes terminologies pour différents concepts) (Shaw et Gaines 1988). Shaw et Gaines proposent de se servir de la détermination de la nature de la relation entre les différentes opinions pour faciliter la négociation entre les experts afin d'aboutir à une représentation consensuelle du processus questionné.

Easterbrook suit une autre approche et considère les conflits comme des « *différences qui comptent* » (Easterbrook 1991). Son approche est d'éliciter et de modéliser tous les points de vue afin de pouvoir les comparer. La comparaison permet de comprendre la nature et les conséquences des conflits, et facilite ainsi leurs résolutions. Le principe de cette approche est donc de garder les différences de points de vue tout au long du développement de l'outil, et de ne procéder à leur résolution qu'au dernier stade (Bitter-Rijkema et al. 2002). Ford soutient cette démarche en expliquant que l'identification et la description des causes des différents points de vue conflictuels enrichissent le processus d'élicitation et améliorent le modèle formel qui en résulte (Ford et Sterman 1997).

Ainsi, l'ingénierie des connaissances, qui a débuté par l'élicitation des connaissances d'un seul expert, commence à proposer aux experts différentes démarches de négociation afin de les amener en douceur à la détermination d'un consensus entre leurs différentes opinions. Il n'en reste pas moins, que, dans le modèle final, la diversité des opinions n'est pas conservée, ce qui contraste complètement avec les approches de modélisation des représentations rencontrées dans les SMA.

4.3. Conclusion

Assez rapidement les chercheurs du domaine de l'ingénierie des connaissances ont identifié la phase d'acquisition comme étant le goulot d'étranglement de la construction des systèmes experts (Hayes-Roth et al. 1983). En effet, les ingénieurs ont trouvé que l'acquisition de connaissances de qualité pour construire un système robuste et utile était une phase longue et coûteuse (Gaines et Shaw 1993). C'est pourquoi les chercheurs ont développé les différentes et nombreuses techniques que nous avons parcourues dans ce chapitre. Le but était de « *développer des méthodes et des outils pouvant rendre la tâche hasardeuse de*

« transférer » la connaissance de l'intérieur d'un expert vers l'intérieur d'un ordinateur, efficace et rationnelle » (Shadbolt et O'Hara 1997).

Aujourd'hui les problèmes de ce goulot d'étranglement rencontrés dans la phase d'acquisition ont été bien cernés et l'expérience des chercheurs de ce domaine nous apporte des solutions. Nous avons retenu ici les questions qui nous concernent le plus dans le cadre de cette thèse (auxquelles il faut ajouter le problème des points de vue contradictoires que nous avons déjà traité).

4.3.1. Structurer les connaissances élicitées

Selon Portman et Eastbrook, le problème de l'élicitation est que l'on doit faire face à des facteurs psychologiques et sociologiques difficiles à cerner. L'un d'eux est « *la nature de la connaissance qui est « compilée » et ne peut être fractionnée en composantes élémentaires* » (Portmann et Easterbrook 1992). Le résultat est que les connaissances élicitées sont entremêlées et désorganisées et donc difficiles à transférer dans un système à base de connaissances.

Davenport et Prusak abordent cette question de manière plus pragmatique et il font remarquer que l'expertise d'un domaine fait appel à tellement de connaissances que l'extraction de toutes ces connaissances serait impossible à réaliser et représenterait une perte de temps considérable (Davenport et Prusak 1998).

A cela, Shadbot et Milton proposent différentes solutions visant à structurer le cadre du processus d'élicitation (Milton, et al. 1999, Shadbolt et Milton 1999). En voici quelques-unes :

- Choisir quelles connaissances doivent être élicitées en définissant à l'avance les objectifs et les usages du système dans lequel on les intégrera.
- Décider de l'échelle (le niveau de granularité) de la connaissance que l'on souhaite acquérir.
- Choisir parmi une variété de techniques celle qui sera la plus adaptée à l'objectif poursuivi. A cela, Portman et Eastbrook répondent que l'usage d'une seule technique n'est pas tout le temps envisageable du fait que le type et la qualité de la connaissance acquise sont trop dépendants de la technique utilisée. Ils suggèrent donc plutôt l'usage de plusieurs techniques complémentaires.
- Réutiliser la connaissance déjà acquise.

4.3.2. Connaissances tacites

L'acquisition des connaissances tacites est indispensable pour la construction de la plupart des systèmes experts, néanmoins ces connaissances sont difficiles à saisir et à codifier. Les experts ont du mal à les décrire (e.g. décrire la façon dont on fait du vélo). Toujours selon Shadbot et Milton, souvent les connaissances ne sont ni exclusivement tacites ou explicites.

Afin de les révéler, des questions permettant de relancer l'expert peuvent être utilisées. Ces questions visent à amener l'expert à mieux définir le processus qu'il est en train de décrire, le forçant ainsi à expliciter les différentes opérations et connaissances, au préalable tacites, qu'il exécute ou utilise. La définition de ces questions nécessite d'avoir déterminé le type de connaissance que l'on cherche à acquérir. L'usage de métaphores dans ces questions peut également s'avérer utile pour accéder aux connaissances tacites. En outre, une démarche structurée et rigoureuse dans l'usage des différentes techniques d'élicitation, permet d'identifier les éléments de la connaissance manquant dans la description du processus et correspondant souvent à ces connaissances tacites.

4.3.3. Problème du langage

Le langage ordinaire est la principale forme de communication de l'expert, néanmoins il est empli de jargons, d'acronymes, d'hypothèses et d'ambiguïtés qui rendent sa compréhension par l'ingénieur souvent hasardeuse.

A cela les praticiens des techniques d'élicitation répondent en travaillant au préalable avec les experts pour définir un vocabulaire commun, sorte de thesaurus terminologique du domaine étudié. Dans la même perspective, certains systèmes à base de connaissance dont l'entrée des données est réalisée par l'expert lui-même, une ontologie des termes à utiliser est défini au préalable, et le système demande ensuite à l'expert de décrire les processus étudiés qu'avec l'aide de cette ontologie.

Dans ce chapitre, nous avons réalisé un tour d'horizon, non exhaustif, des techniques d'élicitation employées dans le domaine de l'ingénierie des connaissances et nous venons d'examiner les problèmes que ces techniques posent, notamment au niveau de la phase d'acquisition considérée comme le goulot d'étranglement de la construction de systèmes experts. Ces techniques offrent néanmoins un atout considérable à nos yeux, celui d'être une méthode formelle (c'est à dire structurée et réalisée en accord avec des règles et des conventions) d'identification et de formalisation informatique des connaissances. En cela, la méthode est donc analysable et reproductible. En outre, par définition ces techniques se prêtent à une formalisation des connaissances locales et attachent un soin tout particulier à transcrire, de la manière la moins déformée possible, ces connaissances locales. Cela est également un axe important de cette thèse dans laquelle – conformément au positionnement de la modélisation d'accompagnement - nous acceptons comme valides toutes formes de connaissances sur le fonctionnement des bassins versants (y compris celles des acteurs locaux) et nous cherchons à les transcrire dans un modèle multi-agents intégrant les différentes visions du monde existantes. Enfin, les techniques d'élicitation bénéficient de plus de vingt années de recherche (voir Gaines (2000) pour une analyse rétrospective des recherches dans ce domaine) et bien que certains problèmes demeurent au niveau de la

phase d'acquisition, nous pensons qu'elles sont suffisamment matures pour être employées dans une méthodologie d'ensemble visant à identifier, formaliser et modéliser les représentations d'acteurs locaux d'un cas réel d'application (c'est-à-dire, hors laboratoire). Comme nous allons le voir dans la définition de la problématique de la thèse, la proximité entre le formalisme de certaines techniques d'élicitation et celui de la programmation Orientée-objet utilisée dans les SMA, facilite grandement l'utilisation conjointe des ces deux techniques. En outre, la question de l'utilisation des techniques d'élicitation dans un environnement de terrain réel et non plus en laboratoire, sera posée dans la problématique qui suit.

5. Problématique

5.1. *Rappel de la question de thèse*

La recherche sur la gestion des bassins versants arrive aujourd'hui à un stade où la prise en compte des usages tout autant que de la ressource devient quasiment incontournable. Ces espaces de gestion de la ressource en eau sont si souvent sujets à de multiples usages interférant les uns avec les autres, qu'une analyse de la disponibilité de la ressource en eau ne suffit pas à la mise en place d'une bonne gestion du bassin versant. En outre, dans les régions sujettes à des perturbations climatiques telles qu'« El Nino », la variabilité interannuelle de l'offre associée à un accroissement de la demande, tend à diminuer le degré de liberté des acteurs des bassins versants pour leurs usages et leurs gestions individuelles de l'eau (Molle 2003a, 2003b, Scoccimarro et Walker 1999). Les interdépendances entre acteurs d'un même bassin sont ainsi accrues, amenant ces derniers à définir de nouveaux modes de gestion collective pour parvenir à un partage de la ressource satisfaisant. Les outils de la recherche doivent ainsi s'adapter à ces systèmes de gestion pour lesquels les usages et les interactions entre usagers sont tout aussi importants que l'analyse de la disponibilité en eau.

Dans cette thèse, nous proposons d'aborder la modélisation de la dynamique sociale sous l'angle des représentations que les usagers se font de la ressource et de sa dynamique. Ainsi l'utilisateur est considéré comme un agent ayant des croyances propres, sur la ressource et sur son fonctionnement, qui vont l'amener à adopter tel ou tel comportement quant à l'usage et à la gestion de la ressource. De même, la représentation n'est pas considérée comme un concept explicatif des comportements, mais comme un état de connaissances et de croyances qui va conditionner le comportement.

Cette orientation vers le concept de représentation au centre du processus décisionnel nous semble d'autant plus importante dans le cas de la gestion des bassins versants que ces derniers sont des espaces finis dans lesquels différents acteurs aux multiples intérêts se côtoient et œuvrent chacun dans leur sens selon leurs propres représentations de la façon de gérer le bassin versant et ses ressources.

Ainsi le questionnement de cette thèse porte sur la modélisation des représentations des acteurs locaux pour la gestion des bassins versants et nous nous posons plus précisément les questions de l'intérêt d'une telle approche et des méthodes pour parvenir à une telle modélisation. Est-ce que la modélisation des représentations permet une meilleure compréhension de la dynamique d'usage des ressources dans les bassins versants ? Est-ce

qu'un modèle de bassin versant intégrant les représentations des acteurs locaux peut aider ces acteurs à définir de nouveaux modes de gestion de la ressource, plus conformes aux intérêts et aux modes de pensée de chacun ? Ces questions sont celles auxquelles nous tenterons de répondre dans le premier axe de notre questionnement portant sur l'intérêt de l'approche. Le deuxième axe de notre questionnement, qui porte sur la méthodologie à mettre en place pour parvenir à modéliser les représentations des acteurs locaux, ouvre d'autres questions. Dans les chapitres précédents, nous avons présenté des approches utilisant différentes méthodes. Certaines peuvent s'appliquer à l'identification et à l'analyse des représentations et d'autres à la modélisation à proprement parler des représentations. Quelles sont alors les méthodes à utiliser et quelles sont leurs limites ? De même, dans la perspective d'une utilisation combinée de différentes méthodes, comment utiliser ces différentes méthodes de manière coordonnée dans une méthodologie d'ensemble ? Et quelles sont les limites induites par chacune des techniques utilisées dans la méthodologie d'ensemble ?

Avant de développer plus amplement notre questionnement, nous présenterons au paragraphe suivant la façon dont cette thèse se positionne quant aux différents concepts de la notion de représentation. Nous présenterons également dans le paragraphe suivant, les choix techniques adoptés quant à la mise en place de notre approche de modélisation des représentations. Nous développerons et préciserons ensuite les questions clés de cette thèse au regard du positionnement et des choix techniques choisis.

5.2. Positionnement et choix techniques

Afin de cadrer notre démarche de modélisation des représentations, nous nous sommes positionnés selon une certaine perspective de la notion de représentation. Notre positionnement est celui du paradigme constructiviste des représentations. Nous prenons en compte le concept d'action située qui considère que la représentation est dépendante du contexte spatial et temporel dans lequel se trouve la personne qui l'exprime.

Nous avons également opté pour différents choix techniques. Le premier est celui de l'utilisation des Systèmes Multi-Agents pour la modélisation des représentations. Les avancées qu'offrent ces outils en termes de conceptualisation et de modélisation de concepts sociocognitifs tels que les représentations expliquent en partie ce choix. La deuxième raison pour laquelle nous optons pour l'utilisation des SMA est la possibilité de prendre explicitement en compte les interactions entre usagers et entre usagers et ressources, ce qui, à notre sens, est un aspect majeur de la dynamique des bassins versants. Nous décrivons plus en détail dans ce paragraphe deux autres choix techniques : d'une part celui d'une démarche de construction participative du modèle, ce qui sous-entend que le modèle conceptuel de représentation est confronté à l'avis des acteurs concernés au

cours du processus de modélisation. D'autre part, nous optons pour l'utilisation des techniques d'élicitation de l'ingénierie des connaissances pour l'identification et la formalisation des représentations. Parmi l'ensemble des techniques utilisées dans ce domaine, nous nous sommes particulièrement intéressés à l'analyse de protocole dont le formalisme est proche de celui de l'approche Orientée-Objet. Le formalisme Orienté-Objet étant celui que nous utilisons dans notre modélisation multi-agents.

5.2.1. Une perspective constructiviste

Nous nous plaçons dans le cadre d'une vision constructiviste des représentations. De ce fait nous acceptons l'hypothèse selon laquelle les représentations sont socialement construites au travers des interactions que les individus ont avec leur environnement naturel et avec les autres individus (Piaget 2003, Lauriol 1994). Nous considérons ainsi le fait que les représentations puissent se modifier et évoluer au cours du temps en fonction des expériences vécues par les individus. De même, nous considérons que la représentation d'un individu à un moment donné, est le fruit de ses expériences passées et de la façon dont sa conception du monde a évolué au cours du temps (Varela 1989).

Ce positionnement se traduit de deux manières dans notre approche de modélisation des représentations. Par une modélisation des représentations qui permet une révision des croyances en fonction des changements de l'environnement. Par l'acceptation des changements de perspectives et de visions que nous pouvons observer auprès des acteurs enquêtés. Ainsi, nous considérons les différences de représentations observées pour un même individu au cours du temps comme un enrichissement pour la conceptualisation du modèle représentationnel de l'individu et non pas comme un réajustement ou une révision du modèle de représentation conceptualisé.

5.2.2. Prise en compte du concept d'action située

Comme pour la vue modérée de la théorie de l'action située³² nous considérons qu'une représentation est dépendante du contexte dans lequel se trouve la personne qui l'exprime (Gigerenzer et Todd 1999, Menzies 1996). Ce positionnement a influencé la manière dont nous procédons à l'identification des représentations. Ainsi lorsque nous interrogeons une personne sur la façon dont elle perçoit et envisage son environnement, nous nous plaçons dans un environnement et un contexte ayant du sens par rapport au sujet étudié. Par exemple, pour identifier la représentation qu'un agriculteur se fait des systèmes de gestion de l'eau, nous menons l'entretien sur sa parcelle au moment où il est en train d'irriguer.

³² La vue modérée s'oppose à certains partisans de l'action située qui nient toute existence d'une représentation sans une référence à un objet

Cette démarche est apparentée aux techniques d'analyse de tâches ou de suivi de processus utilisées en ingénierie des connaissances dans lesquelles l'expert est mis en situation. Néanmoins, dans le cas présent, le champ des actions menées par les acteurs des bassins versants est vaste, tant du point de vue de son étendue dans l'espace, que de son déroulement dans le temps. C'est pourquoi, comme dans la méthode employée par Ross et Abel (1998), nous avons choisi de mener les entretiens sur le terrain, à un endroit en lien avec les actions menées par la personne enquêtée et avec le système étudié. En outre, toujours afin de rester dans le cadre de l'action située, nous nous attachons à 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 une parcelle de l'exploitant et nous débiterons l'entretien en lui demandant de décrire ses pratiques agricoles sur cette parcelle.

5.2.3. Construction participative du modèle

Du point de vue de l'identification et de la modélisation des représentations, l'implication des acteurs dans la construction du modèle a plusieurs avantages. Tout d'abord, cela permet d'enrichir le processus d'identification des représentations et ce, de la même manière que la construction d'une carte cognitive qui serait réalisée directement au cours de l'entretien avec la personne enquêtée. Par cette approche les acteurs peuvent potentiellement revenir à des informations déjà formalisées, pour les corriger, les compléter ou pour les reformuler. Ainsi, la formalisation de la représentation devient un support pour la réflexion, et une interaction constructive peut s'opérer entre la personne et le support sur lequel est inscrite sa représentation. Dans notre cas, la technique d'identification des représentations que nous utilisons³³ ne permet pas une interaction entre l'individu et le modèle conceptuel de sa représentation au cours d'une seule séance. C'est pourquoi nous réalisons des allers-retours entre le terrain et la formalisation des représentations (telle que dans les démarches de modélisation d'accompagnement) qui permettent de reproduire ce type de processus de construction participative à une échelle de temps plus importante. En outre, comme nous le verrons par la suite, nous avons également reproduit cette démarche au cours de séances individuelles, postérieures aux entretiens, dont le but était de vérifier les représentations que nous avons identifiées et formalisées³⁴. Le deuxième avantage de l'implication des acteurs

³³ Nous verrons dans le paragraphe suivant que nous optons pour les techniques d'élicitation et plus précisément l'analyse de protocole. Or cette opération nécessite du temps et peut difficilement être réalisée au cours de l'entretien.

³⁴ Ces séances de mise en situation individuelle (que nous avons appelées *Playable Stories*) ont également été l'occasion de compléter les informations déjà acquises lors des entretiens par l'acquisition des connaissances tacites (que les entretiens ne peuvent identifier).

dans la construction du modèle est qu'il permet de corriger les faiblesses de la technique de l'entretien. En effet, nous pensons, que si les biais provenant de la subjectivité de l'enquêteur et de la formulation des questions sont difficilement corrigeables à la source, les allers-retours mentionnés plus haut peuvent être un moyen de vérifier et de corriger avec les acteurs les interprétations et les informations erronées découlant de la technique d'enquête. Afin de structurer cette démarche, il peut alors être utile d'établir une grille d'évaluation des différentes informations formalisées dans le modèle afin de les soumettre à l'appréciation des acteurs par la suite. C'est ce que nous avons effectué dans le cadre du test de notre méthodologie sur le terrain de l'Orb.

5.2.4. Utilisation des techniques d'élicitation

Nous utilisons les techniques d'élicitation de l'ingénierie des connaissances afin d'accéder aux représentations des acteurs. La démarche d'élicitation emprunte à la modélisation Orientée-Objet la structure selon laquelle les représentations sont formalisées. Pour cela nous avons établi une grille de correspondance entre le formalisme Orienté-Objet et le formalisme des objets de connaissances utilisés dans l'analyse de protocole. Cela a été rendu possible par les similitudes existant entre ces deux formalismes et par les correspondances déjà établies par certains chercheurs de l'ingénierie des connaissances ayant fait ce type de rapprochement (Graham 2001, Menzies 2000, Milton, et al. 1999, Gaines et Shaw 1993). Le Tableau 2 indique ces correspondances.

Objet de connaissance	Formalisme UML
Concept	Classe
Instance	Instance
Processus (tâche, activité)	Opération
Attribut et Valeur	Attribut de classe et valeur d'attribut d'instance
Règle	Méthode
Relations	Association, Agrégation ou Héritage

Tableau 2 : Correspondances entre les objets de connaissances et le formalisme UML

Afin de procéder à l'analyse de protocole, nous utilisons un support à la représentation, c'est-à-dire une source écrite renfermant la représentation d'un acteur. Parmi les différentes techniques utilisées en ingénierie des connaissances pour obtenir un tel support, nous considérons que l'entretien est la technique la plus adaptée au contexte d'application de notre méthodologie. En effet, nous souhaitons utiliser ces techniques auprès d'acteurs locaux, tels que des agriculteurs, et non pas auprès d'experts. Or, les agriculteurs sont « habitués » aux techniques d'entretiens, ou à des séances collectives telles que des

réunions. Ainsi, on peut supposer que l'utilisation de l'entretien permet une meilleure acceptation et compréhension de notre démarche par les acteurs.

Du point de vue de l'ingénierie des connaissances, l'entretien est source de plusieurs critiques :

- non adapté à l'élicitation des connaissances tacites,
- influence non-contrôlée du type et de la formulation des questions posées,
- influence de la subjectivité de l'enquêteur dans l'interaction avec la personne enquêtée (plus forte que dans d'autres techniques).

Nous pensons que ces faiblesses peuvent être corrigées par (1) l'emploi d'autres techniques d'élicitation en addition des entretiens (voir la section 4.3 et notamment (Portmann et Easterbrook 1992)), (2) par l'implication des acteurs dans la construction du modèle (voir la section 1.2 et notamment (Bougon 1983)).

A présent que nous avons précisé le positionnement et les orientations techniques de la thèse nous présentons les deux questions sur lesquelles nous avons axé notre réflexion au cours de celle-ci.

5.3. Questionnement de la thèse

5.3.1. Usage combiné de différentes techniques dans une méthodologie d'ensemble

Nous nous proposons de suivre une démarche d'identification et de modélisation des représentations qui passe par l'utilisation de différentes méthodes et techniques :

- L'entretien « situé » comme moyen d'acquérir les représentations des acteurs.
- L'analyse de protocole (voir paragraphe 4.1.3) comme méthode d'analyse et de formalisation des représentations.
- L'implication des acteurs dans la construction du modèle comme moyen d'enrichir le processus d'élicitation et de faire vérifier par les acteurs les représentations ayant été formalisées (voir paragraphe 1.2).
- La modélisation multi-agents comme technique de modélisation des représentations au sein d'un modèle global de bassin versant incorporant aussi bien les actions des acteurs que la dynamique des processus biophysiques du système étudié.

Ces différentes méthodes et techniques correspondent aux différentes phases de la méthodologie que nous avons élaborée : une phase d'identification des représentations des acteurs locaux, une phase de formalisation, une phase de vérification auprès des acteurs, et une phase de modélisation des représentations et de couplage avec le modèle biophysique.

Bien que le mode opératoire de chacune de ces techniques soit connu et bien documenté dans la littérature, leur utilisation combinée dans une méthodologie d'ensemble demande

encore à être organisée et testée. Ainsi, la question de la façon de les combiner mérite d'être examinée plus en détail. La première question de cette thèse est donc la suivante.

Q1 : Comment utiliser de manière coordonnée ces outils et techniques – entretien « situé », analyse de protocole, modélisation participative et SMA - dans une méthodologie d'ensemble allant de la prise de contact avec le terrain jusqu'à la réalisation d'un modèle du bassin versant intégrant les représentations des acteurs ?

5.3.2. Adaptation des techniques d'élicitation

Nous nous proposons d'utiliser les techniques d'élicitation de l'ingénierie des connaissances pour l'acquisition et la formalisation des représentations. Néanmoins, notre contexte d'application qui est celui des acteurs locaux des bassins versants pose un certain nombre de questions.

- Les techniques d'élicitation ont été élaborées pour une utilisation auprès d'experts, dans un environnement contrôlé proche de ce que l'on rencontre dans une expérimentation de laboratoire. Or la démarche de modélisation d'accompagnement que nous nous proposons de suivre associée à la technique d'entretien « situé » implique une grande proximité au terrain. De même, les personnes que nous enquêtons ne sont pas des experts au sens de l'ingénierie des connaissances, mais les acteurs d'un bassin versant situés dans leur environnement de travail. La façon de transposer ces techniques, du laboratoire au cadre « in situ » de la modélisation d'accompagnement, telle que nous l'appliquons ici, mérite alors d'être examinée.
- En outre, nous avons vu au chapitre 4, que l'acquisition des connaissances pose un certain nombre de problèmes qui ont été identifiés par les chercheurs en ingénierie des connaissances comme étant le goulot d'étranglement de la construction des systèmes experts. Dans le cadre de notre contexte d'application se pose alors la question de la façon de gérer ces points sensibles de la phase d'acquisition, qui rappelons-le, sont : (1) la dépendance du type et de la qualité des informations élicitées quant à la technique utilisée, (2) la difficulté d'éliciter les informations tacites, (3) la structure entremêlée et désorganisée des informations élicitées, (4) l'entretien comme moyen d'acquisition des connaissances est source de malentendus et d'erreurs d'interprétation.

Au vu de cette problématique, la deuxième question de cette thèse à laquelle nous nous proposons d'apporter des éléments de réponse est la suivante :

Q2 : Comment utiliser et adapter les techniques d'élicitation de l'ingénierie des connaissances au contexte de l'acquisition des représentations d'acteurs locaux situés dans l'espace d'un bassin versant ?

Afin de répondre aux deux questions posées dans cette thèse, nous avons établi une démarche d'expérimentation que nous présentons dans le paragraphe qui suit.

5.4. Démarche suivie

La démarche suivie pour répondre à la problématique posée, s'apparente à une démarche d'expérimentation. Nous avons établi une méthodologie d'ensemble allant de la prise de contact avec le terrain jusqu'à la réalisation d'un modèle de bassin versant intégrant les représentations des acteurs. Puis nous avons appliqué cette méthodologie dans un bassin versant du Nord de la Thaïlande. Enfin nous avons testé et analysé le modèle multi-agents résultant. La méthodologie est donc une méthodologie d'identification et de modélisation des représentations des acteurs locaux et son application et le test du modèle servent à analyser sa mise en œuvre et son usage.

Les résultats obtenus au cours de l'application de la méthodologie au cas d'étude et ceux obtenus via les tests réalisés sur le modèle final, nous servent de support pour répondre aux deux questions posées dans cette problématique.

La méthodologie développée s'articule en deux étapes : une étape d'acquisition des représentations et une étape de modélisation, elles-mêmes séparées en différentes phases. L'étape d'acquisition distingue l'identification, la formalisation et la vérification des représentations d'acteurs. Tandis que pour l'étape de modélisation, nous avons distingué la phase de modélisation des représentations et la phase de couplage du modèle de représentation avec le modèle biophysique du bassin versant. Le test du modèle final est ainsi réalisé de deux manières. Nous avons effectué des simulations dites de laboratoire. C'est-à-dire que nous avons analysé au travers de simulations l'évolution des comportements des agents en fonction des représentations modélisées. Et nous avons réalisé des séances de simulations participatives avec les acteurs concernés afin de tester l'acceptation et l'usage du modèle par les acteurs.

Par ailleurs, nous avons concentré l'identification et la modélisation des représentations d'acteurs, sur un échantillon d'agriculteurs du bassin versant étudié. Le modèle final obtenu est donc celui des représentations des agriculteurs enquêtés. Néanmoins, il nous faut préciser dès à présent, que les agriculteurs ne sont pas les seuls acteurs de ce bassin versant. C'est pourquoi les séances de simulations participatives du modèle avec les acteurs ont été réalisées avec les agriculteurs enquêtés ainsi qu'avec les autres acteurs du bassin versant.

Ainsi, les travaux réalisés et les résultats obtenus dans cette thèse et qui nous servent à discuter la problématique posée, se décomposent de la manière suivante :

Etape 1 : Méthodologie d'identification et de formalisation des représentations

- Phase 1 : identification des représentations d'un échantillon d'agriculteurs du bassin versant
- Phase 2 : formalisation des représentations
- Phase 3 : vérification par les acteurs des représentations formalisées

Etape 2 : Méthodologie de modélisation des représentations

- Phase 4 : modélisation des représentations formalisées
- Phase 5 : couplage des modèles de représentations avec le modèle biophysique du bassin versant

Etape 3 : Tests du modèle final

- Phase 6 : simulations en laboratoire du modèle final
- Phase 7 : simulations participatives du modèle final avec les agriculteurs et les autres acteurs du bassin versant

Les résultats des phases 1 à 5 et la façon dont ils s'articulent nous servent à discuter la réalisation d'un modèle basé sur l'utilisation coordonnée d'un ensemble d'outils (Question 1 de la thèse). Les phases 6 et 7, nous servent de base de discussion sur la validité de ce modèle (Question 1) et laissent entrevoir différentes possibilités d'utilisation d'un modèle de bassin versant intégrant les représentations des acteurs locaux. La discussion à propos de la deuxième question de cette thèse portant sur l'adaptation des techniques d'élicitation est essentiellement basée sur les résultats obtenus à chacune des phases 1 à 3. Les résultats des phases suivantes nous servent dans ce cas de vérification.

Le schéma suivant synthétise la démarche suivie pour répondre aux deux questions posées dans cette thèse (Figure 16).

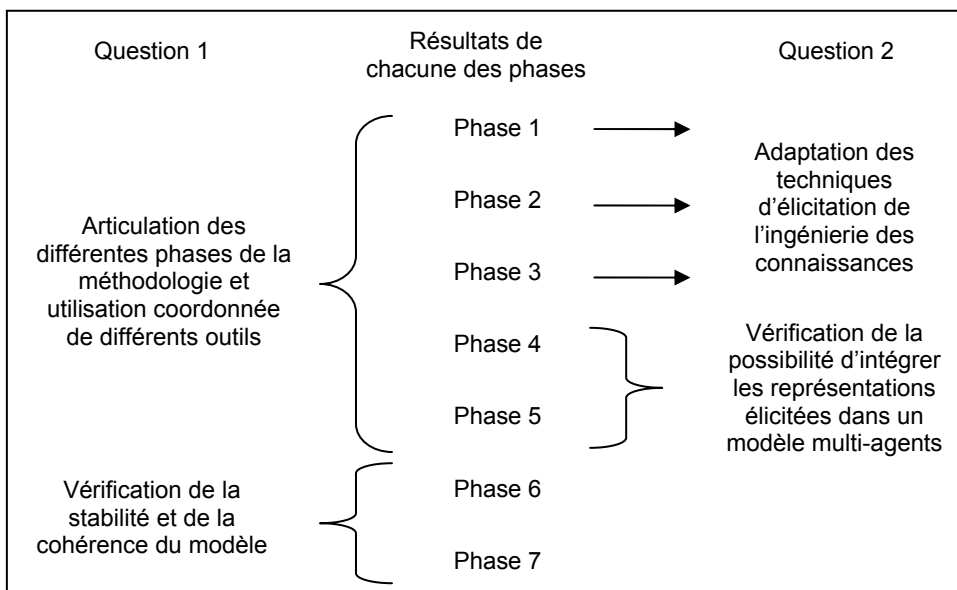


Figure 16 : Démarche de traitement des deux questions de la thèse

6. Démarche générale de la méthodologie

La méthodologie mise en place est dédiée à l'identification et à la modélisation des représentations des acteurs locaux des bassins versants et à leur couplage avec un modèle biophysique de bassin versant.

La démarche suivie dans cette méthodologie est celle d'une utilisation coordonnée de différentes techniques (enquête, réunion participative, analyse de protocole, modélisation). Dans les chapitres 7 et 8, nous présenterons en détail ces différentes techniques et leur mode d'application. Ce chapitre-ci présente la structure générale de la méthodologie et la façon dont l'utilisation coordonnée des différentes techniques a été envisagée.

6.1. Une méthodologie dirigée par le modèle d'agent

Dans cette méthodologie, l'identification, la modélisation et le couplage des représentations sont dirigées par le modèle conceptuel d'agent dans lequel les représentations sont intégrées. En d'autres termes, le modèle conceptuel d'agent utilisé, détermine les types d'informations collectées durant les différentes phases de la méthodologie. Comme nous le verrons dans le chapitre consacré à la méthodologie de modélisation, le modèle d'agent utilisé est basé sur l'architecture modulaire horizontale proposée par Ferber (1995) que nous avons présentée à la section 3.1.2.

Le modèle d'agent utilisé requiert différents types d'informations (Figure 17) :

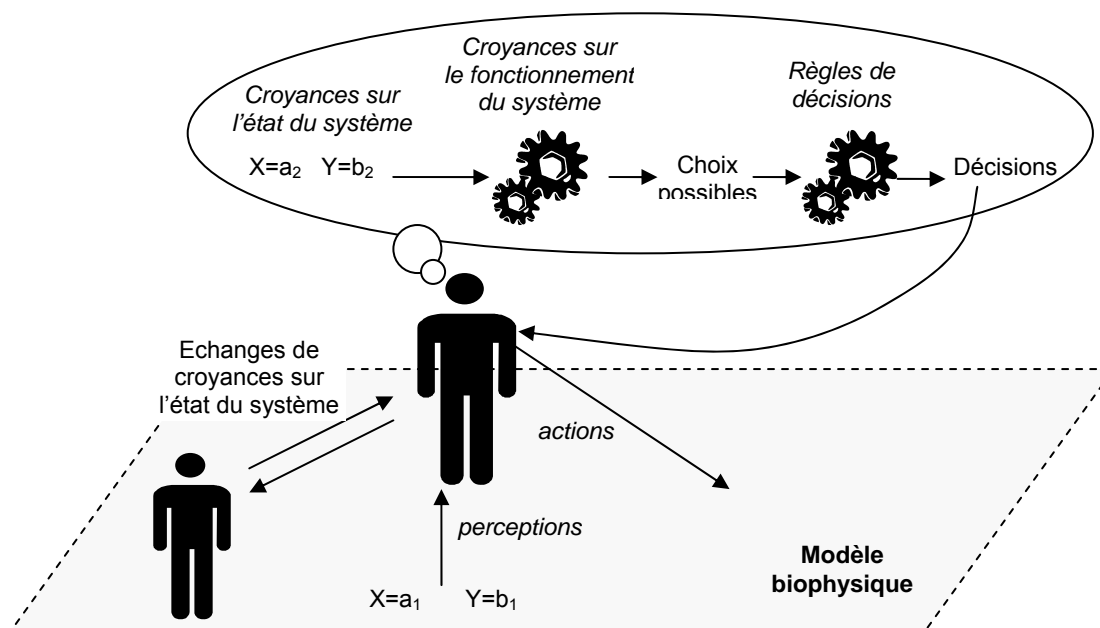
- des perceptions,
- des croyances sur l'état du système,
- des croyances sur le fonctionnement du système,
- des règles de décisions,
- et des actions.

Les perceptions de l'agent lui servent à obtenir des données sur l'état du système. Ce système porte aussi bien sur les dynamiques biophysiques de l'environnement que sur les autres agents du modèle. Ainsi, l'agent peut accéder à des indicateurs du modèle biophysique ainsi qu'à des données provenant d'autres agents. A partir de ces données, l'agent révise ses croyances sur l'état du système et établit une base de connaissances sur l'état du système. En d'autres termes, il se crée sa propre représentation sur l'état du système. Ensuite, il analyse sa représentation de l'état du système en fonction de ses croyances sur le fonctionnement de ce système. Ces dernières ont trait à la façon dont l'agent envisage les tenants et les aboutissants d'un état particulier du système. Ainsi, cette analyse permet à l'agent de simplifier la complexité du système et d'en extraire un champ

restreint de possibilités d'actions. A partir de ce champ d'actions possibles, l'agent va prendre des décisions en fonction de ces règles de décisions. Puis, il exécutera les actions correspondant aux décisions prises. Le modèle d'agent sera décrit plus en détail au chapitre 8.

Figure 17 : Informations utilisées dans le modèle d'agent (les textes en italique correspondent aux différentes informations collectées sur le terrain pour construire le modèle de représentation)

Sur la base de ce modèle d'agent, chaque phase de la méthodologie est consacrée à la



collecte et/ou à la formalisation d'une partie des informations mentionnées plus haut. Avant de présenter plus en détail comment ces phases se coordonnent pour alimenter le modèle d'agent, nous présentons la façon dont la méthodologie parvient à saisir l'hétérogénéité des représentations pouvant exister entre différents individus.

6.2. Identification de l'hétérogénéité des représentations

Afin d'identifier l'hétérogénéité des représentations, nous avons choisi de travailler à l'échelle individuelle tout au long de l'étape d'identification et de formalisation des représentations. Nous avons donc mené des enquêtes individuelles auprès d'un échantillon d'agriculteurs. Sur la base des résultats d'enquêtes, nous avons formalisé la représentation de chaque agriculteur enquêté. Enfin, nous avons vérifié chacune des représentations formalisées lors d'une séance individuelle durant laquelle l'auteur de la représentation est amené à reconstruire un modèle conceptuel de sa représentation du monde. Ce modèle conceptuel est alors comparé à la représentation formalisée à partir des enquêtes.

Ce choix de travail à l'échelle individuelle nous permet d'obtenir à la fin de l'étape d'identification et de formalisation un catalogue de représentations formalisées d'agriculteurs, représentatif de l'hétérogénéité des représentations d'agriculteurs dans le bassin versant³⁵.

Lors des premiers stades de la mise en place de la méthodologie et de son test sur un cas d'application dans un sous bassin de la vallée de l'Orb, dans le Sud de la France, nous avons procédé de manière différente. Les enquêtes étaient également menées individuellement, mais lors de la phase de formalisation nous utilisons l'ensemble des résultats obtenus pour développer un modèle conceptuel commun de la représentation que les viticulteurs du cas d'étude se font des processus d'érosion et de ruissellement. En réalité, les contradictions existant entre les différents points de vue de chaque viticulteur de l'échantillon nous avaient amené à développer plusieurs modèles de représentations, chacun combinant des points de vue homogènes. Ainsi lors du test de la méthodologie sur le cas d'application de la vallée de l'Orb, les contradictions entre points de vue ont été identifiées et traitées dès la phase de formalisation.

Dans la version de la méthodologie présentée ici, les points de vue contradictoires entre les différents individus ne sont traités que plus tard, lors de l'étape de modélisation. En procédant de cette manière, nous gardons intacte l'hétérogénéité des points de vues jusqu'après la formalisation des représentations³⁶. Selon les chercheurs en ingénierie des connaissances, ce procédé consistant à comparer et à traiter les points de vue contradictoires seulement dans les derniers stades du processus, permet d'enrichir le processus d'élicitation (Bitter-Rijkema, et al. 2002, Ford et Sterman 1997, Easterbrook 1991).

La méthodologie présentée ici suit le même raisonnement, à la différence près qu'au lieu de combiner par la suite les points de vue contradictoires dans un modèle générique, nous les intégrons dans un modèle multi-agents. En effet, le fait que les SMA puissent modéliser différents types d'agents, nous permet d'intégrer les différents points de vue au sein d'agents distincts. Ainsi, au cours de l'étape d'identification et de formalisation des représentations,

³⁵ L'échantillonnage des agriculteurs enquêtés est basé sur des critères d'appréciation préalable du caractère et de l'orientation du comportement des personnes. Et le but est d'établir à partir de ces critères un échantillon représentatif de la diversité des modes de comportements plutôt que de la population dans son ensemble.

³⁶ Afin de traiter les contradictions entre différents points de vue, l'application de la vallée de l'Orb a montré qu'il est nécessaire de réinterpréter les données et d'émettre des hypothèses quant aux dires des acteurs. En gardant un niveau d'analyse individuelle jusqu'après la phase de formalisation des représentations, les réinterprétations et les hypothèses nécessaires sont effectuées plus tard dans le déroulement de la méthodologie.

nous identifions les différentes orientations³⁷ des points de vue des agriculteurs, puis nous modélisons les représentations ayant la même orientation au sein d'un type d'agent³⁸. Au final, nous obtenons différents types d'agents, chacun ayant une orientation propre par rapport à sa façon de percevoir le système, d'appréhender le fonctionnement de ce système et d'agir par rapport à un état donné du système.

6.3. Objectifs coordonnés des phases de la méthodologie

L'identification des différentes orientations de comportements est réalisée tout au long de l'étape d'identification et de formalisation, selon un processus continu faisant intervenir les différentes techniques utilisées lors de cette étape. Trois techniques correspondant à chacune des phases sont utilisées durant cette étape : des enquêtes (phase 1), la réalisation de diagrammes EPR (phase 2) et les *Playable Stories* (phase 3). Ces techniques sont présentées plus amplement dans le chapitre suivant, mais dès à présent nous présentons la façon dont elles se coordonnent.

Comme indiqué dans la Figure 18, les enquêtes servent à identifier les informations nécessaires à la réalisation du modèle d'agent. Par ailleurs elles représentent un premier niveau d'identification des différentes orientations de comportements. Les diagrammes EPR sont utilisés pour formaliser les informations recueillies par les enquêtes. Les règles et les croyances ainsi formalisées sont à la fois proches du formalisme Orienté-Objet (ce qui permet leur implémentation par la suite dans le modèle multi-agents) et permettent une traçabilité des dires d'acteurs (ce qui facilite leur vérification par les acteurs). En outre, une analyse quantitative et une comparaison de ces diagrammes permettent d'affiner l'identification des différentes orientations de comportements. La technique des *Playable Stories* est une forme de construction participative du modèle. En reconstruisant un modèle du monde via cette technique, les acteurs sont amenés à vérifier la formalisation faite de leur représentation. Les résultats obtenus servent à vérifier les indicateurs perçus ainsi que les règles et les croyances formalisées. De même, la comparaison des résultats obtenus avec chacun des acteurs contribue à l'identification des différentes orientations de comportements.

³⁷ Une orientation de point de vue correspond ici à une vision homogène du fonctionnement du système et de la façon de l'appréhender. Ainsi, les représentations ayant une même orientation correspondent aux représentations d'agriculteurs ayant une vision commune et au sein desquelles il n'existe pas de contradictions majeures par rapport au fonctionnement et à la façon d'appréhender le système.

³⁸ Plus précisément, les représentations homogènes liées à un type d'activité sont intégrées sous la forme d'une stratégie affectée à un rôle particulier de l'agent.

Lors de la phase de modélisation des agents, les représentations formalisées et vérifiées sont regroupées selon les différentes orientations de comportements liés à un type d'activité. Pour chaque orientation de comportement lié à un type d'activité, on obtient un jeu homogène de règles, de perceptions et de croyances. Ces informations sont alors intégrées dans des compartiments spécifiques du modèle d'agent sous la forme de procédures informatiques. La façon dont ces procédures informatiques sont exécutées et se coordonnent est inhérente au modèle d'agent (voir chapitre 8). Par ailleurs, chaque jeu d'information est implémenté séparément. Les agents possèdent des rôles qui correspondent aux différentes activités entreprises par les acteurs, et pour chaque rôle différentes stratégies sont possibles, chacune correspondant à une orientation de comportement lié à une activité donnée. Ainsi, les différents jeux homogènes de règles, de perceptions et de croyances sont affectés à des stratégies et à des rôles différents. Cela revient à implémenter différents types d'agents selon une même architecture générique telle que présentée à la Figure 17.

Lors de la phase de couplage des agents avec le modèle biophysique, les indicateurs perçus, identifiés par les enquêtes et les *Playable Stories* sont utilisés pour connecter les perceptions des agents aux paramètres du modèle biophysique. De même, les actions entreprises par les acteurs, identifiées par les enquêtes et les *Playable Stories* servent à implémenter les procédures des agents qui vont affecter le modèle biophysique.

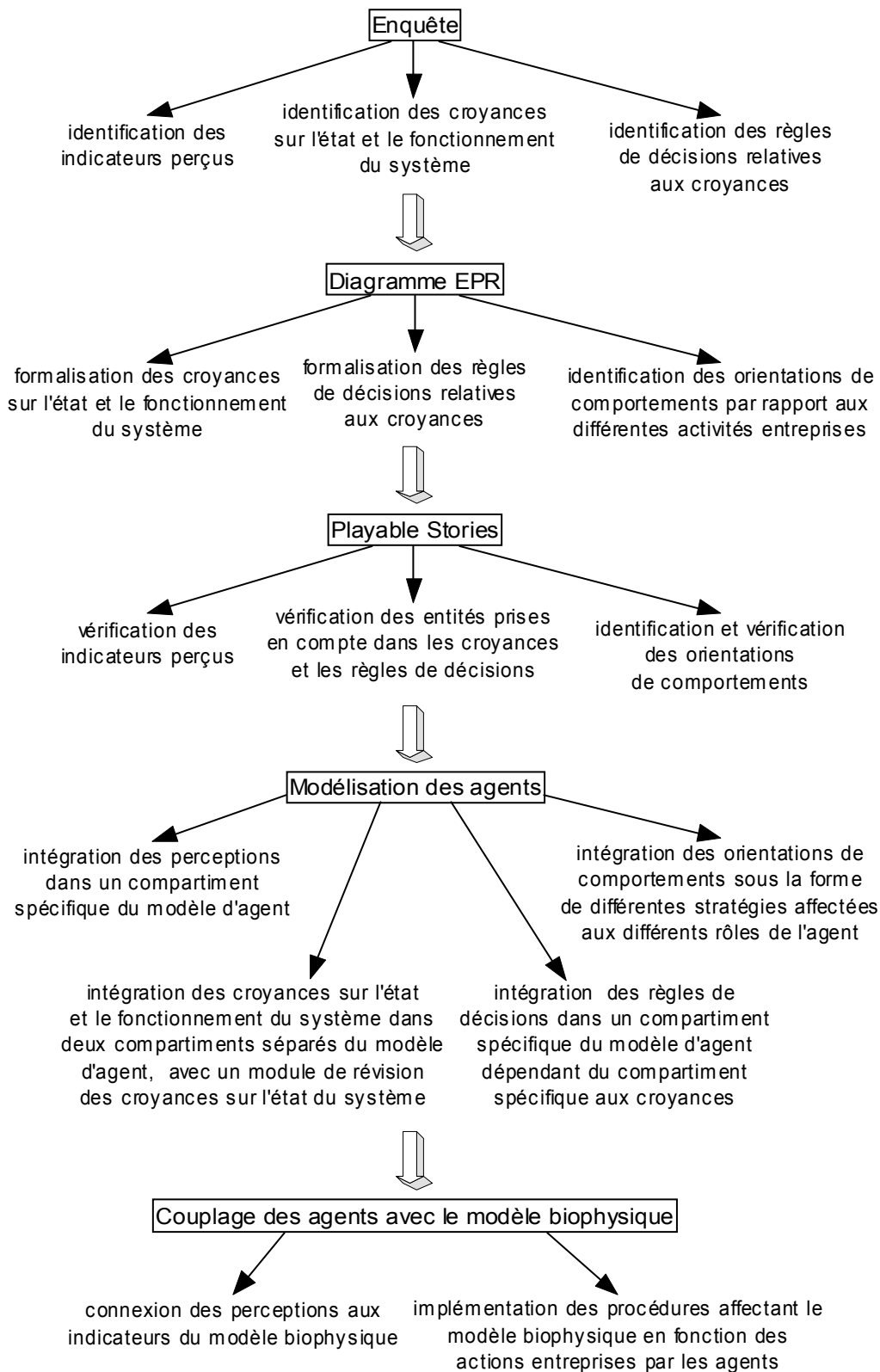


Figure 18 : Schéma général de la méthodologie (les flèches noires indiquent les objectifs de chacune des phases ; les flèches blanches symbolisent l'évolution dans le temps de la construction du modèle – sans référence à un objectif particulier)

Nous venons de présenter la structure générale de la méthodologie et la façon dont les différentes phases de la méthodologie se coordonnent pour converger vers un modèle final intégrant les différentes représentations hétérogènes des agriculteurs couplées à un modèle biophysique. Dans les deux chapitres suivants, nous présenterons tour à tour chacune des phases de la méthodologie en commençant par celles de l'étape d'identification et de formalisation des représentations, et en poursuivant par les phases de l'étape de modélisation.

7. Méthodologie d'identification et de formalisation des représentations

Cette première étape de la méthodologie consiste à identifier, formaliser, puis vérifier avec les acteurs, un ensemble de représentations individuelles. Ces trois actions (identifier, formaliser, vérifier) correspondent chacune à l'une des phases de cette première étape.

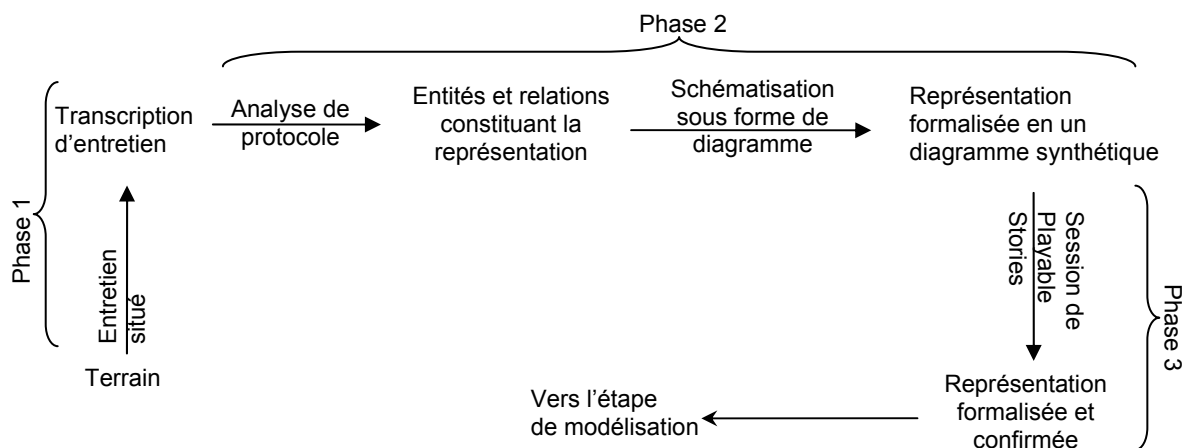


Figure 19 : Schématisation des phases de l'étape d'identification et de formalisation réalisées pour chacun des individus de l'échantillon

L'objectif de cette étape est d'obtenir un catalogue de représentations individuelles formalisées et confirmées que nous pourrions ensuite intégrer dans un modèle (deuxième étape). Bien que chacune des phases de cette étape ait sa fonction propre, leur application agit tel un processus continu d'élicitation des représentations. C'est à dire que chaque phase participe à l'élaboration du catalogue de représentations en apportant à chaque fois de nouvelles informations, en corrigeant ou en enrichissant certains aspects des représentations de la phase précédente. L'utilisation de différentes techniques d'élicitation permet d'acquérir des informations de type et de qualité différents (Portmann et Easterbrook 1992). La variété des différentes techniques employées dans ces trois phases enrichit ainsi le processus d'acquisition des représentations.

7.1. Technique d'enquête : l'entretien situé

La technique d'enquête servant à identifier les représentations a été élaborée lors du test de la méthodologie sur le bassin versant du Taurou dans la vallée de l'Orb (pour plus de détail sur la méthodologie et les résultats obtenus sur ce cas d'application, voir l'annexe 4). Cette technique consiste en des entretiens individuels menés sur les parcelles des agriculteurs enquêtés ou dans un lieu ayant un lien avec le thème de la discussion. Nous décrivons ci-dessous le guide d'entretien utilisé et le type de questions posées, le choix de la localisation des entretiens et le mode d'enregistrement des données.

7.1.1. Guide d'entretien

Les thèmes abordés par le guide d'entretien seront présentés dans la partie résultats au chapitre 9. Dans ce paragraphe nous présenterons la structure du guide d'entretien. La technique d'enquête utilisée consiste en des entretiens individuels semi-directifs. Nous avons suivi un modèle de guide d'entretien pour lequel une seule question est posée pour chaque thème abordé³⁹. Des questions de relance, préparées à l'avance, sont utilisées dans le cas où la personne ne sait pas comment aborder l'un des thèmes. Ainsi, le principe est de laisser la plus grande liberté de parole à l'interlocuteur. Nous n'interrompons donc pas le fil de la discussion et nous laissons l'interlocuteur s'exprimer autant de temps qu'il le souhaite pour chacun des thèmes abordés. Le guide d'entretien est préparé de manière à ce que les thèmes s'enchaînent de manière logique et naturelle, sans rupture ni changement trop brusque de sujet de conversation. Néanmoins, lorsque l'interlocuteur passe d'un thème à l'autre librement, nous n'interrompons pas le fil de son argumentation et nous changeons alors l'ordre des thèmes à traiter. Ainsi, l'entretien est mené de façon à ce qu'il ressemble le plus possible à une discussion tout en assurant un minimum de structure et d'homogénéité à l'enquête (questions identiques d'un entretien à l'autre, utilisation de questions de relance pour s'assurer que chaque thème a bien été traité, éventuellement dans le désordre, par chaque agriculteur).

Pour chaque enquête, le premier thème abordé porte toujours sur les pratiques de l'exploitant quant à l'activité enquêtée. Ainsi, dans le cas des activités liées à la gestion de l'eau, la question posée est « Quelles sont vos pratiques d'irrigation sur vos parcelles ? ». Selon le principe de l'action située (Menzies 1996), cette première question a pour but de resituer la personne enquêtée dans le champ de ses activités quotidiennes. De même que pour les autres thèmes abordés, nous essayons de rester le plus ouvert possible dans la

³⁹ Les enquêtes réalisées dans le cadre du cas d'application du Nord Thaïlande comportaient chacune quatre à cinq thèmes.

façon dont nous formulons les questions. Par exemple, pour discuter de la gestion collective de l'eau au sein d'un village nous demandons « Pouvez-vous me parler de la gestion collective de l'eau dans le village ? ». Il a parfois été nécessaire d'employer des questions plus spécifiques comme « Où va l'eau qui ruisselle de vos parcelles ? », ou d'utiliser des exemples lorsque nous avons cherché à identifier la façon dont les agriculteurs appréhendent la dynamique du bassin versant, comme par exemple : « Pourquoi y-a-t-il des années où il y a peu d'eau dans la rivière durant la saison sèche et d'autres où il y en a beaucoup ? ».

Enfin, dans la mesure du possible, pour chaque thème abordé nous avons essayé de structurer la discussion en identifiant tout d'abord les entités du système perçues, puis les dynamiques et interactions perçues entre ces entités.

7.1.2. Localisation des entretiens

L'entretien est mené sur un lieu en rapport avec le thème de la discussion. La plupart du temps, les entretiens se sont déroulés sur les parcelles de chaque exploitant afin que celui-ci puisse montrer directement la manière dont il réalise ses pratiques et les types de systèmes qu'il perçoit. L'idée est de placer l'exploitant en situation et ainsi de saisir au plus juste sa propre représentation du système en lui demandant de le décrire directement, éventuellement en utilisant les éléments qui s'offrent à sa vue. Lors du test de la méthodologie dans la vallée de l'Orb, nous demandions aux viticulteurs enquêtés de nous montrer leurs parcelles et l'entretien était réalisé au cours de ces visites. Cela permettait à la personne de nous montrer et de commenter directement les différents éléments de son système. L'itinéraire et les endroits que nous visitons étaient laissés au choix du viticulteur et étaient donc différents pour chacun des entretiens. Cette méthode s'est pourtant avérée introduire trop de variabilité d'un entretien à l'autre⁴⁰ ce qui nuisait alors à l'homogénéité des résultats entre personnes enquêtées. Par la suite nous avons donc mené les entretiens sur un lieu. Lorsque la discussion s'engageait sur des zones hors de notre champ de vision, nous utilisions des cartes et des feuilles blanches afin que la personne enquêtée situe les éléments ou dessine un croquis. Dans la pratique, la carte n'a été que très peu utilisée, mais les croquis se sont avérés utiles pour expliquer ou commenter certains aspects du système.

⁴⁰ Du fait que les différents lieux visités étaient différents d'un entretien à l'autre, les viticulteurs ont eu tendance à focaliser leur discours sur des thèmes et des entités du système assez différents.

7.1.3. Enregistrement des données

Les entretiens ont été enregistrés soit à l'aide d'un magnétophone soit par une technique de prise de note rapide. Ils ont ensuite été retranscrits mot à mot pour les parties les plus en lien avec le sujet d'étude, et partiellement lorsque la discussion était plus ou moins hors sujet.

Chaque transcription a ensuite été analysée afin d'identifier les passages dont le sens n'était pas clair ou en contradiction avec d'autres parties du discours de la même personne. Des questions supplémentaires ont alors été posées aux personnes concernées afin de clarifier ces deux aspects.

En outre, durant le test de la méthodologie dans le bassin versant du Taurou, nous avons constaté que les viticulteurs enquêtés avaient tendance à orienter leurs réponses en fonction de leur perception de la façon dont nous allions exploiter les données recueillies. Ces réponses « stratégiques » étaient donc une source de biais dans notre protocole d'enquête. Une phase d'insertion dans la zone d'étude a donc été ajoutée au protocole d'enquête afin de réduire ce biais et d'atteindre une meilleure acceptation du travail d'enquête par les acteurs. Le but recherché est d'établir une relation de confiance entre l'enquêteur et l'enquêté. Comme nous le verrons par la suite, nous avons testé deux types d'insertions dans le cas d'application du Nord Thaïlande, ce qui a entraîné des façons quelque peu différentes de mener les enquêtes.

7.2. Formalisation des représentations dans les diagrammes EPR

Les diagrammes EPR (Entités, Processus, Règles) sont le support sur lequel nous formalisons, à l'aide de l'analyse de protocole, les représentations individuelles des acteurs. La raison d'être de ces diagrammes vient des résultats que nous avons obtenus lors du test de la méthodologie sur la vallée de l'Orb (voir l'annexe 4). Les conclusions que nous avons tirées à la suite de cette expérience et l'argumentation qui nous a amenés à élaborer les diagrammes EPR peuvent se résumer de la manière suivante :

- Les représentations identifiées à l'aide des entretiens sont souvent incomplètes et approximatives : (i) certaines informations peuvent manquer pour expliciter le fonctionnement d'un processus ou d'une interaction, (ii) le langage naturel utilisé dans les entretiens comporte des éléments dont la compréhension est parfois hasardeuse.
- De ce fait, des hypothèses, des interprétations et des compléments d'informations sont nécessaires au moment de la formalisation à l'aide d'une analyse de protocole pour pouvoir intégrer les représentations dans un modèle exécutable.

- Par ailleurs, ces hypothèses et interprétations doivent souvent être effectuées à l'échelle de la microstructure du modèle (l'échelle des processus et des interactions entre les entités du modèle)⁴¹
- Or, nous souhaitons soumettre ces hypothèses et ces interprétations aux acteurs afin qu'ils les vérifient.
- Du fait de cette échelle, nous pensons que les séances de démonstration du modèle ne constituent pas le bon support pour soumettre ces hypothèses et ces interprétations aux acteurs et pour les vérifier avec eux. Nous en déduisons qu'un support à l'interface entre la sémantique du discours des acteurs et le formalisme d'un modèle serait plus adapté.

Les diagrammes EPR que nous avons développés pour cette méthodologie visent à être un tel support.

7.2.1. Sémantique des diagrammes EPR

Pour élaborer la sémantique des diagrammes EPR nous nous sommes fixés trois critères qui, à notre sens, permettent d'atteindre l'objectif fixé pour l'utilisation de ces diagrammes. Les diagrammes doivent :

- être une formalisation synthétique de la représentation que les acteurs se font de leur système,
- offrir une transparence du passage entre la transcription et les éléments constitutifs du diagramme, permettre la traçabilité des dires d'acteurs et respecter leur sémantique,
- pouvoir être facilement implémentés en vue de la modélisation des représentations.

a) Mise en place de la sémantique

Pour répondre à ces critères, nous avons mis en place la sémantique des diagrammes EPR de la manière suivante :

- Nous avons tout d'abord adopté une structure d'extraction pour l'analyse de protocole de la forme Concept-relation (voir la section 4.1.4) dont le cadre théorique correspond bien à la sémantique du langage (Gensel 1995a). Ce choix va dans le sens du critère de respect de la sémantique des dires d'acteurs.
- Puis nous avons défini une sémantique adaptée à la structure Concept-relation, et ce en nous appuyant autant que possible sur la sémantique UML afin de s'assurer que les diagrammes puissent être facilement implémentés.

⁴¹ Dans l'expérience de l'Orb, la formalisation des entités du modèle n'a pas demandé d'interprétations de la part du modélisateur, par contre les facteurs entrant en jeu dans les différents processus et le fonctionnement de ces processus a nécessité que des hypothèses soient posées et que des informations complémentaires soient apportées.

Comme nous l'avons vu dans l'état de l'art (voir la section 4.1.4), les concepts et les relations du type classification ou composition sont en lien étroit avec les objets et les relations entre classes du formalisme Orienté-Objet et il est possible de les représenter dans un diagramme UML unique, appelé diagramme de classe. Néanmoins, les relations décrivant le fonctionnement du système (les règles de fonctionnement du système) ne peuvent être représentées dans un tel diagramme et ne trouvent pas d'équivalences satisfaisantes dans la sémantique UML. Le rôle de ces règles de fonctionnement du système est important pour une bonne description du système. Les travaux des chercheurs en représentation des connaissances en attestent (Cibran, et al. 2003, Bock 2001, Graham 2001). Néanmoins ces travaux ne parviennent pas, à notre sens, à une représentation synthétique permettant une bonne traçabilité des dires d'acteurs.

Face à ce constat, et afin de préserver la traçabilité des dires d'acteurs dans le passage entre les transcriptions et les diagrammes, nous avons défini une sémantique spécifique à la représentation des règles de fonctionnement dans les diagrammes EPR.

b) Une sémantique spécifique pour les règles de fonctionnement du système

Afin de définir la sémantique des règles de fonctionnement du système nous nous sommes appuyés sur les différents types de règles utilisées par les chercheurs en représentation des connaissances et dans les travaux réalisés sur les formalismes hybrides Règle-objet (voir la section 4.1.4). Notre démarche a consisté à définir différents types de règles et à les intégrer dans un diagramme reprenant la sémantique des objets définis dans un diagramme de classe. Le modèle de diagramme recherché correspond en quelque sorte à un diagramme de classe où les objets seraient reliés entre eux par les règles de fonctionnement du système.

Nous avons vu dans l'état de l'art que les règles de fonctionnement du système peuvent prendre différentes formes morpho-linguistiques : lien cause-conséquence (si-alors), déclaration de ce qui est vrai ou faux, énoncé de moyens pour atteindre un but, faits fonctionnels. Nous n'avons pas cherché à distinguer ces différentes formes et nous les traitons au même plan dans les diagrammes EPR. Par contre, nous avons cherché à distinguer ces règles en fonction de leur rapport aux objets, et ce en raison de la notion d'encapsulation propre au formalisme Orienté-Objet et dont nous devons tenir compte. Nous avons distingué trois grands types de règles que seule l'analyse du contenu permet de déterminer.

Les conditions sur une opération.

Elles régissent l'activation (pré-condition) ou la finalisation (post-condition) des opérations d'un objet (Gottesdiener 1999). Une pré-condition est une expression logique qui doit être vérifiée pour que l'opération s'exécute (ex. « je dois avoir de l'eau pour irriguer », « les

racines ne poussent pas sur un sol dur »). Une post-Condition est une expression logique qui doit être vérifiée après que l'opération ait fini de s'exécuter (ex. « j'irrigue jusqu'à ce que ma parcelle soit pleine d'eau ») (Graham 2001).

Les règles de contrôle interne de l'objet (règle interne).

Elles interviennent dans le fonctionnement interne de l'objet. Elles peuvent décrire des invariances fonctionnelles de l'objet, c'est à dire une expression logique, une règle ou une assertion à propos de l'objet, devant être vérifiée à chaque instant (ex. « l'eau ne brûle jamais ») (Hui, et al. 2003). Elles peuvent également décrire le comportement interne de l'objet en agissant sur ses attributs (ex. « lorsque j'ai 100 € dans mon portefeuille, je suis content ») ou sur ses opérations (ex. « si l'eau bout alors elle s'évapore ») (Wu et Cai 2000).

Les règles de contrôle externe de l'objet (règle de contrôle externe).

Elles décrivent le comportement de l'objet vis à vis de ses relations et interactions avec les autres objets. Sémantiquement elles peuvent correspondre à un jeu de règles ou à des assertions. L'interaction peut concerner les attributs des objets (ex. « si le sol est dur, l'agriculteur perd de l'argent ») ou leurs opérations (ex. « l'agriculteur qui utilise trop d'engrais détruit le sol ») (Cibran, et al. 2003). Lorsque ces relations sont exprimées de manière non-procédurale il n'est pas toujours possible de distinguer clairement la règle qui est sous entendue (Gensel 1995a). C'est par exemple le cas de l'assertion « le climat affecte les cultures ». Néanmoins, même si la règle n'est pas explicite dans ce type d'assertions nous avons choisi de les représenter car elles participent à la description du fonctionnement de l'objet vis à vis des autres objets.

Dans le paragraphe suivant nous décrivons comment les diagrammes EPR sont construits à partir de la sémantique des objets et des règles de fonctionnement ainsi définies.

7.2.2. Méthode de construction des diagrammes EPR

Les diagrammes EPR sont construits à partir d'une analyse de protocole des transcriptions d'entretiens. L'analyse de protocole est réalisée de la même manière que dans l'expérience de l'Orb à la différence que nous utilisons les dires d'un seul acteur pour formaliser chaque diagramme EPR.

Les détails de la méthode d'application de l'analyse de protocole sont présentés dans l'annexe 4 pour le cas d'application de l'Orb. Nous nous attachons ici à décrire la structure des diagrammes EPR, les notations utilisées et la correspondance entre les différents éléments des diagrammes EPR et les expressions sémantiques retrouvées dans les transcriptions.

Dans les diagrammes EPR la structure du système est représentée par :

- les entités du système figurées par des objets,
- les attributs des objets.

Le fonctionnement du système est représenté par :

- les processus (tâches ou activités) opérés par les entités, figurés par les opérations des objets,
- les relations fonctionnelles entre les entités (règles de fonctionnement du système), figurées par des liens fléchés entre les objets.

Les relations structurelles entre les entités du type association de classes, agrégation d'objets et généralisation de classes ne sont pas représentées dans les diagrammes EPR pour un souci de lisibilité. Néanmoins, pour l'implémentation du modèle, ces informations sont extraites des transcriptions via les assertions de type « est un », « est composé de », « est une partie de ».

a) Concept-objet

Les concepts relevés dans le discours d'une personne peuvent être des objets physiques du système, des idées, des personnes, des organisations. Ces concepts sont décrits par leur relation à un autre concept, par leurs attributs ou par des processus qu'ils opèrent. Dans les diagrammes EPR, les concepts sont transcrits sous forme d'objets représentés par une boîte divisée en trois compartiments, de la même façon que dans les diagrammes de classes. Le compartiment supérieur indique le nom du concept-objet, le deuxième compartiment indique les attributs du Concept-objet, et le compartiment inférieur indique les processus-opérations opérés par le Concept-objet.

Nom de l'objet
Attribut1 Attribut2
Opération1 Opération2

b) Attribut

Les attributs d'un Concept-objet sont des descriptions des propriétés du Concept-objet (dans les transcriptions on les retrouve souvent sous forme d'adjectif). Ce sont des propriétés génériques, des qualités ou des aspects du concept, comme le poids, l'âge ou un typage. La règle générale est qu'un attribut décrit l'objet. Ces attributs peuvent prendre des valeurs (dix ans, bon, mauvais, jaune), mais ces dernières ne sont pas écrites dans les diagrammes EPR. Néanmoins elles peuvent être relevées dans les transcriptions pour une utilisation future lors de l'implémentation.

Il peut arriver lors de l'analyse de protocole, que ce que l'on a d'abord formalisé sous la forme d'un attribut d'objet, s'avère par la suite être un objet à part entière. Par exemple, les substances nutritives peuvent dans un premier temps être transcrites comme l'attribut de l'objet Sol si la seule indication les concernant est de savoir si le sol en possède en grand nombre ou pas. Néanmoins, si dans la suite de l'analyse, les substances nutritives s'avèrent avoir des propriétés et un comportement propre, alors elles doivent être formalisées comme un objet à part entière (tout en sachant qu'il existe un lien entre les objets Sol et Substance nutritive). Pour savoir à partir de quand un concept doit être formalisé sous la forme d'un

objet il faut se poser la question suivante : « le concept a-t-il une identité, un état, des propriétés et/ou un comportement propre ? » (Jacobson et al. 1998, Booch, et al. 1996).

c) Héritage

Comme nous l'avons dit précédemment, les relations de généralisation entre classes, qui représentent la notion d'héritage, ne sont pas représentées dans les diagrammes EPR. Du point de vue informatique, l'héritage est l'aptitude à définir une classe-fille à partir d'une classe-mère. Une classe-fille hérite de l'ensemble des attributs et des méthodes de la classe-mère, à laquelle peut être ajouté de nouveaux attributs et méthodes. Typiquement la classe « chien » peut hériter de la classe « mammifère » qui elle-même peut hériter de la classe « vertébré ».

Il peut arriver lors de l'analyse de protocole, que l'on ne sache pas si un concept doit être formalisé au sein d'une classe déjà existante ou sous la forme d'une classe-fille. Typiquement, face une assertion comme « Un sol dur agit sur les cultures », s'agit-il du concept « Sol-Dur » (classe-fille de la classe « Sol ») ou de l'attribut « Dureté » du concept « Sol » ? Ce choix doit tenir compte des impératifs qui font qu'un concept peut être formalisé sous la forme d'un objet, et donc sous la forme d'une classe-fille (identité, état, propriété et comportement). Néanmoins, dans bien des cas ce choix revient en dernier ressort au modélisateur, et nous recommandons dans les diagrammes EPR de formaliser un concept sous forme d'attribut lorsque celui-ci caractérise ou décrit un autre concept (« dur » est l'attribut de la classe « Sol »). A l'inverse un « cas particulier » de concept ayant de multiples propriétés spécifiques et comportements qui lui sont particuliers sera défini comme une classe-fille. Dans la même logique, Lenat et Guha (Lenat et Guha 1990) proposent qu'un concept soit formalisé sous la forme d'une classe à part entière lorsque :

- plusieurs choses intéressantes peuvent être dites à propos de ce concept en particulier,
- le concept a des propriétés qui lui sont propres (qui ne sont pas retrouvées dans les classes-mères),
- sont retrouvées dans les transcriptions des assertions qui distinguent cette classe des autres classes,
- le nombre de classes-sœurs (autres classes-filles de la classe-mère) est bas.

d) Instances

Du point de vue de l'implémentation, les instances sont les objets d'une classe. Dans les diagrammes EPR que nous proposons, nous faisons l'amalgame entre les objets et les classes et la schématisation des concepts en une boîte avec trois compartiments est en fait celle d'une classe en UML. Dans le discours d'une personne, un concept d'une instance se distingue par un adjectif possessif comme « ma ». Ainsi, « Ma voiture » est une instance du concept « voiture ». Les diagrammes EPR ne prennent pas en compte les instances. Si une

ambiguïté peut apparaître entre une classe et l'une de ces instances, la règle est de les représenter sous la forme de deux Concepts-objets séparés. Ainsi dans les transcriptions traitées nous avons rencontré une ambiguïté possible lorsque l'agriculteur (appelons-le l'agriculteur X) parle des agriculteurs en général et lorsqu'il parle de lui-même. Nous avons alors créé un Concept-objet « Les Agriculteurs » et un Concept-objet « l'agriculteur X ».

e) Processus-opération

Les processus sont des actions, des tâches ou des activités associées à un Concept-objet. Ainsi, « Les agriculteurs font du compost » est une activité qui est transcrite sous la forme de l'opération « Faire-compost » de l'objet Agriculteur. L'opération est écrite dans le troisième compartiment de l'objet.

Si rien d'autre n'est dit à propos du compost, la représentation s'arrête là. Néanmoins si on retrouve par ailleurs une autre assertion comme « Le compost est bon pour le sol » le compost devient un objet distinct. Pour conserver dans la représentation le lien existant entre l'opération Faire-compost et l'objet Compost, une ligne, non fléchée, est alors tracée de l'un à l'autre Figure 20. La relation entre le compost et le sol est traitée dans le paragraphe suivant.

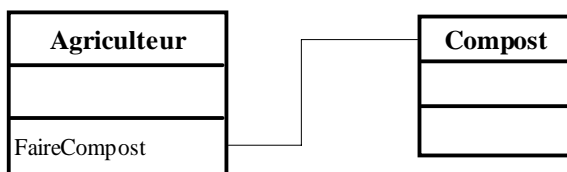


Figure 20 : Ligne symbolisant le lien entre l'opération Faire-compost et l'objet Compost

f) Règle-relation

Trois grands types de règles de fonctionnement du système sont utilisés dans les diagrammes EPR. Une sémantique propre est associée à chacun de ces types.

Conditions sur les opérations

Il s'agit des « Pré-conditions » permettant l'activation d'une opération et des « Post-conditions » qui doivent être vérifiées à la fin du déroulement d'une opération. Elles sont notées par des flèches creuses dirigées vers l'opération concernée et provenant de l'objet, de l'attribut ou de l'opération sur lequel est la condition. Les règles « si le climat est bon, je plante de l'ail » et « je stocke l'ail jusqu'à ce que le prix du marché soit élevé » sont représentées dans la Figure 21.

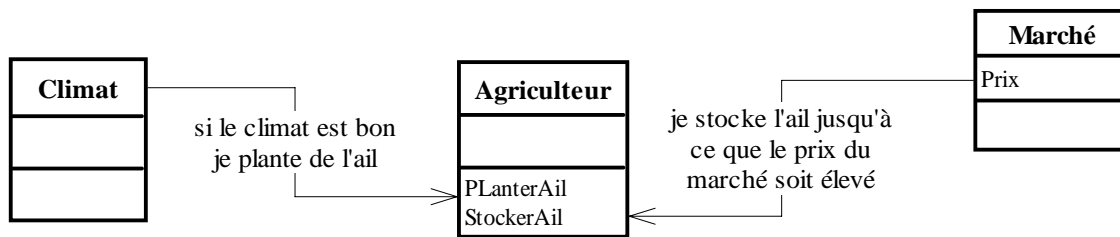


Figure 21 : Notation des Pré et Post-conditions

Règles internes

Il s'agit des règles qui régissent le comportement de l'objet, sans faire appel à d'autres objets. Nous distinguons deux types de règles internes : les règles de contrôle du comportement interne et les invariants de l'objet. Ces règles sont représentées par un lien entre les entités mentionnées dans la règle et une flèche pleine. Dans le cas des règles de contrôle du comportement interne, le lien est entre les deux attributs et/ou opérations qui sont en jeu et la flèche est dirigée vers l'attribut ou l'opération sur lequel la règle agit. Dans le cas des invariants d'un objet, la flèche pleine part du compartiment du nom de l'objet et revient vers ce même compartiment. La Figure 22 représente l'invariant « l'eau ne brûle jamais » et la règle de contrôle du comportement interne « si l'eau bout, elle s'évapore ».

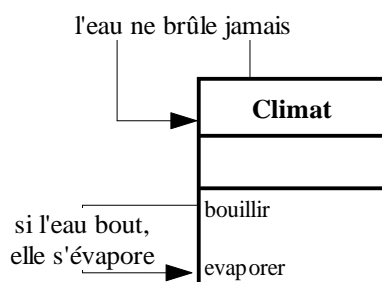


Figure 22 : Notation des règles de contrôle interne de l'objet

Règles de contrôle externe

Ces règles décrivent le comportement de l'objet vis-à-vis des autres objets et régissent donc les interactions entre les objets. A ce titre elles relient le plus souvent deux objets entre eux (le cas de liens entre plus que deux objets est traité à la fin de ce paragraphe).

Lorsque que ces règles sont exprimées de manière non-procédurale (sous forme de faits fonctionnels) il est possible de les confondre avec une opération d'un objet ayant une influence sur un autre objet. Néanmoins, contrairement aux opérations, les règles de fonctionnement du système, même exprimées sous la forme de faits fonctionnels, apportent d'autres renseignements que la simple énonciation d'un processus (Maniezzo, et al. 1993). Elles indiquent typiquement la conséquence qu'un processus d'un objet a sur un autre objet.

C'est pourquoi il est important de représenter ces assertions selon la sémantique des règles de contrôle externe définie pour les diagrammes EPR⁴².

Les règles de contrôle externe sont représentées par un lien entre les deux objets mentionnés et d'une double flèche unidirectionnelle pleine. Le sens de la flèche est dirigé vers la conséquence dans le cas d'un lien cause-conséquence, et vers le but dans le cas d'un lien moyen-but.

Suivant l'élément de chacun des objets mentionnés dans la règle (un attribut, une opération ou l'objet en lui-même) la flèche peut provenir et être dirigée vers l'un des trois compartiments de chacun des objets. Ainsi, l'interaction peut concerner les attributs des objets (ex. « Si le sol est dur, les rendements des cultures sont mauvais », Figure 23), leurs opérations (ex. « irriguer détruit le sol », « les nutriments du sol aident la plante à pousser », Figure 24), ou les objets eux-mêmes (ex. « le climat affecte les cultures », Figure 26).

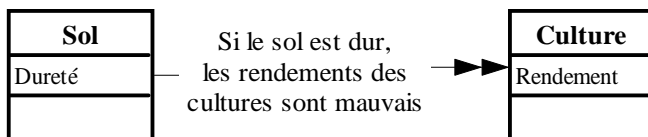


Figure 23 : Notation d'une règle de contrôle externe allant d'un attribut vers un autre attribut

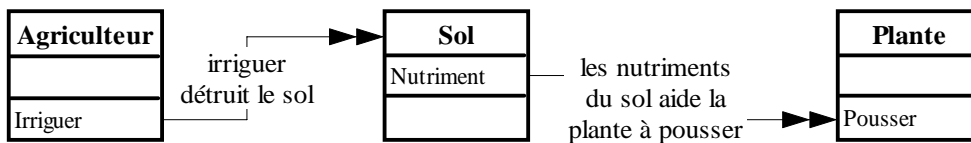


Figure 24 : Notation d'une règle de contrôle externe partant d'une opération ou allant vers une opération

Si plusieurs attributs et/ou opérations constituent une cause, un faisceau de liens partant des différentes causes et allant vers l'objet désigné est figuré (ex. « si le sol est dur et que l'agriculteur utilise trop d'engrais alors les cultures ne seront pas bonnes », Figure 25).

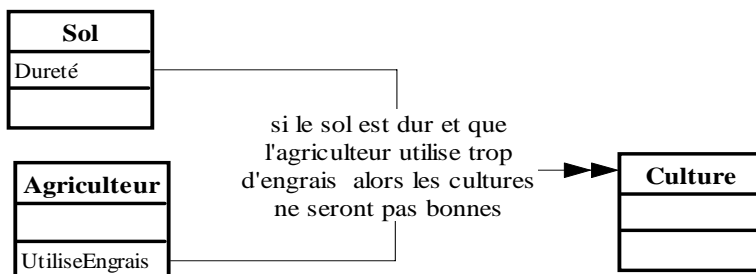


Figure 25 : Notation des règles de contrôle externe à causes multiples

⁴² Cela permet d'éviter une perte d'information et de ne pas déformer les dires d'acteurs (critère de traçabilité et de respect de la sémantique des dires d'acteurs des diagrammes EPR)

Si les conséquences d'une cause sont multiples alors, plusieurs flèches seront représentées (ex. «Le climat affecte le sol et les cultures » Figure 26).

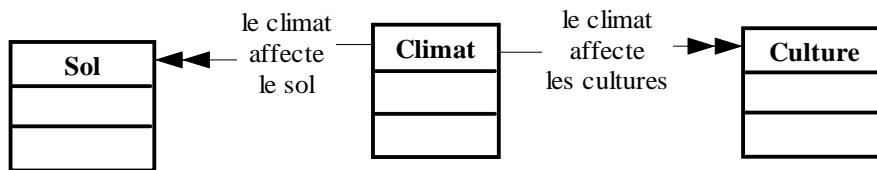


Figure 26 : Notation des règles de contrôle externe à conséquences multiples

g) Notation des expressions sémantiques

Comme nous l'avons vu dans les paragraphes précédents, les liens entre objets sont toujours accompagnés de l'expression sémantique relevée dans la transcription qui est la source de ce lien. Cette règle permet de garder la trace du discours de l'acteur et renseigne sur la signification du lien qui est représenté.

Autant que possible, l'expression sémantique sera écrite tel que l'acteur l'a énoncée. Il peut arriver que l'expression soit trop longue et qu'une transcription mot à mot surcharge le diagramme. Dans ce cas, il convient de retranscrire le dire de l'acteur sous une forme la plus respectueuse possible de l'expression d'origine.

Nous venons de présenter la formalisation des représentations à l'aide des diagrammes EPR. Cette technique nous permet de définir à partir des transcriptions un catalogue de représentations individuelles d'acteurs formalisées. Ainsi, pour chaque individu de l'échantillon, un diagramme EPR est réalisé. Dans la deuxième étape nous verrons comment nous procédons à la modélisation à proprement parler (l'intégration des diagrammes EPR dans le modèle informatique). Mais avant cela, la méthodologie intègre une phase de vérification des représentations formalisées par les diagrammes EPR. Pour cela, nous avons développé une méthode originale qui s'applique au cours de séances individuelles avec les acteurs et qui repose notamment sur la mise en situation au travers d'un récit, dans lequel le participant peut agir et interagir. Nous avons appelé cette méthode les *Playable Stories*.

7.3. Vérification des représentations à l'aide des *Playable Stories*

Le but de cette phase de la méthodologie est de faire vérifier les diagrammes de représentation individuelle par les acteurs. A notre connaissance il n'existe pas de méthodes adaptées à cet objectif. Nous avons donc développé une nouvelle méthode en nous inspirant de certaines techniques de l'ingénierie des connaissances, et nous avons appelé cette méthode les *Playable Stories*. Les *Playable Stories* sont des sessions de mise en situation des acteurs, un peu à la manière des jeux de rôles, organisés classiquement en modélisation d'accompagnement, mais cette fois-ci individuellement (Becu et al. 2005). C'est à dire que nous avons organisé une session par personne ; sachant que pour chacune de

ces personnes nous avons au préalable procédé à la phase d'identification de sa représentation du système (entretien) et à la formalisation de la représentation sous forme de diagramme EPR (via une analyse de protocole des entretiens).

Dans un premier temps nous discuterons deux possibilités qui ont été envisagées lors de la construction des *Playable Stories*, puis nous présenterons la méthode utilisée et enfin nous décrirons la méthode d'analyse et de vérification des représentations.

7.3.1. Fondements

Une approche possible de validation par les acteurs, consiste à soumettre le modèle à valider aux acteurs concernés et à leur demander si le modèle est pertinent ou pas. C'est ce que l'on appelle la validation à dire d'acteurs (Barreteau, et al. 2001). Dans notre cas, une telle approche consisterait à soumettre chaque diagramme EPR à l'acteur concerné (l'acteur dont la représentation du système est formalisée sur le diagramme) et à lui demander de valider, de rejeter ou de modifier le diagramme⁴³. Le principal inconvénient d'une telle approche est que les acteurs ne se permettent généralement pas de critiquer librement un modèle déjà existant. Par ailleurs les diagrammes EPR sont des modèles conceptuels dont le formalisme est relativement complexe et qui ne sont pas forcément faciles à comprendre et encore moins à s'approprier. Cette complexité limite d'autant plus la possibilité d'une validation à dire d'acteurs telle qu'énoncée ci-dessus. C'est pourquoi nous nous sommes orientés vers une approche de vérification.

La vérification consiste à comparer un modèle, ou les données d'un modèle, à un jeu de données obtenu à partir d'une autre source que celle ayant servi à la construction du modèle. C'est cette approche que nous avons utilisée dans les *Playable Stories*. Les *Playable Stories* sont une méthode amenant un acteur à reconstruire un modèle du monde, tel qu'il le perçoit, et ce afin d'obtenir une nouvelle représentation du système qui sera ensuite comparée à celle du diagramme EPR correspondant à cet acteur. C'est donc une technique d'élicitation dédiée à la vérification des diagrammes EPR.

Une question survient alors : comment s'assurer que les résultats obtenus par cette technique d'élicitation pourront être comparés aux diagrammes EPR ?

a) Une structure imposée permettant la comparaison avec les diagrammes EPR

Afin de pouvoir procéder à une comparaison, une structure similaire est nécessaire entre la représentation élicitée à l'aide des *Playable Stories* et celle des diagrammes EPR. Les diagrammes sont schématiquement structurés par des entités et des relations entre les

⁴³ Ayant comme objectif d'obtenir un catalogue de représentations individuelles formalisées et validées, la validation doit se faire à l'échelle individuelle.

entités. Les entités correspondent à des aspects structurels, tandis que les relations correspondent à des aspects fonctionnels. Nous avons donc cherché à reproduire cette structure dans les *Playable Stories*.

L'idée première des *Playable Stories* est de transcrire les entités et les relations sous une forme qui puisse être facilement compréhensible et manipulable par les acteurs. Nous avons donc choisi de transcrire les entités sous forme de cartes sur lesquelles le nom de l'entité est écrit en Thaï (chaque carte correspond à une entité). Les relations sont retranscrites par des bouts de laine qui relient deux cartes entre elles. Les cartes et les bouts de laine permettent d'introduire les notions d'entité et de relations auprès des acteurs. La notion d'entité est introduite à l'aide de ces cartes en début de session et nous demandons à l'acteur de conceptualiser son système en utilisant cette notion d'entité. La notion de relations entre les entités est explicitée (au travers des bouts de laine) plus tard dans le déroulement de la session⁴⁴.

Le fait d'introduire la notion d'entité aux acteurs dès le début des sessions facilite la conceptualisation du système par les acteurs. En effet, le fait de conceptualiser un système est un processus intellectuel relativement abstrait qu'il n'est pas forcément aisé d'expliquer à des personnes qui ne sont pas familières d'un tel exercice. Nous pensons qu'expliquer le concept d'entité peut aider les acteurs à mieux comprendre ce que nous leur demandons de faire. De manière pragmatique nous supposons qu'il est plus facile à un acteur de répondre à la question « Pouvez-vous décrire les entités de votre système ? » qu'à la question « Pouvez-vous décrire votre système ? ».

Par cette approche nous pensons également apporter des éléments de réponse à la deuxième question de la thèse qui porte sur l'adaptation des techniques d'élicitation (voir la section 5.3.2). Plus précisément nous pensons qu'imposer notre structure d'élicitation (entités-relations) au moment même de l'acquisition, permet de mieux structurer et organiser les informations élicitées (cet aspect étant reconnu comme étant un point sensible des techniques d'élicitation). En cela nous suivons la même logique que la démarche modélisatrice de l'ingénierie des connaissances dont la justification tient justement à sa capacité à structurer et à organiser les connaissances élicitées. Rappelons que cette démarche est orientée vers des techniques d'acquisition, où le modèle conceptuel est imposé dès le départ aux experts dont le travail ne consiste plus qu'à entrer des données dans des cases préparées à l'avance (voir la section 4.2).

⁴⁴ Nous verrons que la notion de relations entre les entités est introduite auprès du participant dans la dernière phase de la session. De ce fait les *Playable Stories* donnent plus d'importance aux entités qu'aux relations ce qui limite la possibilité de vérifier les relations comparativement aux entités.

A partir du moment où nous avons opté pour imposer notre structure d'élicitation, nous nous sommes alors posé la question suivante : comment amener les acteurs à conceptualiser leur système à l'aide d'entités ? Pour répondre à cette question, nous avons examiné deux façons de procéder, puis nous en avons retenu une :

- introduire la notion d'entité puis demander aux acteurs de conceptualiser leur système « en partant de zéro »,
- introduire la notion d'entité puis demander aux acteurs de conceptualiser leur système sur la base des entités déjà identifiées dans les diagrammes EPR.

b) Discussion de deux options possibles

Conceptualisation en partant de zéro

Le principe de cette approche consiste à demander à l'acteur de conceptualiser son système sans autre indication et intervention de notre part que l'explication de la notion d'entité. Nous nous assurons ainsi un minimum d'interférence entre l'enquêteur et l'enquêté. Néanmoins la difficulté de cette approche réside dans une explication claire de ce que nous attendons de l'acteur : à la fois au niveau de ce qu'est une entité et de ce qu'est la conceptualisation.

Par ailleurs, le processus d'élicitation lié à une telle approche revient à une analyse de protocole du type de celle effectuée pour la formalisation des transcriptions et la conceptualisation des diagrammes EPR⁴⁵. Nous nous confrontons donc aux limites de cette technique : (1) l'extraction des entités à partir du discours des acteurs prend du temps et demande de l'entraînement, (2) il y a des biais d'interprétation, inhérents à la méthode, dus à l'appropriation et à la subjectivité de l'enquêteur.

Conceptualisation sur la base des entités des diagrammes EPR

Le principe de cette approche consiste à combiner l'ensemble des entités présentes dans les diagrammes EPR et à les utiliser comme une base de référence pour aider les acteurs à conceptualiser leur système. Dans cette approche, les différentes entités sont présentées auprès des acteurs sous la forme d'un catalogue de cartes ; chaque carte correspond à une entité avec le nom de l'entité (ou sa description) écrit sur la carte. Dans la suite de ce chapitre, nous parlerons plutôt de « catalogue d'entités » en référence au catalogue de cartes évoqué ci-dessus. Du point de vue de l'acteur, cette approche revient à disposer d'un ensemble de briques dont il peut se servir pour construire son modèle.

Les paragraphes en italique qui suivent apportent quelques précisions quant à la utilisation du catalogue d'entités pour la vérification des diagrammes EPR.

⁴⁵ Dans l'analyse de protocole, les entités et les relations sont extraites d'une transcription d'entretien. Avec l'approche proposée les entités et les relations sont extraites des dires d'acteurs durant leur discours.

A première vue, la méthode de vérification semble biaisée dans le sens où nous cherchons à vérifier des diagrammes à partir d'un ensemble d'entités qui proviennent des diagrammes eux-mêmes. Nous comparerions donc un modèle à sa propre copie ! En réalité ce n'est pas le cas. Nous nous proposons en fait de construire un catalogue d'entités à partir de l'ensemble des diagrammes EPR réalisés. Et ce même catalogue d'entités est proposé à chacun des acteurs séparément. Ce catalogue d'entités est donc une sorte de répertoire de toutes les entités existantes dans le système. Ainsi, les acteurs ne sont pas face aux entités (présentées sous forme de cartes) qu'ils ont déjà décrites lors de l'entretien, mais face à une ontologie de leur système.

Cette approche ne peut être envisagée que si l'on dispose d'un nombre suffisant de diagrammes EPR, dont la réunion (au sens mathématique du terme) des entités permettra d'obtenir un ensemble dont on peut dire qu'il est représentatif de l'ensemble des entités du système. Dans le cas d'application du Nord Thaïlande, nous avons 14 diagrammes EPR hétérogènes par village et nous avons considéré que ce nombre était suffisant pour générer un catalogue d'entités représentatif du système de chacun des villages.

Cette approche permet de contourner le problème de l'explication de la notion d'entité, puisque l'acteur se retrouve face à une multitude d'exemples de ce qu'est une entité dès le début de la session. Par ailleurs, nous pensons qu'il est plus concret, et donc plus compréhensible pour l'acteur, de lui demander de conceptualiser son système à partir d'une base de référence dans laquelle il peut utiliser les entités (les cartes) qu'il souhaite, plutôt que de lui demander de faire le même exercice en partant de zéro.

Conclusion

Même si le fait d'introduire la notion d'entité dès le début de la session peut aider l'acteur dans sa réflexion et sa conceptualisation, nous pensons que dans le cas de notre application cela n'est pas suffisant pour expliciter le but de la session auprès du participant. En effet, nous souhaitons appliquer cette méthode notamment auprès de personnes dont le niveau d'éducation n'est pas très élevé (dans l'un des villages où nous enquêtons, la plupart des agriculteurs n'ont pas suivi d'enseignement scolaire au-delà de l'école primaire, dans l'autre village un certain nombre d'agriculteurs ne sont jamais allés à l'école). Bien entendu ce critère n'est pas forcément représentatif du fait que ces personnes soient familières ou non du processus de conceptualisation et de la notion d'entité, mais il permet toutefois de cadrer la stratégie à adopter. C'est donc notamment pour cela (et le fait que les personnes n'étaient pas familières de ces notions s'est confirmé par la suite) que nous avons choisi la deuxième option utilisant un catalogue de cartes représentant les entités du système. Nous bénéficions ainsi d'une base de référence permettant à l'acteur de mieux comprendre le principe de

notre démarche, avec, bien entendu, l'inconvénient que cette même base de référence influencera le processus de conceptualisation de l'acteur.

En outre cette approche est encore une fois une réponse à la deuxième question de la thèse à propos du fait que les informations élicitées sont souvent entremêlées et désorganisées. Comme le montre Shadbolt et Milton (1999), ainsi que Menzies (2000), en proposant une ontologie du système dès le départ nous structurons le processus (nous assurons sa cohésion et son organisation) et nous fixons la granularité avec laquelle le système sera conceptualisé.

Par ailleurs, la notion de relation entre les entités est introduite, à l'aide des bouts de laine évoqués plus haut, en fin de session (durant la dernière et troisième phase de la session). A ce stade le participant a intégré à priori la notion d'entité et il devient plus aisé de lui expliquer cette nouvelle notion. Néanmoins, les *Playable Stories* ne rentrent pas dans le détail des différents types de relations pouvant exister entre les entités. Nous demandons uniquement aux participants de décrire quelles sont les entités qui sont reliées entre-elles. Le simple fait de relier les entités est en réalité un processus de conceptualisation relativement complexe. Il nécessite d'avoir pris du recul et un bon esprit de synthèse. C'est pourquoi il est effectué en fin de session et de manière assez simple (sans distinction des différents types de relations pouvant exister).

Nous allons à présent présenter plus concrètement le déroulement des *Playable Stories*, et le matériel utilisé pour ces sessions.

7.3.2. Présentation des *Playable Stories*

Les sessions des *Playable Stories* se déroulent en trois phases : une première phase d'identification des entités perçues par l'agriculteur, une deuxième phase de mise en situation et une troisième phase de conceptualisation et d'identification des relations perçues entre les entités. Ce déroulement en trois phases successives a été pensé de manière à pouvoir combiner différentes techniques d'élicitation et notamment la technique de mise en situation de la phase 2 qui permet d'éliciter les entités tacites.

Nous présenterons tout d'abord comment nous prenons en compte le concept d'action située et les entités tacites dans les *Playable Stories*. Puis, nous décrirons plus en détail les objectifs et la procédure de chacune des phases. Nous présenterons ensuite le matériel utilisé lors des sessions et comment nous l'avons conçu. Enfin nous décrirons le déroulement d'une session et les méthodes d'enregistrement des résultats des sessions.

a) Prise en compte de l'action située et des entités tacites

Les diagrammes EPR que nous cherchons à vérifier ont été établis sur la base d'une technique d'élicitation prenant en compte le concept d'action située, c'est à dire dans le cadre du contexte social et agricole des villages étudiés. Pour pouvoir les comparer, les

Playable Stories doivent prendre en compte ce contexte. Pour cela nous procédons durant une session (les sessions se déroulent chez le participant) à une mise en situation et ce en racontant une histoire au participant décrivant l'environnement social et naturel dans lequel il évolue. L'environnement que nous avons choisi de retranscrire dans cette histoire est celui du contexte social et agricole du village étudié.

La technique d'élicitation employée lorsque que l'agriculteur est mis en situation au moyen de cette histoire, s'inspire de la technique d'analyse de tâches de l'ingénierie des connaissances. Cette technique est reconnue pour être dédiée à l'élicitation des connaissances tacites (voir la section 4.1.2). Nous demandons donc au participant de réagir à l'histoire qui est racontée en décrivant les activités qu'il souhaite entreprendre par rapport au contexte social et naturel qui est décrit. Par exemple, nous décrivons le contexte climatique d'un début de saison des pluies et nous demandons alors à l'agriculteur qu'est-ce qu'il ferait dans ce contexte. Nous demandons donc au participant de jouer son propre rôle, celui d'un agriculteur disposant de surfaces agricoles dans un village. La description des activités entreprises par le participant permet alors d'identifier les entités du système utilisées par ce dernier dont il n'aurait peut-être pas pris conscience sans ce processus de description de tâches.

Ce procédé, qui permet de prendre en compte la notion d'action située et d'éliciter les connaissances tacites, correspond en fait à la deuxième phase d'une session de *Playable Stories*. Les sessions comportent en tout trois phases que nous allons maintenant présenter. La technique d'élicitation utilisée dans la première et dans la troisième phase des *Playable Stories* s'inspire elle des techniques de classifications de l'ingénierie des connaissances (voir la section 4.1.5). Comme l'indiquent les chercheurs de ce domaine, ces techniques sont, quant à elles, inadaptées à l'acquisition de données tacites (Trimble 2000).

b) Les différentes phases des sessions

Chaque session est organisée en trois phases successives, et ce après avoir préalablement décrit l'approche générale au participant. Le but et la procédure de chacune des phases sont :

Phase 1 : Première conceptualisation à l'aide d'une base de référence

Objectif : identifier les entités perçues par l'acteur.

Procédure : le participant choisit parmi un catalogue de cartes (catalogue d'entités) celles qui lui semblent importantes en tant qu'agriculteur en activité dans son village.

Phase 2 : Mise en situation

Objectif : identifier les entités tacites et prise en compte de l'action située.

Procédure : le participant est mis en situation au travers d'un récit au cours duquel on lui demande de décrire les activités qu'il souhaite entreprendre. Les entités mentionnées par le participant sont alors ajoutées à celles identifiées à la phase 1.

Phase 3 : Deuxième conceptualisation en reliant les entités entre-elles

Objectif : identifier les liens entre les entités.

Procédure : le participant organise toutes les cartes (entités) identifiées au cours des deux phases précédentes et les relie à l'aide de bouts de laine. S'il le souhaite, il peut également ajouter de nouvelles cartes qui vont compléter le modèle conceptuel formé des cartes et des bouts de laine.

Chacune de ces phases suit une procédure précise ayant été élaborée pour atteindre les différents objectifs mentionnés ci-dessus. Nous allons à présent décrire la procédure et le déroulement de chacune des phases. Mais avant cela, nous présentons le matériel utilisé et la façon dont nous l'avons conçu.

c) Matériel utilisé lors des sessions

Nous décrivons dans cette partie les différents éléments utilisés dans les sessions.

Le catalogue des entités

Le catalogue des entités étant construit à partir des résultats des diagrammes EPR, nous nous appuyons dans ce paragraphe sur certains résultats du cas d'application nord thaïlandais pour décrire la construction du catalogue.

Construction du catalogue d'entités

Le catalogue des entités est construit à partir de l'ensemble des entités identifiées dans les diagrammes EPR. Lors du cas d'application nord thaïlandais, nous avons comptabilisé environ 90 entités différentes parmi les 14 diagrammes EPR établis dans chacun des villages. Nous pensons qu'un catalogue constitué d'autant d'entités ne serait pas facilement manipulable par les participants. En effet, l'utilisation du catalogue nécessite que l'acteur prenne connaissance des différentes entités qui lui sont proposées. C'est pourquoi nous avons préféré limiter le nombre d'entités proposées. A l'inverse un nombre trop restreint d'entités ne serait pas représentatif des différentes entités du système. Dans le cadre de notre application nous avons donc sélectionné les entités ayant été citées dans au moins deux ou trois diagrammes EPR. Nous avons ainsi constitué un catalogue d'environ 60 entités pour chacun des villages. Ce nombre nous semble un bon compromis entre facilité d'utilisation et représentativité du système.

Matérialisation des entités

Etant donné que les entités sont utilisées par les participants dans les différentes phases, elles doivent être matérialisées sous une forme permettant de les manipuler facilement. Les participants doivent pouvoir prendre les entités pour les choisir, les tenir et les manipuler. De

cette manière, les participants peuvent organiser les entités, en mettre de côté certaines et en garder d'autres (nous supposons que cela facilite la conceptualisation pour les participants). C'est pourquoi nous avons matérialisé les entités sous forme de cartes.

Afin de symboliser quelle carte correspond à quelle entité, différentes options se sont présentées à nous. Un code couleur ou un code de symbole n'étant pas approprié au regard du grand nombre d'entités à symboliser (60 entités différentes) nous nous sommes tournés vers deux options : soit écrire le nom de l'entité sur la carte, soit dessiner ou mettre une photo de l'entité sur la carte. Cette deuxième option a été rejetée pour deux raisons : (i) nous n'avions pas une bonne connaissance du type de dessin, de schéma ou de photo qui aurait été le plus approprié pour représenter chacune des entités dans les contextes culturels thaï et hmong de nos deux villages d'application, (ii) certaines entités étaient relativement complexes comme « les trois étangs près de la source d'eau » ou « apprendre en comparant avec les autres » et d'autres entités auraient pu être facilement confondues entre-elles comme « le réservoir à côté du ruisseau » et « le réservoir à côté de la parcelle ». Nous avons donc décidé d'écrire sur les cartes le nom des entités en thaï.

Traduction des entités

Les diagrammes EPR étant en anglais, nous avons travaillé avec l'interprète pour traduire les entités de l'anglais au thaï. La plupart des entités pouvaient être traduites directement en thaï sans aucune ambiguïté possible quant à la signification de ce qu'était l'entité. Dans les autres cas nous avons été confrontés soit à des termes qui n'avaient pas de traduction directe en thaï, soit à des termes dont la signification pouvait porter à confusion ou encore à des termes qui étaient susceptibles de ne pas être compris par les participants. Pour ces cas nous avons eu recours à une description de l'entité en thaï. L'expérience que l'interprète avait acquise au cours des mois précédents passés dans les deux villages enquêtés a été très bénéfique à ce stade pour déterminer quels termes pouvaient être facilement compris par les participants et pouvaient être utilisés pour décrire les entités sur les cartes. Nous avons également réutilisé les termes en thaï que les participants avaient utilisés jusqu'ici pour nous décrire leur système. Les descriptions des entités que nous avons utilisées sont par exemple : pour l'entité « érosion », « le sol qui s'écoule avec l'eau » ; pour « ruissellement », « l'eau qui s'écoule à la surface du sol » ; pour « infiltration » « le sol qui boit l'eau lors de l'irrigation ou d'une pluie », pour « monoculture », « cultiver la même culture tous les ans ».

Les différentes zones du jeu

L'espace de jeu est aménagé en deux zones distinctes : le panneau de cartes qui permet de présenter à l'acteur le catalogue d'entités, et le plateau de jeu où l'acteur place, organise et relie entre elles les entités qu'il a sélectionnées.

Le panneau de cartes

Pour notre cas d'application nous avons placé les cartes sur un panneau de telle façon que le participant puisse les apercevoir toutes d'un seul coup d'œil (Figure 27). Un système de présentoir permet de retirer une carte du panneau ou d'en replacer une autre. Les mêmes cartes sont utilisées pour chaque session, par contre l'ordre dans lequel les cartes sont placées sur le panneau au début de chaque session est aléatoire. Le panneau peut être déplacé facilement ce qui permet de le placer à côté du participant durant la première phase, lorsque nous lui proposons le catalogue des entités, et en retrait par la suite.



Figure 27 : Les cartes sont placées sur un panneau pour qu'elles puissent être vues d'un seul coup d'œil

Le plateau de jeu

Le plateau de jeu matérialise la zone sur laquelle le participant construit son modèle du monde. Il est suffisamment grand pour placer un grand nombre de cartes (jusqu'à une trentaine) et il est placé juste devant le participant pour qu'il puisse manipuler les cartes et les bouts de laine à sa guise. Les animateurs sont de préférence placés en retrait par rapport au plateau de jeu.

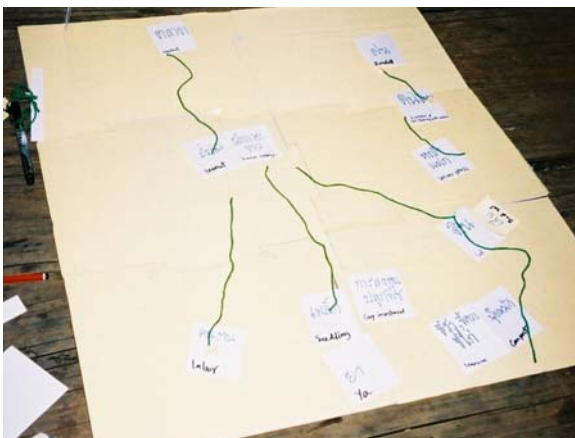


Figure 28 : Les cartes sélectionnées sont placées sur le plateau de jeu

En début de session, le plateau de jeu est vide. Puis les cartes sélectionnées (phase 1) sont placées sur le plateau par le participant lui-même, et celles identifiées (phase 2) sont placées sur le plateau par l'animateur de la session. Le participant peut agencer les cartes comme il le souhaite sur le plateau de jeu. Au cours de la troisième phase le participant place des bouts de laine entre les cartes pour symboliser les liens entre les entités (Figure 28).

L'histoire racontée

L'histoire qui est racontée durant la phase 2 apporte des informations quant à l'environnement dans lequel nous mettons les participants en situation. Pour un village donné, nous avons raconté exactement la même histoire mot pour mot à chacun des participants. Par analogie avec une simulation pas à pas, nous avons divisé l'histoire par pas de temps. Pour notre cas d'application, un pas de temps correspond à deux et trois mois suivant le village⁴⁶, et « l'histoire » s'étalait sur trois et quatre ans pour chacun des villages respectivement.

A chaque pas de temps nous rappelions le nom des mois correspondants, la situation du contexte naturel dans lequel nous nous trouvions (principalement le contexte climatique) et si nécessaire le stade des cultures ayant été cultivées par l'agriculteur au cours des pas de temps précédents. De plus nous avons incorporé des événements particuliers dans l'histoire afin de porter l'attention du participant sur certains aspects que nous souhaitions aborder. A chaque fois, après avoir décrit la situation, nous demandions au participant ce qu'il souhaitait faire au cours du pas de temps. Alors qu'il décrivait les activités qu'il entreprenait ou commentait certains aspects du système, nous relevions les entités décrites et les ajoutions aux cartes-entités déjà identifiées comme faisant partie de la perception que l'acteur avait du système. Soit l'entité mentionnée était déjà présente dans les cartes du catalogue d'entités, auquel cas nous prenions la carte correspondante, soit il s'agissait d'une nouvelle entité et dans ce cas nous faisons une nouvelle carte. Lorsque le participant avait fini de décrire ces activités ou de commenter le système, nous passions au pas de temps suivant et ainsi de suite jusqu'à la fin de l'histoire.

Les événements particuliers de l'histoire permettaient de mettre l'accent sur chacune des ressources du système. Ces événements simulaient un stress ou une pression sur la ressource. Cela nous permettait d'éliciter le comportement du participant face à un facteur limitant dans le système. A chaque année de l'histoire, un facteur était présenté comme étant limitant. Par exemple, pour l'un des villages, la première année était une année normale (sans facteur limitant), la deuxième année racontait une situation de manque d'eau

⁴⁶ Le pas de temps est différent pour chacun des deux villages en raison des effets à plus ou moins long terme que nous souhaitions simuler dans chacun des villages.

dans le système, la troisième voyait les prix de vente de certaines cultures chuter et la quatrième mentionnait des problèmes d'érosion sur les parcelles. Le « *story board* » de l'encadré ci-dessous correspond à celui de la deuxième année pour ce village (les « *story board* » complet de chacun des deux villages sont présentés en annexe 5).

« *Story board* » de la deuxième année du village de Buak Jan

1/ [June-July-August]
It is now the beginning of June. At this moment the rainy season already started and the soil has moisture again. What will you do during June, July and August ?

2/ [September-October-November]
This is now the beginning of September and you see that in this period, the rainfall is less that the year before. What will you do during September, October and November?

3/ [December-January-February]
This is now the beginning of December, Hmong New Year is coming soon.
You notice that the water is very few. Drier than last year. What are you going to do during the months of December, January and February?

4/ [March-April-May]
This is now the beginning of dry season. Water is lacking. Farmers cannot irrigate as much as they want. Your relative said he couldn't irrigate his crop for many days.
In this period, what are you going to do?

[after he explained what he was going to do] At the end of April, the water is very very dry. And your crop couldn't be irrigated for 10 days... [wait a bit]
[if no response] What are you going to do from now until the end of dry season?

Figure 29 : Exemple de "story board" utilisé durant les Playable Stories

Les aspects ludiques

Afin de rendre ces sessions un peu plus ludiques et agréables pour le participant, la phase 2 est menée à la façon d'un jeu. Elle est d'ailleurs présentée comme tel au participant. Pour ce faire, trois éléments ont été intégrés à cette phase : des billets de banque factices, des règles servant à calculer les montants des entrées et sorties d'argent et des réunions factices entre le participant et différents acteurs du système.

Billets de banques factices et échanges d'argent

Le participant reçoit une certaine somme d'argent factice au début de la phase 2 dont il se sert pour payer les différents intrants liés à sa production agricole ou à d'autres activités, investir sur différentes améliorations de son système de production, rembourser ses emprunts, etc. L'animateur est la personne qui joue le rôle du banquier, du magasin d'intrants ou autre créancier et la transaction se passe de main à la main via les billets de banque factices. De même le participant reçoit de l'argent à différents moments (vente de la production, réalisation d'emprunt, etc.).

Règles de calcul des rendements et des prix de ventes

L'objectif de ces règles n'est pas de calculer un rendement exact mais uniquement de rendre compte de l'interactivité existant entre le comportement de l'acteur et son système. Nous

avons utilisé des règles de calcul des niveaux de rendements de chaque culture en fonction des intrants utilisés, du manque d'eau éventuel ayant pu survenir dans le cours de l'histoire racontée, et du niveau de fertilité du sol des parcelles du joueur simulé en fonction des activités entreprises sur le sol, des intrants apportés et du temps qui s'écoule. Ces règles de calcul nous permettaient de calculer un rendement, qui sans être exact, correspondait à un ordre de grandeur réaliste.

Pour les prix de ventes, nous avons repris les évolutions du cours du marché des années précédentes. C'est également ce que nous avons fait pour estimer le coût des intrants et des différents matériels utilisés.

Nous avons cherché à laisser un maximum de liberté aux participants. Ainsi bien souvent, nous avons eu affaire à des actions menées par les participants qui étaient en dehors des règles que nous avons prévues (cultiver une culture non prévue, acheter un matériel non prévu, etc.). Dans ce genre de cas, nous avons laissé agir les participants et nous avons estimé les coûts ou les revenus possibles au cours de la session ; parfois en demandant tout simplement au participant quel était le montant des coûts ou des revenus à prévoir. Cela n'a pas posé de problème en soi dans le sens où les participants étaient tout à fait conscients que le but de la session n'était pas de gagner à un jeu mais de réfléchir sur le fonctionnement du système.

Rencontres avec différents acteurs du système

Parfois au cours de l'histoire, ou suite à une demande spontanée du participant, l'animateur de la session jouait le rôle d'un des acteurs du système et conversait avec le participant comme si celui-ci parlait avec cet acteur particulier. C'est par exemple le cas dans l'histoire du deuxième village lorsqu'à la quatrième année, un expert en sciences du sol vient dans le village et explique qu'il y a des problèmes d'érosion sur les parcelles du participant. Le participant est alors invité à poser des questions à l'expert (joué par l'animateur) et à converser avec celui-ci.

Le but de ces « rencontres » est de rendre la session plus ludique mais également de porter l'attention du participant sur un point particulier. Néanmoins ces interventions doivent être très cadrées et le choix des mots employés est important. En effet, il faut interférer au minimum avec la pensée du participant. Ainsi, le discours de l'animateur devra uniquement porter sur un point particulier (que l'on souhaite délibérément mettre en avant) et rester dans ce cadre bien précis. L'échange entre l'animateur et le participant doit ressembler à une discussion libre aux yeux du participant, mais demande en réalité un contrôle de ce qui est dit et des mots et des entités qui sont mentionnés par l'animateur.

d) Déroulement d'une session

Les sessions se déroulent chez les participants, c'est à dire dans un lieu qui leur est familier et où ils sont les hôtes. L'espace de jeu doit être suffisamment grand pour pouvoir placer les différents éléments du jeu (environ 8 m²). Une session dure environ 60 à 80 minutes.

La session débute par des explications données au participant sur son déroulement.

Introduction

Le but de la session est présenté au participant en expliquant que ce jeu est fait pour comprendre les « ingrédients » qu'il utilise en tant qu'agriculteur dans sa vie de tous les jours. Nous introduisons la notion d'entité par une métaphore. Nous expliquons que les entités du système sont comme les ingrédients d'une recette de cuisine et que le jeu permet de trouver les ingrédients spécifiques qu'il utilise dans sa recette d'agriculteur. Afin de définir l'échelle du système étudié nous expliquons que nous allons reconstituer sa recette en tant qu'agriculteur vivant dans un village (le nom du village n'est pas précisé). Le plateau de jeu est ensuite introduit à l'agriculteur en expliquant qu'il sert à placer les différents ingrédients de sa recette.

Puis nous expliquons que nous avons déjà placé un certain nombre d'ingrédients sur un panneau et qu'il peut choisir tous les ingrédients qu'il lui semble important pour lui, en tant qu'agriculteur vivant dans un village. Nous commençons de cette façon la phase 1.

Phase 1

Le panneau de cartes est alors placé devant le participant et le plateau de jeu est entre le participant et le panneau de cartes.

Alors que le participant choisit les cartes qui lui semblent importantes à ses yeux, l'animateur reste silencieux et laisse se dérouler cette phase autant de temps que le participant le souhaite. Le participant est censé retirer par lui-même la carte du panneau pour la poser sur le plateau de jeu s'il le souhaite. Si le participant ne choisit aucune carte, nous répétons la question de départ, deux fois au moins.

Lorsque le participant a fini de choisir les entités importantes, le panneau est déplacé et mis de côté tout en restant visible pour le participant.

Phase 2

Pour cette phase, nous expliquons au participant que nous allons lui raconter une histoire à laquelle il devra réagir en nous décrivant les activités qu'il souhaite entreprendre par rapport à cette histoire. Nous lui expliquons qu'à chaque fois qu'il mentionnera un ingrédient important nous placerons une carte correspondante sur le plateau de jeu. Puis nous expliquons que l'histoire est divisée en pas de temps et qu'il pourra intervenir à chaque pas de temps de la manière dont il le souhaite. Nous lui distribuons une somme d'argent factice et lui expliquons qu'il devra s'en servir pour payer les dépenses des activités qu'il entreprend dans le jeu. Enfin nous lui expliquons qu'il peut demander autant d'informations qu'il le veut sur ce qui se

passé dans l'histoire (le contexte climatique, ce que font les autres acteurs du système dans l'histoire,...) et qu'il peut s'il le souhaite demander à rencontrer l'un des acteurs du système dont le rôle sera alors joué par l'animateur.

Nous racontons alors l'histoire découpée en douze pas de temps tel que nous l'avons décrit précédemment. Les entités mentionnées par le participant au cours de l'histoire sont placées sur le plateau de jeu à côté de celles sélectionnées à la phase 1. Nous utilisons également de petits morceaux de papier que nous plaçons sur les cartes pour figurer les attributs des entités mentionnées par le participant.

Si des échanges d'argent doivent se faire au cours de l'histoire (si le participant décide d'acheter des intrants, de vendre ses récoltes,...) l'animateur joue le rôle de la personne avec qui se passe la transaction et les billets factices sont donnés de la main à la main.

Lorsque l'histoire est achevée, l'ensemble des cartes sélectionnées à la phase 1 et identifiées à la phase 2 sont présentes sur le plateau de jeu. Nous passons alors à la dernière phase de la session.

Phase 3

Nous demandons d'abord au participant s'il pense que certains des ingrédients de sa recette en tant qu'agriculteur dans un village manquent à ceux qui sont déjà sur le plateau de jeu. Pour cela nous lui présentons à nouveau le panneau de cartes (qui à ce stade ne comporte plus que les cartes n'ayant pas été déjà sélectionnées ou mentionnées durant les phases précédentes).

Lorsque le participant a ajouté les cartes qui lui semblaient importantes, ou s'il décide de ne pas en rajouter, nous demandons au participant de lier les cartes entre-elles. Pour cela nous demandons au participant quelles cartes sont reliées à quelles autres cartes. S'il n'y a pas de réponse de la part du participant nous indiquons l'une des cartes du plateau de jeu au hasard et nous demandons au participant si cette carte est liée à d'autres cartes du plateau. Lorsqu'une relation est mentionnée par le participant l'animateur place alors un bout de laine entre les deux cartes.

Si cette opération s'avère difficile pour le participant, nous l'invitons à organiser les cartes autrement. Nous lui proposons de les regrouper de la façon qu'il le souhaite. Si le participant s'avère incapable de lier les cartes entre elles ou de les regrouper, nous lui proposons de les regrouper selon une classification que nous avons préétablie, en commençant par quelques cartes en guise d'exemple. Lorsque le participant a compris le processus, nous le laissons regrouper et classer les autres cartes de la manière qu'il le souhaite. Certaines cartes peuvent être mises de côté. Une fois ces cartes regroupées, elles sont plus faciles à relier entre-elles. Le participant est alors invité à relier des groupes de cartes entre eux.

Lorsque le participant estime qu'il a placé toutes les relations nécessaires sur le plateau de jeu, la phase 3 s'achève.

Conclusion

Nous concluons la session par une discussion générale à propos du modèle conceptuel formé de cartes et de liens placés sur le plateau de jeu. Puis, nous demandons au participant les aspects qu'il a trouvés intéressants dans cette session et ce qui manque d'intérêt. Enfin nous expliquons qu'un aspect intéressant de ces sessions est le fait que chaque participant termine la session avec un modèle conceptuel différent et que ces sessions montrent donc que chacun a une façon différente de penser et de concevoir le système.

e) Enregistrement des résultats

Les résultats des sessions des *Playable Stories* sont enregistrés de deux manières : un enregistrement audio et un tableau de résultats.

Toutes les sessions sont enregistrées sur magnétophone. Après les sessions nous transcrivons et traduisons en anglais l'ensemble des réactions du participant. La transcription des réactions des participants nous sert de jeu de données qualitatives pour l'analyse des résultats.

Le tableau de résultats reprend les différentes phases des sessions et les différents pas de temps de la phase 2. Sur ce tableau nous notons au cours de la session, les entités mentionnées par le participant et la nature du propos par rapport à chaque entité mentionnée : soit il a mentionné l'entité pour la commenter, soit pour argumenter ou indiquer sa désapprobation, soit encore pour demander une information à propos de cette entité. Si une entité est mentionnée plusieurs fois de suite au cours de la session nous le notons à chaque fois. De cette façon le tableau de résultats indique le nombre de fois qu'une entité a été mentionnée, à quel moment et à quel propos.

Outre ces informations sur les entités, nous notons également les échanges d'argent et les activités entreprises durant la phase 2.

Enfin le modèle conceptuel formé des entités, des groupes d'entités éventuels, et de relations, est dessiné sur papier à la fin de la session afin de l'enregistrer (en conservant la disposition générale des cartes sur le plateau de jeu).

7.3.3. Méthode de vérification

La procédure de vérification consiste en une comparaison des résultats de chaque session de *Playable Stories* à ceux du diagramme EPR correspondant. Cette comparaison est effectuée à deux niveaux d'échelles.

a) Comparaison à l'échelle des entités.

En comparant les entités utilisées par les acteurs lors des *Playable Stories* avec celles des diagrammes EPR correspondant, nous pouvons évaluer la distorsion induite par l'analyse de

protocole au niveau des entités des diagrammes. Cette comparaison est rendue possible du fait que nous imposons la même granularité aux entités dans les *Playable Stories* que dans les diagrammes EPR. Ce qui n'aurait pas été possible si lors de la mise en place de la méthode nous avions opté pour une conceptualisation en partant de zéro car la granularité des entités des *Playable Stories* et des diagrammes EPR n'auraient pas été forcément la même.

b) Comparaison à l'échelle globale.

Les résultats des *Playable Stories* et les diagrammes EPR ne sont pas uniquement un ensemble d'entités. Les deux sont des modèles conceptuels du système qui au travers de leur contenu (les entités, les relations, ...) traduisent une certaine représentation, un certain point de vue sur le fonctionnement du système. C'est que nous avons appelé l'orientation de la représentation et que nous exploitons lors de l'étape de modélisation pour implémenter des agents ayant différentes stratégies. Dans le cadre de la phase de vérification nous exploitons également les différentes orientations des représentations pour comparer les résultats des *Playable Stories* à ceux des diagrammes à une échelle globale.

Ainsi, pour chaque individu nous caractérisons l'orientation de sa représentation inscrite dans le diagramme EPR. Nous caractérisons également l'orientation de sa représentation révélée à partir des résultats des *Playable Stories*. Les caractéristiques des deux orientations sont alors comparées. Cette comparaison permet d'évaluer à une échelle globale la distorsion des diagrammes par rapport une référence représentée par les orientations des représentations établies sur la base des résultats des *Playable Stories*.

Nous caractérisons l'orientation d'une représentation par le type d'entités que l'agriculteur privilégie dans sa réflexion sur le système et dans sa prise de décision. L'orientation d'une représentation est donc constituée de l'ensemble des types d'entités les plus importants aux yeux de l'agriculteur.

Afin d'identifier les types d'entités les plus importants dans les résultats des *Playable Stories* nous utilisons les données suivantes :

- Les entités sélectionnées ou mentionnées par l'agriculteur durant la session (c'est-à-dire les cartes qui sont sur le plateau de jeu à la fin de la session). Nous mesurons alors l'importance de chaque entité par le nombre de fois qu'elle a été citée par l'agriculteur. Puis nous additionnons les résultats des entités de même type. Pour cela nous avons établi une classification des entités déterminant la classe (le type) à laquelle chaque entité appartient. Chaque classe représente un aspect du système.
- Les commentaires de l'agriculteur à propos des entités (ces commentaires ayant été enregistrés à l'aide du magnétophone ainsi que dans le tableau de résultats). Ces

commentaires peuvent notamment indiquer la perception de l'agriculteur par rapport à l'importance d'une entité.

- Le modèle conceptuel final réalisé par l'agriculteur durant la dernière phase de la session. La structure du modèle conceptuel peut notamment révéler le rôle qu'ont certaines entités dans la représentation que l'agriculteur se fait de son système.

Les relations entre entités, élicitées par les *Playable Stories*, ne sont pas utilisées dans la méthode de vérification car leur nature est trop imprécise (elles n'indiquent notamment pas le sens que l'agriculteur accorde à la relation).

Afin d'identifier l'orientation de la représentation de chacun des diagrammes EPR, nous nous servons de la même classification des entités que celle utilisée pour les *Playable Stories*. En dénombrant les entités appartenant à chaque classe, nous identifions les classes d'entités les plus importantes. Nous utilisons également les relations existant entre les entités des diagrammes et la place de ces entités au sein des chaînes d'interactions⁴⁷ des diagrammes pour décrire le statut des entités. C'est à partir des classes d'entités dominantes et de leurs statuts respectifs dans le diagramme que nous définissons l'orientation de la représentation de chacun des diagrammes.

La comparaison à proprement parler est effectuée individu par individu en comparant la liste de classes d'entités qui définit l'orientation trouvée à partir des résultats de la session de *Playable Stories* à celle trouvée à partir du diagramme EPR. Cette comparaison permet donc de rectifier, mais également d'enrichir la caractérisation de l'orientation de l'agriculteur. En effet, l'intérêt qu'un agriculteur porte à certains aspects du système peut ne pas avoir été décelé lors des enquêtes, donc dans le diagramme EPR, mais apparaître lors de la session de *Playable Stories*. Dans ce genre de cas, nous revenons sur les données de départ afin de vérifier que cet aspect du système est bien caractéristique de la représentation de l'agriculteur.

Ainsi, la phase de vérification permet à la fois de vérifier, de rectifier et d'enrichir le catalogue de représentations d'acteur identifiées. A la fin de l'étape d'identification et de formalisation nous obtenons donc un catalogue de représentations provenant des résultats obtenus par l'ensemble des méthodes utilisées durant cette étape. Ce catalogue caractérise l'orientation de représentation de chaque agriculteur et décrit les perceptions, les croyances et les prises de décision de chaque agriculteur selon un formalisme, issu des diagrammes EPR, proche du formalisme Orienté-Objet utilisé dans l'étape de modélisation. Dans le chapitre suivant, nous décrivons comment ce catalogue de représentations est intégré dans le modèle.

⁴⁷ Les chaînes d'interactions sont des enchaînements d'entités reliées entre-elles par des relations fonctionnelles représentées par les règles de fonctionnement du système dans les diagrammes EPR.

8. Méthodologie de modélisation des représentations

Le modèle multi-agents développé dans le cadre de cette méthodologie est bâti selon le concept d'agents évoluant dans un environnement sur lequel ils interagissent (cet environnement est le bassin versant). Ainsi, nous séparons la partie du modèle liée aux agents de celle liée à l'environnement.

Les agents sont conçus comme des entités informatiques autonomes pouvant percevoir leur environnement (et notamment les ressources du bassin versant), ayant une représentation de cet environnement qui leur est propre et pouvant agir sur celui-ci. Le comportement des agents est conceptualisé à partir du catalogue de représentations formalisées à l'étape précédente. Il s'agit donc d'une partie du modèle développée à partir des dires des acteurs.

Le modèle biophysique (dynamique des ressources naturelles du bassin versant et modèle de cultures) est quant à lui développé sur la base de savoirs scientifiques. La dynamique de l'eau au sein du bassin versant est conceptualisée par un modèle hydrologique semi-distribué (Beven et al. 1996) et par un modèle de bilan hydrique à l'échelle de la parcelle. Ce dernier est relié à un modèle de cultures prenant en compte les besoins et les apports en eau pour calculer les rendements (Perez et al. 2002, Smith 1992). Un module de la fertilité organique et minérale des sols basé sur une conceptualisation des savoirs scientifiques est également intégré pour calculer l'effet de la fertilité des sols sur les rendements des cultures. La modélisation de ces dynamiques biophysiques est présentée dans la partie résultats, à la section 11.4.

Cette approche consistant à modéliser des agents à partir de dires d'acteurs et une dynamique des ressources à partir de savoirs scientifiques est relativement différente de l'approche suivie lors du test de la méthodologie sur le cas d'application de la vallée de l'Orb. Dans le cas de la vallée de l'Orb, l'ensemble du modèle, comportements des agents et dynamiques biophysiques, était conceptualisé à partir des dires d'acteurs (annexe 4). La gestion des représentations contradictoires nous amenait alors à définir différents scénarios du même modèle lorsque les représentations que se faisaient les acteurs du fonctionnement des dynamiques biophysiques s'opposaient. L'approche présentée dans ce chapitre (et appliquée à un bassin versant du Nord Thaïlande), gère les représentations contradictoires différemment. Le modèle des dynamiques biophysiques, bâti sur les savoirs scientifiques reste inchangé quelque soit la représentation que les acteurs se font de ce système. Par contre, la représentation qu'ont les agents de ces dynamiques peut différer d'un agent à l'autre. Ainsi, les représentations contradictoires sont gérées en définissant différents types d'agents et non pas différents scénarios du fonctionnement du modèle biophysique comme dans le cas du modèle de l'Orb. Cet aspect de la modélisation des représentations est traité dans la section « stratégies et rôles des agents » de ce chapitre.

Dans ce chapitre nous présenterons les deux phases du travail de modélisation des représentations, qui sont :

- l'intégration des représentations identifiées dans les agents de manière à simuler les comportements des agriculteurs,
- le couplage des agents avec le modèle biophysique.

8.1. Intégration des représentations dans les agents

Intégrer les représentations élicitées dans un modèle régissant le comportement des agents n'est pas une tâche simple.

"For codification in particular, [...] we had the naive hopes that ideas from the knowledge acquisition could be exported relatively unchanged to satisfy the requirements of knowledge management [l'étape de modélisation]. But the reality has tempered our hopes. The lesson is that knowledge acquisition is a good starting point, but not a ready-made answer. [...] More works has to be done to achieve a running model." (Milton, et al. 1999)

Il ne suffit pas d'intégrer les entités et relations des diagrammes EPR à l'intérieur des agents. La mise en pratique a démontré qu'une architecture précise du modèle régissant le comportement des agents est nécessaire pour pouvoir intégrer les représentations.

Les diagrammes EPR, base sur laquelle la modélisation des représentations est réalisée, décrivent les processus décisionnels selon un certain mode et selon certains types d'informations. L'architecture du modèle d'agent est donc bâtie de manière à intégrer ces différents types d'informations et à pouvoir les manipuler de façon à reproduire les processus décisionnels des acteurs.

Dans les deux paragraphes qui suivent, nous présentons :

- tout d'abord l'architecture du modèle d'agent utilisé. Celui-ci permet d'intégrer les différents types d'informations contenus dans les diagrammes EPR (perceptions, croyances sur l'état et le fonctionnement du système, règles de décisions relatives à ces croyances, actions).
- puis les stratégies et les rôles des agents. Ils permettent d'intégrer les différentes orientations des représentations des agriculteurs par rapport à leurs différentes activités. Ces orientations sont décrites dans le catalogue de représentations réalisé tout au long de l'étape d'identification et de formalisation.

8.1.1. L'architecture du modèle d'agent

L'architecture du modèle d'agent utilisée pour implémenter le niveau des croyances et des règles de décisions⁴⁸ est adaptée de l'architecture modulaire horizontale proposée par Ferber (Ferber 1995), voir la section 3.1.2. Nous présenterons tout d'abord la construction de cette architecture et les raisons pour lesquelles nous avons adapté l'architecture modulaire. Puis, nous décrirons les différents compartiments de l'architecture d'agent et la façon dont ils se coordonnent pour exécuter les processus décisionnels et représentationnels de l'agent.

a) Construction de l'architecture d'agent

L'architecture d'agent utilisée reproduit le schéma général « Perception-Délibération-Exécution » décrit dans la section 3.1.2. Les indicateurs identifiés sont implémentés dans la partie « Perception », les actions sont implémentées dans la partie « Exécution », et les croyances et les règles de décisions sont utilisées dans la partie « Délibération ». Compte tenu de la quantité d'informations relatives à la partie « Délibération » il est apparu nécessaire de séparer les aspects purement représentationnels des aspects décisionnels. Les diagrammes EPR décrivent trois principaux types d'informations en rapport avec les processus décisionnels et représentationnels :

- des croyances sur l'état du système : ce sont des éléments de l'environnement pour lesquels l'acteur se fait une représentation (soit pour prendre une décision soit pour évaluer un processus ou un état). Dans les diagrammes EPR on les retrouve au niveau des attributs des entités.
- des croyances sur le fonctionnement du système : elles décrivent la représentation que l'acteur se fait du fonctionnement et des états du système qui l'entoure. Ce sont par exemple des croyances sur le rôle de la forêt dans les processus hydrologiques ou sur l'état de la fertilité du sol. Elles sont souvent exprimées dans les diagrammes EPR par les règles de fonctionnement du système.
- des règles de décisions : elles décrivent et renseignent les choix de l'acteur et la façon dont ces choix s'opèrent. Dans les diagrammes EPR, on les trouve soit dans les règles de fonctionnement du système liées à l'entité agriculteur soit dans les opérations de l'entité agriculteur.

Comme nous l'avons vu dans la section 3.1.2, l'architecture modulaire horizontale distingue l'implémentation des informations liées aux croyances de celles liées aux règles de décisions (compartiments « Représentation » et « Prise de décision » de l'architecture vue à la Figure 3 de la section 3.1.2). En outre, le compartiment « Objectif » est bien adapté aux règles des

⁴⁸ L'implémentation des perceptions et des actions est décrite au chapitre 8.2.

diagrammes du type Moyen-But (ex. « je plante du riz pour nourrir ma famille »). De même, le compartiment « Planification » permet de traiter des tâches dont la prise de décision et l'exécution sont différées dans le temps, ce qui est également utile dans notre cas. Néanmoins un problème demeure quant à la correspondance entre les diagrammes EPR et l'architecture modulaire. Il s'agit du traitement de l'information qui arrive dans le compartiment « Prise de décision » en provenance du compartiment « Représentation ».

Dans les diagrammes EPR, les décisions sont dépendantes d'états du système mais sont parfois également dépendantes de croyances à propos du fonctionnement du système (des exemples seront présentés dans la partie "Résultats"). De même, les états du système sont parfois directement reliés à un indicateur de l'environnement perçu, mais peuvent parfois être le résultat d'une connaissance sur le fonctionnement du système. Dans l'application du Nord Thaïlande c'est typiquement le cas des croyances liées à la fertilité du sol qui sont le résultat d'observations faites de la structure du sol mais également de déductions par rapport aux rendements antérieurs obtenus sur la parcelle, ou par rapport à l'idée que se fait l'agriculteur de l'influence de la forêt dans ce processus.

Cette complexité des processus représentationnels que nous retrouvons dans les diagrammes EPR, nous a donc incité à séparer le compartiment « Représentation » de l'architecture modulaire, en deux compartiments distincts : le compartiment « Croyance sur l'état du système » et le compartiment « Croyances sur le fonctionnement du système » (Figure 30).

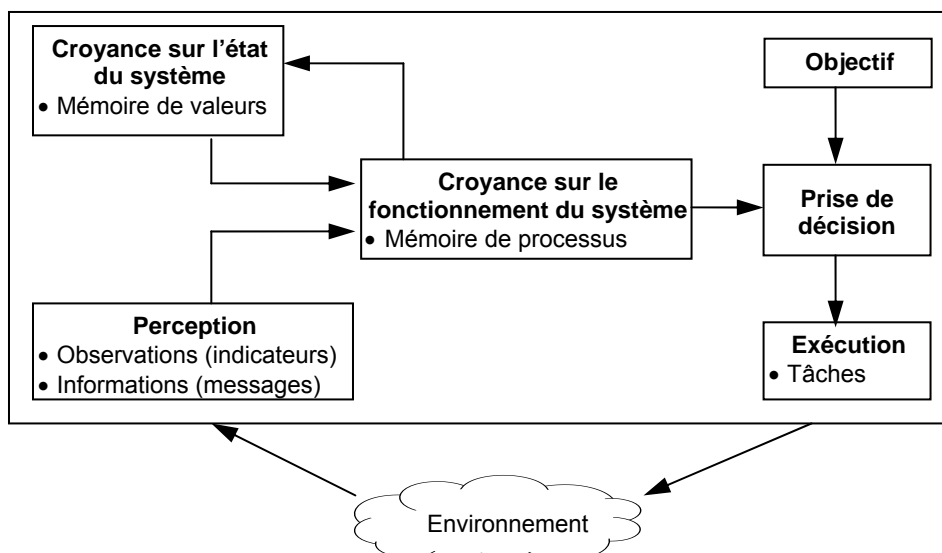


Figure 30 : Architecture d'agent utilisée dans le cadre de la méthodologie

b) Compartiments de l'architecture d'agent

Les croyances sur l'état du système sont une mémoire de valeurs à propos des différentes entités du système. Ces valeurs sont calculées et mises à jour en fonction des croyances sur

le fonctionnement du système. Ce deuxième compartiment est une mémoire de processus. Il peut s'agir de processus liés au fonctionnement biophysique du système (ex. « l'état de la forêt agit sur la fertilité du sol »), de processus liés à la dynamique socio-économique (ex. « si tout le monde cultive la même culture, le prix de vente baissera », « j'apprends quelles sont les cultures qui apportent un bon revenu en discutant avec mes voisins et en écoutant les conseillers agricoles »), ou de processus autres qui vont agir sur la prise de décision (ex. « si j'ai des problèmes familiaux, je ne m'occupe plus d'améliorer le sol »). Le compartiment « Perception » demeure quant à lui inchangé et contient toujours les indicateurs liés à une observation de l'environnement (il gère également les informations provenant de la communication avec les autres agents).

L'architecture est bâtie de façon à ce que le compartiment « Prise de décision » ne soit en relation qu'avec le compartiment « Croyances sur le fonctionnement du système » et le compartiment « Objectif ». Néanmoins les prises de décisions sont également dépendantes des croyances sur l'état du système. Dans l'architecture que nous utilisons, cette dépendance passe au travers des croyances sur le fonctionnement du système. Ces croyances vont modifier les valeurs du compartiment des « Croyances sur l'état du système » en fonction de cognitions diverses. Cette procédure permet de gérer au mieux la circulation de l'information au travers des différents compartiments.

c) Circulation de l'information

La circulation de l'information passe du compartiment « Perception » au compartiment « Croyances sur le fonctionnement du système », celui-ci a un accès en lecture et en écriture au compartiment « Croyance sur l'état du système ». Ensuite l'information passe du compartiment « Croyances sur le fonctionnement du système » au compartiment « Prise de décision » qui, en fonction d'informations provenant du compartiment « Objectif », va générer une tâche qui sera exécutée (Figure 30). Lorsque l'exécution se doit d'être décalée dans le temps par rapport à la prise de décision, l'information passe par un compartiment « Planification » qui permet d'exécuter la tâche de manière différée.

Cette architecture permet également d'implémenter des procédures de révision des croyances dans le compartiment « Croyances sur le fonctionnement du système ». Les informations sur l'environnement provenant du compartiment « Perception » sont traitées par le filtre des croyances sur le fonctionnement du système qui, en fonction des croyances précédentes, va former de nouvelles croyances sur l'état du système par des procédures de révision.

La représentation que l'agent a de son environnement évolue alors avec le temps au cours de la simulation. Cette révision des croyances en fonction des nouvelles perceptions, des

anciennes croyances et des croyances sur le fonctionnement du système, constitue le processus d'apprentissage de l'agent.

d) Séquencement

Du point de vue du séquencement des procédures, cette architecture permet de centraliser le contrôle au niveau du compartiment de « Prise de décision ». C'est à dire que le lancement d'une procédure de prise de décision va faire s'exécuter⁴⁹ les croyances sur le fonctionnement du système correspondantes qui vont alors chercher les valeurs sur l'état du système nécessaires, soit dans le compartiment «Croyance» soit dans les méthodes de « Perception » (et éventuellement réviser les croyances si nécessaire).

8.1.2. Stratégies et rôles des agents

Les représentations des acteurs locaux que nous utilisons pour la modélisation sont inscrites dans chacun des diagrammes EPR. Or, si certains diagrammes EPR se contredisent, à l'inverse, d'autres décrivent les mêmes processus, la même vision du fonctionnement du système et la même orientation de comportement. Ainsi un certain nombre de redondances de points de vue existent entre les diagrammes EPR. Dans notre méthodologie nous modélisons ces différents points de vue homogènes, comme autant de stratégies différentes. Néanmoins, ces redondances ne portent pas toujours sur l'intégralité des diagrammes EPR. Deux diagrammes EPR peuvent décrire le même point de vue par rapport à un certain type d'activité et différer par rapport à une autre activité. C'est pourquoi nous avons utilisé la notion de rôle qui permet de séparer les différentes activités exercées par les agriculteurs et d'implémenter différents points de vue pour chacun des rôles. La notion de rôle dans les SMA est notamment utilisée dans l'architecture d'agent-groupe-rôle (Abrami 2004, Ferber et Gutknecht 1998) et permet dans notre cas de mieux structurer l'information.

Au niveau du modèle d'agent, chaque type d'activité est associé à un rôle. Puis, les différentes orientations de comportement d'une activité donnée sont intégrées sous la forme de différentes stratégies associées à un rôle particulier de l'agent. Les différents rôles correspondent aux activités identifiées durant l'étape précédente comme par exemple pour l'agriculteur, les rôles « cultivateur », « irriguant » ou encore « vendeur de produits agricoles » (cas d'application du Nord Thaïlande, section 11.2). Une orientation spécifique de comportement, comme par exemple « Irriguer et gérer l'irrigation dans le respect des règles collectives », est intégrée sous la forme d'une stratégie du rôle « irriguant ». L'hypothèse implicite est donc qu'il existe différentes stratégies pour une activité donnée.

⁴⁹ La procédure de prise de décision tient également compte des procédures du compartiment «Objectif».

Ainsi, dans le cas d'application du Nord Thaïlande nous avons modélisé différentes stratégies pour l'activité de culture, de même pour les décisions relatives à la gestion de l'eau, à la commercialisation et à l'apprentissage. Chaque instance d'agent du modèle possède une et une seule stratégie pour chacun de ses rôles (Figure 31).

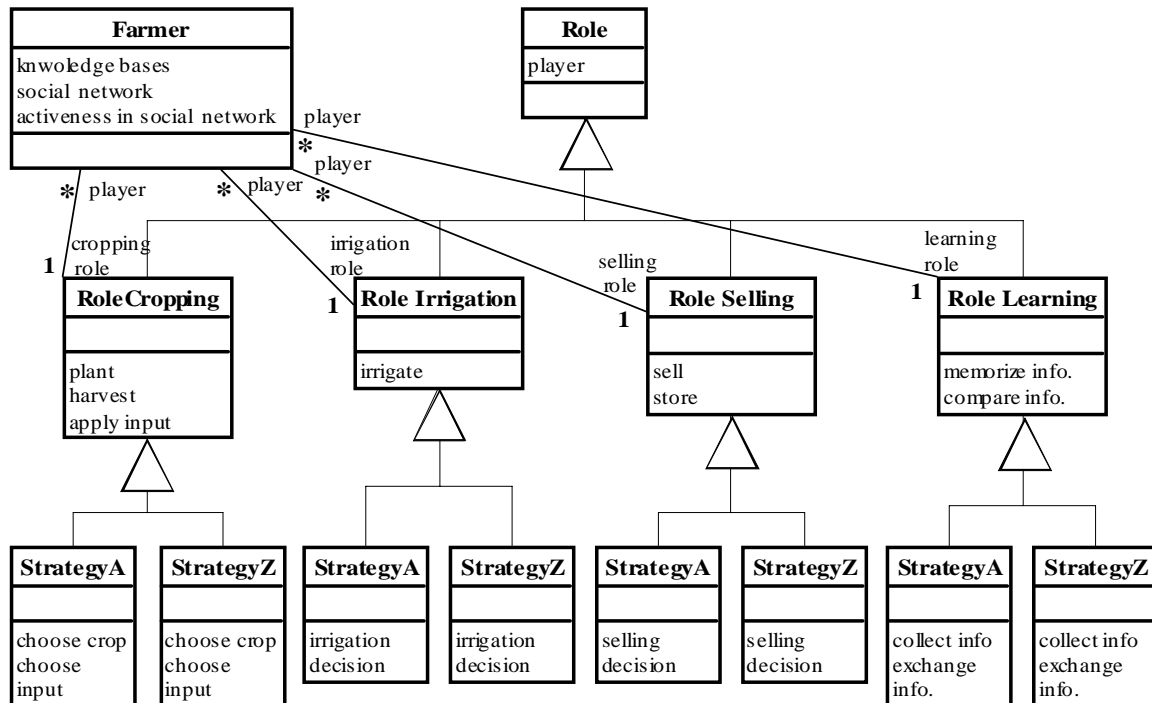


Figure 31 : Diagramme de classe des rôles et stratégies de l'agent-agriculteur

Comme chaque orientation de représentation implémentée dans un rôle et une stratégie particulière fait appel à un certain jeu de croyances et de perceptions, ces informations sont implémentées au niveau des classes stratégies. La classe « Agriculteur » quant à elle détermine le type de décision que tout agent-agriculteur doit prendre et chaque instance d'agent-agriculteur exécute alors les procédures correspondantes suivant le type de stratégie qui lui est affectée. En outre, les procédures génériques et notamment les actions exécutées par les agents telles que planter ou irriguer sont implémentées au niveau de la classe Agriculteur.

Outre le fait que cette architecture simplifie l'implémentation des représentations en évitant des redondances dans le code, elle permet également de structurer les points de vue contradictoires retrouvés dans les diagrammes EPR en les organisant par catégorie : chaque point de vue étant un type particulier de comportement (Type A à Type Z dans la Figure 31) pour un type de rôle.

8.2. Couplage des agents avec le modèle biophysique

Le couplage des agents avec le modèle biophysique passe par la modélisation des interactions entre les agents et les dynamiques biophysiques de l'environnement.

Dans le cas qui nous intéresse, cet environnement est le bassin versant. Dans la section 11.4, nous traiterons de la façon dont les dynamiques biophysiques du bassin versant ont été modélisées dans le cas d'application du Nord Thaïlande (et principalement la dynamique hydrologique et la dynamique de la fertilité des sols qui sont les deux aspects centraux de la problématique du terrain étudié). Ici, nous nous intéressons plus spécifiquement à la modélisation des interactions entre les agents et ces dynamiques biophysiques.

Conformément à l'architecture d'agent que nous employons, ces interactions sont régies :

- par le module de perception des agents qui permet l'observation d'indicateurs de l'environnement,
- et par les actions que les agents exercent sur les différentes entités de l'environnement.

Les différentes actions des agents sont décrites dans les diagrammes EPR. La façon dont nous modélisons leur influence sur l'environnement consiste simplement à implémenter les procédures nécessaires pour que ces actions soient prises en compte dans la dynamique biophysique notamment.

Les différents indicateurs de l'environnement que les agents observent sont également décrits dans les diagrammes EPR (ce sont le plus souvent des attributs des entités des diagrammes EPR). Néanmoins deux aspects de la modélisation des indicateurs méritent d'être présentés plus amplement :

- le fait que la nature des indicateurs utilisés par les agriculteurs n'est pas toujours explicite,
- la gestion des indicateurs qualitatifs.

8.2.1. Identification des indicateurs

Parfois la nature des indicateurs n'est pas explicite (comme dans l'assertion « la forêt est bonne »). Ce type d'observations qualitatives non explicites est fréquent dans le cas d'application du Nord Thaïlande et se retrouve dans les diagrammes EPR réalisés. La question est alors de savoir ce qu'est « une bonne forêt » pour l'acteur. Pour traiter ce type de cas dans notre méthodologie, nous retournons voir les acteurs enquêtés à la suite des premiers entretiens et nous leur demandons de préciser d'expliquer plus clairement l'indicateur qu'ils utilisent. C'est comme cela que nous avons appris que pour une grande partie des acteurs locaux enquêtés, « une bonne forêt » est une forêt dont aucune partie n'a été déboisée. Cette démarche nous permet donc d'identifier quels sont les indicateurs utilisés par les acteurs.

8.2.2. Gestion des observations qualitatives

L'appréciation des acteurs locaux de l'état des entités observées est souvent une appréciation qualitative (tel que bon, moyen ou mauvais). Parfois, cette appréciation

qualitative est basée sur un indicateur qui lui est de nature quantitative (comme par exemple le fait qu'une forêt est bonne ou mauvaise en fonction du pourcentage de la forêt ayant été déboisée). Néanmoins, si l'indicateur utilisé relève d'une notion non-qualitative, il n'en reste pas moins que pour l'acteur c'est l'état qualitatif qui prime et qu'il considère dans sa réflexion. En d'autres termes, nous supposons que l'acteur simplifie tout d'abord l'état du système en un état qualitatif, puis utilise cet état qualitatif pour poser des hypothèses, prendre des décisions et agir (dans les diagrammes EPR seuls les états qualitatifs sont indiqués afin de respecter la logique de l'agriculteur).

Pour modéliser ce type d'observations qualitatives, nous reprenons le même cheminement que celui opéré par les acteurs. C'est à dire que nous établissons une correspondance entre l'indicateur utilisé par l'acteur (un attribut ou un état mesurable du modèle biophysique) et une estimation qualitative de l'état de l'entité considérée. Pratiquement cela revient à définir des plages de valeurs pour lesquelles l'entité sera perçue comme bonne ou mauvaise par l'agent. Par exemple, pour un indicateur prenant une valeur numérique dans le modèle biophysique tel que le rendement, la méthode d'observation renverra la valeur « bon rendement » si le rendement calculé par le modèle biophysique est au dessus d'une certaine valeur seuil pour une culture donnée.

Pour déterminer les seuils qui font que l'état d'une entité est perçu comme bon ou mauvais, il est possible d'avoir recours à des questions posées aux acteurs concernés. Néanmoins, le but de cette modélisation est plus de reproduire des comportements que de chercher à déterminer des valeurs seuils qui vont induire telle ou telle action. C'est pourquoi nous n'avons pas cherché à définir des valeurs exactes avec les acteurs, mais plutôt des ordres de grandeur ; le choix de valeurs seuils étant plutôt du ressort du modélisateur. Le bon sens et la connaissance du système peuvent l'aider dans ce choix.

La méthodologie de modélisation résulte donc dans l'implémentation d'agents ayant différents rôles et pouvant avoir différentes stratégies pour chacun de ces derniers. Les orientations des représentations des agriculteurs établies par la méthodologie d'identification et de formalisation servent à déterminer les différentes stratégies des agents et les informations détaillées décrites dans les diagrammes EPR servent à implémenter les procédures spécifiques de chacune des stratégies.

A partir d'une classe d'agent pouvant avoir différentes stratégies, il est possible en simulation multi-agents et plus généralement dans les modèles de simulations, de définir des changements de stratégies (Janssen 2002, Axelrod 1997). Ainsi au cours d'une simulation, un agent peut adopter une stratégie en début de simulation, et avoir une autre stratégie en fin de simulation. Pour cela, l'agent révisé périodiquement sa stratégie en fonction de règles de changement de stratégie (aussi appelées règles de changement de règles) (Laperrière 2004, Walker et Wooldridge 1995). Dans le cas d'application du Nord Thaïlande que nous

allons présenter à présent, les règles de changement de règles n'ont pas été identifiées. Le modèle multi-agents qui en résulte définit donc des stratégies de comportements qui restent fixes pour une instance d'agent donné, tout au long d'une simulation. Comme nous le verrons, la répartition des différentes stratégies au sein de la population d'agents est définie à partir de l'échantillon d'agriculteurs enquêtés et des orientations de leurs représentations que nous avons identifiées.

Partie IV : Application et résultats

La méthodologie mise en place a été appliquée auprès d'un échantillon d'agriculteurs d'un bassin versant du nord de la Thaïlande. Cette application a permis :

- d'évaluer les atouts et les faiblesses de la méthodologie ainsi que ses apports pour la modélisation des représentations (identification, formalisation, vérification et implémentation),
- d'évaluer la faisabilité de la mise en place en situation réelle des techniques utilisées,
- d'approfondir notre compréhension des représentations que se font les acteurs locaux de leur système et le rôle qu'elles jouent dans les interactions entre les différents acteurs,
- d'évaluer l'usage d'un modèle des représentations des acteurs locaux pour l'aide à la concertation dans le cadre de la gestion intégrée des bassins versants.

Nous présenterons dans le chapitre 9 le cas d'application et l'échantillon d'agriculteurs enquêtés dans deux villages du site d'étude ainsi que les thématiques de terrain sur lesquelles nous avons accès à l'identification des représentations.

Dans le chapitre 10 nous nous attacherons aux résultats obtenus lors de l'étape d'identification et de formalisation des représentations de la méthodologie. Ces résultats sont relatifs aux questions 1 et 2 de notre problématique (portant respectivement sur l'usage coordonné des différents outils dans la méthodologie d'ensemble et sur l'utilisation des techniques d'élicitation). Ces résultats seront discutés au regard de ces deux questions dans la partie Discussion (partie 5).

Dans le chapitre 11 nous décrivons les résultats de l'étape de modélisation des représentations, les limites que les résultats de la première étape posent pour la modélisation, et les difficultés rencontrées lors de cette étape. Ces résultats permettront de discuter la question 1 de la problématique dans la partie Discussion.

Dans le chapitre 12 nous présenterons les simulations réalisées et leurs apports quant à la compréhension des interactions entre les acteurs locaux des bassins versants.

Enfin dans le chapitre 13 nous présenterons le test de notre modèle qui a été fait avec les différents acteurs concernés du bassin versant. L'objectif de ce test était d'apprécier l'usage de notre démarche de modélisation des représentations pour faciliter la concertation entre différents acteurs du bassin versant. Ce test a consisté en une série de séances de simulations participatives avec chacun des agriculteurs dans un premier temps (séances individuelles), puis les différents acteurs ensemble dans un deuxième temps (une séance collective). Dans ce chapitre nous présenterons tout d'abord le protocole des séances de simulations participatives, puis les résultats obtenus au niveau du processus de concertation. Ces résultats seront discutés dans la partie Discussion.

9. Présentation du cas d'étude

Le bassin versant étudié est situé à 40 km au nord-ouest de Chiang Mai, la première ville de la région Nord Thaïlande, en termes de population et d'importance économique. La proximité par rapport à Chiang Mai influe sur l'économie agricole du bassin versant qui a développé une forte production agricole de rente. Une grande partie de la production est vendue directement ou par l'intermédiaire de négociants sur les marchés de Chiang Mai ou encore de Bangkok (Chiang Mai – Bangkok étant un axe commercial majeur). Cette proximité influe également sur les mouvements de population du bassin versant. D'un côté, les populations rurales du bassin versant ont connu et connaissent encore un exode rural en direction des grandes villes telles que Chiang Mai (travaux saisonniers ou cessation d'activité agricole). De l'autre côté, on rencontre un certain nombre d'investisseurs de Chiang Mai et de Bangkok venus s'installer dans le bassin versant pour monter des projets d'agrobusiness périurbains (fleurs coupées, fruits et légumes).

9.1. *Présentation du site d'étude*

Dans le cadre d'une collaboration de recherche avec le Land Development Department (LDD)⁵⁰ le bassin versant du Pang Da a été choisi comme site d'étude. Il s'étend d'Est en Ouest le long de la rivière Pang Da. Sa surface est de 15 km². Il se divise en deux parties distinctes : une partie amont et une partie aval. Etant intéressés par la diversité des systèmes hydrologiques et agricoles, nous avons ajouté à notre site d'étude, une zone de bas-fonds constituée de périmètres irrigués, située à l'aval de l'exutoire du bassin versant du Pang Da (cette zone draine la rivière Samoeng, dont le bassin versant comprend celui du Pang Da). Le site d'étude se divise donc en trois zones (Figure 32) : la partie amont avec le village de Buak Jan que nous avons étudié (carré rouge à l'Est de la carte), une zone centrale commençant au niveau du réservoir de stockage d'eau figurant en bleu sur la carte et allant jusqu'à l'exutoire du bassin versant du Pang Da et une zone aval au Sud-ouest de l'exutoire du bassin versant pour laquelle nous avons sélectionné le village de Sai Mun (carré rouge au Sud-ouest de la carte) comme second village d'étude.

⁵⁰ Le Land Development Department of Thailand (LDD) est une instance du ministère de l'agriculture thaïlandais dont les missions principales sont le référencement des ressources en sol du pays, la planification de l'usage de ces ressources et le développement et le transfert de techniques de conservation des ressources en eau et en sol des bassins versants auprès des agriculteurs. Il compte plus de 3500 employés, dont environ 200 sont affectés au bureau régional de Chiang Mai. En outre, le LDD possède une station d'expérimentation et de vulgarisation dans le village de Buak Jan, à l'amont du bassin versant du Pang Da.

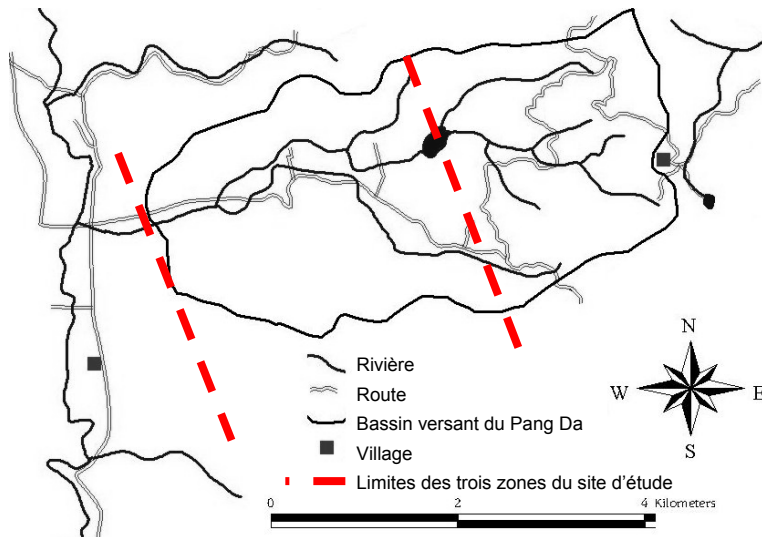


Figure 32 : Les trois zones du site d'étude et son réseau hydrographique

D'un point de vue topo-morphologique, ces trois zones présentent des caractères distincts (Figure 33). La partie amont est une zone montagneuse dont le sommet culmine à plus de 1300 mètres d'altitude et qui descend à 800 mètres en moins de 2 kilomètres. Les terres cultivées du village de Buak Jan qui sont situées sur le versant du bassin versant du Pang Da ont une pente allant de 15 à 30 %. Ainsi les deux problèmes rencontrés sur cette zone sont d'une part l'érosion et d'autre par l'accès à l'eau étant donné que les ressources en eau utilisées pour l'irrigation sont principalement des cours d'eau dont les débits sont constitués plus en aval que les terres cultivées. La partie centrale se poursuit selon des pentes relativement douces (7 à 8 % en moyenne mais avec des zones cultivées plus plates) jusqu'à l'exutoire situé à 600 mètres d'altitude. Enfin, la zone de bas-fonds que nous avons étudiée est à une altitude d'environ 550 mètres. Les pentes des terres cultivées au sein des périmètres irrigués sont faibles (2 à 3 %). La largeur de ce bas fond est d'en moyenne 800 mètres, répartis de part et d'autre de la rivière Samoeng (la rivière Pang Da étant l'un des affluents de la rivière Samoeng).

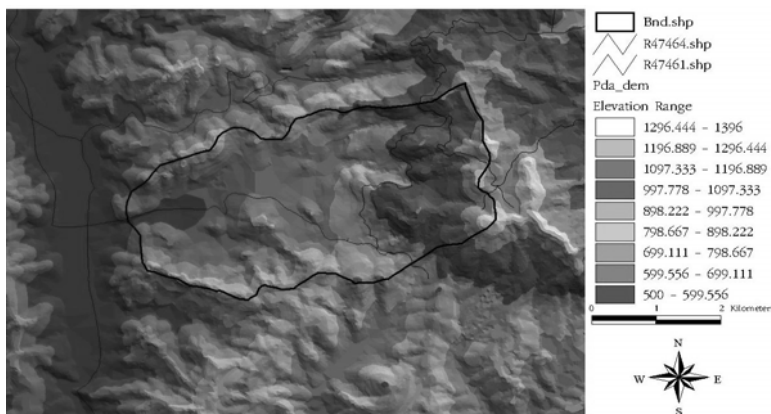


Figure 33 : Topographie du site d'étude

Le site d'étude présente un climat de mousson avec une saison des pluies de mai à mi-octobre rassemblant 90% de la pluviométrie annuelle (1240 mm en moyenne) (Figure 34). La saison sèche est divisée en deux : une saison froide et sèche de mi-octobre à février (20 mm de pluie par mois, température maximum moyenne 26°C, environ 3,5 mm d'évaporation journalière) et une saison chaude et sèche de mars à avril (40 mm de pluie par mois, température maximum moyenne 32°C, environ 6 mm d'évaporation journalière).

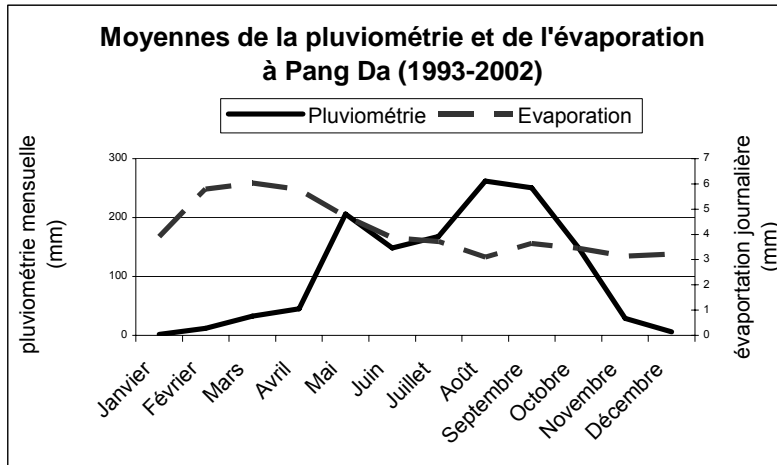


Figure 34 : Pluviométrie et évaporation sur le site d'étude (Source: Station météorologique du Upland Rice Research Center de Pang Da)

La saison sèche présente en moyenne un déficit hydrique d'environ 4 mm par jour. Etant donné le développement de productions irriguées durant la saison sèche qu'a connu le Nord Thaïlande dans les vingt à trente dernières années, l'accès à l'eau pour l'agriculture durant cette saison est l'un des enjeux importants de cette région.

Pour certains auteurs les manques d'eau constatés dans les bas-fonds du Nord Thaïlande durant la saison sèche proviennent d'une augmentation de la demande en eau résultant de l'accroissement des surfaces irriguées dans ces mêmes bas-fonds (Walker 2003, Waranoot et Bengtsson 1996), 1996). L'enjeu serait alors aujourd'hui d'arriver à concilier durant la saison sèche une demande en eau croissante et une offre climatique irrégulière (Walker, 2003).

Dans le bassin versant du Pang Da, le réservoir d'eau situé à l'amont de la zone centrale (figuré en bleu sur la Figure 32) permet de stocker pratiquement un million de m³ d'eau provenant des écoulements de la zone amont. Il est géré par le projet royal de Pang Da⁵¹

⁵¹ Le projet royal du Pang Da fait partie des nombreux projets du Nord Thaïlande de la Royal Project Foundation (RPF), une fondation créée par le roi dont la mission est le développement des minorités ethniques vivant dans les montagnes du Nord Thaïlande. Contrairement aux autres projets royaux, les activités du projet royal du Pang Da sont plus centrées sur la recherche et des essais de nouvelles productions et techniques agricoles que sur la vulgarisation.

(situé juste en aval du réservoir de stockage) et permet l'approvisionnement en eau de la quinzaine d'hectares cultivés du projet royal ainsi que la majeure partie des autres terres cultivées de la zone centrale, durant la majeure partie de la saison sèche. Ce type de réservoir de stockage, dont le nombre dans les bassins versants du Nord Thaïlande tend à s'accroître, fait partie des projets du département de l'irrigation du ministère de l'agriculture thaïlandais. Leur usage permet, dans de nombreux sites, l'irrigation de petites surfaces agricoles durant la saison sèche, comme dans le cas de la zone centrale de notre site d'étude où la ressource en eau n'est pas réellement un facteur limitant.

De même, la ressource en eau dans la zone aval de notre site d'étude est constituée par la rivière Samoeng dont le débit à l'exutoire du bassin varie en moyenne de 3,5 m³/sec en septembre (hors crues ponctuelles) à 0,4 m³/sec en mars (*Department_of_Energy, Department_of_Hydrology*). Au niveau du village de Sai Mun que nous avons étudié, et qui est situé non loin de l'exutoire du bassin versant de Samoeng, nous avons mesuré des débits de 2,5 m³/sec au mois d'octobre et de 0,3 m³/sec en période d'étiage (fin avril). Comparativement à d'autres bassins versants du Nord Thaïlande, le rapport entre débit d'étiage et surface cultivée est relativement important (35 litres/m²/jour à Sai Mun contre 14 litres/m²/jour à Mae Uam⁵²) et la zone n'est pas réellement sujette à des manques d'eau chroniques durant la saison sèche. Néanmoins, si l'année 2002-2003 pendant laquelle nos travaux de terrain se sont déroulés était une année particulièrement pluvieuse durant laquelle il n'y pas eu de réel manque d'eau à Sai Mun, l'année 2003-2004 fut plus sèche et les agriculteurs de Sai Mun ont eu des difficultés pour irriguer correctement leurs cultures durant la saison sèche.

En outre, la contribution en eau du bassin versant du Pang Da à la rivière Samoeng dépend de la période de l'année. En effet, on trouve à l'exutoire du bassin Pang Da un cours d'eau et la résurgence d'une source. Durant la saison des pluies le débit total de ces apports en eau est de l'ordre de 0,4 m³/s (octobre), ce qui contribue pour 15 % au débit de la rivière Samoeng au niveau de Sai Mun. Par contre, à l'étiage (fin avril) le cours d'eau est à sec mais la source continue de fournir un débit de l'ordre de 0,15 m³/s, ce qui représente la moitié du débit de la rivière Samoeng au niveau de Sai Mun. Ainsi, même si les agriculteurs ne perçoivent pas vraiment d'interdépendance entre le bassin du Pang Da et la rivière Samoeng, celle-ci existe réellement notamment durant la saison sèche.

Si la gestion de l'eau ne constitue pas un problème majeur du village de Sai Mun, ce n'est pas le cas de l'autre village étudié – le village de Buak Jan situé à l'amont du bassin versant

⁵² Mae Uam est le bassin versant du Nord Thaïlande sur lequel nous avons travaillé durant le mémoire de DEA et pour lequel la ressource en eau durant la saison sèche était limitante (Becu 2001).

du Pang Da – pour lequel l'accès et la gestion de l'eau sont souvent problématiques durant la saison sèche. Nous allons à présent nous intéresser plus précisément à ces deux villages. Nous présenterons dans le chapitre suivant les contextes sociaux de ces deux villages, leurs agricultures et leurs gestions des ressources en eau et en sol. Nous décrirons également comment notre présence et nos enquêtes se sont insérées dans la vie de chacun de ces deux villages.

9.2. Les deux villages étudiés

9.2.1. Buak Jan : un village hmong à l'amont du bassin versant

Buak Jan est un village de l'ethnie Hmong, l'une de la dizaine de minorités ethniques vivant dans les montagnes du Nord Thaïlande. Le village compte une population entièrement agricole de 700 habitants répartis en 103 foyers. Les Hmongs ont immigré en Thaïlande depuis le début du XX^{ème} siècle en provenance du Laos, de la Birmanie et de la Chine. Le village de Buak Jan fait partie de la deuxième vague d'immigration et fut fondé en 1964.

a) Production agricole

Les villageois de Buak Jan, comme dans beaucoup de villages Hmong à l'époque, cultivaient alors du pavot pour la production d'opium, grande source de revenu pour ces populations en exil. Rapidement le gouvernement thaïlandais et les Nations Unies ont promu des cultures de rente en substitution du pavot (maraîchage principalement). La production de litchis débuta au début des années 80 (Figure 35). Puis, en 1996 les agriculteurs de Buak Jan commencèrent la production de fleurs coupées (gerbera) qui assure encore aujourd'hui un revenu stable toute l'année (le prix de la fleur de gerbera est plus stable que celui des fruits et légumes et la récolte est réalisée tout au long de l'année). Depuis 2001, un certain nombre d'agriculteurs a également démarré la production de roses.

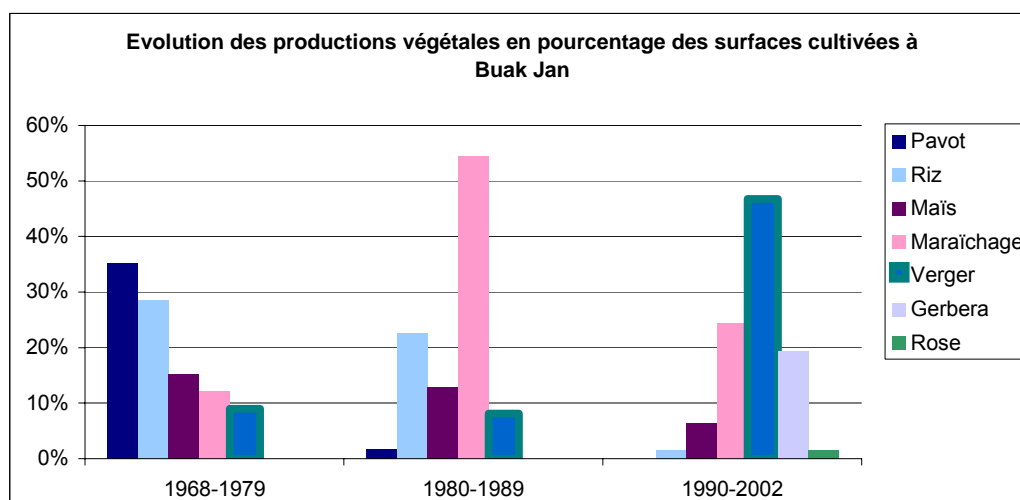


Figure 35 : Evolution des productions végétales à Buak Jan

Alors que la surface totale cultivée n'a pas réellement progressé durant les vingt à trente dernières années, les besoins en eau durant la saison sèche se sont accrus progressivement. Entre les années 80 et 90 la surface irriguée durant la saison sèche est passée de 0 % à 15 % de la surface cultivée totale, pour atteindre aujourd'hui les 40 %. En 2002, la culture la plus irriguée en termes de surface durant la saison sèche est le litchi (qui constitue l'essentiel des vergers de Buak Jan). Mais les besoins en volume d'irrigation par unité de surface du litchi sont bien moindres que ceux du gerbera ou des différents légumes cultivés. Ainsi on estime que 50 % des besoins en eau durant la saison sèche sont destinés à la culture de gerbera, et que 30 % sont destinés à la production légumière. Les légumes produits durant la saison sèche sont la carotte, le chou, le chou chinois et la laitue. Par ailleurs alors que l'essentiel de la production légumière de la saison sèche est réalisée durant la saison froide et sèche, la culture de gerbera se poursuit également durant la deuxième moitié de la saison sèche (c'est-à-dire la saison chaude et sèche). Ainsi durant les mois les plus secs (mars, avril et parfois le mois de mai) la très grande majorité de la ressource en eau est consacrée à l'irrigation du gerbera.

b) Gestion de l'eau

Durant la saison sèche les agriculteurs irriguent les fleurs et quelques parcelles de maraîchage via deux sources d'eau : des petits ruisseaux à flanc de colline qui se tarissent en milieu de saison sèche et une série de bassins de stockage d'eau situés à proximité du village et alimentés en permanence par une source naturelle. Bien que celle-ci ne se tarisse pas, sa capacité n'est pas suffisante pour subvenir aux besoins en eau tout au long de la saison sèche. Aussi durant les dernières semaines d'irrigation de la saison sèche, les bassins de stockage d'eau sont souvent à sec.

La plupart des ruisseaux font l'objet de droits d'usage exclusifs⁵³ et l'eau de chacun des ruisseaux est souvent partagée au sein de la même famille. La source et ces bassins de stockage sont en libre accès. Ces bassins étant situés de l'autre côté d'une crête par rapport au versant que nous avons étudié, les agriculteurs installent des pompes dans les bassins pour remonter l'eau jusqu'au sommet de la crête, puis l'eau est acheminée par gravité dans des tuyaux PVC jusqu'à de petits réservoirs privés en béton construits sur les parcelles de chaque agriculteur. Ainsi, pour utiliser l'eau de la source chaque agriculteur investit dans une pompe (dans certains cas une pompe est achetée en commun entre les membres d'une même famille), un jeu de tuyaux PVC (il faut acheminer l'eau sur 500 mètres à 1 kilomètre)

⁵³ Un agriculteur possède un droit d'exclusivité sur l'eau d'un ruisseau soit parce ce dernier passe au travers de ses champs, soit parce qu'il a été le premier à l'utiliser (le droit d'accès à l'eau d'un ruisseau étant transmis de père en fils).

et un réservoir en béton au niveau de la parcelle. En outre un droit d'accès à l'eau des bassins doit être payé au comité du village pour chaque pompe installée, et les agriculteurs payent également l'électricité pour faire fonctionner leurs pompes. Malgré cet investissement et ces charges non-négligeables, la plupart des agriculteurs cultivant du gerbera (90% des agriculteurs) se servent de l'eau de la source soit comme principale source d'irrigation soit en supplément de l'eau qu'ils puisent dans les ruisseaux (ces derniers se tarissent bien souvent au mois de février). Ainsi durant les mois de mars, d'avril et au début du mois de mai, la plupart des agriculteurs puisent l'eau des bassins de stockage de la source sans aucune règle collective et vers la fin de la saison sèche une compétition entre les agriculteurs s'instaure pour être le premier de la journée à pomper l'eau, ce qui a tendance à créer des conflits d'accès à la ressource. L'enjeu est que le gerbera demande à cette saison une irrigation quasi-journalière sous peine de voir la production de fleurs décroître, ou encore de perdre des pieds de gerbera si l'agriculteur n'a pas pu irriguer durant une semaine à dix jours.

Ainsi, la gestion de l'eau à l'échelle du village est perçue par les agriculteurs comme un problème et nous avons, entre-autre, axé nos enquêtes sur ce thème.

c) Gestion des sols et de l'érosion

Le LDD, qui possède une station d'expérimentation et de vulgarisation dans le village, a aménagé sur les parcelles des agriculteurs de Buak Jan un certain nombre de mesures anti-érosion servant à inciter les villageois à adopter ces pratiques et à en étendre l'usage à l'ensemble de leur zone agricole. Trois types de techniques anti-érosion sont promus : les bordures de vétiver, la culture en terrasses planes (les agriculteurs utilisent déjà ce type de terrasses pour la production de fleurs coupées mais la production maraîchère est souvent réalisée sur des terrasses en pente et d'autres cultures comme le maïs sont plantées dans la pente) et l'aménagement de fossés à différentes hauteurs des versants servant à stopper le ruissellement.

De leur côté les agriculteurs hmongs envisagent la gestion des sols et de l'érosion sous un angle relativement différent. Leur approche consiste dans un système de rotation de cultures incluant une période de jachère de trois à cinq ans permettant la reconstitution d'une couche de matière organique en surface (enfouie ensuite à la fin de la période de jachère). Le problème tel qu'il est perçu par les agriculteurs est alors lié au droit d'usage de leurs parcelles. En effet, les terres que cultivent les hmong ne leur appartiennent pas ; elles sont la propriété de l'état. Etant classées comme zones forestières, ces terres sont sous la responsabilité du Royal Forest Department (RFD) qui ne fait que les « prêter » aux agriculteurs hmong, qui historiquement sont venus défricher des parcelles de forêt pour les cultiver. Ainsi, si une parcelle reste non-cultivée pendant trop d'années alors l'agriculteur

court le risque que sa parcelle soit reprise par le RFD. De ce fait, les agriculteurs réduisent la période de jachère, ce qui déséquilibre leur système traditionnel de gestion des sols.

Ainsi, la façon d'aborder la gestion des sols est différente entre le LDD et les agriculteurs, ce qui a tendance à créer des incompréhensions entre ces deux groupes d'acteurs. En outre, la manière très directive et non-concertée avec laquelle les fonctionnaires du LDD mettent en place leurs différents essais, tend à envenimer les relations entre les deux parties. Les agriculteurs considérant de leur côté que le LDD ne partage pas suffisamment leurs résultats avec eux, et les fonctionnaires du LDD considérant que les agriculteurs hmong montrent trop peu d'intérêt dans la gestion de l'érosion et la conservation des bassins versants.

Cela est d'autant plus accentué que la relation entre les Thaïs (les Thaïlandais d'origine ; les fonctionnaires du LDD sont majoritairement thaïs) et les Hmongs n'est pas toujours sans *a priori*. En effet, un certain nombre de messages passant par la voie des médias et par d'autres voies d'informations tendent à véhiculer une image négative des Hmongs et des autres minorités ethniques vivant dans les montagnes du Nord Thaïlande. Un sujet récurrent est la déforestation dont ces ethnies sont accusées encore aujourd'hui, et parfois à tort. Cette pratique mettrait en péril l'équilibre hydrologique des bassins versants du Nord Thaïlande. Bien qu'il n'existe pas de preuves scientifiques solides pour le prouver, le gouvernement et de nombreuses ONG défendent cette thèse et voient la forêt comme une « éponge » qui permettrait de stocker l'eau durant la saison des pluies et de la restituer durant la saison sèche. La déforestation déséquilibrerait ainsi ce système et diminuerait alors l'offre en eau durant la saison sèche. Cette conception fait l'objet d'une véritable propagande dans le Nord Thaïlande où l'on voit de grandes pancartes publicitaires au bord des routes rurales, montrant une belle étendue de forêt d'où jaillit une source d'eau, et accompagnée de divers slogans de propagande.

Ainsi des tensions sous-jacentes et une certaine animosité existent dans la relation entre Thaï et Hmong. Même si nous avons plutôt observé ce type de tensions entre les fonctionnaires du LDD et les villageois de Buak Jan, nous avons retrouvé certains de ces *a priori* dans le village thaï de Sai Mun, le deuxième village de notre étude.

9.2.2. Sai Mun : un village thaï exploitant des périmètres irrigués de bas-fond

Le village de Sai Mun compte environ 500 habitants dont 85 % des 102 foyers exploitent des parcelles agricoles dans l'un des trois périmètres irrigués rattachés au village⁵⁴. Ces trois

⁵⁴ Une petite partie de la production agricole est également réalisée sur les versants du bas-fond. Il s'agit de cultures pluviales (riz ou maïs) qui ne jouent pas un grand rôle dans l'économie locale et le système de production des exploitations.

périmètres irrigués se trouvent à l'aval d'autres périmètres irrigués exploités par trois autres villages thaïs.

a) Production agricole

Le système agricole du village de Sai Mun, comme celui de nombreux villages thaïs, repose sur la culture du riz durant la saison des pluies pour subvenir aux besoins alimentaires des foyers, suivie d'une à deux cultures de rente. La particularité du village de Sai Mun est la culture d'ail durant la saison fraîche et sèche (l'ail nécessite une température relativement fraîche). Sa production nécessite un investissement important, mais sa valeur ajoutée est très élevée. Une grande partie des agriculteurs réalise également une troisième culture dans l'année qui peut être du soja, du maïs ou des variétés locales d'haricots et de fèves. La production d'ail de cette zone est renommée pour la qualité des gousses et se vend à bon prix au marché de Chiang Mai. Les agriculteurs de Sai Mun cultivent l'ail tous les ans depuis une vingtaine d'années, mais cette production connaît depuis quatre à cinq ans un certain déclin en raison d'une baisse des rendements et de qualité des gousses. Face à cela, les agriculteurs du village cherchent des alternatives dans divers systèmes de rotation de culture, n'incluant pas nécessairement la production d'ail. Une des tendances actuelles est la production de culture sous contrat avec diverses entreprises (notamment des entreprises d'exportation de denrées agricoles vers d'autres pays asiatiques comme la Corée ou le Japon). Ce sont notamment des cultures d'haricots et de fèves mais également de pommes de terre, de tabac, des aubergines ou de salades (laitues).

b) Fertilité des sols et choix de culture

La baisse de rendement et de qualité constatée sur la culture d'ail est liée à une baisse de la fertilité des sols qui selon toute vraisemblance est due à une baisse de la teneur en matière organique, à de faibles valeurs de pH et sur certaines parcelles à une déstructuration des sols. La culture annuelle et intensive d'ail durant les vingt dernières années n'est certainement pas étrangère à cette baisse de la fertilité des sols. Comme nous l'avons esquissé dans le paragraphe précédent, cette baisse de la fertilité des sols, même si elle n'est pas toujours bien comprise par les agriculteurs, amène les agriculteurs à adopter diverses stratégies : certains abandonnent la culture d'ail, d'autres tentent de réduire leurs apports d'engrais qui, selon les agriculteurs, auraient un impact négatif sur les sols, enfin certains agriculteurs poursuivent la production d'ail en misant sur une éventuelle bonne récolte qui leur permettrait de rembourser leurs emprunts. Ce dernier facteur joue également un grand rôle dans les stratégies adoptées par les agriculteurs. En effet la majeure partie des agriculteurs de Sai Mun ont des dettes importantes soit auprès de la coopérative agricole, soit auprès de la banque ou encore auprès de prêteurs sur gages. Ces dettes ont été accumulées ces dernières années lorsque les récoltes d'ail ont commencé à se

détériorer, ne permettant pas alors aux agriculteurs de rembourser les emprunts réalisés pour la mise en place de la culture d'ail. Ainsi, en optant pour la culture d'ail aujourd'hui, les agriculteurs espèrent pouvoir rembourser une grande partie de leurs emprunts en une fois (l'ail étant la culture dont la marge brute est de loin la plus importante lorsque les rendements sont corrects), alors que les agriculteurs optant pour une toute autre rotation de culture envisagent de rembourser leurs emprunts sur plusieurs années.

Cette dynamique est clairement influencée par les représentations des agriculteurs sur la fertilité des sols et sur sa gestion. C'est pourquoi nous avons orienté nos enquêtes sur cette thématique.

c) Gestion de l'eau

L'irrigation est une irrigation gravitaire faite au travers de trois périmètres irrigués. Il s'agit, d'amont en aval, des périmètres appelés « Sai Mun », « Ban Kiou » et « Na Haa Baht » dont les caractéristiques sont décrites dans le Tableau 3.

	Surface (ha)	Nombre d'agriculteurs	Débit à l'amont du canal primaire à l'étiage* (m ³ /sec)	Quantité d'eau théoriquement disponible en période d'étiage* (mm d'eau / jour)
Sai Mun	56	125	0,2	30
Ban Kiou	6,5	18	0,05	66
Na Haa Baht	8,5	17	0,05	50

Tableau 3 : Caractéristiques des périmètres irrigués du village de Sai Mun. (*): mesures et calculs réalisés en avril 2003 – l'année 2002-2003 étant particulièrement pluvieuse

Etant donné sa taille et les débits disponibles, le périmètre de Sai Mun est le premier à être affecté en cas de sécheresse. Néanmoins, même pour ce périmètre, l'offre en eau demeure au dessus des niveaux d'irrigation pratiqués par les agriculteurs qui sont de l'ordre de 10 mm/jour (valeur mesurée que l'on retrouve également dans la littérature (Vanpen 1986)).

La gestion collective des périmètres irrigués de Sai Mun est relativement similaire au système traditionnel nord-thaïlandais de gestion des petits périmètres irrigués dit *Muang Faay* (Tanabe 1994). Ainsi, un gestionnaire de canal est élu par les membres du périmètre. Ce gestionnaire, le *Kae Muang*, assisté de une à deux personnes décide d'un commun accord avec les membres de l'ouverture de la porte d'entrée d'eau du canal primaire en début de saison des pluies. Il peut également mettre en place des tours d'eau durant la saison sèche, ce qui n'est nécessaire dans le village de Sai Mun que pour le périmètre irrigué appelé Sai Mun. Ces tours d'eau commencent par l'amont et se font par groupe de quatre à cinq parcelles adjacentes. Toutes les parcelles possèdent un accès direct au canal primaire. La maintenance de ce dernier ainsi que du barrage de diversion est assurée par le gestionnaire du canal qui une à deux fois dans l'année rassemble l'ensemble des membres pour l'entretien des infrastructures. Le gestionnaire peut également donner une amende aux

membres qui ne respectent pas le tour d'eau ou qui ne participent pas aux tâches d'entretien.

La gestion individuelle de l'eau est identique dans chacun des périmètres. Les agriculteurs irriguent par submersion des casiers une à deux fois par semaine, parfois une fois toutes les deux semaines, suivant les types de cultures et suivant la saison. L'irrigation d'une parcelle est souvent réalisée sur une demi-journée avec des débits d'entrée d'eau dans la parcelle de 30 à 60 litres/s.

Enfin, alors que dans d'autres systèmes de type *Muang Faay*, des règles de partage de l'eau sont instaurées entre plusieurs périmètres irrigués successifs, aucune règle de ce type n'est utilisée dans cette zone d'étude. De mémoire d'agriculteur, le seul cas d'un manque d'eau notoire était durant l'année 1998-99 durant laquelle les agriculteurs de Sai Mun avaient emprunté une pompe au bureau du district pour pomper l'eau du lit de la rivière directement dans le canal de Sai Mun car le niveau d'eau de la rivière était passé en dessous du niveau de la porte d'entrée du canal.

Ainsi la ressource en eau ne constitue pas un facteur limitant pour le système agricole de Sai Mun, dont la dynamique actuelle semble plutôt être conduite par la question de la fertilité du sol et la gestion de l'endettement.

9.3. *Echantillon d'agriculteurs enquêtés*

Afin de réduire les biais dus à des réponses stratégiques de la part des personnes enquêtées et d'atteindre une meilleure acceptation du travail d'enquête par les acteurs, l'étape d'acquisition des représentations débute par une phase d'insertion dans la zone d'étude. Les relations préexistantes avec chacun des villages étudiés étant différentes, nous avons adapté la méthode d'insertion à chacun des contextes.

Dans le cas de Buak Jan, il était important de sortir, aux yeux des agriculteurs, du cadre de notre lien institutionnel avec le LDD (les relations entre le LDD et les agriculteurs de Buak Jan étant quelque peu ambiguës). Pour cela, nous avons établi un projet d'étude directement avec le chef du village. Le sujet de cette étude, choisi d'un commun accord avec le chef du village, portait sur la perception des agriculteurs par rapport à la gestion et la conservation de l'eau et du sol, et concernait l'un des versants cultivés par les agriculteurs de Buak Jan. La prise de contact avec les agriculteurs enquêtés s'est donc faite au travers de ce projet d'étude qui avait été préalablement présenté aux agriculteurs par le chef du village. Nous avons ensuite rencontré les agriculteurs enquêtés à plusieurs reprises avant de mener nos enquêtes, et ce afin de faire connaissance et d'établir une relation de confiance. Puis nous avons fixé des rendez-vous sur les parcelles de chacun des agriculteurs pour nos enquêtes. Les enquêtes étaient menées sous la forme d'un entretien et nous nous servions d'un guide d'entretien (voir l'annexe 6). Les entretiens étaient enregistrés sur un magnétophone.

Nous avons enquêté 12 agriculteurs, ce qui constitue un échantillon quasi-exhaustif des agriculteurs du versant cultivé étudié dans le cadre de l'étude établi avec le chef du village. Le choix du versant étudié a été fait, d'un commun accord entre le chef du village et nous, sur la base d'un critère de représentativité des différentes activités agricoles et activités de gestion des ressources rencontrées dans le village.

Dans le cas de Sai Mun, notre travail s'est inséré dans un projet de recherche mené par l'anthropologue australien Andrew Walker dans le village. La prise de contact avec les agriculteurs s'est faite par son intermédiaire et par la suite nous avons suivi une démarche ethnographique dans notre façon de mener les enquêtes avec les agriculteurs. Nous participions aux activités quotidiennes des villageois et nous menions nos entretiens⁵⁵ lorsque l'occasion se présentait (sans prendre de rendez-vous à l'avance).

Nous avons ainsi enquêté 14 agriculteurs. Le choix de cette échantillon s'est fait sur la base d'un critère d'hétérogénéité (i) des personnalités des agriculteurs, (ii) de leur mode de pratiques agricoles, (iii) du réseau social de l'agriculteur au sein du village, (iv) et des périmètres irrigués que les agriculteurs exploitent. Le choix de chacun des agriculteurs de l'échantillon s'est fait au fur et à mesure que nous rencontrions et faisons connaissance avec les différents agriculteurs du village.

9.4. Thématiques étudiées

Dans chacun des deux villages, les thèmes étudiés et abordés dans les guides d'entretiens étaient les activités agricoles d'une part, la gestion de l'eau et la gestion des sols dans le village d'autre part ainsi que la perception de la dynamique de l'eau à l'échelle du bassin versant.

La gestion des sols a été étudiée à l'échelle du village et était axée sur des thèmes plus spécifiques pour chacun des villages (fertilité organique et structurale des sols à Sai Mun, érosion à Buak Jan). Au niveau de la gestion de l'eau, le guide d'entretien était organisé sur la gestion individuelle d'une part et la gestion collective d'autre part. Nous avons ajouté des questions spécifiques sur le niveau de gestion inter-périmètres irrigués pour Sai Mun et sur les perspectives d'amélioration de la gestion collective des bassins de stockage d'eau de la source pour Buak Jan. Enfin sur le thème de la dynamique de l'eau à l'échelle du bassin

⁵⁵ Les entretiens étaient menés selon la technique décrite dans la méthodologie. L'enregistrement était réalisé par une technique de prise de notes rapide que nous avons établie avec l'interprète. Elle consiste en : (1) prise de notes rapide durant l'entretien en utilisant diverses abréviations, (2) les parties manquantes des notes sont ajoutées juste après l'entretien, (3) les notes sont relues de manière chronologique et complétées dans les heures qui suivent l'entretien. Durant cette troisième étape, nous ajoutons les éléments qui nous revenaient en mémoire et récrivions l'ensemble de l'entretien en essayant dans la mesure du possible de retranscrire la façon dont la personne s'était exprimée.

versant le guide d'entretien abordait d'abord les entités du système perçues par les acteurs, puis la perception des dynamiques et des interactions entre ces entités.

C'est donc sur ces différents thèmes que nous avons identifié et formalisé les représentations des deux échantillons d'agriculteurs.

Sur la base des guides d'entretiens réalisés après la phase d'insertion, nous avons mené les enquêtes auprès des agriculteurs de chacun des deux villages via la technique d'« entretien situé » décrite plus haut (échantillon de 12 agriculteurs pour Buak Jan et de 14 agriculteurs pour Sai Mun). Nous présentons dans le chapitre suivant les résultats de ces enquêtes.

10. Résultats de l'étape d'identification et de formalisation des représentations

Cette étape, qui s'est déroulée sur une période de huit mois, a agi tel un processus continu d'élicitation des représentations, qui nous a permis d'affiner au fur et à mesure de l'utilisation de différentes techniques⁵⁶ notre compréhension des représentations des agriculteurs et les spécificités des orientations des représentations de chacun des agriculteurs au sein de nos échantillons. Ainsi, à la fin de chacune de ces phases, nous avons établi l'orientation de la représentation de chacun des agriculteurs de notre échantillon (l'élaboration de ces orientations a été décrite dans la méthodologie). La Figure 36 synthétise les orientations des représentations trouvées pour certains agriculteurs du village de Sai Mun.

La Figure 36 met en évidence le fait que chaque phase est un processus d'élicitation en lui-même. Les orientations de représentations de la phase d'enquête sont données à titre indicatif et ne sont pas utilisées pour la vérification des orientations de représentations qui compare les résultats des diagrammes EPR à ceux des *Playable Stories*. Cela tient au fait que le formalisme des orientations de représentations de la phase d'enquête est différent de ceux utilisés pour les diagrammes EPR ou pour les *Playable Stories*⁵⁷. Nous présentons à présent les résultats obtenus pour chacune des phases et nous reviendrons sur ces orientations de représentations pour les phases deux et trois.

⁵⁶ Notre compréhension des représentations des agriculteurs s'est affinée au fur et à mesure de l'utilisation des techniques suivantes : entretien situé, observation ethnographique, réalisation des diagrammes EPR, *Playable Stories*

⁵⁷ Le formalisme utilisé pour définir les orientations de représentations des agriculteurs a évolué entre le moment de la phase d'enquête et celui de la réalisation des diagrammes EPR. Ce changement de formalisation vient du fait que certains détails de la méthodologie ont été conçus durant la mise en application. De ce fait, il nous est apparu plus pertinent de n'utiliser que les orientations de représentations définies à partir des diagrammes EPR et des *Playable Stories* dont les formalismes sont les mêmes.

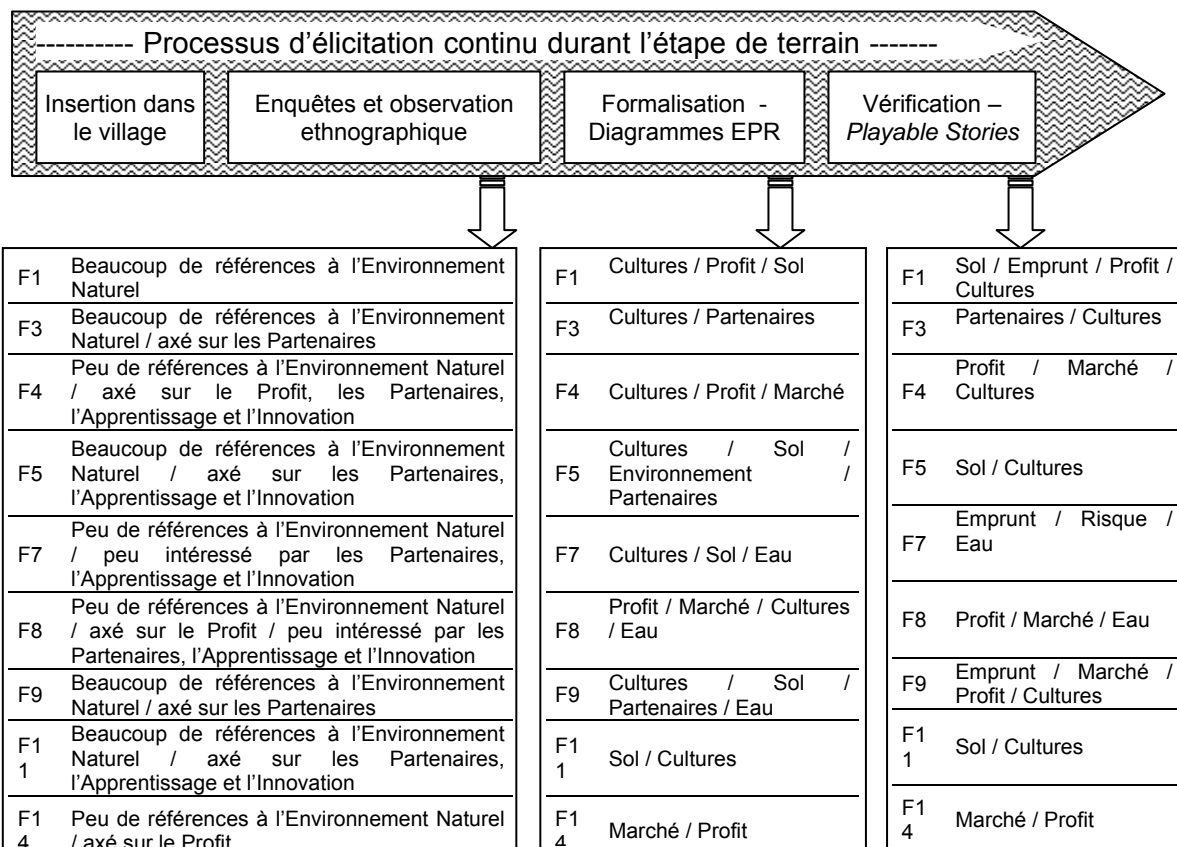


Figure 36 : Orientations des représentations des agriculteurs de Sai Mun établies à chaque phase (les codes F1, F4, F14... sont les codes des agriculteurs de l'échantillon)

10.1. Phase d'enquête

Dans ce paragraphe nous présentons les résultats de la phase d'enquête en nous intéressant plus spécifiquement aux aspects méthodologiques (la méthode utilisée a-t-elle donné les résultats escomptés) et en nous appuyant sur des exemples tirés du contenu des informations recueillies. En outre la méthode d'insertion dans chacun des villages étant différente et ayant influencé la démarche d'enquête, certains résultats sont présentés séparément pour chacun des villages.

10.1.1. Relation enquêteur-enquêté

De même que pour l'expérience de l'Orb, le fait de mener les entretiens sur les parcelles des agriculteurs a permis de mettre les agriculteurs en confiance. Dans le cas de Buak Jan, la présentation du projet d'étude par le chef du village et la phase préalable de prise de contact avec les agriculteurs durant laquelle nous avons rencontré les agriculteurs plusieurs fois de manière informelle, furent des aspects importants pour établir cette relation de confiance. La méthode d'insertion à Sai Mun, relevant plus d'une démarche ethnographique, associée à une technique d'enquête sous forme de conversation, a contribué à établir une relation

encore plus étroite avec les agriculteurs et un rapport de confiance plus important que la méthode d'enquête utilisée à Buak Jan. Bien que cela soit difficile à évaluer objectivement, nous pensons que la méthode d'enquête ethnographique a ainsi permis de réduire les biais dus à des réponses stratégiques des agriculteurs (réponse biaisée car l'agriculteur pense qu'il est dans son intérêt de répondre de telle ou telle manière).

10.1.2. Résultat de la technique d'entretien « situé »

La technique de l'entretien « situé » a donné des résultats relativement similaires à ceux obtenus dans l'expérience de l'Orb (annexe 4) : le fait que l'entretien se déroule en extérieur, sur les parcelles des agriculteurs crée une interaction entre le discours de l'agriculteur et ce qu'il voit au moment où il parle. Cette interaction enrichit le discours de la personne tout en l'orientant vers certains aspects du système en fonction du paysage environnant (voir section 4.a de l'annexe 4 pour plus de détails).

Dans le cas de Buak Jan, les parcelles des agriculteurs enquêtés étaient toutes situées sur le même versant, et la vue à partir des parcelles était relativement dégagée. Ainsi nous avons une vue sur le même paysage au moment des différents entretiens. Cela nous a permis de nous appuyer sur les mêmes éléments du paysage, d'un agriculteur à l'autre, pour poser certaines questions de notre guide d'entretien (notamment pour les questions liées à la perception des différentes entités du système en jeu dans la dynamique de l'eau sur le bassin versant).

Dans le cas de Sai Mun, la configuration du paysage se prêtait moins à ce type de comparaisons. En outre, l'approche ethnographique a fait que les entretiens avec les agriculteurs (réalisés sous la forme d'une conversation engagée avec l'agriculteur lorsque l'occasion se présentait) étaient parfois menés en plusieurs fois et sur des lieux différents. Ainsi il est arrivé que nous enquêtions un agriculteur sur ses activités agricoles lorsqu'il était en train de semer ou de récolter, et que l'entretien se poursuive quelques jours plus tard sur sa perception de la gestion de l'eau au moment où il était en train d'irriguer. L'agriculteur n'était pas alors toujours sur la même parcelle. Si cette approche est d'une certaine manière moins homogène que celle appliquée à Buak Jan, les entretiens ont gagné en richesse d'informations du fait que les agriculteurs pouvaient parler d'un aspect du système au moment même où ils s'y intéressaient. Néanmoins, la caractérisation de l'état d'esprit dans lequel se trouve l'agriculteur durant ces moments particuliers est réalisée de manière inductive en fonction de notre propre interprétation des faits et des dires des acteurs. En outre, le choix de ces moments est fonction des opportunités de rencontres des agriculteurs durant nos visites de terrain.

10.1.3. Résultats plus spécifiques à l'approche ethnographique

Si l'approche ethnographique a nécessité une présence quasi-journalière sur le village de Sai Mun et donc plus de temps de travail que la méthode d'enquête suivie à Buak Jan, elle a permis d'acquérir une meilleure compréhension du système ce qui a affiné le processus d'enquête. En outre, les observations et les discussions informelles ont apporté d'autres informations particulièrement intéressantes pour la modélisation des réseaux sociaux existant dans le village.

a) Compréhension du système permettant d'affiner le processus d'enquête

L'approche ethnographique a permis de comprendre plus en détail les problèmes rencontrés par les agriculteurs, la façon dont ils les gèrent et les raisons de leurs choix dans la gestion de ces problèmes.

Voici un exemple pour lequel les discussions informelles et les observations réalisées dans le cadre de l'approche ethnographique ont permis une meilleure compréhension de la façon dont les agriculteurs abordent les problèmes rencontrés. Cet exemple est lié à la question de la fertilité des sols à Sai Mun. Après avoir présenté les résultats obtenus via les discussions informelles et les observations, nous montrons comment cela a contribué aux enquêtes réalisées, et aux résultats obtenus.

Résultats des discussions informelles et des observations

Les agriculteurs ayant constaté une baisse de rendement de leurs cultures (ail notamment) depuis six à sept ans, ils ne s'expliquaient pas au début la raison de ce problème. Un chercheur en sciences du sol de l'université de Mae Joe (à Chiang Mai) est alors venu au village et a expliqué que la baisse de rendements était due au fait que les sols étaient moins fertiles qu'avant et que cela venait du changement de système de production qui était passé d'un système « extensif » à un système « intensif ». Cette idée a certainement été véhiculée par les médias (radio notamment) et par les différents conseillers agricoles intervenant dans le village. Les agriculteurs ont alors comparé leur système de production actuel avec celui qu'ils avaient dans le passé et ils en ont déduit (seuls ou sous l'influence de personnes extérieures) que la baisse de fertilité du sol était due à l'utilisation des engrais chimiques (qu'ils n'utilisaient pas auparavant). D'un autre côté les agriculteurs observent au quotidien que l'utilisation des engrais chimiques a un impact positif sur les cultures (les plantes poussent plus vite, elles sont plus « belles » - meilleur maintien du pied, couleur du feuillage plus soutenue).

Toutes ces informations ont contribué à la construction d'une représentation particulière du système « plante – sol - engrais chimique » chez les agriculteurs, ce qui nous a été révélé par l'utilisation de la démarche ethnographique.

Apports des discussions informelles et des observations dans le processus d'enquête

La compréhension de ce qui s'était passé et des idées qui ont été véhiculées dans le village nous a alors permis de poser des questions plus précises dans nos enquêtes sur la thématique fertilité du sol. Et notamment des questions relatives aux liens entre les engrais chimiques et le sol, ainsi qu'entre les engrais chimiques et la plante.

Résultats des enquêtes

Les entretiens avec les agriculteurs ont alors révélé un schéma de pensée relativement récurrent chez la plupart des agriculteurs enquêtés par rapport à ce système « plante –sol - engrais chimique ». Ce schéma de pensée peut se résumer de la manière suivante :

- Les engrais chimiques sont néfastes pour la fertilité des sols.
- Lorsque la fertilité du sol baisse, les rendements des cultures baissent.
- Mais les engrais chimiques permettent d'obtenir des cultures de bonne qualité et leur utilisation est « indispensable ».

Ainsi, les agriculteurs perçoivent les engrais chimiques différemment suivant qu'il s'agisse de l'action sur le sol ou de l'action sur la plante. Pour reprendre les commentaires d'un agriculteur, c'est comme s'il y avait de « *bonnes substances* » et de « *mauvaises substances* » dans les engrais chimiques. Les premières fertilisent directement la plante (sans passer par le sol). Les mauvaises substances des engrais chimiques agissent sur le sol et le rendent moins fertile.

Ainsi, on voit que la démarche ethnographique procède par inductions successives⁵⁸. Le chercheur s'intéresse à une thématique et commence par poser des hypothèses en fonction de ses premières observations et discussions informelles. Au fur et à mesure de la progression de sa recherche, il va alors réfuter ou reconstruire ses hypothèses (en fonction de ses inductions liées à ses observations et à ses discussions)(Olivier de Sardan 1995, Lapassade 1991) afin de parvenir *in fine* à une conceptualisation des faits observés explicative du fonctionnement du système (Smith et al. 1995). La démarche ethnographique telle que nous l'appliquons ici est donc celle de l'observation participante (Lapassade 1991), qui se caractérise par « *une période d'interactions sociales intenses entre le chercheur et les sujets, dans le milieu de ces derniers. Au cours de cette période des données sont systématiquement collectées(...)* » (Bogdan et Taylor 1975). Cette démarche n'est pas non plus sans rappeler la *Grounded Theory*⁵⁹ qui cherche à construire des théories sur la base

⁵⁸ Bien sûr, le fait que la démarche ethnographique procède par induction, implique l'hypothèse qu'il existe des causes et des effets à tout fait observé et qu'il est possible d'expliquer le système en le découpant en structures thématiques indépendantes liées par des liens de cause à effet (Bergson 1907).

⁵⁹ « Théorie ancrée » ou « théorie enracinée » en français.

d'une démarche itérative d'observations de terrain et de formulations d'hypothèses (Strauss et Corbin 1990).

Associée aux enquêtes menées à la façon d'entretiens situés, la démarche ethnographique a par ailleurs permis d'être plus précis et certainement plus pertinent dans le processus d'identification des représentations. Dans la pratique, les discussions informelles et les observations de la démarche ethnographique ont été menées conjointement avec les enquêtes et une réelle interaction s'est opérée entre ces deux démarches.

b) Autres informations recueillies via les discussions informelles et les observations

La méthode ethnographique a permis de recueillir des résultats autres que les transcriptions d'entretiens dont nous nous servons dans la phase de formalisation. Ces résultats proviennent de discussions informelles avec les agriculteurs et de l'observation qui sont propres aux démarches ethnographiques.

C'est typiquement le cas de l'identification des différents réseaux sociaux existant au sein du village⁶⁰ et de la compréhension de leur rôle dans le processus d'apprentissage individuel et collectif et dans la circulation de l'information entre les différents agriculteurs du village. Cela est important pour les thématiques étudiées car ces réseaux sociaux influencent l'adoption de nouvelles cultures ou l'adoption de nouvelles techniques culturales liées à la gestion des ressources.

10.1.4. Enregistrement des données

La technique de prise de notes utilisée à Sai Mun pour enregistrer les enquêtes a permis de transcrire par écrit les dires des acteurs de manière relativement efficace bien que les transcriptions des entretiens contiennent moins d'informations par rapport à Buak Jan où nous avons utilisé un magnétophone (la conversation étant retranscrite par la suite mot à mot).

A partir de cette première phase nous avons obtenu douze transcriptions pour Buak Jan et quatorze pour Sai Mun, chacune d'environ trois à cinq pages, renfermant notamment les points de vue de chacun des agriculteurs quant aux activités agricoles, à la dynamique et à la gestion des ressources en sol et en eau, ainsi qu'à la vision du bassin versant (quelques exemples de transcriptions sont montrés à l'annexe 7).

10.2. Phase de formalisation

Les transcriptions d'enquêtes de Buak Jan et de Sai Mun ont été formalisées dans les diagrammes EPR, à raison d'un diagramme par individu enquêté. Les diagrammes EPR ne

pouvant être présentés intégralement (chaque diagramme EPR tient sur plusieurs pages en raison du nombre d'entités et de relations qu'ils contiennent) nous présentons dans ce chapitre des extraits de ces diagrammes qui nous servent à mettre en évidence (i) les différents types d'informations qu'il est possible d'y lire, (ii) et l'hétérogénéité des représentations retrouvée dans les diagrammes EPR.

10.2.1. Informations recueillies dans les diagrammes EPR

Nous aborderons tout d'abord les différents niveaux de lecture possibles des diagrammes EPR et nous montrerons comment il est possible d'y suivre le cheminement de pensée d'un agriculteur. Puis, nous examinerons la traçabilité des données présentées dans les diagrammes EPR. Enfin, nous montrerons comment le formalisme de ces diagrammes sert pour l'implémentation sous la forme d'agents informatiques bâtis selon l'architecture d'agent utilisée dans notre méthodologie.

a) Niveaux de lecture des diagrammes EPR

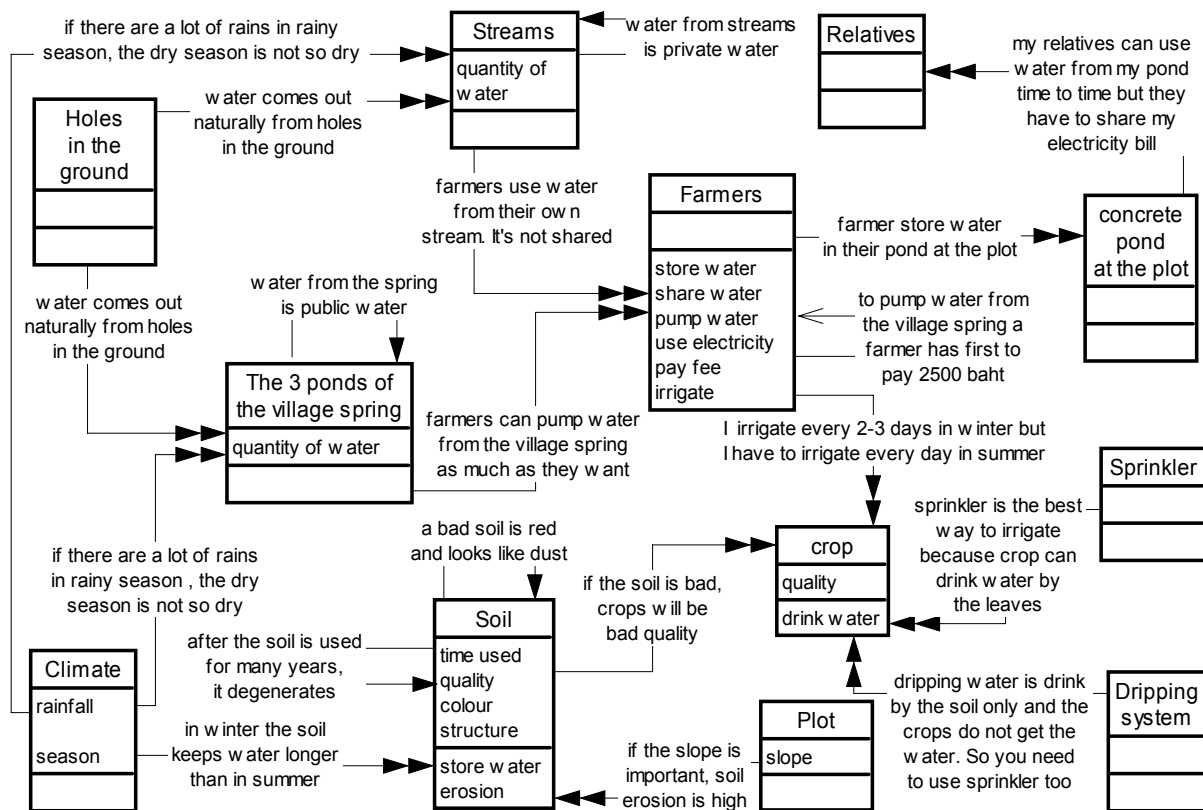
Comme nous pouvons le voir dans la Figure 37, les diagrammes EPR présentent les différentes entités perçues par la personne enquêtée : les entités du système naturel (ex. les ruisseaux, le climat, le sol), les entités de gestion (ex. le réservoir en béton, la culture, la parcelle), l'entité « agriculteur » (ou « les agriculteurs »). En association avec les flèches, on peut lire des règles de gestion (ex. partage de l'eau avec les membres de la famille), des règles ou des faits perçus à propos du fonctionnement du système biophysique (ex. « l'eau des ruisseaux vient de trous dans le sol », « le sol dégénère (baisse de fertilité) après avoir été utilisé (cultivé) pendant plusieurs années » ou encore des choix d'action (utilisation du *sprinkler* plutôt que du goutte à goutte).

Outre ce premier niveau de lecture, il est également possible de suivre le cheminement de pensée de l'agriculteur en suivant une succession d'entités et de flèches dans le diagramme (ex. en fonction de la saison le sol stocke l'eau différemment – la plante puise l'eau stockée dans le sol (non explicité dans le diagramme) – l'agriculteur irrigue différemment en fonction de la saison).

A partir de là et en reconstituant la façon de penser de l'individu à une échelle plus large qui est celle du diagramme dans son ensemble, nous parvenons à mieux cerner la représentation de l'individu. Ainsi, dans le cas de la Figure 37 la représentation que l'agriculteur se fait de la gestion de l'eau est assez « linéaire » : l'eau provient de sources collectives ou privées sur lesquelles il ne peut pas vraiment agir ; à un niveau individuel en

⁶⁰ Ainsi que du statut de l'individu dans son milieu social et de ses relations aux autres villageois et aux acteurs extérieurs au village.

outre, il a mis en place un système d'irrigation qu'il a réfléchi, et qui agit sur sa culture ainsi que sur ses finances. Il est à noter également que cet agriculteur évoque la ressource en sol



plutôt que la ressource en eau lorsqu'il parle de la qualité des cultures.

Figure 37 : Extrait du diagramme EPR de l'agriculteur 3 de Buak Jan⁶¹

b) Lisibilité et traçabilité des données

Bien que la notation textuelle des expressions sémantiques relevées dans les transcriptions alourdisse l'aspect général du diagramme, ce dernier reste facilement lisible et permet de retrouver rapidement comment l'acteur définit les différentes entités du système et quelles sont les relations qu'il perçoit entre ces entités. La notation des règles de fonctionnement du système accompagnées des expressions sémantiques permet par ailleurs de garder une traçabilité par rapport aux transcriptions (voir Figure 37 et Figure 38). Ce type de diagramme correspond donc bien aux critères que nous nous étions fixés et qui visaient une schématisation synthétique de la représentation des acteurs et une traçabilité des données utilisées.

⁶¹ Du fait qu'il existe déjà des biais de traductions entre le thaï et l'anglais (langue dans laquelle les entretiens en thaï ont été traduits puis formalisés sous la forme des diagrammes EPR), nous avons préféré présenter ici les diagrammes EPR en anglais et éviter ainsi de nouveaux biais de traduction entre l'anglais et le français.

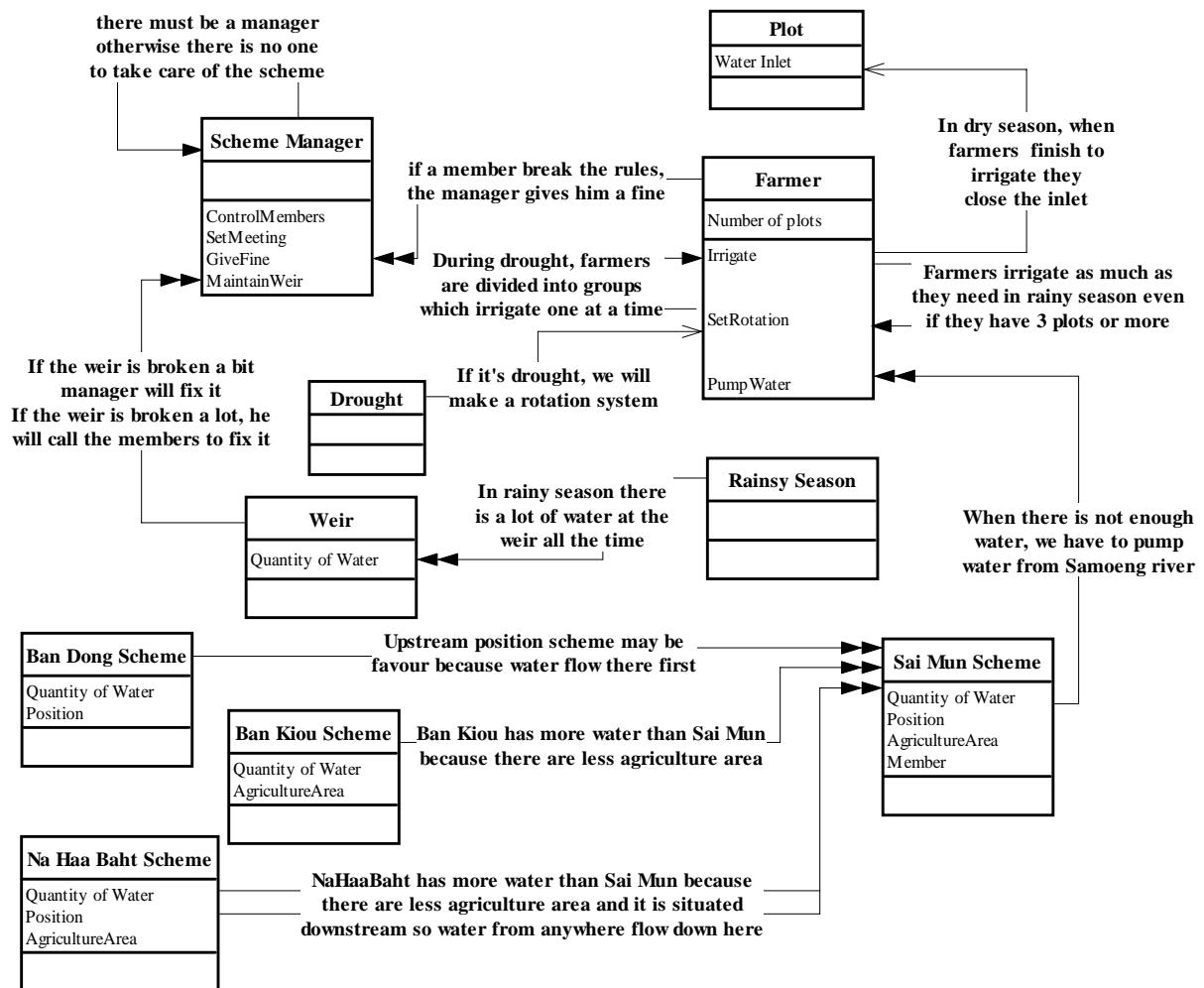


Figure 38 : Extrait du diagramme EPR de l'agriculteur 9 de Sai Mun

c) Formalisme et correspondance avec l'architecture d'agent utilisée

Du point de vue de la correspondance entre ce formalisme et celui nécessaire à l'implémentation dans un modèle informatique, la plupart des aspects structurels du modèle sont présents dans le diagramme (classe, attributs, opérations). Certes des classes-mères ne sont pas indiquées dans le diagramme (comme par exemple la classe générique Périmètre Irrigué absente de la Figure 38) et le fonctionnement exact des opérations n'est pas précisé (comme par exemple comment doit être implémentée la méthode « irriguer » de l'objet « Agriculteur »), mais la structure générale du modèle est décrite. Du point de vue fonctionnel, les règles de fonctionnement du système apportent des informations importantes quant à ce qui doit être implémenté (attributs et opérations en jeu, type d'inférence à implémenter)⁶².

⁶² A propos des règles de fonctionnement du système, on remarquera que dans la plupart des diagrammes EPR réalisés, les règles de contrôle externe (doubles flèches) sont à chaque fois plus nombreuses que les autres types de règle.

Néanmoins pour pouvoir implémenter les informations de ces diagrammes selon l'architecture d'agent utilisée dans le cadre de notre méthodologie un travail de formalisation reste encore à faire⁶³. Ce travail de formalisation consiste à identifier dans les diagrammes EPR les informations suivantes :

- les croyances sur le fonctionnement du système (notées C_f)
- les croyances sur l'état du système (notées C_e)
- les indicateurs de l'environnement observés (notés I)
- les règles de décisions (notées R)
- les actions (elles sont dans le compartiment des opérations de l'objet « Agriculteur »)

Comme indiqué dans la méthodologie, les croyances sur l'état du système se retrouvent dans les diagrammes EPR au niveau des attributs des entités. Les croyances sur le fonctionnement du système sont indiquées par des flèches. Les règles de décisions peuvent être associées à des règles de fonctionnement du système liées à l'entité agriculteur ou encore aux opérations de l'entité agriculteur. Les indicateurs peuvent être identifiés au niveau des attributs des entités. Enfin les actions sont la plupart du temps dans le compartiment des opérations de l'entité agriculteur.

Ainsi, et à titre d'exemple, nous avons annoté dans la Figure 39 le type d'information auquel chacune des données du diagramme EPR correspond. On remarque dans cette figure que les attributs peuvent être soit des indicateurs, soit des croyances sur l'état du système. Le deuxième cas apparaît lorsque l'attribut est lui-même dépendant de croyances. Ainsi, dans la Figure 39, pour savoir s'il pourra obtenir un bon rendement pour une culture donnée, l'agriculteur se base sur les résultats obtenus pour cette culture dans le passé (par lui ou par les autres) ainsi que sur l'idée qu'il se fait de la fertilité du sol.

Le rendement attendu est donc lui-même une croyance, une cognition à propos du fonctionnement du système. Dans d'autres cas, le jeu des croyances qui conditionne l'idée que l'acteur se fait d'un état du système peut être beaucoup plus complexe. Par exemple, cet agriculteur estime la fertilité du sol par rapport à la structure du sol et à son pH (s'il le connaît) mais également par rapport à l'influence de la forêt dans ce processus, ainsi que par rapport aux résultats cultureux obtenus précédemment sur ce sol (les résultats de cultures jouant alors le rôle d'indicateur). Enfin, dans d'autres cas, certains états du système sont directement reliés à des indicateurs, autrement dit à la perception, comme par exemple : le fumier est cher (C_e) car son prix (I) est élevé.

⁶³ Le fait que ces diagrammes respectent la façon dont les règles ont été exprimées par les acteurs et qu'il soit aisé de revenir à la transcription d'origine, a facilité ce travail de formalisation.

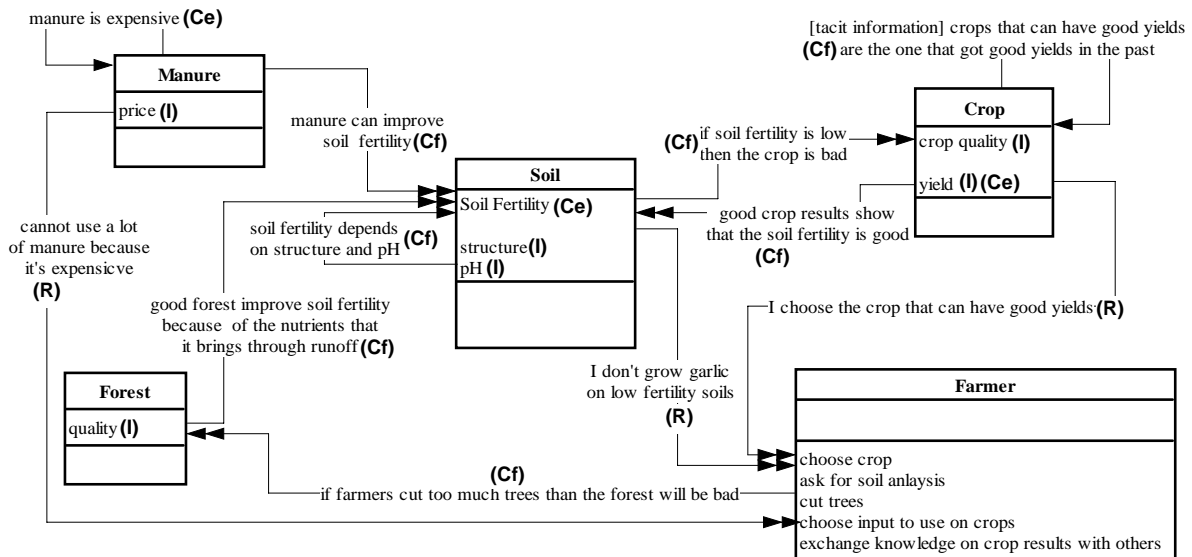


Figure 39 : Extrait d'un diagramme EPR de l'agriculteur 5 sur les choix de cultures et la fertilité des sols à Sai Mun

Nous remarquons, en outre, dans la Figure 38, et dans les autres diagrammes EPR, que les opérations liées aux processus biophysiques ne sont pas indiquées. Typiquement dans la Figure 38, les opérations liées au fonctionnement de l'objet « Culture », telle que l'élaboration du rendement, sont absentes. Cela tient au fait que les diagrammes EPR ont pour but de formaliser les représentations des agriculteurs et non pas le fonctionnement des processus biophysiques. Au niveau de l'implémentation de ces processus biophysiques, nous verrons à la section 11.4, qu'elle est basée sur des modèles scientifiques tels que des modèles agronomiques et hydrologiques. Ces modèles ne correspondent donc pas aux croyances des agriculteurs, et ils sont d'ailleurs implémentés séparément des croyances des agents. Le lien entre les processus biophysiques des modèles scientifiques et les croyances des agents se feront alors via la perception des agents de leur environnement d'une part et les actions des agents sur l'environnement d'autre part (voir la méthodologie à la section 8.2 ainsi que les résultats à la section 11.3).

10.2.2. Hétérogénéité des représentations dans les diagrammes EPR

a) Exemples de diagrammes hétérogènes

Les diagrammes EPR présentent des croyances et des orientations de comportement différentes d'un diagramme à l'autre. Cela se remarque lors de la comparaison des diagrammes entre eux. Parfois l'orientation de l'agriculteur par rapport à tel ou tel type de croyances ou de comportements apparaît assez clairement sur le diagramme. Par exemple sur la Figure 40, l'entité « sol » apparaît comme une entité centrale de la représentation de cet agriculteur. L'agriculteur se fait une représentation de la dynamique de cette entité par rapport aux éléments du système naturel (ex. relation entre le sol et la montagne, interaction

entre l'eau et le sol). Il établit un système de croyances du sol par rapport aux différentes entités de gestion (ex. le sol par rapport aux engrais chimiques, au compost, au fumier, aux cultures). Il en tire des conséquences par rapport à ses choix de culture (ex. choix de culture en fonction du pH du sol, réalisation de compost, diminution de l'utilisation des engrais chimiques).

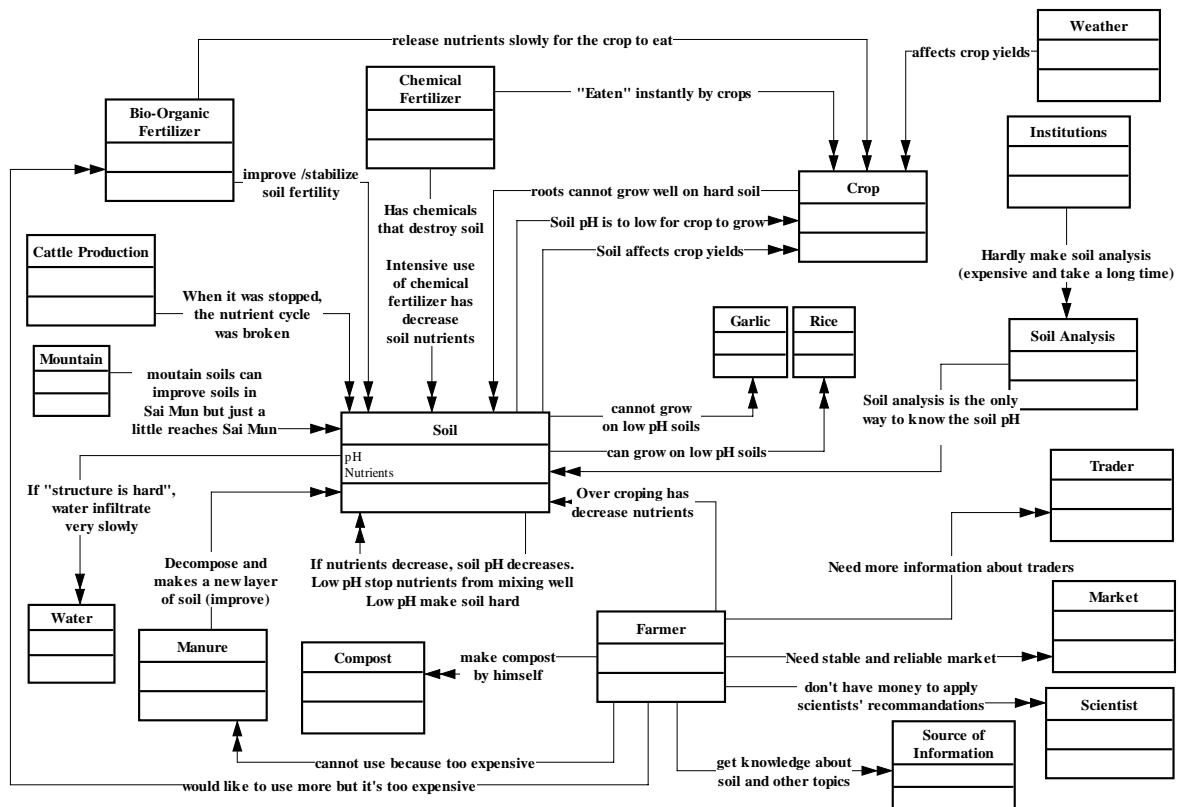


Figure 40 : Extrait du diagramme EPR de l'agriculteur 11 de Sai Mun – orientation sur le sol

A l'inverse, la Figure 41 présente la représentation d'un agriculteur plus axé sur la recherche du meilleur profit par rapport à sa production agricole. Les entités présentes dans ce diagramme relèvent plus du domaine de l'investissement et de la commercialisation des productions (ex. investissement, marché, négociant, produit agricole). Les entités du système naturel restent toutefois présentes (ex. la pluie, le sol) mais l'agriculteur les perçoit comme des entités qu'il faut gérer ou qui influent sur sa gestion. Le sol est ainsi clairement perçu comme un moyen de production (ex. « il faut investir du temps et de l'argent pour améliorer la fertilité du sol »). Des croyances sur le fonctionnement du marché apparaissent également dans ce diagramme (ex. saturation du marché, prix élevés en début de saison de récolte – celles-ci sont absentes de la Figure 40) et elles influent sur le comportement de production (ex. adoption d'un système de culture – riz pluvial puis ail – permettant de planter l'ail le plus tôt possible pour bénéficier de prix élevés au moment de la récolte).

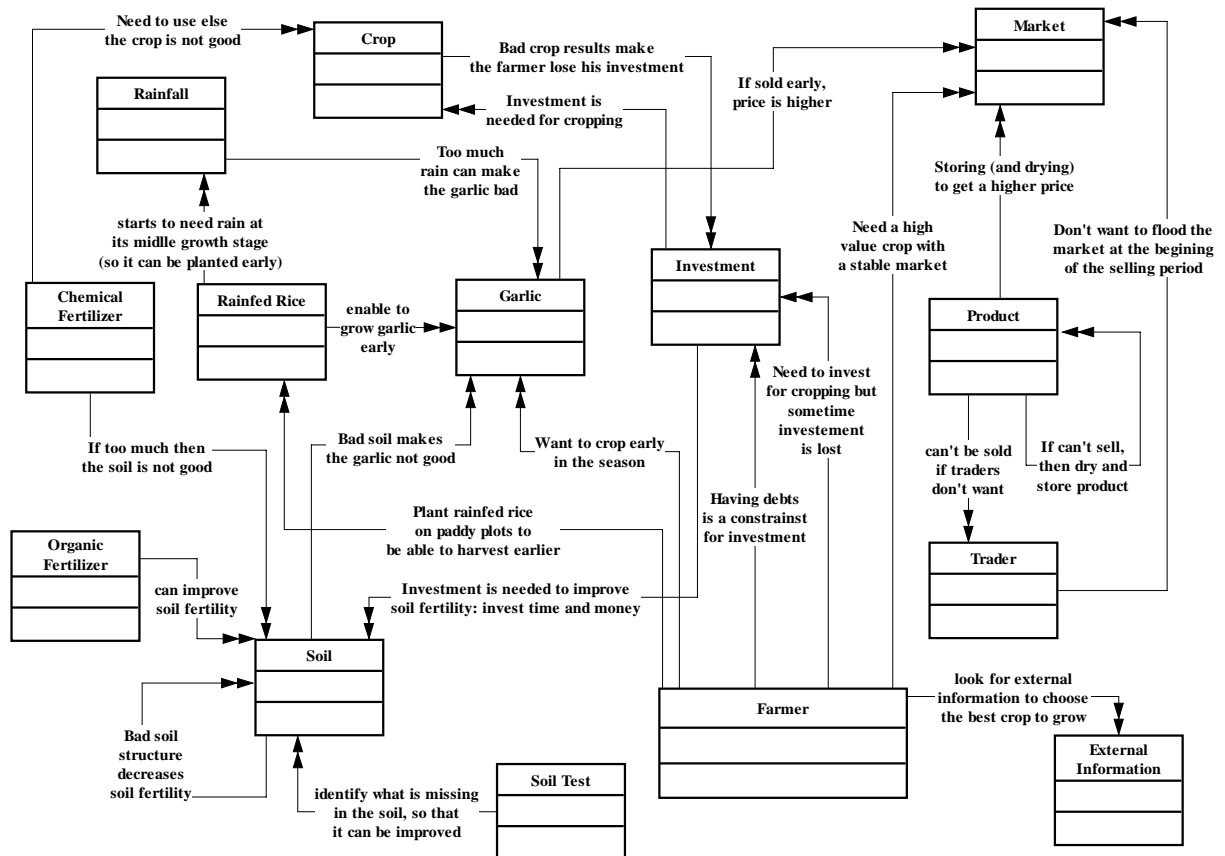


Figure 41 : Extrait du diagramme EPR de l'agriculteur 14 de Sai Mun orientation sur la production, le marché et la recherche du meilleur gain

b) Caractérisation de l'hétérogénéité

Afin de caractériser cette hétérogénéité des représentations, l'orientation de la représentation de chacun des diagrammes a été définie sur la base de la classification des entités retrouvées, tel que décrit dans la méthodologie à la section 7.3.3 (l'annexe 8 indique la classification des entités utilisée pour le village de Sai Mun).

Le Tableau 4 présente les orientations des diagrammes EPR de l'échantillon d'agriculteurs de Sai Mun.

La classe d'entités « Sol » indique que l'agriculteur porte une attention toute particulière à la gestion de la fertilité du sol, qu'il a établi un système de croyances en rapport à la dynamique de la fertilité du sol et possède une stratégie d'amélioration de la fertilité du sol. Pour ces agriculteurs, le sol est en quelque sorte un point de départ dans leur réflexion sur la gestion de leur exploitation (ex. « je cultive du soja parce que je dois améliorer le sol »). La classe d'entités « Profit » se rapporte aux agriculteurs pour qui la recherche du meilleur gain est un élément majeur dans la gestion de leur exploitation (cultures à hauts revenus, réflexion sur les investissements les plus profitables). Cette classe est souvent associée à la classe « Marché » qui se rapporte à des agriculteurs qui vont étudier les prix du marché avant de

faire leur choix de culture. Parfois, la classe « Marché » correspond à un comportement spéculatif.

Agriculteur	Orientation : Classes d'entités dominantes dans les diagrammes EPR
1	Cultures / Profit / Sol
2	Risque / Eau
3	Cultures / Partenaires (permettant l'accès à la connaissance)
4	Profit / Cultures / Marché (en tant que moyen pour accéder au profit)
5	Cultures / Sol / Environnement et Partenaires
6	Risque / Sol
7	Cultures / Sol (en tant que contrainte pour la production) / Eau
8	Profit / Marché / Cultures / Eau
9	Cultures / Sol / Partenaires / Eau
10	Profit / Cultures
11	Sol / Cultures
12	Sol / Partenaires
13	Profit / Marché
14	Marché / Profit / et de moindre importance Cultures et Sol (en tant que moyen de production)

Tableau 4: Orientations des agriculteurs de Sai Mun établies à partir des diagrammes EPR

Les agriculteurs qui ne sont pas axés sur le marché perçoivent le marché comme une entité extérieure à leur système qu'ils subissent sans pouvoir intervenir dessus (ex. « si le marché s'effondre on ne peut plus cultiver »). La classe d'entités « Partenaires » se réfère aux agriculteurs pour qui les différents partenaires agricoles (conseillers agricoles, institutions, entreprises privées) font partie intégrante de leur système (les autres agriculteurs perçoivent ces partenaires comme des éléments extérieurs à leur système). La collaboration avec les partenaires est alors privilégiée, soit pour accéder à des informations, soit pour produire (ex. culture sous contrat). La classe « Risque » est associée à des agriculteurs qui appréhendent le risque de pouvoir perdre de l'argent. Cette notion de risque est la plupart du temps liée à l'endettement (ex. « Je ne peux pas prendre le risque de perdre de l'argent parce que j'ai déjà des emprunts importants. C'est pourquoi je dois cultiver des cultures qui ne demandent pas beaucoup d'investissement »). La classe « Cultures » se réfère aux agriculteurs pour qui l'activité de cultiver est importante en soit : le fait de réfléchir et d'essayer différentes cultures et différentes techniques de cultures. Enfin la classe « Eau » indique que l'agriculteur porte une attention particulière à la gestion de l'eau. Ces agriculteurs ont développé une réflexion par rapport à la dynamique de la ressource en eau qui les amène à adopter une certaine approche dans leur gestion quotidienne ou saisonnière de l'eau. A l'inverse, les autres agriculteurs perçoivent l'irrigation plutôt comme une tâche nécessaire pour la production mais sans vraiment la considérer comme un élément de gestion de leur système agricole

(cela n'empêche pas que ces agriculteurs conçoivent l'irrigation dans un système de gestion collective de l'eau au sein du périmètre irrigué).

Ainsi, le Tableau 4 montre comment les représentations des agriculteurs sont portées sur des aspects différents du système (tant au niveau des croyances qu'au niveau des comportements et des éléments de gestion pris en compte – voir l'introduction du chapitre 3 pour la définition du terme « représentation » et la section 3.1.2 pour plus de précisions sur la notion de « croyance »). Cette synthèse permet donc d'avoir un aperçu de l'hétérogénéité des représentations des agriculteurs pouvant être identifiée via la technique d'élicitation utilisée.

10.3. Phase de vérification

Nous décrivons tout d'abord les résultats obtenus à partir des *Playable Stories*, puis l'utilisation de ces résultats pour la vérification des représentations des diagrammes EPR.

10.3.1. Présentation des résultats

L'application de la méthode des *Playable Stories* a agi comme une nouvelle phase d'élicitation. A ce titre un certain nombre de résultats ont permis d'enrichir les représentations déjà élicitées lors de la phase précédente. En outre, les *Playable Stories* se sont montrées particulièrement intéressantes pour faire ressortir l'orientation des comportements des agriculteurs. Cela fera l'objet du deuxième paragraphe de la description des résultats obtenus par cette méthode.

a) Types d'informations élicitées

Les entités du système perçues par les agriculteurs et identifiées lors des différentes phases des *Playable Stories* sont axées sur l'exploitation agricole plutôt que sur son environnement. Cela provient vraisemblablement de l'échelle du domaine qui est fixée par la méthode. En effet, lors de la première phase des *Playable Stories* nous demandons à l'agriculteur de choisir les cartes qui sont importantes pour lui en tant qu'agriculteur du village considéré. De ce fait le domaine est en quelque sorte restreint à l'échelle du village. De même, l'histoire qui est racontée aux agriculteurs durant la deuxième phase des *Playable Stories* est également portée sur cette échelle. Les éléments ludiques utilisés durant cette phase, tel que les billets de banque factices ont certainement contribué à restreindre le domaine d'élicitation aux aspects de production et à l'échelle de l'exploitation agricole. Ainsi, les résultats des *Playable Stories* sont difficilement exploitables pour vérifier les entités des diagrammes EPR qui relèvent du domaine de l'environnement du village (et notamment de l'environnement naturel).

Néanmoins, s'agissant du domaine de l'exploitation agricole, chacune des phases des *Playable Stories* a contribué à mieux cerner la représentation que les agriculteurs ont de la

gestion de leur exploitation agricole. La deuxième phase des *Playable Stories* (mise en situation au travers d'un récit raconté au participant) a notamment permis d'identifier de nouvelles entités qui n'étaient pas, ou peu, apparues dans les diagrammes EPR. C'est par exemple le cas de la notion de risque (souvent associée à l'endettement) qui avait été identifiée dans les diagrammes EPR mais qui est ressortie plus clairement durant les *Playable Stories*⁶⁴. Un certain nombre d'informations tacites ont également été identifiées lors de la deuxième phase telle que l'utilisation de certains intrants ou les dépenses courantes (liées à la famille notamment).

En outre, le fait que les agriculteurs ont été amenés à construire par eux-mêmes un modèle conceptuel de leur système a grandement contribué à caractériser l'importance que les agriculteurs accordent aux différentes entités. Les agriculteurs commentaient les différentes entités, indiquant le rôle qu'elles jouaient dans leur conception. Ils indiquaient parfois qu'une entité était peu ou pas importante. Durant la troisième phase, ils se servaient des entités qui leur paraissaient les plus importantes pour décrire leur modèle conceptuel. C'est notamment au travers des résultats de cette troisième phase que l'hétérogénéité des représentations des agriculteurs apparaît le plus clairement.

b) Hétérogénéité des représentations

Exemples de résultats hétérogènes

Durant la troisième phase des *Playable Stories* les agriculteurs relient les entités entre-elles afin de constituer un modèle conceptuel de leur système. La plupart du temps, les agriculteurs trient et regroupent les entités entre elles pour parvenir à construire ce modèle.

Les modèles conceptuels obtenus démontrent bien l'orientation des représentations et leur hétérogénéité. Voici deux exemples : la Figure 42 présente les modèles conceptuels réalisés par deux agriculteurs différents de Buak Jan. Pour l'agriculteur de gauche dans la Figure 42 la production agricole est perçue comme un investissement permettant de générer du profit alors réinvesti dans le système de production (avec parfois des pertes d'argent). La production agricole est abordée de manière tout à fait différente par l'agriculteur de droite. S'il est possible que ce dernier perçoive la finalité de son activité agricole de la même façon que l'agriculteur précédent, il intègre néanmoins son activité dans un système de gestion de la ressource en sol, pour lequel il développe une réflexion et une action spécifique (utilisation d'intrants, contrôle de l'érosion). De même, alors que l'agriculteur de gauche relie le profit à

⁶⁴ Il est possible que ces nouvelles informations soient apparues en raison des changements survenus entre le moment où on a interrogé les personnes pour la phase d'enquête et le moment où nous avons réalisé les *Playable Stories*. Nous reviendrons sur cet aspect dans la partie Discussion.

un réinvestissement dans le système de production, d'autres agriculteurs ont associé le profit à l'entité « famille » ce qui dénote une toute autre conception des objectifs recherchés. Ainsi, encore une fois, nous retrouvons différentes conceptions et représentations du système de production au sein des agriculteurs d'un même village.

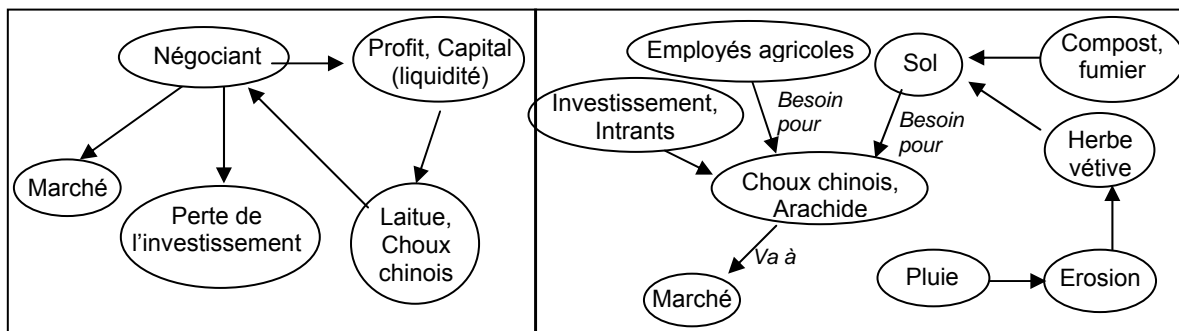


Figure 42 : Modèles conceptuels des agriculteurs 9 (à gauche) et 12 (à droite) réalisés lors de la troisième phase des Playable Stories à Buak Jan

Le second exemple illustre cette fois-ci deux conceptions différentes de l'apprentissage et de l'accès à l'information (Figure 43). L'agriculteur 4 (en haut) conçoit l'apprentissage comme un processus lié à sa propre expérience. C'est en essayant différents intrants qu'il s'est construit une conception du lien entre les engrais chimiques ou les engrais « bio-organiques»⁶⁵ par rapport au sol. L'agriculteur 3 (en bas) conçoit l'apprentissage dans sa relation aux autres agriculteurs et dans la recherche d'informations auprès de différents partenaires agricoles. Ainsi, le bureau du district procure des informations sur le climat (prévisions météorologiques). Les entreprises avec lesquelles l'agriculteur réalise des cultures sous-contrat sont une également une source d'information pour la gestion des parcelles. En outre le schéma de l'agriculteur 3 illustre bien une stratégie de production basée sur la collaboration avec les diverses partenaires agricoles.

L'entité « emprunt » qui est liée à l'investissement (les agriculteurs empruntent en début de campagne pour acheter les divers intrants nécessaires à la production) se retrouve dans les deux schémas de la Figure 8. La Figure 44 illustre le cas d'agriculteurs pour qui l'endettement lié aux emprunts prend un rôle central dans la gestion de leur exploitation. La conception de l'agriculteur 7, est que la baisse de fertilité du sol à Sai Mun a occasionné un surendettement qui l'amène à cultiver des cultures demandant un minimum d'investissement (c'est typiquement le cas des agriculteurs associés à la classe « Risque » dans le Tableau 4). L'agriculteur de la Figure 44 perçoit son système de production comme un cercle vicieux

⁶⁵ Les engrais « bio-organiques » sont une marque d'engrais que l'industriel appelle « biologique » pour des raisons commerciales. Leur composition est en réalité relativement proche des engrais classiques.

dans lequel il continue à s'endetter. La notion de « chance » (chance d'obtenir une bonne production pour pouvoir rembourser ses dettes) est alors, dans sa conception, le facteur qui lui permettra d'échapper à ce cercle vicieux.

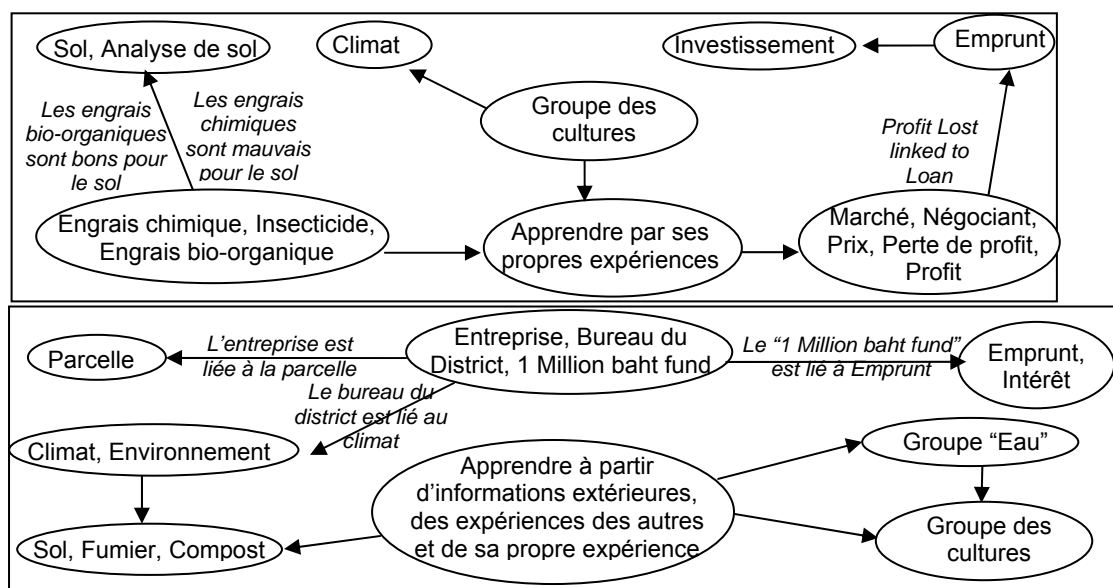


Figure 43 : Deux conceptions différentes de l'apprentissage à Sai Mun (agriculteur 4 en haut, agriculteur 3 en bas)

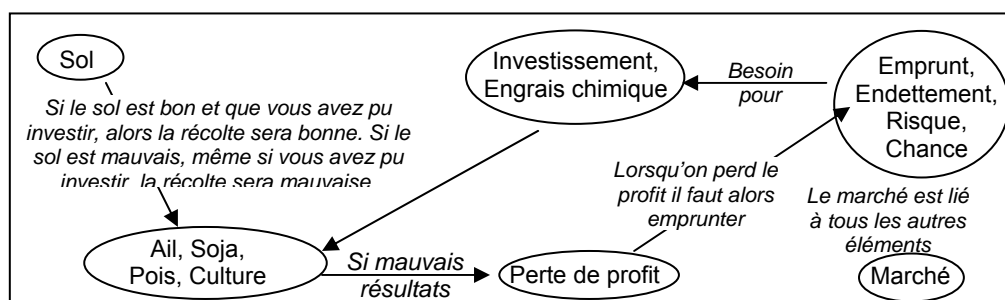


Figure 44 : Perception du risque et de l'endettement à Sai Mun (agriculteur 7)

Ainsi les *Playable Stories* ont révélé certaines caractéristiques de l'hétérogénéité existant entre les représentations de l'échantillon d'agriculteurs enquêtés. Dans la section qui suit nous caractérisons cette hétérogénéité au travers des orientations des représentations.

Caractérisation de l'hétérogénéité

De même que pour les diagrammes EPR, nous avons établi les différentes orientations de croyances et de comportements sous la forme d'une liste de classes d'entités caractérisant le profil de chaque agriculteur. L'établissement de ces orientations, comme indiqué dans la méthodologie, est basé sur un dénombrement des entités citées, les commentaires des agriculteurs à propos des entités et la configuration des modèles conceptuels réalisés lors de la troisième phase 3 des *Playable Stories*. Le tableau ci-dessous présente un échantillon des résultats obtenus à Sai Mun et à Buak Jan.

Agriculteur	Orientation : Classes d'entités dominantes dans les <i>Playable Stories</i>
1	Sol / Emprunt / Profit / Cultures
3	Partenaires / Cultures
4	Profit / Marché / Cultures
5	Sol / Cultures
7	Emprunt / Risque / Eau
8	Profit / Marché / Eau
9	Emprunt / Marché / Profit / Cultures
11	Sol / Cultures
14	Marché / Profit

Tableau 5: Orientations des agriculteurs de Sai Mun établies à partir des *Playable Stories*

10.3.2. Résultats de la vérification

a) Comparaison à l'échelle des entités

Le premier niveau de comparaison est à l'échelle des entités. C'est-à-dire que nous avons vérifié, agriculteur par agriculteur, si nous retrouvons les entités des diagrammes EPR dans les résultats des *Playable Stories*. En moyenne sur notre échantillon, nous trouvons 76% d'entités identiques entre les deux méthodes. Ce pourcentage varie d'un agriculteur à l'autre, avec 53% d'entités identiques au minimum et 91% au maximum.

b) Comparaison à l'échelle globale

Nous avons également comparé les orientations des représentations retrouvées par les deux méthodes. Dans deux tiers des cas nous trouvons des résultats identiques entre les deux orientations établies pour chaque agriculteur. Pour le dernier tiers de notre échantillon, nous trouvons soit des orientations différentes avec des éléments de similitude (quelques classes d'entités dominantes varient), soit des orientations très différentes (la plupart des classes d'entités dominantes changent).

Etant donné la durée écoulée entre l'application des deux méthodes, ces résultats sont relativement raisonnables. En effet, deux mois se sont écoulés entre l'application des deux méthodes et il est vraisemblable que les centres d'intérêts et les préoccupations des agriculteurs aient changés entre ces deux moments. C'est pourquoi, nous considérons que les résultats des *Playable Stories* sont conformes à ceux des diagrammes EPR, et donc que la méthode d'élicitation utilisée dans les diagrammes EPR est vérifiée. D'un autre côté, nous avons trouvé dans les *Playable Stories* des résultats qui complètent ceux des diagrammes EPR et c'est pourquoi nous basons la modélisation des représentations sur les résultats des diagrammes EPR certes, mais également sur ceux des *Playable Stories* en guise de complément d'information.

Rappelons enfin, que pour cette vérification nous n'utilisons pas les orientations de représentations définies après la phase d'enquête (présentées à gauche de la Figure 36), du

fait que leur formalisme est différent de celui utilisé pour les diagrammes EPR et pour les *Playable Stories*. Néanmoins, les orientations de représentations définies après la phase d'enquête, ainsi que notre « connaissance intime » des agriculteurs issue de la démarche ethnographique appliquée, sont cohérentes avec les résultats du Tableau 5.

Dans le chapitre qui suit nous présentons les résultats obtenus lors de l'étape de modélisation. Pour cela, les diagrammes EPR apportent des informations quant aux croyances sur l'état et le fonctionnement du système, les indicateurs observés et les règles de décisions pour les diagrammes EPR. Les différentes orientations de comportement sont quant à elles modélisées sur la base des résultats des diagrammes EPR ainsi que des *Playable Stories*.

11. Résultats de l'étape de modélisation des représentations

Dans ce chapitre nous présentons tout d'abord les résultats de l'implémentation des agents-agriculteurs du modèle (méta-modèle et stratégies des agents), puis le couplage des agents avec le modèle biophysique et finalement le modèle biophysique implémenté.

Dans le laps de temps qui nous était imparti pour la thèse, nous avons pu effectuer le travail de modélisation et de test du modèle que sur l'un des deux villages étudiés. Nous nous sommes concentrés sur la modélisation des représentations des agriculteurs du village de Sai Mun. Pour cela nous avons utilisé les diagrammes EPR comme base pour implémenter les procédures du modèle d'agent, mais également les résultats des *Playable Stories* ainsi que les autres données récoltées via la méthode ethnographique (discussions informelles et observations). Parmi les informations contenues dans les diagrammes EPR, nous avons implémenté les règles de fonctionnement du système relatives à des croyances ou à des prises de décisions. Afin de coder ces assertions, nous avons procédé de la même manière que pour l'expérience de l'Orb, à la différence que les entités (ou concepts) n'ont pas été codées sous forme de classes du modèle, mais sous la forme de procédures d'accès. Dans la plupart des cas, ces procédures d'accès renvoient vers la croyance qu'a l'agent à propos de l'état de l'entité en question (cette information étant stockée dans une base de connaissance de l'agent). Ainsi, pour une assertion telle que « *si le sol est mauvais [l'agriculteur perçoit une mauvaise fertilité du sol], je cultive du soja* », nous avons codé une base de connaissance à propos du sol et une procédure d'accès vers cette base de connaissance qui, lorsque le résultat indique que la fertilité du sol est faible, va induire la décision de planter du soja. Par contre, lorsque la référence à une entité dans un diagramme EPR n'indique pas une croyance sur l'état de l'entité, mais une croyance sur son fonctionnement, la procédure d'accès renvoie alors vers une procédure stockée dans le compartiment « croyances sur le fonctionnement du système » de l'agent. Ainsi, les

références à l'entité « fumier », renvoient vers une procédure indiquant que le fumier permet d'améliorer la fertilité du sol.

Afin de traduire l'hétérogénéité des représentations des agriculteurs enquêtés nous avons identifié les différences de comportement quant aux différentes activités entreprises. Les différents types de comportements ont été codés au sein de stratégies distinctes appartenant aux différents rôles de l'agent (les rôles des agents-agriculteurs correspondent aux différentes activités des agriculteurs). Pour cela, nous avons d'abord établi le méta-modèle de l'agent-agriculteur qui est commun à l'ensemble des agents-agriculteurs du modèle, puis nous avons codé les différentes stratégies sur la base de ce méta-modèle.

11.1. Le méta-modèle de l'agent-agriculteur

Le méta-modèle de l'agent-agriculteur reprend l'architecture d'agent définie dans le cadre de notre méthodologie. Pour chaque compartiment de l'architecture, il rassemble ce qui est commun à l'ensemble des diagrammes EPR réalisés.

Ainsi, dans le diagramme EPR de la Figure 39 présenté au chapitre précédent, les entités sol, culture et fumier (intrant) sont communes à l'ensemble des représentations identifiées et font référence à un état du système⁶⁶. Elles sont donc intégrées dans le méta-modèle au niveau du compartiment « Croyances sur l'état du système ». Informatiquement, chacune de ces entités est représentée par un dictionnaire qui associe des valeurs à des clés. Les clés correspondent aux attributs de l'entité (structure et pH pour le sol, prix pour le fumier, rendement et qualité pour chaque type de culture) et les valeurs sont les croyances particulières de l'agent par rapport à ces attributs à un moment donné (la qualité de la culture est bonne). Les compartiments « exécution » et « prise de décision » ont été renseignés de la même manière en s'appuyant sur les procédures de l'entité agriculteur des diagrammes EPR. L'implémentation des procédures d'exécution est réalisée au niveau de la classe agent-agriculteur. Par contre les procédures de prise de décision sont des procédures d'appels vers les classes « stratégies » car la décision sera différente d'une stratégie à l'autre. Ainsi, lorsque la procédure « choix de culture » est appelée, chaque type d'agent effectue un calcul d'une manière qui lui est propre au niveau de la classe « stratégie » et le résultat est renvoyé à la classe agent-agriculteur.

La Figure 45 décrit le méta-modèle de l'agent-agriculteur pour le village de Sai Mun. Chaque agent-agriculteur a une représentation de l'état des cultures, des intrants, du sol, des partenaires agricoles et du marché. Néanmoins les informations contenues dans chacune de

⁶⁶ Dans la Figure 39, la référence à l'entité Forêt est spécifique à cet agriculteur et n'a donc pas été intégrée dans le méta-modèle.

ces catégories diffèrent d'un agent à l'autre selon sa propre évolution lors de la simulation. De la même manière, chaque agent-agriculteur peut planter, récolter, utiliser des intrants, irriguer, recueillir des informations,...

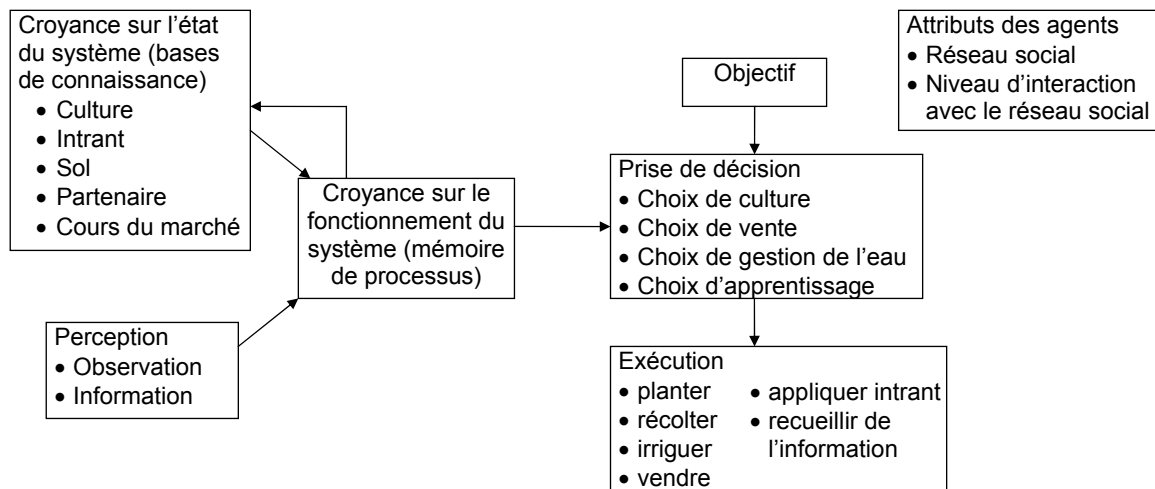


Figure 45 : Méta-modèle de l'agent-agriculteur de Sai Mun

Dans le compartiment « prise de décision », les quatre types d'activités réalisées par les agriculteurs enquêtés font l'objet d'une procédure de décision différente. L'activité de production agricole se réfère principalement aux choix de culture et aux choix d'utilisation d'intrants. Pour l'activité de commercialisation, l'agent devra décider de vendre ou de stocker les produits agricoles pour une vente ultérieure. La gestion de l'eau appelle des choix tels que : décider d'irriguer, informer le gestionnaire du périmètre irrigué d'un manque d'eau, décider de suivre un tour d'eau ou pas. Enfin, les choix d'apprentissage consistent - à recueillir des informations à propos des cultures réalisées ou des intrants utilisés, soit auprès des autres agents-agriculteurs du réseau social, soit auprès des partenaires agricoles - à comparer ces informations, ainsi qu'à communiquer des informations aux autres agents-agriculteurs du réseau social. Pour chacune de ces quatre activités, un rôle (et donc une série de stratégies pour chacun des rôles) est créé sous la forme d'une classe reliée à la classe agriculteur (les classes stratégies sont des sous classes des classes rôles : voir la section 8.1.2 et les architectures agent-groupe-rôle (Abrami 2004, Ferber et Gutknecht 1998)).

En outre chaque agent-agriculteur est caractérisé par son appartenance à un réseau social et par la quantité d'informations qu'il échange avec ce réseau social. Les informations ayant servi à formaliser ces paramètres proviennent des observations faites dans le cadre de la démarche ethnographique. L'enquête ethnographique nous avait alors appris que les agriculteurs du village de Sai Mun appartiennent à différents réseaux sociaux à l'intérieur desquels des échanges d'informations et de services s'opèrent. Ainsi, lors des simulations la dynamique d'apprentissage des agents est dépendante du réseau social auquel l'agent

appartient et du degré d'implication de l'agent dans ce réseau (l'annexe 9 indique la façon dont le réseau social du village a été implémenté).

Enfin le compartiment « Croyances sur le fonctionnement du système » est vide car chaque type d'agent-agriculteur a ses propres croyances sur le fonctionnement du système. De même chaque type d'agent-agriculteur a ses propres perceptions et ses propres objectifs.

Dans la section suivante, nous décrivons les différentes stratégies identifiées pour chacune des activités entreprises par les agriculteurs, et comment ces stratégies ont été implémentées dans le modèle d'agent.

11.2. Les différents rôles et stratégies des agents-agriculteurs

11.2.1. Implémentation des stratégies

Pour chaque activité, un rôle est associé à l'agent-agriculteur : rôle de cultivateur, rôle d'irriguant, rôle de commerçant et rôle d'apprenant. Et pour chaque rôle, un ensemble de stratégies a été identifié à partir des différents types d'orientations de représentations trouvés à l'étape précédente. Chacune de ces stratégies définit un jeu particulier de perceptions, d'actions, de règles de décisions et de croyances sur le fonctionnement du système qui vont déterminer les actions de l'agent-agriculteur.

Orientations des diagrammes EPR	Orientations des <i>Playable Stories</i>	Stratégie retenue
Profit / Marché / Cultures / Eau	Profit / Marché / Eau	Profit
Marché / Profit (Cultures et Sol comme moyens de production)	Marché / Profit	
Sol / Cultures	Sol / Cultures	Sol
Cultures / Sol / Environnement et Partenaires	Sol / Cultures	
Cultures / Partenaires pour l'accès à la connaissance	Partenaires / Cultures	Partenaire
Cultures / Sol comme contrainte pour la production / Eau	Emprunt / Risque / Eau	Risque

Tableau 6 : Exemple de détermination des stratégies pour le rôle de cultivateur

Par exemple, pour le rôle de cultivateur (choix des cultures et des intrants) quatre types de stratégies ont été identifiées et implémentées : une stratégie de maximisation du profit, une stratégie centrée sur la gestion de la fertilité des sols et des pratiques culturales, une autre basée sur le partenariat avec les différents organismes agricoles, et une dernière axée sur la gestion et la minimisation du risque (risques agricole et financier). Ces quatre types de stratégies proviennent du recoupement et de la synthèse des deux classifications d'orientations de représentations provenant des diagrammes EPR et des *Playable Stories* (Tableau 6).

Les diagrammes EPR correspondant à chaque stratégie ont été fusionnés pour donner un seul diagramme EPR générique représentatif des croyances, des perceptions, des objectifs et des règles de décisions de cette stratégie⁶⁷. Ces diagrammes génériques ont ensuite été transposés dans l'architecture d'agent utilisée par notre méthodologie. Ainsi, pour la stratégie de gestion de la fertilité du sol et des pratiques culturales, nous obtenons l'architecture suivante (Figure 46).

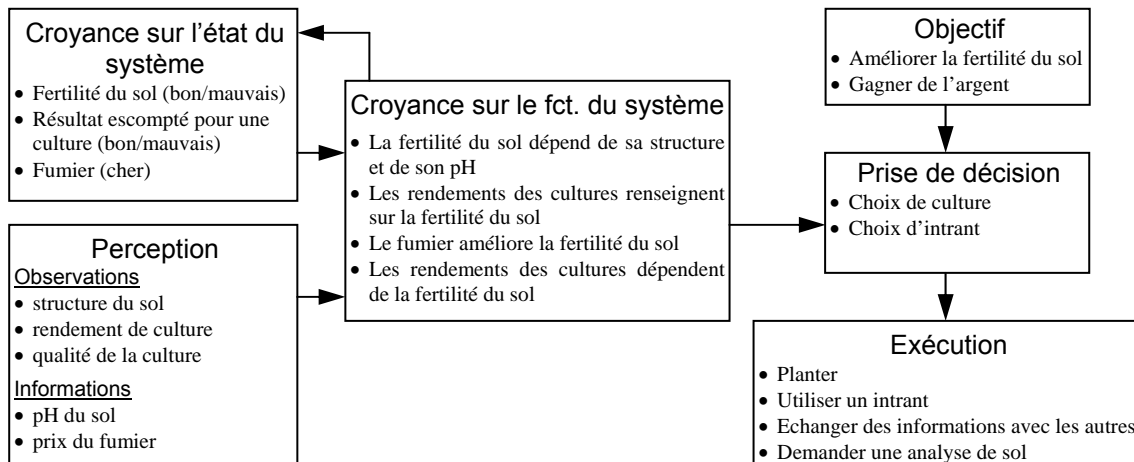


Figure 46 : Transcription de la stratégie « gestion de la fertilité du sol » du rôle cultivateur dans l'architecture d'agent

On retrouve dans cette figure les croyances, les indicateurs et les objectifs du diagramme EPR de la Figure 39 qui est un cas type de représentation orientée sur la gestion de la fertilité du sol. Par ailleurs, les règles de décision pour cette stratégie sont également extraites des diagrammes comme par exemple « ne pas planter de l'ail si la fertilité du sol est mauvaise ».

	Rôle de cultivateur	Rôle d'irriguant	Rôle de commercialisation	Rôle d'apprentissage
Stratégie	Maximisation du profit	Discipliné	Passif	Passif
	Gestion de la fertilité des sols	Indépendant	Spéculatif	Opportuniste
	Partenariat avec les organismes agricoles			Prospectif
	Gestion du risque			

Figure 47 : Stratégies implémentées pour chacun des rôles de l'agent-agriculteur

La détermination des stratégies et leurs implémentations dans l'architecture d'agent ont ainsi été réalisées pour chacun des rôles de l'agent-agriculteur. Les stratégies implémentées ne

⁶⁷ Cela a été rendu possible du fait que les informations contenues dans les diagrammes EPR de chaque stratégie ne se contredisaient pas, et ce, grâce à la détermination des orientations des représentations réalisée auparavant.

correspondent pas à un agriculteur donné, mais sont l'association des diagrammes EPR de différents agriculteurs partageant la même vision sur la façon de gérer les cultures, ou l'irrigation ou encore sur la commercialisation des produits agricoles.

Au final, et en suivant cette démarche, nous obtenons l'ensemble des stratégies suivantes (Figure 47).

11.2.2. Description des stratégies

A titre d'exemple, nous décrivons ci-dessous le détail du fonctionnement de l'une de ces stratégies : la stratégie de maximisation du profit du rôle de cultivateur. Les autres stratégies sont ensuite décrites plus sommairement.

Stratégie de culture : maximisation du profit

Les agents-agriculteurs ayant pour stratégie de culture la maximisation du profit vont choisir de planter la culture, parmi celles qu'ils connaissent (c'est-à-dire qui sont dans leur base de connaissance), ayant (i) la marge brute⁶⁸ la plus élevée et (ii) dont ils croient obtenir un bon prix lors de la vente de la récolte. La marge brute des cultures est une croyance individuelle de l'agent. Elle est calculée à partir des résultats obtenus précédemment par l'agent pour cette culture et les informations qu'il a pu récupérer dans son réseau social à propos de cette culture. La croyance de l'agent par rapport au prix de vente futur de la culture est basée sur sa connaissance des prix de vente dans le passé (expérience propre et informations provenant du réseau social). Si par rapport aux fluctuations intra-annuelles des prix de vente qui lui sont connues, il estime que l'époque à laquelle il vendra, le marché sera favorable (prix moyen ou élevé par rapport à la moyenne annuelle des prix) alors sa croyance sera qu'il obtiendra un bon prix de vente⁶⁹.

Stratégie de culture : gestion de la fertilité du sol

La stratégie de gestion de la fertilité du sol, correspond à des choix de cultures ayant pour objectif premier d'améliorer la fertilité du sol. Ainsi, lorsque leur perception de la fertilité du sol indique une mauvaise qualité du sol, les agents vont choisir de cultiver des légumineuses, et notamment du soja, voire même laisser la parcelle en jachère pendant un certain temps ce qui est considéré comme une technique d'amélioration de la fertilité du sol. De même, les intrants tels que le fumier ou le compost sont utilisés de manière plus

⁶⁸ La notion de marge brute a été introduite car elle reflète ce que les agriculteurs expriment par « *la culture qui va m'apporter le plus d'argent* ». Après discussion, nous avons compris qu'« *apporter le plus d'argent* » comprend aussi bien le revenu de la culture que les dépenses liées à cette culture.

⁶⁹ Ici encore cette formalisation provient des informations recueillies auprès des agriculteurs enquêtés. Les agriculteurs anticipent les prix de vente par rapport aux fluctuations intra-annuelles du marché

systématique que dans le cas de la stratégie de maximisation du profit. Au niveau de l'estimation de la fertilité du sol, cette stratégie prend en compte la qualité des cultures obtenues dans le passé mais également la perception de la structure du sol ainsi que le pH du sol lorsque celui-ci leur est connu. A ce titre, les agents appartenant à cette stratégie vont occasionnellement demander à des partenaires d'effectuer des analyses de pH sur leurs parcelles.

Stratégie de culture : partenariat avec les organismes agricoles

La stratégie basée sur le partenariat va chercher à établir des relations avec différents organismes agricoles. L'objectif recherché est notamment l'établissement de contrats de culture avec des entreprises privées présentes dans la zone. Ces entreprises fournissent les intrants et garantissent un prix d'achat des récoltes.

Stratégie de culture : gestion du risque

La stratégie de gestion du risque cherche notamment à diminuer le risque financier. Ce dernier est proportionnel aux montants des investissements nécessaires à la production. Dans le modèle, les choix de culture et d'intrants sont donc fortement contraints par le niveau d'endettement et la trésorerie au moment où les choix s'opèrent.

Les stratégies d'irrigation

Deux types de stratégies d'irrigation ont été identifiés et implémentés. Leur différenciation est liée au respect ou non des règles collectives de gestion de l'eau⁷⁰. Les règles de gestion collective de l'eau consistent essentiellement dans des tours d'eau au niveau du canal d'irrigation du périmètre irrigué (un canal par périmètre ; trois périmètres irrigués au sein de la zone agricole considérée). La mise en place des tours d'eau est décidée et gérée par le comité du périmètre irrigué en cas de manque d'eau lors de la saison sèche. Chaque agriculteur se voit alors affecter un jour et une heure où il peut prélever l'eau du canal selon une rotation d'environ 10 jours pour l'ensemble du périmètre irrigué. La stratégie d'irrigation dite « respectueuse » suit scrupuleusement les consignes données par le comité du périmètre. Les agents de la stratégie dite « indépendante » ne suivent ces consignes que lorsqu'ils ne perçoivent pas de manque d'eau sur leurs parcelles cultivées. Dans le cas inverse, ils prélèvent l'eau du canal et irriguent les cultures ayant besoin d'eau.

Les stratégies de commercialisation

qu'ils connaissent via leurs expériences passées et non pas par rapport aux tendances actuelles du marché qu'ils considèrent comme trop aléatoires pour être prises en compte.

⁷⁰ Au niveau des règles individuelles de gestion de l'eau, les résultats de la première étape de la méthodologie ont montré qu'il n'existe pas de différences significatives au sein de l'échantillon d'agriculteurs enquêtés (même calendrier d'irrigation, même façon de percevoir les besoins en eau des cultures, même technique d'irrigation).

Les stratégies de commercialisation sont liées au choix du moment de vente des produits agricoles. La stratégie spéculative consiste à attendre le meilleur moment par rapport aux prix du marché pour vendre les produits agricoles. A l'inverse, les agents-agriculteurs de la stratégie dite « passive » vendent leurs produits agricoles directement après la récolte. Cette différence prend toute son importance pour la production d'ail qui une fois séché peut être stocké pendant une période d'environ huit mois (les autres cultures n'ont qu'une faible durée de conservation après la récolte).

Les stratégies d'apprentissage

Trois types de stratégies d'apprentissage apparaissant dans les diagrammes EPR ont été implémentés. Dans les trois cas, les échanges d'informations, et donc l'apprentissage, au sein du village *via* les réseaux sociaux sont identiques. Par contre, ces trois stratégies se différencient par le niveau de communication avec les partenaires agricoles hors du village. Les agents-agriculteurs appartenant à la stratégie « passive » n'ont aucune communication avec les partenaires hors du village. Ceux de la stratégie « opportuniste » communiquent avec l'extérieur lorsque les partenaires agricoles font la démarche de venir à eux. Enfin, ceux de la stratégie « prospective » vont chercher l'information par eux-mêmes. Ils envoient des requêtes auprès des partenaires agricoles telles que des demandes d'analyses de pH, des informations sur les prix du marché, des requêtes pour obtenir des contrats de culture auprès des entreprises agricoles présentes dans la zone.

11.3. Couplage des agents-agriculteurs avec le modèle biophysique

Pour certaines observations du système réalisées par les acteurs, il nous est apparu impossible de modéliser l'ensemble des critères et des indicateurs pris en compte. C'est par exemple le cas de la qualité des cultures. Lors de questions additionnelles, les acteurs ont indiqué qu'une culture de bonne qualité est une culture dont le maintien est ferme, qui n'est pas flétrie, qui a la taille requise, qui n'a pas de carence nutritive et dont les feuilles sont de la bonne couleur. En réalité les acteurs n'utilisent pas tous ces indicateurs à chaque fois qu'ils évaluent la qualité d'une culture. Les indicateurs utilisés dépendent du contexte dans lequel l'acteur se trouve et de ce qu'il compte faire de cette estimation (si c'est pour faire un choix d'irrigation ou un choix de fertilisation par exemple). Néanmoins deux points ressortent de cet exemple : (1) dans certains cas plusieurs indicateurs sont utilisés pour estimer un état qualitatif du système, (2) la diversité de ces indicateurs rend leur modélisation difficile.

Face à l'utilisation de plusieurs indicateurs pour estimer un état qualitatif, des règles de priorités ou de combinaisons peuvent être utilisées pour synthétiser les informations. Par contre, la diversité des indicateurs utilisés est plus problématique dans le sens où chaque indicateur utilisé par un agent doit potentiellement être modélisé par le module biophysique du modèle. Il est alors apparu impossible de développer un modèle biophysique capable de

calculer, par exemple, à la fois la couleur des feuilles de différentes cultures, leur taille et leur flétrissement. Par ailleurs, cela n'est pas le but de notre modélisation et certains indicateurs sont trop annexes par rapport au but recherché. C'est pourquoi dans certains cas nous avons recours à des simplifications pour modéliser les méthodes d'observations des agents. L'expertise et la connaissance du système sont alors mobilisées pour permettre au modélisateur de choisir quels indicateurs d'une méthode d'observation seront utilisés. Ces choix, qui sont des hypothèses de modélisation, devront ensuite être vérifiés auprès des acteurs. Dans la plupart des cas, ces simplifications sont tout simplement imposées par ce qu'il est possible de modéliser sur le cas d'application étudié. Dans le cas du bassin versant du Nord Thaïlande par exemple, il ne nous était pas possible de modéliser la couleur des feuilles. Par contre nous avons des données suffisantes pour modéliser le stress hydrique des cultures et la fertilité du sol, et nous avons utilisé ces deux indicateurs pour déterminer l'état qualitatif de la qualité des cultures.

11.4. Les modèles de la dynamique biophysique

Les modèles de la dynamique biophysique sont basés sur les travaux réalisés durant le DEA (Becu 2001). Le modèle multi-agents CatchScape, avait alors été développé (Becu et al. 2003b, Becu et al. 2002, Becu et al. 2001). La partie biophysique de la première version de CatchScape comprenait un modèle de bilan hydrique (comprenant une fonction de production) et un module de calcul de rendement de culture ; tous deux fonctionnant à l'échelle de la parcelle. Dans la deuxième version de CatchScape développée à la suite du DEA, nous avons implémenté une fonction de transfert du ruissellement de surface et du drainage profond (le ruissellement et le drainage profond étant calculés par le modèle de bilan hydrique). Cette version était un premier pas vers une représentation semi-distribuée de la dynamique hydrologique. Le modèle hydrologique de la troisième et actuelle version développée durant la thèse, reprend les acquis des deux versions précédentes et structure l'espace et le modèle hydrologique selon une architecture dite « arc-nœud » (Le Goulven et al. 2003, Pouget et al. 2003). Cette architecture autorise une plus grande souplesse dans l'implémentation des différentes zones d'un bassin versant, en définissant des zones de demandes en eau et des zones de fournitures en eau. L'architecture du modèle biophysique de CatchScape3 (la troisième version) peut-être ainsi vue comme une architecture modulaire où des modules d'offre et de demande en eau s'articulent autour des nœuds du réseau hydrographique modélisé.

Nous décrivons tout d'abord la façon dont les caractéristiques de l'espace du bassin versant considéré sont implémentées dans CatchScape3. Puis, nous présentons brièvement le modèle de bilan hydrique et le module de calcul de rendement déjà présent dans CatchScape1 et décrit dans le mémoire de DEA. Nous décrivons ensuite le modèle

hydrologique qui fut conçu durant la thèse. Enfin nous présentons le modèle de fertilité des sols qui a été implémenté spécialement pour le cas d'application du village de Sai Mun.

11.4.1. Représentation de l'espace

L'espace du bassin versant est discrétisé en cellules unitaires reliées entre-elles par des relations de voisinage. L'ensemble des cellules forme une grille spatiale interconnectée⁷¹ aussi appelée automate cellulaire. La plupart des cellules représentent des espaces de 2 *rai* (0.32 hectares) qui sont à la fois les unités de calcul du bilan hydrique et les parcelles des agents-agriculteurs du modèle. Les cellules en périphérie des parcelles agricoles, mais au sein de la zone d'étude, représentent des espaces de 20 *rai* (3.2 hectares). Enfin les cellules correspondant à l'espace en dehors de la zone d'étude représentent des espaces de 1000 *rai* (160 hectares). Cette asymétrie permet de représenter sur une même grille spatiale tout l'espace de la zone modélisée tout en permettant une visualisation plus fine des parcelles agricoles qui nous intéressent. Le modèle de bilan hydrique fonctionne également sur les cellules de 20 *rai* et de 1000 *rai*. Néanmoins, comme nous le verrons par la suite, pour les cellules de 1000 *rai* cette très grande asymétrie engendre au niveau du modèle hydrologique des débits calculés trop importants par rapport aux données mesurées que nous avons.

A partir de données SIG, nous avons défini, pour chaque cellule, les caractéristiques, ou attributs, qui sont nécessaires au fonctionnement des modèles biophysiques. Les attributs en question sont l'occupation du sol, le type de sol et la zone de demande et d'offre en eau à laquelle la cellule appartient.

La Figure 48 est une vue de l'occupation du sol de l'interface graphique de CatchScape3. Les différents blocs de cellules correspondent à des espaces homogènes de gestion et de comportement hydrologique. Ils sont disjoints afin de permettre une meilleure lecture de l'interface graphique et de rendre compte de l'architecture modulaire du modèle. Ainsi dans la zone 4, les différents blocs de cellules de paddy correspondent chacun à un périmètre irrigué défini dans le modèle par une classe « Périmètre Irrigué » qui est un agrégat de cellules.

⁷¹ La grille spatiale est de connexité 8.

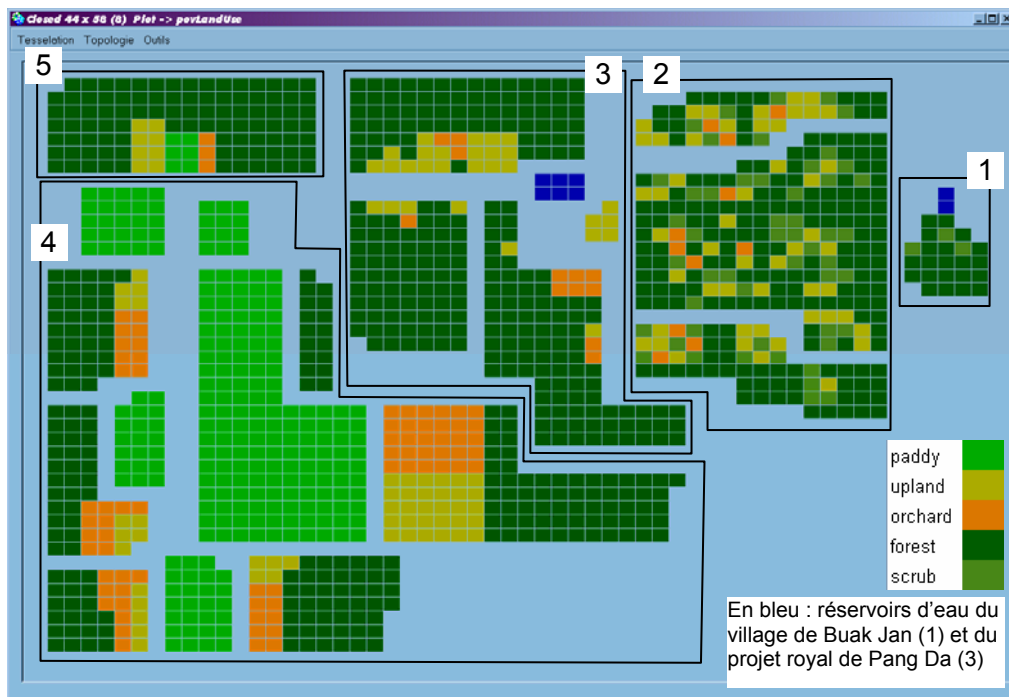


Figure 48 : Caractéristiques de l'occupation du sol de CatchScape3 : (1) bassin versant alimentant le réservoir d'eau du village de Buak Jan, (2) zone agricole de Buak Jan, (3) zone de Pang Da comprenant les parcelles du projet royal, les parcelles des agriculteurs habitant la zone et la forêt environnante, (4) bas-fond comprenant la zone agricole du village de Sai Mun et les forêt environnantes, (5) zone amont du bassin versant de Samoeng.

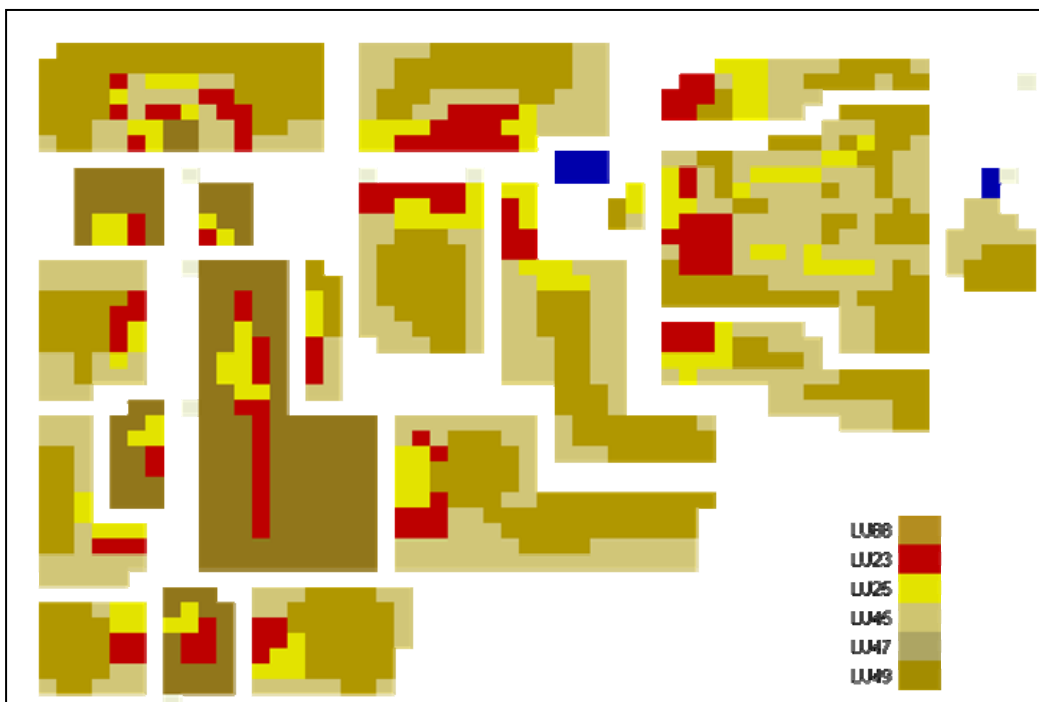


Figure 49 : Types de sol (land unit) de CatchScape3

La Figure 49 indique les différents types de sol extraits de la carte des sols de la zone fournie par le LDD (Land Development Department of Thailand). Pour chaque bloc les proportions des types de sol (land unit) de la carte du LDD sont respectées. Les « land unit » sont une classification des sols utilisée par le LDD regroupant des critères de texture, de profondeur du sol et de pente (Tableau 7). Les fonctions du modèle de bilan hydrique de CatchScape sont paramétrées sur cette classification des sols du LDD.

Land Unit	Texture	Depth	Slope
23	loamy	Deep	0-16
25	loamy	moderate	16-35
45	silty	Deep	0-16
47	silty	moderate	16-35
49	silty	moderate	>35
88	clayey	Deep	0-16

Tableau 7 : Caractéristiques des Land Units (source: LDD)

Le réseau hydrographique de la zone d'étude est représenté en superposition de la grille spatiale (dans la Figure 50 le réseau hydrographique est superposé à la vue de l'occupation du sol). Les zones 2 et 3 correspondent au bassin versant du Pang Da (le village de Buak Jan se trouvant à l'amont de ce bassin). La rivière du Pang Da (sens d'écoulement horizontal) s'écoule dans la rivière Samoeng (sens d'écoulement vertical). La rivière Samoeng alimente ensuite les périmètres irrigués autour du village de Sai Mun. Le bassin versant de la rivière Samoeng correspond aux zones 5 (en amont de la confluence avec la rivière Pang Da) et 4 (en aval de la confluence avec la rivière Pang Da). La zone 1 se trouve en dehors du bassin versant de Pang Da. Cependant, les agriculteurs pompent l'eau du réservoir du village, la remontent jusqu'à la crête du bassin versant et irriguent ainsi les parcelles se trouvant dans le bassin du Pang Da. De ce fait, nous avons inclus cette zone 1 dans le modèle.

Sur la base du réseau d'arcs et de nœuds de la Figure 50, les zones d'offre et de demande en eau ont été définies. Les zones d'offres correspondent aux différents sous-bassins de la zone d'étude⁷². Chaque nœud hydrologique est alimenté par une ou plusieurs zones d'offres. Les nœuds eux, alimentent les zones de demandes en eau. Ces zones de demandes correspondent aux zones agricoles irriguées, qui peuvent être des périmètres irrigués (zones de paddy dans les bas-fonds), des zones d'agriculture de plateau irriguées ou encore des zones d'agriculture de coteaux irriguées. La Figure 51 indique la zone de demande et d'offre

en eau à laquelle chaque cellule appartient (la couleur grise dans la carte des zones de demande en eau indique que les cellules ne sont pas irriguées et qu'elles n'appartiennent à aucune zone de demande).

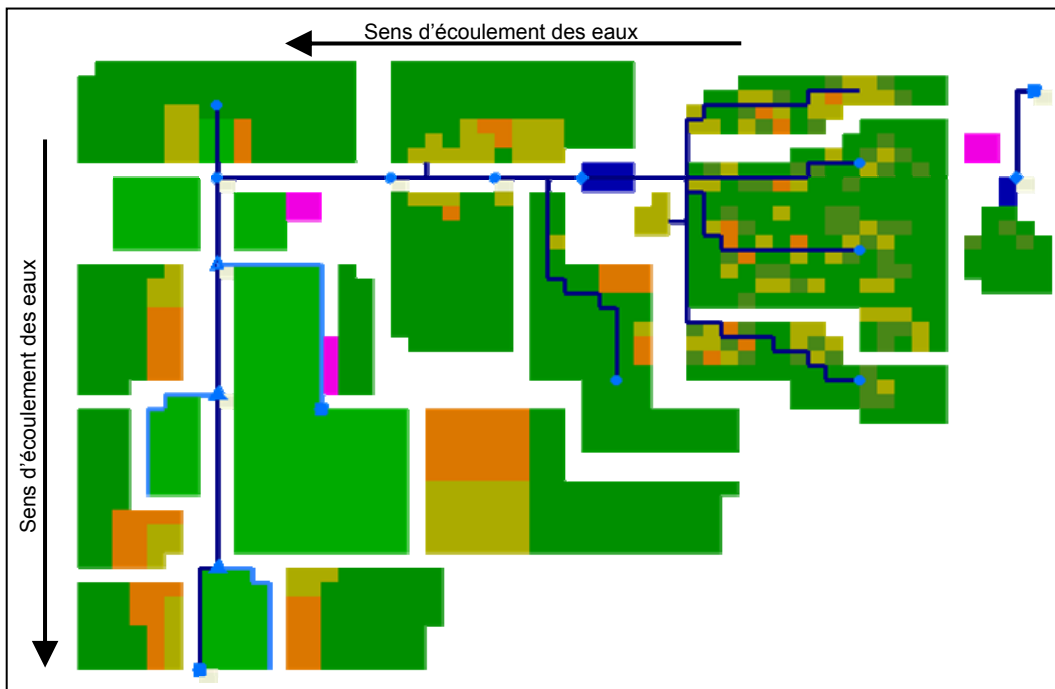


Figure 50 : Formalisation du réseau hydrographique sous la forme d'arcs et de nœuds (les cellules roses correspondent aux villages : à droite celui de Buak Jan, en haut à gauche celui de Samoeng, au milieu à gauche celui de Sai Mun).

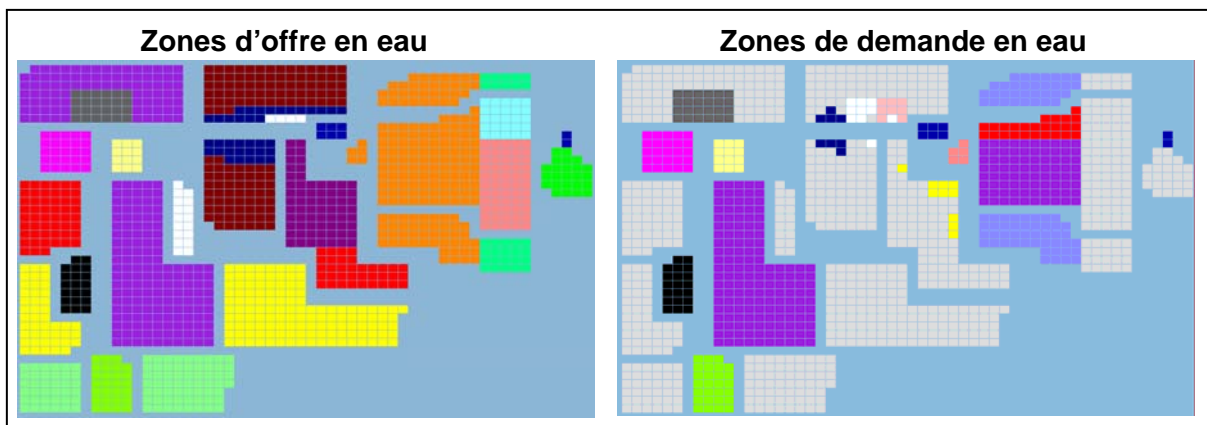


Figure 51 : Zones d'offre et de demande en eau de CatchScape3 (chaque couleur correspond à une zone d'offre ou de demande ; dans la figure de droite, la couleur grise indique qu'il n'y pas de demande)

⁷² La détermination des sous-bassins, dont les exutoires correspondent aux nœuds du réseau hydrographique, a été réalisée avec le logiciel SIG ArcView sur la base du MNT (Modèle Numérique de Terrain) de la zone.

Les modèles de la dynamique biophysique fonctionnent sur la base de la structuration de l'espace et des attributs des cellules que nous venons de présenter.

11.4.2. Le modèle de bilan hydrique et le calcul des rendements

Le modèle de bilan hydrique de CatchScape3 est quasi-identique à celui de la première version utilisée durant le DEA (Becu, et al. 2003b, Perez, et al. 2002). Sommairement, il s'agit d'un modèle conceptuel à deux réservoirs (un réservoir sol dont la capacité varie avec la texture et la profondeur du sol, et un réservoir correspondant à la zone racinaire). Le modèle fonctionne sur un pas de temps de dix jours, mais la fonction de production utilisée fonctionne elle sur un pas de temps pseudo-journalier. Cette dernière est fonction de trois paramètres, IS, CS et CC ; respectivement fonction de la texture du sol, de la pente et de la culture en place. Par rapport à la première version, nous avons ajouté une procédure faisant varier la valeur du coefficient d'infiltration du sol IS en fonction d'un nouveau paramètre, IK. Le paramètre IK représente l'imperméabilité du sol due aux événements pluvieux antérieurs. Il est mis à jour à chaque pas de temps en fonction de la lame de pluie de la dernière décade et de la fonction suivante établie et calibrée par Chevallier (1983).

$$IK_{t+1} = IK_t + \left(\frac{Lp_t + m}{m} \right) \cdot \exp^{-0.5}$$

avec : Lp : lame de pluie (mm)

m : lame de pluie moyenne sur 10 jours (=100mm)

A chaque pas de temps, le modèle calcule également l'évapotranspiration réelle (ETR) de chaque parcelle à partir de l'évapotranspiration potentielle (ETP) qui est une donnée d'entrée, de la quantité d'eau disponible dans le sol, de différents paramètres des cultures (coefficient de culture Kc variant avec le stade de croissance et potentiel de succion de la plante) et d'un coefficient de fertilité de la parcelle Kf. Par rapport à la première version de CatchScape, des modifications ont été apportées dans la procédure de calcul du coefficient Kf afin de tenir compte de la fertilité chimique et organique du sol. Nous décrivons ces ajouts dans le paragraphe consacré au modèle de fertilité des sols.

En fin de période de culture, le rendement est calculé à partir de l'équation de Doorenboos et Kassam (1979) ; cité dans (Perez, et al. 2002) qui est fonction du déficit évapotranspiratoire total⁷³, tout au long de la saison de culture, et du rendement potentiel de la plante.

⁷³ Le déficit évapotranspiratoire étant lui-même fonction notamment du niveau de fertilisation et du type de sol.

11.4.3. Le modèle hydrologique

Le modèle hydrologique est dit « semi-distribué » car il agrège les ruissellements de surface et les drainages profonds calculés à la parcelle par le modèle de bilan hydrique. Cette agrégation est une simple sommation qui est réalisée au niveau de chaque zone d'offre et le débit résultant est transféré au niveau du nœud correspondant à l'exutoire de la zone d'offre. Le transfert du ruissellement de surface et du drainage profond est traité séparément et les fonctions de transfert dépendent du type de zone d'offre considéré.

Trois types de zone d'offre sont définis dans CatchScape3.

- Les zones d'offre de coteaux (Upland Supply Area), transfèrent le ruissellement de surface à leur nœud de manière différée sur trois décades, selon la fonction suivante :
$$Q_t = K_1 \cdot \sum R_t + K_2 \cdot \sum R_{t-1} + K_3 \cdot \sum R_{t-2}$$
 ($\sum R$: total du ruissellement des cellules de la zone d'offre). Pour la zone d'étude, les paramètres K_1 , K_2 et K_3 ont été calibrés aux valeurs suivantes : 0.6, 0.3 et 0.1 respectivement⁷⁴. Le total des drainages profonds des cellules est lui, transféré à chaque pas de temps dans un réservoir. Ce dernier se vidange progressivement à chaque pas de temps dans le nœud-exutoire en fonction de la quantité d'eau qu'il contient ($Q_t = volume_t \cdot K_4$; avec K_4 calibré à 0.13 pour la zone d'étude). Ce transfert par réservoir est celui d'une modélisation conceptuelle du fonctionnement d'un aquifère (Hreiche 2001). La Figure 52 schématise le transfert des zones d'offres de coteaux.

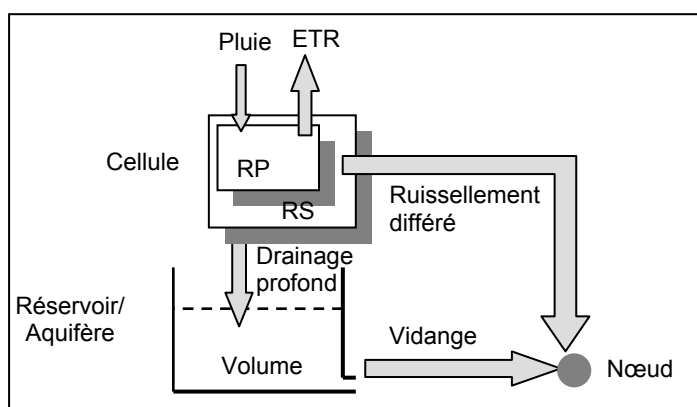


Figure 52: Transfert du ruissellement et du drainage profond des zones d'offres de coteaux

- Les zones d'offre de périmètres irrigués (Paddy Supply Area), transfèrent directement le total du ruissellement et du drainage profond de l'ensemble de leurs cellules vers le nœud, sans aucun décalage temporel. Ce fonctionnement repose sur l'hypothèse que le

⁷⁴ La calibration des paramètres du modèle hydrologique est réalisée de manière à ajuster les débits simulés à l'exutoire aux débits observés sur un bassin versant de référence (voir la section 12.2.1).

drainage d'une zone de paddy irrigué est un drainage rapide et qu'il est donc entièrement transféré vers la rivière dans un pas de temps de dix jours.

- Le dernier type de zone d'offre est celui que nous avons appelé « zone d'offre fermée » (*Closed Supply Area*). Il a été créé en raison de la configuration morphologique particulière de la partie aval du bassin versant du Pang Da. Ce dernier se termine en effet par une sorte de cuvette dont l'exutoire est très étroit. D'après nos estimations, il semblerait que l'ensemble des ruissellements ne parvient pas s'écouler par cet exutoire⁷⁵. Par ailleurs, environ 500 mètres après l'exutoire du bassin versant, derrière la cuvette formée par une chaîne de colline, il existe une source d'eau permanente jaillissant de la roche. Suite à ces constatations, nous avons pris l'hypothèse, que les écoulements d'une partie de la zone aval du bassin versant du Pang Da s'infiltrent totalement dans le sous-sol et rejaillissent au niveau de cette source. Du point de vue de la modélisation, le total du ruissellement et du drainage profond des cellules de cette zone est transféré vers un réservoir-aquifère dont la vidange s'effectue pareillement à une zone d'offre de coteaux, vers le nœud correspondant à la source d'eau indiquée ci-dessus.

Au niveau des zones de demande en eau, deux types de fonctionnement sont également considérés en fonction de la façon dont l'eau est prélevée au niveau du nœud et de la façon dont elle est attribuée aux parcelles.

- Les zones de demande de périmètres irrigués (*Irrigated Scheme*) reçoivent une partie du débit de leur nœud dont la quantité est fonction de l'ouverture de la porte du canal située au niveau du barrage de dérivation situé sur la rivière. L'agent, chef-de-canal, est celui qui fixe le niveau d'ouverture de la porte du canal. Le débit du canal d'irrigation est ensuite attribué aux parcelles en fonction d'un mécanisme séquentiel⁷⁶ de l'amont vers l'aval simulant le système d'irrigation caractéristique des périmètres nord-thaïlandais. Lorsqu'un tour d'eau est mis en place, des groupes de parcelles avec des niveaux de priorités d'irrigation différents sont alors désignés par l'agent-chef-de-canal. L'ordre selon lequel le débit du canal est alloué aux parcelles suit alors ces niveaux de priorités. Si un agent-agriculteur décide de ne pas suivre le tour d'eau, sa parcelle sera alors incluse dans le groupe de parcelles ayant le niveau de priorité d'irrigation le plus élevé.
- Les zones de demande d'irrigation de coteau (*Upland Demand Area*) ont un fonctionnement différent. Le débit prélevé par la zone de demande est égal à la quantité

⁷⁵ La superficie du bassin de la rivière Pang Da est de 15km². Or, les débits mesurés à l'exutoire varient entre 0,25 m³/s (fin de saison des pluies) et 0 m³/s lorsque la rivière Pang Da est à sec (fin de saison sèche).

⁷⁶ Ce mécanisme comprend notamment une loi de tarissement progressif du canal.

d'irrigation demandée par les agents-agriculteurs en début de pas temps, dans la limite de la quantité disponible au niveau du nœud. Chaque parcelle reçoit ensuite la quantité d'eau que son agent-agriculteur a demandée. Dans le cas d'une quantité d'eau insuffisante pour l'ensemble des parcelles irriguées, la quantité disponible est attribuée aux parcelles au prorata de leur surface.

A partir de ces différents fonctionnements des zones d'offre et de demande, le modèle calcule à chaque pas de temps et au niveau de chaque nœud, le débit disponible et l'allocation de l'eau aux parcelles. Etant donné que l'irrigation à partir d'un nœud va influencer le débit disponible pour les nœuds suivants, le calcul se fait nœud par nœud. C'est d'ailleurs les nœuds eux-mêmes qui contrôlent le séquençage de la dynamique hydrologique (Figure 53). Ainsi, à chaque pas de temps, le premier nœud active le bilan hydrique des parcelles de ses zones d'offres. Il reçoit ainsi un débit, qu'il distribue partiellement ou entièrement à ses zones de demande. Le débit restant est ensuite transféré à l'arc du nœud (la section de rivière en aval du nœud) qui va s'écouler jusqu'au prochain nœud. Ce dernier active alors la même séquence de procédures, et ce jusqu'au dernier nœud.

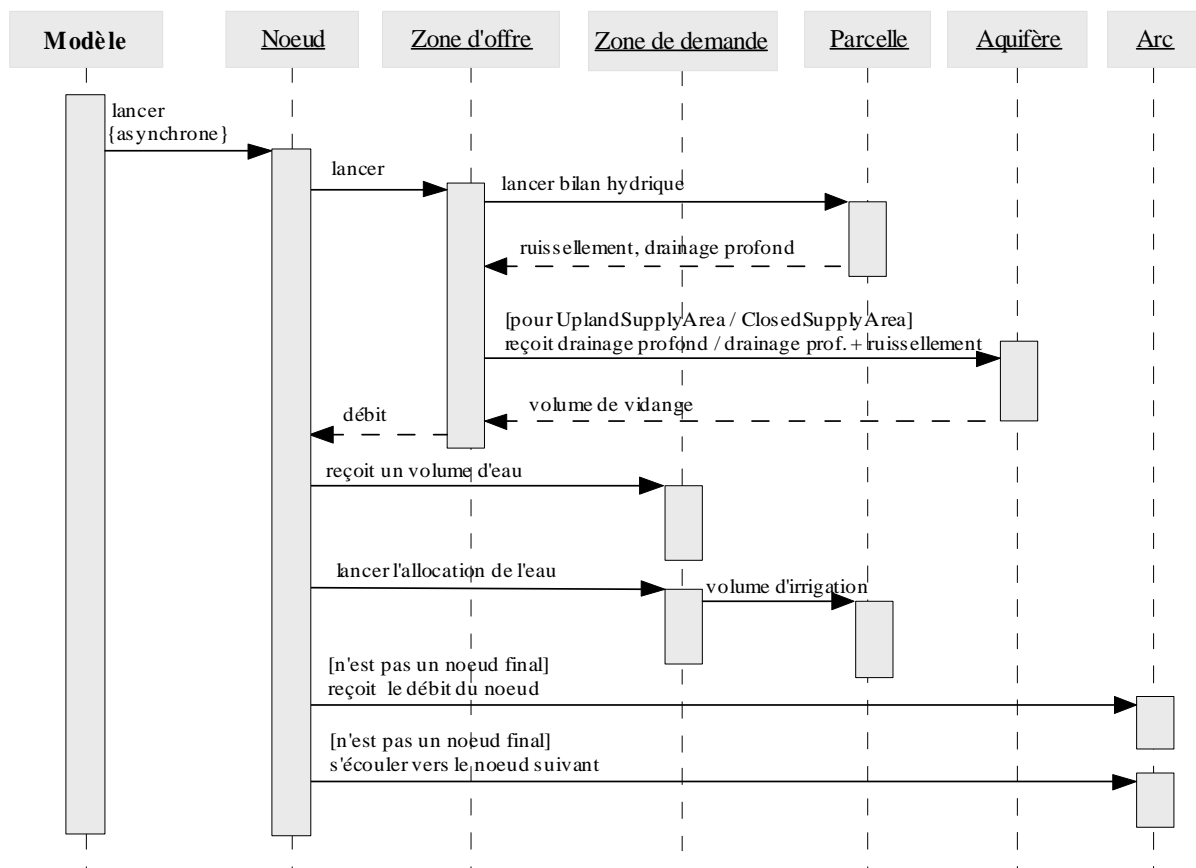


Figure 53 : Diagramme de séquence du modèle hydrologique

11.4.4. Le modèle de fertilité des sols

Le modèle de fertilité des sols a été développé spécifiquement pour la zone du village de Sai Mun, pour laquelle les représentations et les décisions des agriculteurs sont fortement influencées par leur perception de la fertilité du sol. De multiples caractéristiques du sol sont prises en compte par les agriculteurs pour estimer la fertilité globale du sol : la couleur, la texture, la structure, l'acidité,... Bien que l'acidité ne soit pas une caractéristique observée mais un paramètre mesuré par des spécialistes puis communiquée aux agriculteurs, il nous a semblé important de l'inclure dans le modèle de fertilité du sol. En effet, les données de pH que nous avons recueillies semblent indiquer que l'acidité du sol dans cette zone est telle qu'elle influencerait la croissance des cultures (gamme de pH mesuré : 4.8 à 6.5)⁷⁷. Afin de refléter les caractéristiques de couleur (les agriculteurs distinguent principalement les sols qui sont noirs de ceux qui ne le sont pas) et de structure considérées par les agriculteurs, nous avons également choisi d'inclure un module de fertilité organique dont le principal attribut est le pourcentage de matières organiques dans le sol. A ce propos, les analyses de sol effectuées indiquent des pourcentages de matières organiques relativement faibles, tous inférieurs à 3.5%, ce qui contribue à expliquer la baisse de fertilité des sols observée dans la zone. Ainsi le modèle de fertilité des sols implémenté comporte un module de fertilité organique basé sur le pourcentage de matières organiques et un module fertilité chimique basé sur le pH.

Le module de fertilité organique fonctionne sur un pas de temps annuel. Il est basé sur le modèle de Hénin et al. (1959) classiquement utilisé en agriculture française pour le bilan organique des sols (Boiffin et al. 1986)⁷⁸. Tous les ans le processus d'humification transforme l'humus du sol (H) en matière organique (MO), puis la minéralisation transforme la matière organique en matière minérale qui est considérée comme une perte par le modèle. La quantité de matières organiques est ainsi calculée chaque année selon la formule suivante : $MO_{t+1} = (MO_t + k_h \cdot H)(1 - k_m)$

Les coefficients d'humification (k_h) et de minéralisation (k_m) ont pour valeurs 0.4 et 0.05 respectivement (les gammes de valeurs de ces coefficients proviennent de la littérature – voir notamment (FAO 2005, Talineau et al. 1981) – et les valeurs exactes sont issues d'une

⁷⁷ En dessous de pH 6, les sols sont généralement dits très acides et se caractérisent par une faible CEC (capacité d'échanges cationique). En dessous de pH 5 les sols sont généralement dits extrêmement acides et il y existe de fort risque de toxicité aluminique avec une saturation de la CEC affectant la croissance racinaire, la mobilisation des nutriments du sol ainsi que des effets sur les processus biologiques de la plante (source : FAO <http://www.fao.org/ag/agl/agll/prosoil/acid.htm>).

⁷⁸ Ce modèle à un compartiment pour le stock de matière organique est aujourd'hui souvent remplacé par un modèle à deux compartiments distinguant la matière organique « active » de la matière organique « stable » (Roussel et al. 2001).

calibration sur la base des taux de matières organiques mesurés sur la zone). Les apports en humus considérés par le modèle proviennent soit d'apports de compost ou de fumier, soit de résidus de cultures de soja importants qui sont enfouis (pratique courante dans la zone) ou encore de l'enfouissement du couvert végétal après une longue période de jachère.

Le module de fertilité chimique basé sur le pH du sol est extrêmement simple. Il consiste en une baisse de la valeur du pH de 0.5 points tous les quatre ans, dans la limite de pH 4.5. La valeur du pH peut être augmentée, dans la limite de pH 7, par des amendements calciques (les agriculteurs de la zone d'étude utilisent de la dolomite) à raison de 0.5 ou de 1 point en fonction de la quantité apportée.

Afin de coupler le modèle de fertilité des sols avec le modèle de culture de la première version de CatchScape, nous avons modifié le calcul du coefficient de fertilité de la parcelle Kf (ce dernier agit sur le calcul de l'ETR). Alors qu'auparavant Kf était déterminé par la texture du sol et la quantité d'engrais chimiques apportée sur la parcelle, celui-ci dépend maintenant d'un troisième paramètre SF (Soil Fertility). SF prend des valeurs qualitatives (bon, moyen ou mauvais) en fonction du pourcentage de matière organique et de la valeur du pH : Tableau 8.

Valeurs de SF	MO \geq 3%	2% \leq MO<3%	MO<2%
pH \geq 6	Bon	Bon	Moyen
4.5<pH<6	Bon	Moyen	Mauvais
pH=4.5	Moyen	mauvais	Mauvais

Tableau 8: valeurs du paramètre SF en fonction du taux de matières organiques et du pH

Nous venons de voir l'ensemble des composantes du modèle multi-agents CatchScape3 ; sa composante biophysique avec les modèles que nous venons de décrire et sa composante sociale avec les agents-agriculteurs dont les comportements sont régis par les différents types de représentations d'agriculteurs préalablement formalisées. L'ensemble du modèle a été implémenté avec le logiciel libre CORMAS développé par le CIRAD. Ce logiciel fournit au modélisateur des outils pour l'implémentation des composantes du modèle et des outils pour visualiser les résultats du modèle. L'automate cellulaire servant d'interface de visualisation de l'espace est l'un de ces outils. Pour la définition des agents et des objets du modèle, regroupés dans CORMAS sous la dénomination « entité », le logiciel propose une typologie de classes basée sur trois types d'entités : les entités spatiales, les entités sociales et les entités passives. Les premières sont les cellules de l'automate cellulaire mais également des agrégats de cellules comme par exemple les zones d'offre et les zones de demande dans CatchScape3. Les entités sociales servent à définir les agents du modèle. Les entités passives servent à modéliser des objets physiques ou abstraits, n'agissant pas par eux-mêmes sur les autres entités mais pouvant être utilisés par celles-ci. C'est sur cette

architecture de classes prédéfinie que nous avons créé et implémenté les classes du modèle CatchScape3. Dans la Figure 54, les deux premières rangées de classes (en haut) sont celles de CORMAS, et celles qui en héritent, en dessous, sont les classes de CatchScape3 que nous avons implémentées.

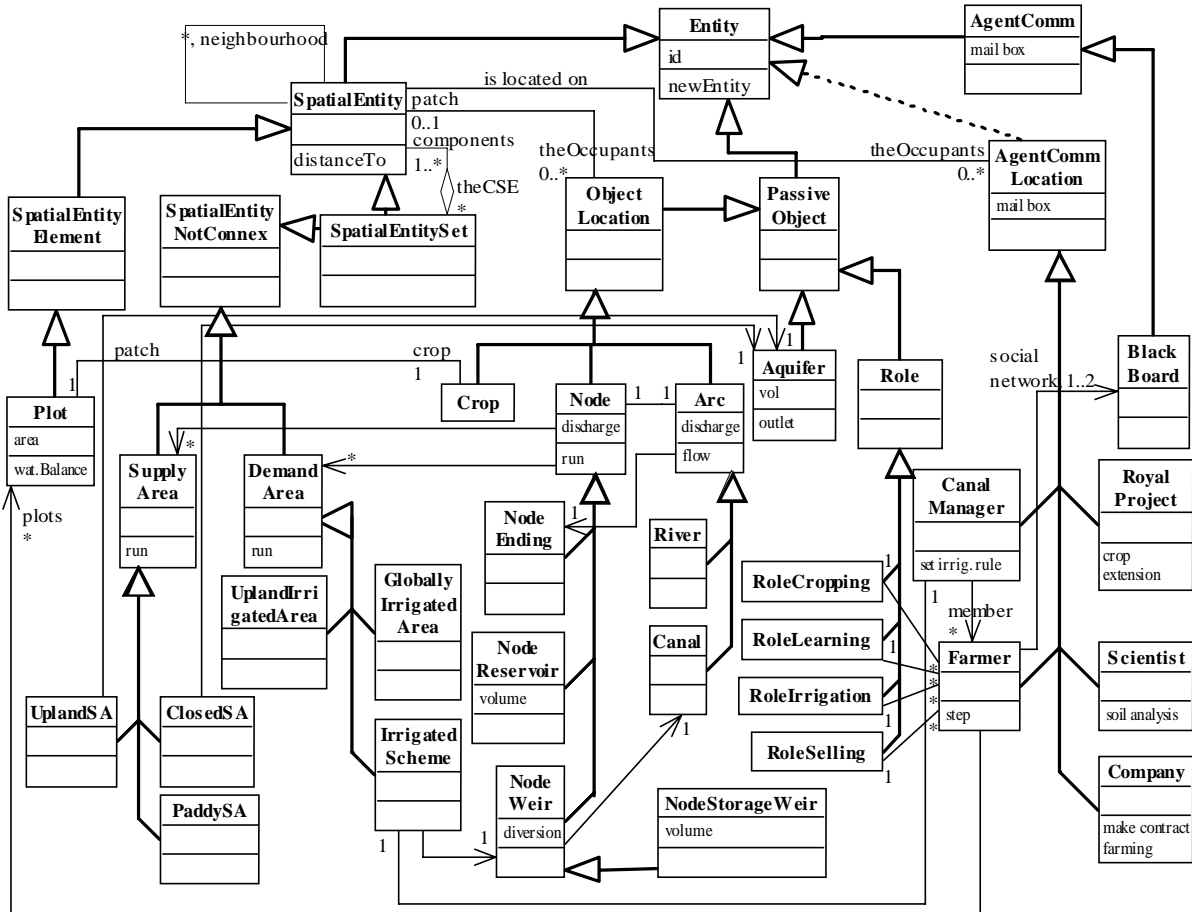


Figure 54 : Diagramme de classe de CatchScape3

Nous allons à présent voir comment nous utilisons le modèle en simulation. Deux types d'usages sont décrits dans les chapitres suivants. Le premier est la simulation « en laboratoire ». Elle consiste à simuler un ensemble de scénarios et à comparer les résultats entre eux ainsi que par rapport à un scénario de référence (chapitre 12). Cette analyse des résultats a pour but d'explorer la dynamique du système. Dans notre cadre d'étude, nous nous intéresserons aux effets des différentes représentations d'agriculteurs modélisées sur le système. Le deuxième type d'usage est celui des séances de simulations participatives réalisées auprès des acteurs locaux. Le but de ses séances est double : la validation du modèle à dire d'acteurs et l'aide à la décision collective (chapitre 13).

12. Simulations

Les simulations sont réalisées sur une période de 10 ans, ce qui correspond à 360 pas de temps. Le pas de temps du modèle est de 10 jours, base sur laquelle le modèle de bilan hydrique fonctionne. Une simulation sur 10 ans est réalisée en quatre minutes sur un ordinateur équipé d'un processeur Pentium cadencé à 600 MHz⁷⁹. En raison du caractère stochastique du modèle les simulations sont répétées 30 fois. Ce nombre de répétitions est théoriquement faible mais il est suffisant pour étudier la variabilité de ce modèle.

Deux types de résultats sont analysés lors des simulations :

- Des données quantitatives. En plus des sondes spécifiques aux instances d'une classe du modèle, environ 15 types de sondes globales (c'est-à-dire une sonde agrégeant des résultats d'instances à un niveau global) ont été définis et sont utilisés pour analyser les résultats des simulations (ces sondes sont listées dans l'annexe 10). Celles que nous utilisons le plus souvent sont : les débits à l'exutoire et au sein du réseau hydrographique, les prélèvements d'eau par zones de demande et les manques d'eau éventuels au niveau de ces zones, les préférences des agents-agriculteurs quant à leurs choix de cultures (c.a.d. les cultures qui leur semblent les plus adéquates par rapport à leurs croyances) et les assolements effectivement réalisés dans les différentes zones agricoles, les alertes lancées par les agent-agriculteurs lorsqu'ils estiment que leur culture souffre d'un manque d'eau et les stress hydriques effectifs des cultures, pour les périmètres irrigués les dates de déclenchement des tours d'eau lors de la saison sèche, les revenus et les niveaux d'endettement moyen sur la population et sur les différentes catégories d'agents et enfin des sondes sur l'état des connaissances des agents à propos des différentes entités du système.
- Des points de vue sur l'état des cellules (chaque cellule représentant une parcelle dans le modèle) qui sont affichés sur l'interface spatiale du modèle par un code couleur utilisant une couleur pour chaque état de cellule. L'interface spatiale montre ainsi l'état du système sur l'ensemble de la grille spatiale et l'utilisateur peut suivre l'évolution des états des cellules (parcelles) au cours de la simulation. Dans Cormas, les méthodes d'observation permettant de définir les états des cellules affichés, peuvent être créés à volonté par le modélisateur, ce qui offre une grande souplesse d'utilisation pour l'analyse des résultats de simulation ainsi que pour l'usage participatif du modèle auprès des acteurs locaux. Outre les méthodes d'observation que nous utilisons pour montrer les types de cultures en place, les types d'intrants utilisés, la fertilité du sol effective calculée

⁷⁹ Lorsque tous les résultats de chaque pas de temps sont exportés vers un fichier Excel au cours de la simulation, cette dernière dure environ 10 minutes.

par le modèle ou la réserve hydrique des sols calculée par le modèle de bilan hydrique, certaines méthodes d'observations permettent de visualiser les perceptions des agents et notamment la perception des agents de la fertilité du sol et la perception qu'ils ont du niveau d'irrigation de leurs parcelles.

Dans ce chapitre nous présentons tout d'abord les paramètres d'initialisation de la population d'agents et les fichiers d'entrées utilisés pour les simulations. Les valeurs des paramètres d'initialisation et les données des fichiers d'entrées que nous utilisons constituent le scénario de référence à partir duquel nous effectuons notre analyse et ce sera le seul scénario présenté ici. Puis nous analyserons la cohérence des résultats du modèle et notamment celle des résultats du modèle hydrologique. Dans les deux sections suivantes nous nous intéresserons à l'analyse des résultats de simulation des représentations modélisées. Dans un premier temps nous décrivons et nous analysons l'évolution et les divergences des comportements des agents. Pour cela, nous nous appuyons sur une analyse de l'évolution des croyances des agents quant à l'état du système. Dans un deuxième temps, nous présentons différentes méthodes d'observation de l'interface spatiale et nous montrons comment ces points de vue peuvent être utilisés pour représenter l'hétérogénéité des perceptions au sein de la population d'agents.

Nous distinguons l'étude des points de vue de l'interface spatiale du modèle de celle des résultats numériques produits par les sondes du modèle, afin d'introduire comment nous parvenons à restituer les résultats du modèle auprès des acteurs (les points de vue de l'interface spatiale étant l'un des principaux moyens pour ce faire).

12.1. Paramètres d'initialisation

12.1.1. Initialisation des agents-agriculteurs

Les simulations sont faites sur une population d'agents-agriculteurs dont la taille correspond à la population du village de Sai Mun étudié (96 foyers agricoles). Au sein de cette population totale dont la taille est fixe, le modèle permet d'ajuster les proportions des différents types d'agents, c'est-à-dire les proportions des différentes stratégies. Afin de déterminer les proportions utilisées dans le scénario de référence, nous avons établi une carte des différentes combinaisons de stratégies existantes dans l'échantillon d'agriculteurs enquêtés.

Le Tableau 9 montre tout d'abord que certaines combinaisons de stratégies sont inexistantes dans notre échantillon⁸⁰. Nous avons donc pris l'hypothèse de ne pas inclure ces

⁸⁰ Par exemple, une stratégie de culture axée sur le partenariat n'est jamais liée à une stratégie d'apprentissage passive, ce qui est logique puisque nous avons ici affaire à des individus relativement

combinaisons dans notre population. Par ailleurs, pour un certain type de stratégie de culture, le Tableau 9 montre des proportions différentes dans les combinaisons entre stratégie d'apprentissage et stratégie de commercialisation. Cette répartition traduit une certaine logique qu'il nous a semblé judicieux de conserver dans la population d'agents du modèle. Par exemple le fait que pour une stratégie de culture orientée vers la maximisation du profit, la stratégie de commercialisation dominante soit une stratégie spéculative, est assez caractéristique d'un certain type de comportement. De même pour la stratégie de minimisation du risque qui est fortement liée à une stratégie de commercialisation non-spéculative. Les stratégies de gestion de l'eau (stratégie respectueuse ou indépendante) sont absentes du Tableau 9. En effet, uniquement trois individus au sein de l'échantillon appartiennent à la stratégie indépendante et les combinaisons de ces trois individus avec les autres types de stratégie ne traduisent pas de tendances ou de logiques particulières. Nous avons donc opté pour une répartition aléatoire des stratégies d'irrigation au sein de la population d'agents, tout en respectant la proportion trouvée dans notre échantillon entre stratégie d'irrigation respectueuse et stratégie d'irrigation indépendante.

Stratégie de culture	Stratégie d'apprentissage prospective		Stratégie d'apprentissage opportuniste		Stratégie d'apprentissage passive	
	Stratégie de commercial. spéculative	Stratégie de commercial. passive	Stratégie de commercial. spéculative	Stratégie de commercial. passive	Stratégie de commercial. spéculative	Stratégie de commercial. passive
Gestion des sols		1/2		1/2		
Partenariats agricoles	1/6	1/3		1/2		
Maximisation du profit			1/2		1/4	1/4
Gestion du risque			1/6	1/3		1/2

Tableau 9 : Proportions des différentes combinaisons de stratégies de l'échantillon enquêté (les proportions sont indiquées en rapport avec la stratégie de culture)

A l'initialisation du modèle, l'utilisateur peut choisir les proportions entre les différentes stratégies de culture. Par contre, les proportions des combinaisons avec les autres stratégies sont fixes et respectent les combinaisons indiquées dans le Tableau 9. Pour l'analyse des résultats de simulations (scénario de référence) ainsi que pour les sessions de simulations participatives réalisées avec les acteurs locaux, nous avons opté pour des proportions égales entre les quatre stratégies de culture (25 % d'agents de chaque stratégie de culture). La principale raison de ce choix est que nous ne connaissons pas les proportions réelles de ces stratégies. En effet, la méthodologie que nous avons développée est axée sur

précurseurs dans l'adoption de nouvelles cultures et qui auront plutôt tendance à aller chercher l'information plutôt que d'attendre qu'elle parvienne jusqu'à eux.

l'identification de l'hétérogénéité des représentations mais ne permet pas d'extraire des données quantitatives et représentatives de la population du village. Par ailleurs, notre principal objectif dans l'analyse des résultats de simulations est de mieux comprendre comment les différentes stratégies implémentées se comportent et évoluent au cours de la simulation. La proportion réelle entre les différentes stratégies de culture n'est donc pas apparue comme un paramètre indispensable à cette analyse.

Outre les proportions des différentes stratégies, la base de connaissances des agents-agriculteurs doit être initialisée en début de simulation pour que le modèle fonctionne. Nous verrons plus tard, que cette base de connaissances évolue au cours de la simulation via le processus d'apprentissage. Dans nos simulations, tous les agents sont initialisés avec la même base de connaissances des cultures, des intrants, de l'état du marché et des partenaires agricoles. Les bases de connaissances à l'initialisation et notamment celle des cultures correspondent à une situation antérieure à celle à laquelle nous avons effectué nos enquêtes, lorsque les agriculteurs du village de Sai Mun privilégiaient tous la culture d'ail (période ayant pris fin vers l'année 2000). Ce choix est motivé par le fait que nous avons souhaité, pour les présentations du modèle aux agriculteurs, retracer, dans les premières années de simulation, l'historique des événements qui se sont produits dans le passé pour ensuite continuer la simulation sur des évolutions possibles. La base de connaissances des agents-agriculteurs à l'initialisation du modèle est donc telle que leur préférence en matière de choix de culture va, en début de simulation, vers la culture d'ail. En cours de simulation, l'agent-projet-royal qui a un rôle de vulgarisateur et les agents-entreprises-privées qui proposent des cultures sous contrat, diffusent des informations dans la population d'agents-agriculteurs qui vont enrichir les bases de connaissances liées aux cultures et aux intrants. Au cours de la simulation, les préférences des agents en matière de culture vont donc évoluer et l'assolement va être modifié en conséquence. Les choix de cultures et d'intrants sont également contraints par la perception qu'ont les agents de la fertilité du sol de leurs parcelles. La base de connaissances de la fertilité du sol est initialisée par les agents eux-mêmes qui se créent leur propre croyance de l'état de fertilité du sol des parcelles qui leur sont attribuées à l'initialisation du modèle (chaque agent-agriculteur recevant deux parcelles de deux *rai* chacune aléatoirement choisies dans la zone agricole du village de Sai Mun). Comme chaque stratégie d'agent a sa propre façon de percevoir la fertilité du sol, et que les parcelles sont initialisées avec des niveaux de fertilité différents, les agents débutent la simulation avec des croyances différentes quant à la fertilité du sol.

Enfin, tous les agents-agriculteurs sont initialisés avec la même somme d'argent et le même niveau d'endettement.

12.1.2. Fichiers d'entrées

Différents fichiers d'entrées sont utilisés par CatchScape3. Certains sont liés au paramétrage des modèles biophysiques et d'autres sont des séries de valeurs d'entrées pour les 360 pas de temps de la simulation que le modèle va importer à l'initialisation. Le fichier climatique fournit les données pluviométriques et d'évapotranspiration potentielle pour chaque décade. Les données proviennent de la station climatologique de l'Upland Rice Research Center situé au centre du bassin versant de Pang Da. Les données correspondent aux années hydrologiques 1993-1994 à 1998-1999 parmi lesquelles nous avons éliminé l'année hydrologique 1997-1998 car la station climatologique avait mal fonctionné. Le modèle lit le fichier dans l'ordre, et ce afin de respecter les transitions climatiques naturelles d'une année sur l'autre, en commençant par la date du 1^{er} Avril (début de la saison des pluies), puis recommence au début à partir de la cinquième année de simulation (Figure 55)⁸¹. Nous verrons par la suite que le fait de ne disposer que d'un point de mesure climatologique nuit à la qualité des résultats hydrologiques du modèle.

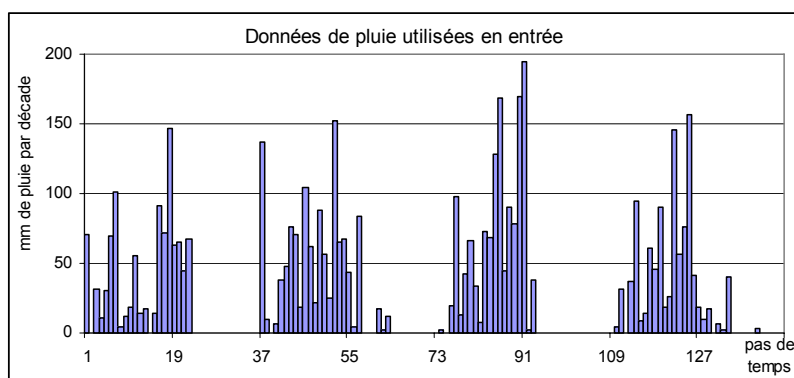


Figure 55 : Données par pas de temps du fichier pluie utilisé (le pas de temps 1 correspond à la première décade du mois d'avril de la première année, le pas de temps 37 correspond à la première décade du mois d'avril de la deuxième année,...)

Le fichier fournissant l'évolution des prix du marché des différentes cultures au cours de la simulation (prix d'achat à l'agriculteur) est sur une base mensuelle⁸². Le modèle lit la valeur mensuelle pour la deuxième décade du mois et effectue une moyenne avec la valeur du mois précédent ou suivant pour les premières et troisièmes décades de chaque mois. Les

⁸¹ Les années climatiques sont lues dans l'ordre afin de respecter les transitions naturelles réelles entre la fin de la saison sèche et le début de la saison des pluies. Pour la transition entre l'année climatique 1996-1997 et l'année climatique 1998-1999 (l'année 1997-1998 ayant été éliminée) ainsi que pour la transition entre l'année climatique 1998-1999 et l'année climatique 1993-1994, quelques ajustements ont été réalisés dans le fichier afin de lisser le passage entre les deux années.

⁸² L'impact des choix de production sur le marché n'est pas considéré car la part de la production du village de Sai Mun dans les denrées alimentant le marché de Chiang Mai (où les produits de Sai Mun sont vendus) est très faible.

données mensuelles des prix proviennent en partie du bureau du Projet Royal de Chiang Mai (2000 à 2003) et de données journalières que nous avons collectées au marché de Chiang Mai (année 2003).

Enfin, un fichier d'entrée est utilisé pour l'initialisation de l'état de fertilité du sol des parcelles agricoles du village de Sai Mun. Les données de pH et de pourcentages de matières organiques utilisées à l'initialisation proviennent d'analyses de sol réalisées en 2003 en collaboration avec le Land Development Department (LDD). Nous avons distingué trois tranches de pH et de pourcentages de matières organiques et les parcelles sont initialisées à partir d'un fichier d'entrée avec l'une de ces valeurs.

12.2. Vérification et variabilité des résultats de simulation

Dans cette partie nous présentons les vérifications menées sur les résultats de simulation par rapport aux données observées que nous possédons. Les différentes sections correspondent aux différentes vérifications menées. Nous analysons également dans ces sections, et plus particulièrement dans la dernière, la variabilité des résultats. L'analyse de la variabilité des résultats de simulation a pour objet d'estimer la fiabilité du modèle dans le cas qui nous intéresse. Nous rappelons que cette analyse de variabilité est effectuée sur les résultats de 30 répétitions du même scénario et que l'objectif recherché est une faible variabilité des résultats entre les simulations d'un même scénario⁸³.

12.2.1. Débits à l'exutoire

Les débits simulés à l'exutoire du bassin versant sont présentés à la Figure 56, en commençant par la première décade du mois d'avril (début de la saison des pluies). Il s'agit des débits du dernier nœud hydrologique du modèle, à savoir l'exutoire du bassin versant de la rivière Samoeng. Il n'existe pas de série chronologique des débits observés à ce point ni à aucun endroit de la rivière Samoeng. Le calage du modèle hydrologique a été réalisé de deux manières : d'une part à partir de quelques mesures de références que nous avons effectuées à différents points de la rivière Samoeng et d'autre part à partir d'une série chronologique de débits observés que nous possédons pour la rivière Mae Khan, située à quelques kilomètres à l'ouest de la rivière Samoeng, et dont la zone de drainage a une étendue similaire à celle de la rivière Samoeng.

La Figure 56 montre la manière dont le modèle reproduit les débits de saison des pluies avec des pics correspondant aux forts événements pluvieux et des débits qui décroissent au fur et à mesure de l'avancement dans la saison sèche. La variabilité des résultats est

⁸³ La stochasticité du modèle vient notamment de l'attribution des parcelles aux agents-agriculteurs.

indiquée dans la Figure 56 sous la forme du rapport entre l'écart type et la moyenne des 30 répétitions du même scénario. L'écart type moyen est inférieur à 0,005 m³/s pour des débits de saison sèche de l'ordre de 0,5 m³/s et monte jusqu'à 0,05 m³/s lors de forts événements pluvieux durant la saison des pluies. Le pic du rapport écart type sur moyenne de la première année est dû à un écart type de 0,0006 m³/s pour une moyenne de 0,0023 m³/s. Il traduit le fait que la variabilité (relative à la moyenne) tend à s'accroître pour des faibles débits (ce qu'on observe également pour les fins de saison sèche des autres années) et il est également dû au caractère particulier de la première année (année climatique 1993-1994, que l'on retrouve dans les simulations à l'année 5 et à l'année 9) pour laquelle la saison des pluies a été marquée par une diminution des pluies durant les mois de juillet et d'août (mois normalement fortement pluvieux) (voir la Figure 55).

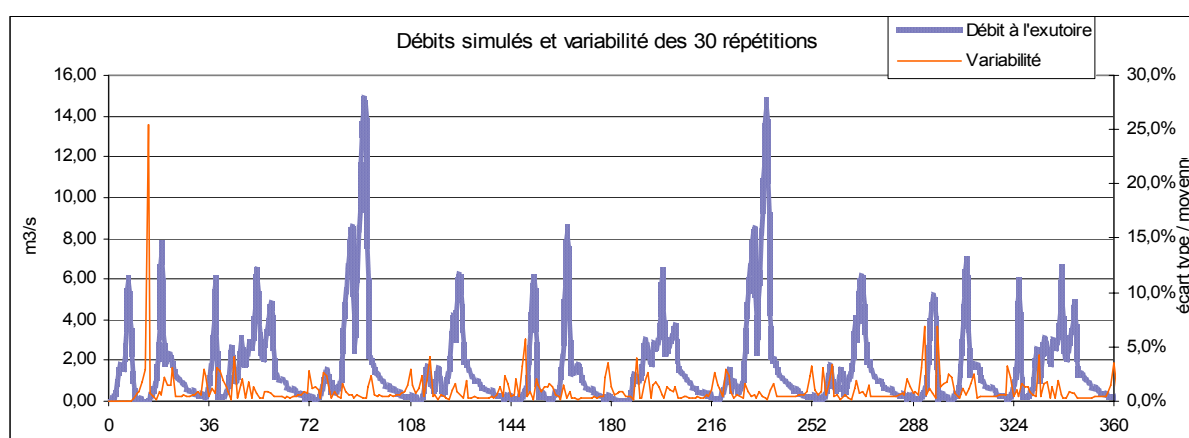


Figure 56 : Moyenne et variabilité des débits simulés à l'exutoire du bassin versant Samoeng sur 30 répétitions, au cours des 10 années de simulation

Nous avons procédé à deux points de mesures de débits durant la période d'enquête (année hydrologique 2002-2003 qui correspondait à une année particulièrement pluvieuse). Les débits mesurés sur la rivière Samoeng, avant la confluence avec la rivière Pang Da étaient de 1,9 m³/s au 24/10/2002 (fin de saison des pluies) et de 0,2 m³/s au 25/04/2003 (fin de saison sèche). Les débits simulés en ce point (quelques nœuds hydrologiques en amont du nœud « exutoire » de la Figure 56) correspondent à cet ordre de grandeur. De même, les débits mesurés à l'exutoire du bassin versant du Pang Da (0,4 m³/s au 24/10/2002 et 0,16 m³/s au 25/04/2003) sont également dans l'ordre de grandeur des débits simulés en ce point. Néanmoins, si les ordres de grandeur sont respectés, il semblerait que pour certaines années climatiques le modèle ne parvient pas à simuler des débits cohérents. Nous nous référons pour cela à la comparaison des débits simulés avec les débits du bassin du Mae Khan, unique référence de série chronologique de débits que nous possédons. La Figure 57 montre que pour l'année 1998-1999 (année 4 et année 8 simulées) les débits de saison sèche simulés sont bien supérieurs à notre référence.

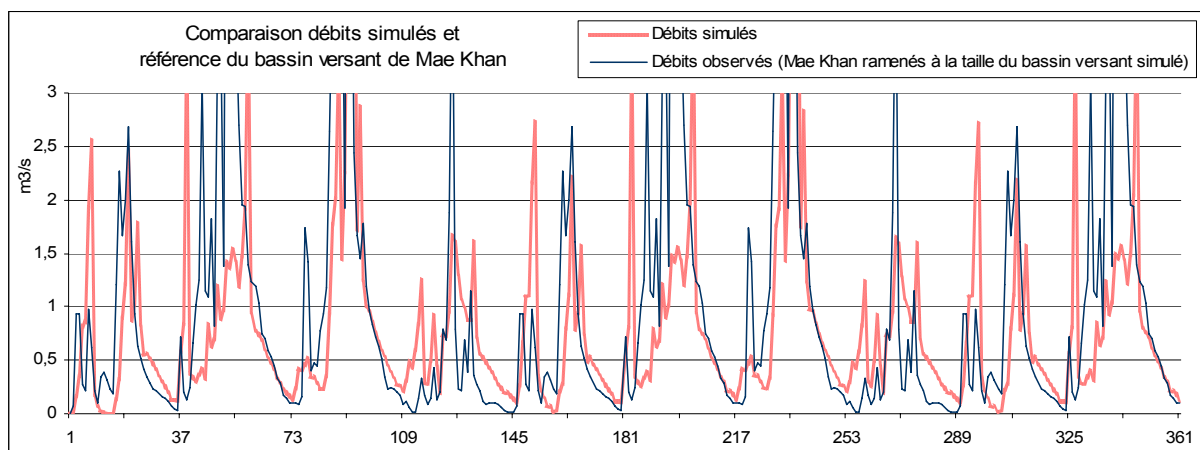


Figure 57 : Comparaison débits simulés et référence du bassin versant du Mae Khan

N'ayant pas de données de débits observés pour notre bassin versant, nous nous basons sur une méthode d'estimation et de vérification des résultats pour des bassins versants non jaugés comme décrit dans (Merritt et al. 2005, Croke et al. 2004, Jakeman et Letcher 2003b). Merritt et al. (2005) proposent qu'en l'absence de données observées pour le bassin versant d'étude, les résultats de simulations peuvent être comparés avec les débits d'un bassin versant jaugés dont la surface de la couverture forestière est équivalente⁸⁴. Cette méthode d'estimation a été appliquée par ces auteurs dans le Nord Thaïlande dans des bassins versants proches de notre site d'étude (Letcher et al. 2002). En outre, ces mêmes auteurs, proposent également qu'en l'absence de bassins de référence d'une taille équivalente à celle du bassin versant étudié, les débits simulés et observés de bassins versants de tailles différentes mais appartenant à une même région peuvent être comparés. Cette méthode a été testée dans trois bassins versants du Nord Thaïlande (Croke, et al. 2004) proches de notre d'étude. Le critère retenu pour pouvoir comparer deux bassins versants de tailles différentes est ici encore que les surfaces forestières soient dans des proportions équivalentes par rapport à la surface totale des bassins ; ce qui est le cas entre notre bassin versant d'étude et le bassin versant du Mae Khan que nous avons choisi comme référence.

Néanmoins, nous n'avons pas de moyens pour vérifier quantitativement que les deux bassins versants ont bien un comportement hydrologique similaire. Par ailleurs, le fait que nous n'avons pas la série climatique entière (l'année 1997-1998 est manquante) nuit également à la comparaison.

⁸⁴ La part des zones forestières dans les bassins versants du Nord Thaïlande est très importante et l'hypothèse implicite est que ces zones contribuent en grande partie à expliquer le comportement hydrologique de ces bassins versants.

Malgré cela nous pensons pouvoir proposer quelques conclusions quant à la qualité du modèle hydrologique intégré à CatchScape3. Ces conclusions se basent sur la comparaison des débits simulés avec ceux du bassin versant de référence, mais également sur l'application du même modèle au bassin versant du Mae Uam réalisée durant le DEA (Becu 2001) et à une application ultérieure réalisée sur le bassin versant du Muang Kham (quelques kilomètres plus à l'Est du Pang Da). Sur des petits bassins versants de 10 à 50 km² (43 km² pour Mae Uam, 15 km² pour Pang Da et 7 km² pour Muang Kham), le modèle parvient à simuler des débits à l'exutoire relativement fiables, par contre pour des bassins versants plus importants (supérieur à 200 km² pour le bassin versant du Samoeng), la qualité des résultats hydrologiques est plus discutable. Les premiers essais de simulations de débits de la rivière Samoeng généraient des débits beaucoup trop importants durant la saison sèche par rapport aux débits références que nous avons (environ 50 % supérieurs). Ce n'est qu'en utilisant des coefficients de ruissellement plus importants que nous avons pu calibrer le modèle dans des rapports débits simulés/débits observés acceptables pour la saison sèche (c'est-à-dire que nous forçons le ruissellement durant la saison des pluies pour parvenir à des débits d'étiage durant la saison sèche acceptables). Par ailleurs pour des bassins versants de plus de 200 km² tel que celui du Samoeng, il serait nécessaire d'avoir des données d'entrées climatiques en plus d'un lieu, afin de refléter la variabilité spatiale des pluies, et ce d'autant plus lorsqu'il s'agit d'une région montagneuse telle que le Nord de la Thaïlande. Malheureusement, nous ne disposons pas de telles données pour la zone simulée.

12.2.2. Gestion des périmètres irrigués

La gestion collective des périmètres irrigués qui nous intéresse ici, consiste en la mise en place d'un tour d'eau lorsque durant la saison sèche, les parcelles ne peuvent plus être irriguées normalement via un système de libre accès à l'eau du canal d'irrigation du périmètre. Trois périmètres irrigués sont simulés, celui du canal de Sai Mun, celui du Ban Kiou et celui du Na Haa Baht. Nous disposons de deux éléments de vérification. D'une part des mesures de débits des canaux en fin de saison des pluies et en fin de saison sèche. D'autre part le fait que les agriculteurs nous aient dit qu'ils ne manquaient jamais d'eau dans les périmètres du Ban Kiou et du Na Haa Baht (et que des tours d'eau n'étaient donc pas mis en place pour ces périmètres) contrairement au périmètre de Sai Mun pour lequel un tour d'eau se met généralement en place autour de la fin mars.

Au niveau des débits des canaux les valeurs observées et simulées sont dans des proportions équivalentes, à savoir 0,2 à 0,1 m³/s à la fin de la saison des pluies et 0,1 à 0,05 m³/s en fin de saison sèche. Les valeurs de débits les plus fortes correspondent au canal de Sai Mun tandis que les seuils bas correspondent aux canaux de Ban Kiou et de Na Haa

Baht. Bien que les débits du canal de Sai Mun soient plus élevés, il s'agit du périmètre qui connaît le plus fort manque d'eau dans les simulations durant la saison sèche (Figure 58), et ce en raison de la surface à irriguer qui est beaucoup plus importante (56 hectares contre moins de 10 hectares pour les périmètres de Ban Kiou et de Na Haa Baht).

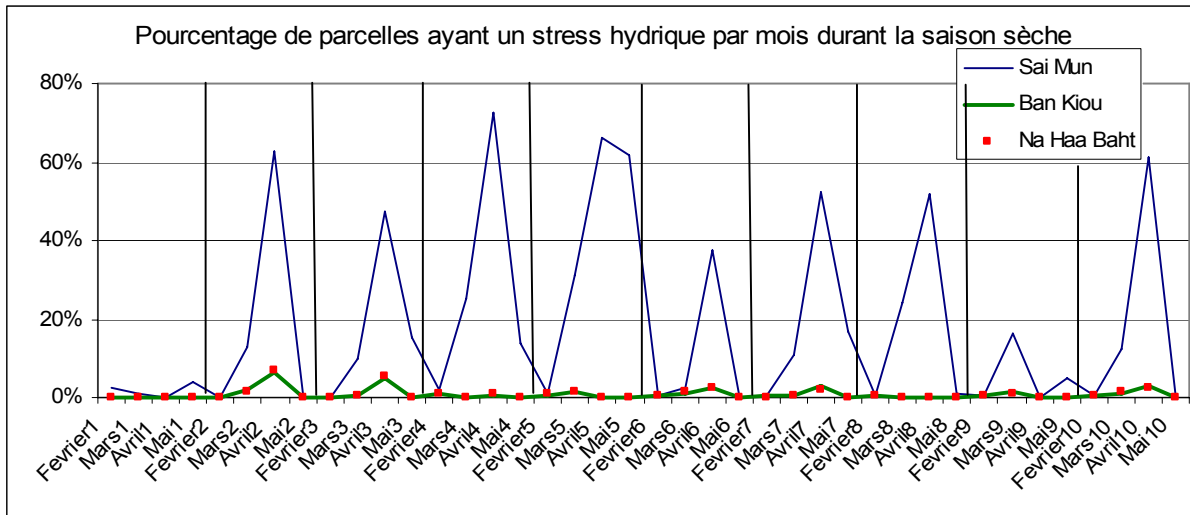


Figure 58 : Stress hydrique subi par les parcelles des trois périmètres irrigués durant la saison sèche (10 années de simulation – 30 répétitions)

On retrouve ces résultats au niveau du nombre d'alertes de manque d'eau signalées par les agents (Figure 59). Les agents ne perçoivent un manque d'eau que pour le périmètre de Sai Mun, et ce en raison des très faibles stress hydriques subis par les cultures pour les autres périmètres⁸⁵. Ces manques d'eau sont signalés au gestionnaire qui au delà d'un certain seuil va mettre en place un tour d'eau (seuil indiqué sur la Figure 59).

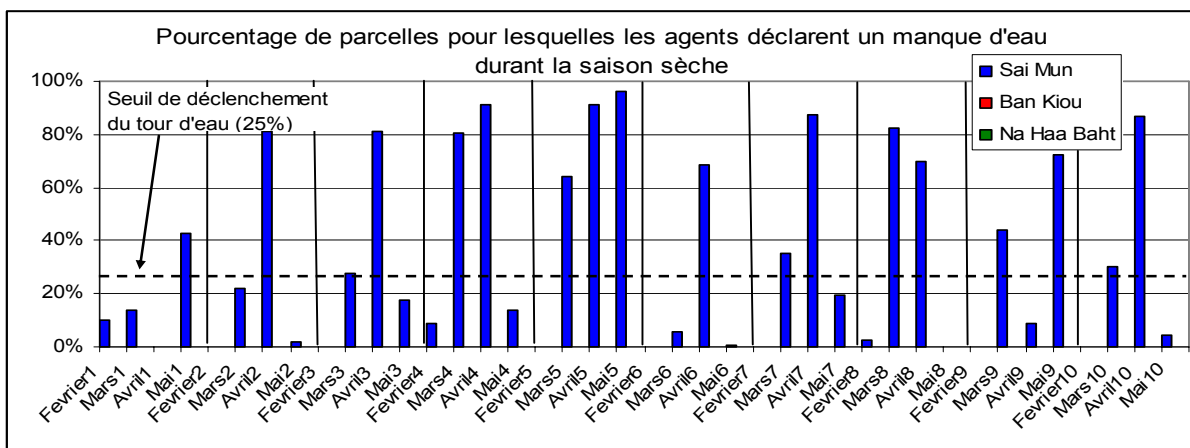


Figure 59 : Manques d'eau perçus par les agents dans les trois périmètres irrigués (10 années de simulation)

⁸⁵ Il faut qu'une culture subisse deux stress hydriques conséquents et consécutifs pour que l'agent signale un manque d'eau

Les dates de déclenchement du tour d'eau pour le canal de Sai Mun sont indiquées dans le Tableau 10. La première ligne indique la date de déclenchement commune à la plupart des 30 répétitions, tandis que la deuxième ligne indique les dates de déclenchement pour les simulations s'écartant de la tendance moyenne. Notons, tout d'abord que la date de déclenchement du tour d'eau est globalement conforme à ce que nous avons observé sur le terrain. Par ailleurs, une variabilité des résultats plus importante que celle que nous avons observée pour les débits à l'exutoire est à remarquer. Cela tient en grande partie à l'échelle d'observation qui est beaucoup plus fine dans le cas présent et au fait que la variable « date de déclenchement du tour d'eau » est dépendante d'un seuil. Ainsi, à quelques pourcents près au dessus ou en dessous du seuil de 25 % des parcelles avec un manque d'eau signalé, le tour d'eau peut se déclencher à un pas de temps ou à un autre.

	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	Année 6	Année 7	Année 8	Année 9	Année 10
Tendance sur 30 répétitions	Début mai	Fin Mars	Fin mars	Mi mars	Mi mars	Début avril	Fin mars	Mi-mars	Mi mars	Fin mars
Exceptions	5 cas mi-mars 5 cas mi-mai	3 cas mi-mars	1 cas mi-mars 1 cas début avril		8 cas fin mars	6 cas fin mars	7 cas mi-mars			14 cas mi-mars

Tableau 10 : Dates de déclenchement du tour d'eau pour le canal de Sai Mun pour 30 répétitions de 10 ans de simulation

Néanmoins, ces résultats reflètent ce que nous avons pu observer sur le terrain et qui nous avait été confirmé par les agriculteurs ; à savoir le fait que l'irrigation n'est pas un enjeu majeur pour le village de Sai Mun. La très grande majorité des agriculteurs parviennent à irriguer leurs cultures autant qu'ils le souhaitent ; seul le périmètre irrigué de Sai Mun connaît certaines années un manque d'eau. Les manques d'eau pour ce périmètre ne sont d'ailleurs pas très importants⁸⁶ et ils sont partiellement contrés par la mise en place des tours d'eau (nous verrons que par ailleurs les tours d'eau modifient la localisation des manques d'eau au sein du périmètre).

12.2.3. Rendements des cultures

Le Tableau 11 présente les résultats simulés des rendements des principales cultures. La marge d'erreur entre les résultats simulés et observés est d'environ 10 % ce que nous estimons comme un résultat acceptable par rapport à l'objectif de cette modélisation. Une marge d'erreur à peu près identique avait été trouvée pour l'estimation des rendements dans la première version du modèle développé (Becu 2001).

Les écarts types des rendements de cultures simulés sont dans des gammes variables en fonction de la sensibilité des cultures aux stress hydriques et par rapport à la saison de

⁸⁶ La Figure 58 indique le pourcentage de parcelles ayant un stress hydrique qu'il soit faible ou important, mais ne reflète pas l'importance du stress hydrique.

culture. Nous verrons plus tard lors de la comparaison des différentes stratégies des agents, que des écarts de rendements significatifs entre les différentes stratégies de culture sont retrouvés.

	Ail (frais)	Soja	Chou	Pois (var. locale)	Maïs	Pomme de terre	Riz
Moyenne simulée (T/ha)	22,8	1,6	13,7	8,7	3,4	18,8	3,1
Ecart Type simulé (T/ha)	0,6	0,2	1,6	0,3	0,5	1,4	0,2
Observé (T/ha)	22	1,4	12,6	9	3,5	17,5	3,2

Tableau 11 : Rendements des principales cultures - simulés et observés (source : résultats d'enquêtes réalisées en 2003)

12.2.4. Bénéfice et endettement

La Figure 60 montre l'évolution des bénéfices agricoles moyens de la population d'agents-agriculteurs. Il apparaît que le bénéfice varie en fonction des années. Cela tient en grande partie à l'assolement réalisé chaque année, mais ces variations rendent compte également du niveau de sécheresse rencontré chaque année (les années 5 et 9 par exemple sont des années où les stress hydriques sont particulièrement importants). Les dépenses des ménages ne sont pas considérées par le modèle. Ainsi, la courbe d'évolution de la trésorerie des agents est en constante hausse durant les 10 années de simulation. De même, le modèle ne comprend pas de règles pour le remboursement des emprunts (c'est un sujet que nous n'avons pas abordé durant nos enquêtes), et c'est pourquoi le niveau d'endettement en début de campagne indiqué à la Figure 60 arrive à un seuil après la première année, puis ne varie pratiquement plus (ce seuil est le seuil d'endettement maximum toléré par les agents).

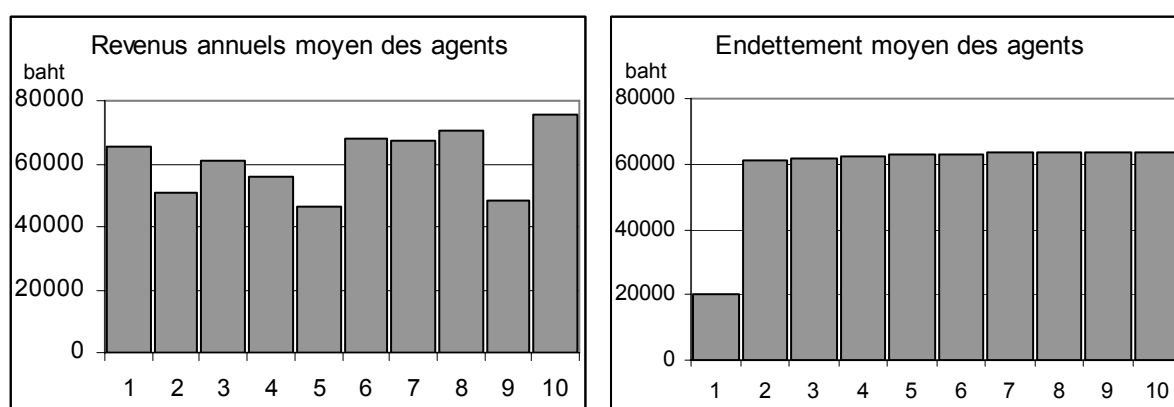


Figure 60 : Revenu annuel et endettement moyen des agents-agriculteurs au cours des 10 ans de simulation

Les bénéfices annuels simulés correspondent selon nos estimations au bénéfice moyen des foyers dans le village étudié. Néanmoins, nous n'avons pas de données très précises quant

aux revenus exacts des foyers. La référence de 100 bahts par jour est souvent utilisée comme estimation des dépenses familiales d'un foyer agricole dans le Nord Thaïlande. Les simulations engendrent des bénéfices de 150 bahts/jour/foyer. Or, nous savons que le village de Sai Mun est un village relativement riche pour le Nord Thaïlande, ce qui correspondrait donc à nos résultats⁸⁷. Les niveaux d'endettement sont également dans la gamme de valeurs que nous connaissons pour le village, mais cela n'est pas étonnant puisque les résultats simulés sont contraints par un seuil que nous avons fixé⁸⁸.

12.2.5. Variabilité de quelques autres paramètres

Dans cette section nous détaillons plus précisément la variabilité du modèle en nous intéressant à certains résultats clés des simulations. Nous exprimerons la variabilité par le rapport entre l'écart type et la moyenne des résultats des 30 répétitions du scénario de référence.

Pour les principales cultures, une faible variabilité entre simulations des assolements de chacune des saisons de chacune des 10 années de simulation est observée. Ainsi nous trouvons une variabilité de l'ordre de 5 % (rapport écart type, moyenne) pour l'ail (principale culture de rente vendue sur le marché), pour la variété de pois locale (principale culture sous contrat), pour le tabac et pour la pomme de terre. Par contre pour les cultures ne représentant qu'une faible proportion de l'assolement, une variabilité plus forte est observée entre les 30 répétitions. Les fortes variabilités trouvées pour ces cultures sont souvent dues à des trajectoires de choix de culture spécifiques de certaines stratégies d'agents-agriculteurs.

Par exemple, les agents ayant une stratégie axée sur la gestion du risque vont, suivant les simulations, soit cultiver plus de soja soit cultiver plus de maïs doux, en fonction des préférences qui s'établissent au cours de la simulation. Dans la population d'agents axés sur le partenariat et les cultures sous contrat, la variabilité, entre les cultures choisies d'une simulation à l'autre, est due au nombre de cultures sous contrat que ces agents ont pu réaliser. En effet pour obtenir un contrat, un agent-agriculteur est en compétition avec les autres agents-agriculteurs, étant donné que l'offre des entreprises promouvant des contrats de cultures est limitée⁸⁹. Ainsi, sur une moyenne de 76 % de cultures réalisées sous contrat

⁸⁷ A titre de comparaison un ouvrier agricole gagne environ de 30 à 40,000 bahts par an.

⁸⁸ Le montant seuil d'endettement correspondant, d'après nos enquêtes, au niveau d'endettement des agriculteurs du village en 2003.

⁸⁹ L'agent entreprise-privée choisit les agents-agriculteurs ayant demandé un contrat en premier, et l'ordre selon lequel les agents-agriculteurs envoient leur proposition est aléatoire et varie chaque année. Par contre le fait d'envoyer une demande de contrat est déterminé par la stratégie de l'agent, par sa base de connaissances et par rapport à la croyance qu'il a du type de culture proposé.

pour cette stratégie, nous trouvons un écart type de 16 % entre les résultats des 30 répétitions. Ces exemples mettent en relief la diversité des pratiques culturelles des agents que nous détaillons dans la section 12.3.

La variabilité des informations contenues dans les bases de connaissances est de l'ordre de 8 % (tant au niveau de la quantité d'informations contenue dans la base de connaissances, qu'au niveau du type d'information). Néanmoins, une fois triées les informations principales se révèlent très proches d'une simulation à l'autre. Ainsi, en ce qui concerne la base de connaissances liée aux cultures, une fois triée, les préférences des agents en matière de culture varient dans une fourchette de 2 à 4 %⁹⁰.

Nous venons de nous intéresser à la variabilité de certains paramètres. Ceux que nous n'avons pas abordés ici sont sujets à de faibles variations d'une simulation à l'autre. Ainsi on peut énumérer le niveau de fertilité des sols perçu par les agents (5 % de variation), le niveau de fertilité réel simulé (4 % de variation), la trésorerie moyenne des agents (3 % de variation) ou encore le niveau d'endettement (1 % de variation).

A présent que nous venons de détailler quelques unes des vérifications effectuées sur le modèle et les niveaux de variabilités observés d'une simulation à l'autre, nous allons nous intéresser à l'objet même de cette modélisation qui est la simulation de différentes représentations d'acteurs, la façon dont les croyances des agents évoluent et comment cela influe sur les comportements. Après cela nous nous intéresserons dans la dernière section de ce chapitre à l'hétérogénéité des perceptions qu'ont les agents de leur environnement naturel et comment il est possible de visualiser cette hétérogénéité au moyen de différents points de vue de l'interface spatiale du modèle.

12.3. Stratégies et évolutions des croyances et des comportements

Comme nous l'avons évoqué dans la première partie de ce chapitre, les simulations du scénario de référence racontent une histoire, celle de l'évolution du système agricole du village de Sai Mun à partir d'une époque où la principale culture de la saison sèche était l'ail (posons 1998 comme l'année correspondante à la première année de simulation) jusqu'à une date, postérieure à celle d'aujourd'hui, où la saison sèche voit son assolement complètement diversifié avec l'arrivée de nouvelles cultures (notamment des cultures sous contrat), l'utilisation de nouvelles formes d'amendements minéraux et organiques et des croyances et des préférences de cultures complètement modifiées.

⁹⁰ La plus grande variabilité observée au niveau des choix de culture effectivement réalisés est donc plus dû à des contraintes rencontrées par les agents une fois leurs préférences établies (manque de moyens financiers, non obtention du contrat de culture,..) qu'à ces préférences elles mêmes.

Les différentes stratégies de cultures, de ventes, d'apprentissages et dans une moindre mesure d'irrigations, vont bien entendu influencer sur les choix et les agents-agriculteurs vont connaître des évolutions différentes tout au long de ces 10 années de simulation. Ce sont ces différences d'évolution que nous analysons dans ce chapitre et dans celui qui suit. Dans les sections 12.3.1 et 12.3.2, nous nous intéresserons principalement aux différences existant entre les différentes stratégies de cultures. Nous aborderons les différences entre les stratégies de vente et d'apprentissage dans les sections 12.3.3 et 12.3.4. Pour ce qui est des différences entre les stratégies d'irrigation les résultats obtenus ne sont pas particulièrement intéressants par rapport à la problématique de la modélisation des représentations et ne sont pas très significatifs non plus en raison du faible enjeu que représente la gestion de l'eau dans ce village ; c'est pourquoi nous ne nous attarderons pas sur cet aspect⁹¹.

Rappelons enfin que l'histoire que constitue ce scénario de référence est ponctuée par différentes interventions extérieures au village qui viennent influencer sur les comportements des agents. Ces interventions sont :

- L'entrée en jeu dès la deuxième année puis de façon croissante jusqu'à la quatrième année d'entreprises privées proposant des cultures sous contrat (pois, tabac, maïs doux, pomme de terre). A partir de la cinquième année (que l'on peut considérer comme l'année 2002, durant laquelle nous avons effectué nos enquêtes) l'offre de contrats reste constante jusqu'à la fin de la simulation. Durant la simulation, les agents-entreprises viennent promouvoir leurs contrats deux fois dans l'année à un nombre aléatoire et restreint d'agents-agriculteurs. Ces derniers peuvent également apprendre l'existence de ces contrats par les échanges d'informations existant au sein de leur réseau social ou bien par une recherche active de leur part dans le cas des agents ayant une stratégie d'apprentissage prospective.
- L'activité du Projet Royal est quasi équivalente à celle des entreprises privées mais ne concerne que le maïs doux. Néanmoins, étant donné le faible niveau attractif de la culture proposée, le nombre de cultures réalisées avec le Projet Royal est infime ce qui correspond à ce que nous avons observé sur le terrain. Par contre l'agent Projet Royal joue également un rôle d'information quant à l'utilisation d'intrants et d'amendements minéraux et organiques. Les agents-agriculteurs ayant une stratégie d'apprentissage

⁹¹ Les différences de résultats entre les deux stratégies d'irrigation (respectueux des règles de gestion de l'eau collectives ou pas) sont identiques aux résultats que nous avons déjà trouvés dans la première version de CatchScape réalisée durant le DEA, mais dans des proportions moindres ; à savoir une diminution du revenu global et une augmentation des disparités de revenus.

prospective peuvent également venir chercher l'information auprès de l'agent Projet Royal directement.

- L'intervention d'un agent dit « le scientifique », pour reprendre les termes des agriculteurs de Sai Mun, qui vient la quatrième et la huitième année faire des analyses de sol sur un échantillon aléatoire et restreint de parcelles, puis communique les résultats aux agents propriétaires des parcelles. Cette activité consiste au niveau du modèle à communiquer les valeurs de pH des parcelles aux agents concernés. Cela résultera dans une révision de la croyance qu'a l'agent de la fertilité de son sol. Les agents-agriculteurs ayant une stratégie d'apprentissage prospective peuvent également demander à cet agent de venir faire une analyse du pH sur l'une de leur parcelle. Néanmoins ce dernier ne répond favorablement à ces demandes que très rarement (fait que nous avons pu constater durant notre période d'enquête).

Nous allons à présent aborder ces évolutions de croyances et de comportements en commençant par celles liées aux cultures.

12.3.1. Préférences de cultures et assolements

Pour chaque année nous distinguons les préférences des agents en matière de culture et l'assolement effectivement réalisé de chacune des trois saisons : la saison des pluies, la saison sèche et froide et la saison sèche et chaude. L'assolement de la saison des pluies est simplissime et constant : l'ensemble des agents-agriculteurs cultivent du riz pour leurs besoins alimentaires.

a) Résultats de simulation

Saison froide

Pour la saison sèche et froide (que nous appelons saison froide), la plupart des agents cultivent la première année de l'ail (Figure 61). Seuls les agents ayant une stratégie de culture axée sur la gestion de la fertilité du sol cultivent d'autres cultures (du soja et du chou). Lorsque l'on étudie les préférences des agents de cette stratégie (Figure 62), on apprend que leur première préférence va vers la culture d'ail. Cependant, les agents ayant cette stratégie ont la croyance (qui est implémentée comme une règle de fonctionnement du système dans l'architecture de l'agent) que l'ail n'est pas approprié pour des sols peu fertiles (voire qu'il contribue à détériorer le sol). C'est pourquoi lors de la première année, les agents ayant perçu une mauvaise fertilité de leur sol, vont s'orienter vers leur deuxième préférence : le soja et le chou (Figure 62 : Evolution des préférences de culture de saison froide des différentes stratégies

)⁹². Notons que les agents ayant une stratégie de culture axée sur le partenariat agricole n'ont pas de préférences la première année car celle-ci ne se réfère qu'à des cultures sous contrat, or aucune entreprise ne propose de contrat la première année⁹³.

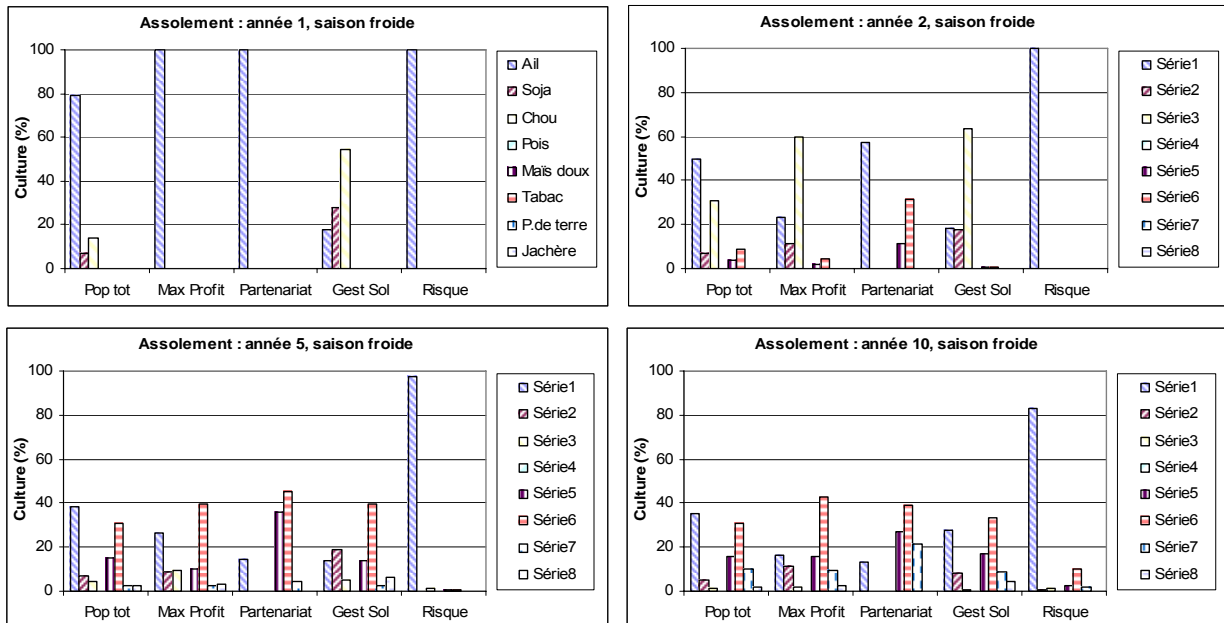


Figure 61 : Evolution de l'assolement de la saison froide des différentes stratégies de culture

La deuxième année, des cultures sous contrats sont proposées et les « agents-partenariat » vont s'orienter vers ces cultures (tabac et maïs doux). Ceux continuant à cultiver de l'ail n'ont pas pu trouver de contrat. Les « agents-profit » (ceux ayant une stratégie de culture axée sur la maximisation du profit) vont eux s'orienter sur la culture d'ail mais également sur le chou et des cultures sous contrat, et ce bien que leurs première et deuxième préférences vont vers l'ail. Cela est dû à une croyance de cette stratégie qui veut que l'agent choisisse une culture dont il sait qu'il va obtenir un bon prix de vente. Or, à ce stade de la simulation, les agents n'ont qu'une faible connaissance des prix de vente⁹⁴ et certains agents ont considéré que le prix de vente de l'ail qu'ils avaient obtenu l'année précédente à la même date était insuffisant et c'est pourquoi ils essayent d'autres cultures (ces cultures correspondant à leur troisième ou n^{ième} préférence). L'hétérogénéité de choix de culture des agents-profit est également due au fait que certains ont une stratégie de commercialisation spéculative et

⁹² Les agents de la stratégie de gestion des sols ont une deuxième croyance, qui veut que lorsque la fertilité du sol est très basse, la seule culture appropriée est le soja, voire la non-culture (notée jachère dans les figures présentées) pour laisser reposer le sol.

⁹³ Lorsqu'il n'y a pas de contrat possible, la stratégie axée sur le partenariat s'oriente vers une stratégie alternative très proche de celle axée sur la maximisation du profit.

⁹⁴ La base de connaissance des prix du marché est quasiment vide à l'initialisation du modèle.

d'autres une stratégie de commercialisation passive. Or les « agents-spéculatifs » établissent une base de connaissances des prix de vente beaucoup plus développée que les autres⁹⁵. Les « agents-gestion-du-sol » ne poursuivent la même stratégie que la première année notamment du fait que leur perception de la fertilité de leurs sols n'a pas évolué.

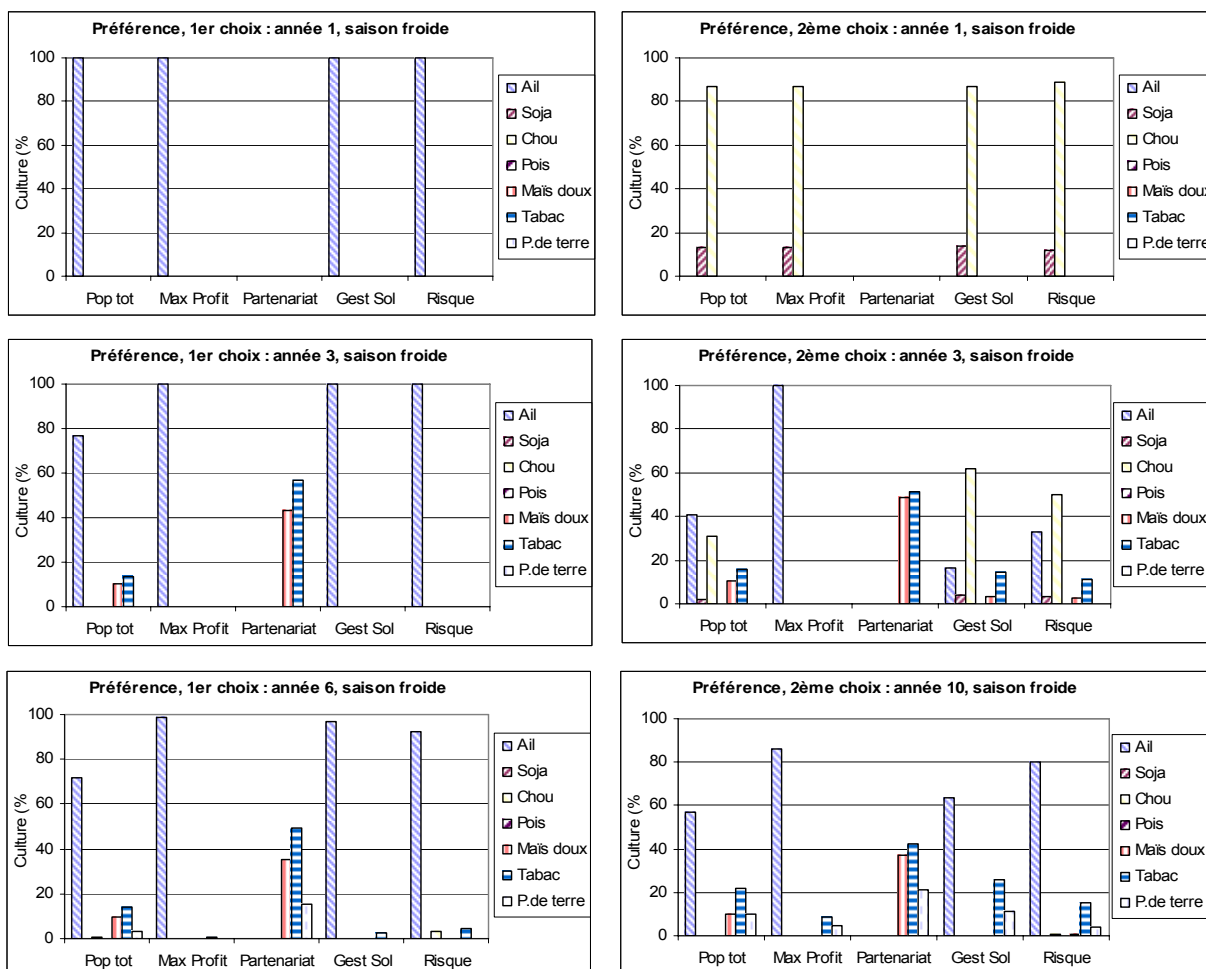


Figure 62 : Evolution des préférences de culture de saison froide des différentes stratégies

Les agents ayant une stratégie de culture axée sur la gestion du risque continuent à préférer et à cultiver de l'ail. Pour bien comprendre les agents de cette stratégie il faut rappeler que la plupart d'entre eux ont une forte résistance au changement et moins d'intérêts que les autres agents pour une diversification des cultures produites (stratégies de commercialisation et d'apprentissage passives)⁹⁶. Ainsi, l'une des croyances de cette stratégie est que si les

⁹⁵ La stratégie de commercialisation spéculative mémorise les prix de vente de toute information sur un résultat de culture parvenant à l'agent (aussi bien les informations échangées dans le réseau social que celles provenant d'entreprises proposant des contrats de culture). Alors que la stratégie de commercialisation passive ne mémorise les prix de vente que des résultats de culture de l'agent lui-même.

⁹⁶ Nous rappelons également que les agents de cette stratégie ont été construits notamment à partir des représentations identifiées de deux agriculteurs du village de Sai Mun qui ont connu de nombreux

résultats obtenus l'année précédente ont permis d'obtenir un revenu suffisant, il vaut mieux réitérer le même choix que d'essayer d'autres cultures ou d'autres intrants. C'est en cela que cette stratégie gère, ou minimise, le risque de culture.

Ainsi, au cours des 10 années de simulation les préférences et les choix de culture des « agents-gestion-du-risque » ne vont que très peu évoluer et ce n'est qu'à partir de la cinquième année que d'autres cultures vont apparaître. Néanmoins, à la dixième année la culture de l'ail reste dominante pour cette stratégie aussi bien au niveau des préférences de culture que de l'assolement réalisé. Pour ce qui est des autres stratégies, l'évolution après la deuxième année jusqu'à la dixième année est plus hétéroclite. Les agents-partenariat vont continuer à se diversifier au fur et à mesure que de nouveaux contrats de culture sont proposés jusqu'à se créer une base de connaissances relativement complète de l'offre de contrats existant, et donc des préférences relativement stables d'une année sur l'autre (on remarquera la ressemblance des préférences des agents-partenariat entre la sixième et la dixième année, Figure 62). Les agents-profit vont eux d'abord revenir sur la culture d'ail lors de la troisième année après s'être rendu compte que le soja et le chou n'étaient pas plus rentables que l'ail, puis ils vont se diversifier progressivement en fonction de leurs expériences personnelles en matière de revenu obtenu pour chaque type de culture et de leurs connaissances respectives des prix de ventes. Le tabac prend une part importante de l'assolement d'une part parce que certains estiment que c'est une culture rentable⁹⁷ mais aussi car le prix de vente ne varie que très peu et que de ce fait ils ont une meilleure connaissance de ce prix. Alors que pour l'ail, le prix fluctue d'année en année, et donc leur estimation, a posteriori, du prix de vente de l'ail évolue également. De fait, lorsqu'on examine le détail de l'assolement des agents-profit tout au long des dix années de simulation on s'aperçoit que la part de l'ail fluctue d'année en année, l'ail étant tantôt la culture la plus cultivée et tantôt devancée par le tabac.

Enfin les assolements des agents de la stratégie de gestion des sols vont connaître une évolution très liée à la perception qu'ont les agents de la fertilité de leur sol. Comme le montre la Figure 63, globalement ces agents perçoivent un niveau de fertilité du sol assez moyen qui va ensuite en s'améliorant. Néanmoins cette figure cache une certaine disparité au sein de la population des agents-gestion-du-sol et une partie perçoit un niveau de fertilité assez bas. C'est pourquoi dans l'assolement de la cinquième année on retrouve environ

problèmes d'ordre personnel et qui sont socialement un peu à l'écart des autres villageois. L'un de ces agriculteurs nous ayant notamment déclaré : « [*l'agriculture*] *il faut avoir du temps pour s'en occuper et pour l'instant j'ai trop de soucis pour m'en occuper correctement* ».

⁹⁷ On voit le tabac apparaître la sixième année comme une préférence de certains agents-profit et prendre une part plus importante la dixième année (10 % des agents-profit considèrent le tabac comme leur première préférence de culture)

25 % des parcelles de ces agents qui sont soit cultivées avec du soja, soit laissées en jachère, et ce pourcentage va ensuite en diminuant jusqu'à 15 % la dixième année. De même, les agents-gestion-du-sol qui perçoivent une bonne fertilité du sol, et leur part va en augmentant, vont se permettre de cultiver de l'ail qui reste leur préférence première, lorsque la fertilité du sol le permet.

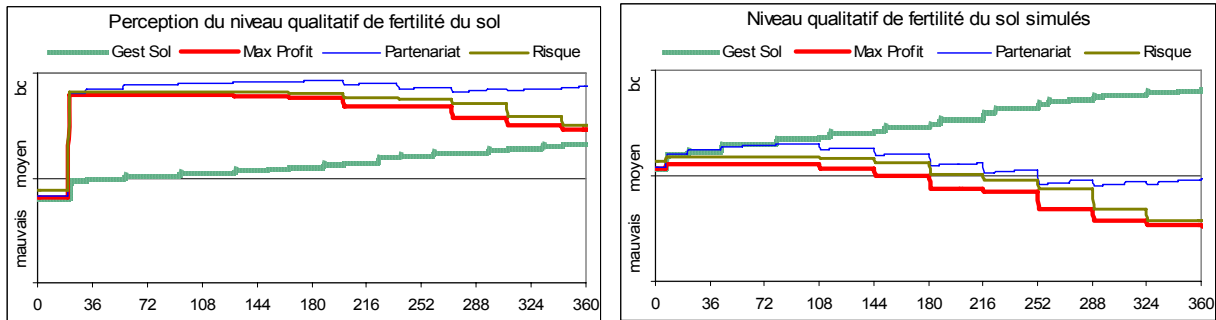


Figure 63 : Fertilité du sol au cours des 360 pas de temps, perçue et "réelles-simulées"

Saison chaude

Les assolements et préférences de culture des agents pour la saison chaude, connaissent des évolutions similaires à celles de la saison froide à la différence que l'ail n'y est pas présent (la culture d'ail nécessite des températures basses) et que le pois (culture sous contrat particulièrement rentable) et le soja (culture « traditionnelle » de la saison chaude) y jouent un rôle important. A l'initialisation, les agents connaissent deux cultures, le soja et le chou (Figure 64). Les agents-profit vont rapidement abandonner le soja qu'ils ne considèrent pas comme suffisamment rentables et vont essayer différentes cultures sous contrat pour finalement établir leur préférence sur le pois principalement (Figure 65).

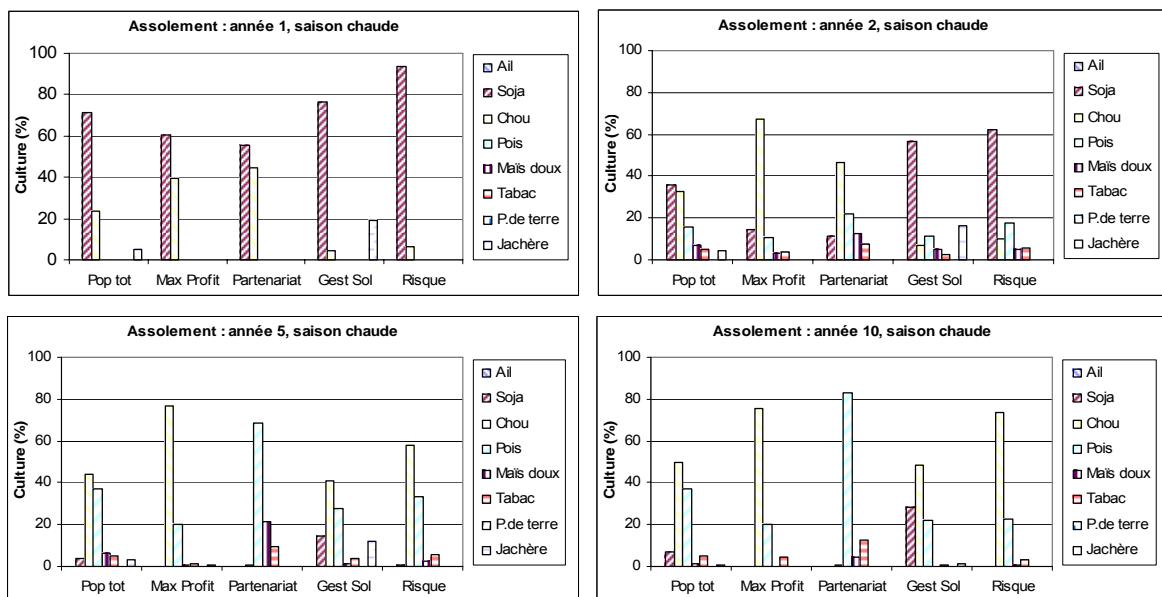


Figure 64 : Evolution de l'assolement de saison chaude des différentes stratégies de culture

Les agents-partenariat vont, dès que les entreprises privées commencent à proposer des contrats, essayer différents types de cultures pour également préférer assez rapidement la culture qu'ils perçoivent comme étant la plus profitable, à savoir le pois (notons que le chou, culture sans contrat vendue sur le marché, est absent de leurs préférences et de leurs assolements).

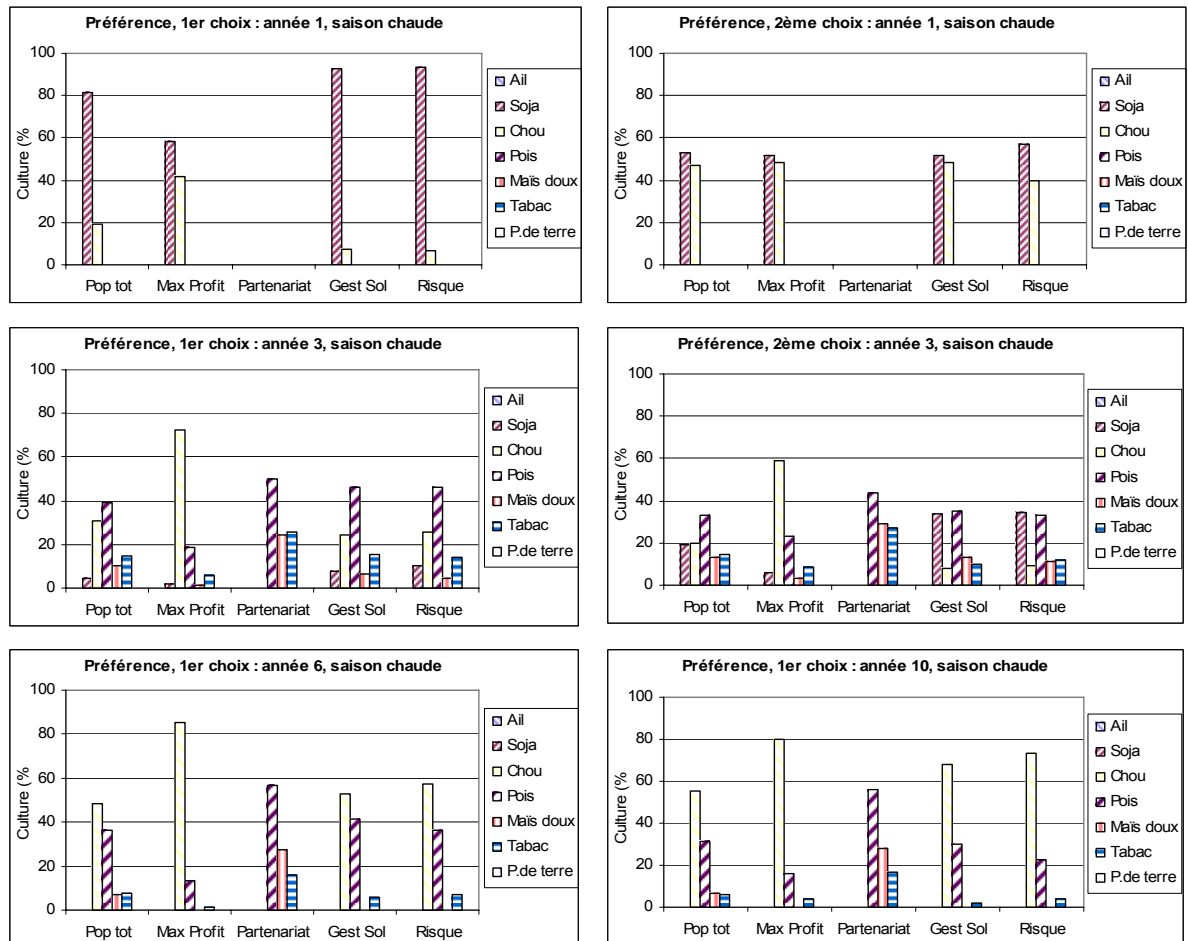


Figure 65 : Evolution des préférences de culture de saison chaude des différentes stratégies

Une partie des agents-gestion-du-sol va garder le soja comme culture de saison chaude considérant que le soja contribue à améliorer le sol. La part de soja et jachère diminue d'année en année (de 70 à 25 % entre la deuxième et la cinquième année), liée à la perception d'une fertilité du sol croissante, et à la dixième année une infime part de parcelles est laissée en jachère car très peu d'agents-gestion-du-sol considèrent la fertilité de leur sol comme étant mauvaise. Ceux ayant la perception d'une bonne fertilité du sol vont cultiver du chou, du pois ou du tabac en fonction de leurs préférences (Figure 65, rappelons que les préférences des agents-gestion-du-sol ne sont adoptées qu'en cas d'une bonne perception du sol). Enfin, environ 30 % des agents-gestion-du-risque qui avaient, lors de la première année, cultivé du soja, ont considéré que le revenu obtenu était insuffisant et ils vont donc essayer d'autres cultures la deuxième année. Par ce biais, leur expérience personnelle en

matière de culture va être plus diversifiée que pour le cas de la saison froide et la population d'agents-gestion-du-risque va avoir des préférences et des choix de cultures variés. Il n'en reste pas moins que pour un agent donné, lorsqu'il trouve une culture qui lui apporte un revenu suffisant, il réitérera son choix les années suivantes. Comme pour les autres stratégies d'agents à partir de la sixième année, les préférences de cultures sont assez bien établies et on retrouve à peu près les tendances entre la sixième et la dixième année.

b) Conclusion

Cette première analyse des résultats de simulation démontre la cohérence de la méthodologie d'identification et de modélisation que nous avons appliquée. En effet, les processus de diffusion qui apparaissent dans les simulations, tels que (1) la diminution de l'ail pour la saison froide et du soja pour la saison chaude au profit d'autres cultures, ainsi que (2) l'arrivée progressive de cultures sous contrats dans les assolements de la saison froide et de la saison chaude (dont notamment le pois durant la saison chaude) sont des processus qui se sont effectivement déroulés dans le village de Sai Mun entre les années 1998 à 2003 (ce qui correspondrait aux années 1 à 6 dans nos simulations). Certes les résultats obtenus sont influencés par les événements extérieurs que nous induisons au cours de la simulation (proposition de contrats, fluctuations des prix de vente, écarts de rentabilité entre les différentes cultures), mais la façon dont ces processus de diffusion s'opèrent au sein de la population d'agents-agriculteurs n'est le résultat que de la modélisation des représentations que nous avons effectuée. Par exemple, le fait que certains agents conservent la culture de soja, que d'autres se diversifient très lentement ou que certains conservent la culture d'ail pour des raisons purement économiques sont autant d'exemples que nous retrouvons sur le terrain. Nous verrons au chapitre 13 que ces schémas d'évolutions ont pu être validés à dire d'acteurs.

12.3.2. Gestion des sols et amendements

Dans cette partie nous décrivons l'évolution des comportements liés à la gestion du sol et à l'utilisation d'intrants et d'amendements minéraux et organiques. Nous nous attacherons à montrer comment le modèle parvient à simuler l'émergence de nouvelles croyances. Nous nous baserons pour cela sur le cas de l'utilisation d'engrais bio-organiques.

Nous expliquons tout d'abord comment les choix d'intrants s'effectuent dans le modèle. Pour simplifier nous parlerons d'intrants en nous référant à l'ensemble des intrants et des amendements minéraux et organiques que les agriculteurs de Sai Mun utilisent dans l'objectif d'améliorer la fertilité du sol ; à savoir du fumier, du compost, de la dolomite ou des engrais bio-organiques. Chaque type d'intrant est caractérisé par son efficacité que l'agent va évaluer et mettre à jour après chaque utilisation en fonction des résultats obtenus sur la culture et sur le sol. Par ailleurs, les petites et les grandes quantités d'un intrant donné,

comme par exemple une grande quantité de fumier et une petite quantité de fumier (notées fumierG et fumierP dans les figures présentées), sont considérées comme deux types d'intrants différents par l'agent. Les bases de connaissances des intrants et de leur efficacité respective sont initialisées avec un même niveau d'efficacité pour chaque type d'intrant. En outre, la première année, la fertilité des sols n'est pas connue des agents.

a) Résultats de simulation

Nous décrivons à présent l'évolution de l'utilisation d'intrants qui est simulée en nous appuyant sur la (Figure 66). La première année, chaque agent essaie un type d'intrant en petites quantités d'intrants (à efficacité égale l'agent va choisir la petite quantité qui est donc moins chère).

Dès la deuxième année et ce jusqu'à la fin de la simulation, les agents-maximisation-du-profit et les agents-gestion-du-risque ne vont plus utiliser d'intrants et ce en raison des croyances qu'ils se sont bâties après la première année : ils perçoivent une bonne fertilité de leur sol et ils ne considèrent pas que les intrants appliqués aient été efficaces.

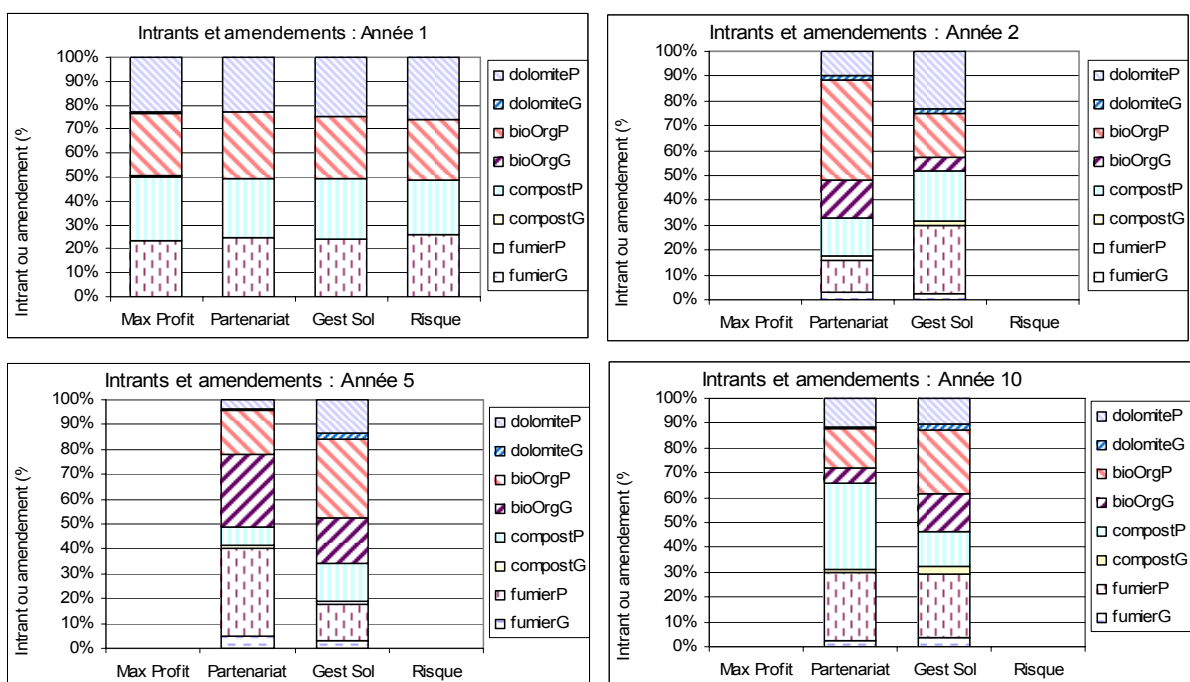


Figure 66 : Evolution de l'application d'intrants des différentes stratégies de culture

Une partie des agents-partenariat va par contre continuer à appliquer des intrants et ce car, associés avec une stratégie d'apprentissage prospective, ces agents vont rechercher et prendre en compte les recommandations provenant de l'agent Projet Royal en matière

d'intrant et d'amendement⁹⁸ (ce comportement qui est implémenté provient de ce que les agriculteurs nous ont décrit). Les agents-gestion-du-sol ont eux une façon différente de considérer la fertilité de leur sol. Tout d'abord ils ont une perception plutôt pessimiste du niveau de fertilité de leur sol⁹⁹ et c'est pourquoi leur perception du sol se distingue de celles des autres stratégies dans la Figure 63, et par ailleurs ils prennent en compte la structure et le pH (s'il est connu) perçus du sol dans leur estimation de la fertilité de leur sol (les autres stratégies estiment la fertilité du sol uniquement en fonction des résultats obtenus sur les cultures). La deuxième année un grand nombre d'agents-gestion-du-sol va alors continuer à utiliser des intrants, dont certains en grandes quantités. En effet certains ayant trouvé les petites quantités peu efficaces la première année, ils vont alors essayer les intrants en grandes quantités. Au fur et à mesure des années, l'expérience des agents en matière d'intrants va alors s'accroître, des échanges d'informations quant à l'efficacité des intrants vont s'effectuer au sein des réseaux sociaux et les bases de connaissances d'intrants vont s'enrichir. Des préférences en matière d'intrants vont alors s'établir et on voit apparaître des préférences bien particulières pour le fumier d'une part et pour les engrais bio-organiques d'autre part (23 % et 32 % respectivement des utilisations pour chacun de ces intrants lors de la dixième année, toutes quantités confondues, Figure 66).

b) Emergence d'une croyance

Si la préférence des agents-gestion-du-sol pour le fumier peut s'expliquer tout simplement par l'effet positif que cet amendement a sur la fertilité du sol et qui est pris en compte dans le module de fertilité du sol de CatchScape3, la préférence pour les engrais bio-organiques est un résultat que nous n'attendions pas a posteriori et qui est un cas intéressant d'émergence d'une croyance au sein de la population d'agents simulée.

Précisons tout d'abord que les engrais bio-organiques sont une marque d'engrais d'une composition relativement proche des engrais classiques mais que l'industriel appelle « biologiques » pour des raisons purement commerciales et ce afin de distinguer son produit des engrais « chimiques » qui ont une connotation négative dans l'esprit des consommateurs et de plus en plus dans celui des agriculteurs. Etant donné qu'ils sont équivalents aux engrais chimiques, l'application d'engrais bio-organiques est pris en compte par le modèle biophysique au niveau du bilan hydrique au même titre que les engrais chimiques (coefficient KF vu à la section 11.4.2). Par contre, ils ne sont pas considérés par

⁹⁸ Les agents-profit et les agents-gestion-du-risque n'étant jamais associés à une stratégie d'apprentissage prospective, ils n'auront pas accès aux recommandations de l'agent Projet Royal.

⁹⁹ L'implémentation d'une règle de perception de la fertilité du sol plus pessimiste que celle des autres stratégies permet de reproduire au niveau du modèle l'attention toute particulière que les agriculteurs enquêtés classifiés dans la stratégie « gestion du sol » portent à la fertilité de leur sol.

le module de fertilité du sol (pas d'effet sur les matières organiques ou sur le pH), et ce contrairement à la croyance qu'en ont les agriculteurs (ces derniers estiment que ces engrais améliorent la fertilité des sols). Par ailleurs, aucune croyance particulière n'est implémentée dans le modèle quant à un effet positif ou négatif de ces engrais. Ils sont juste présents dans la base de connaissances des agents à l'initialisation au même titre que les autres types d'amendements. Néanmoins lorsqu'on suit l'évolution des utilisations d'intrants des agents-gestion-du-sol au cours des 10 années de simulation, on s'aperçoit que ces engrais deviennent dès la quatrième année l'intrant le plus utilisé (Figure 67) : 32 %, 43 % et 36 % pour les engrais bio-organiques les 4^{ème}, 5^{ème} et 6^{ème} années, toutes quantités confondues, et 18 % 15 % et 21 % pour le compost.

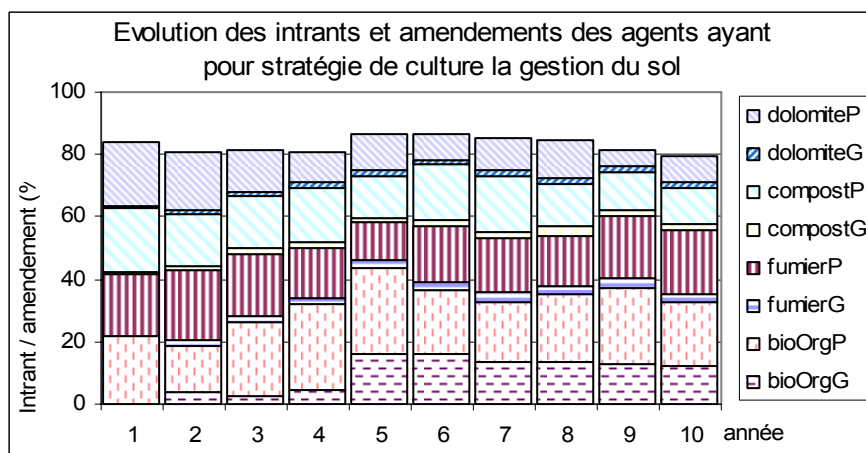


Figure 67 : Emergence de la croyance d'un effet positif des engrais bio-organiques

Certes, le fait que les engrais bio-organiques soient peu chers contribue au fait qu'ils soient plus utilisés que les autres intrants (un agent ayant peu de moyens, peut se trouver contraint d'utiliser un intrant peu coûteux), mais les préférences des agents suivent la même tendance et la part de ces engrais y est clairement majoritaire comme pour les applications effectivement réalisées¹⁰⁰. L'explication de ce résultat est donc ailleurs et se trouve dans l'interaction entre l'évolution de la fertilité du sol simulée, celle de la fertilité du sol perçue et qui est prise en compte pour l'estimation de l'efficacité d'un intrant, et les échanges d'informations qui se produisent au sein des réseaux sociaux. Plus précisément, il est possible qu'un agent pris individuellement lie à un moment donné une amélioration de la fertilité du sol à l'utilisation d'engrais bio-organiques (alors qu'elle est due à d'autres facteurs agissant au niveau du modèle biophysique) ; mais à long terme l'estimation de cet agent de

¹⁰⁰ La différence la plus significative entre les préférences des agents et les applications d'amendements effectivement réalisées est que les préférences vont plutôt vers des grandes quantités d'amendements alors que les choix définitifs sont plutôt pour des petites quantités (le coût agissant comme une contrainte qui va orienter les agents vers des plus petites quantités).

l'efficacité des engrais bio-organiques s'ajusterait et il réviserait à la baisse leur efficacité. Par contre, à l'échelle de la population d'agents-gestion-du-sol, l'amélioration de la fertilité du sol perçue (Figure 63) va, via les communications au sein des réseaux sociaux, être associée à l'utilisation d'engrais bio-organiques et diffusée dans les bases de connaissances des agents. En résumé, une diffusion s'opère, dans les réseaux sociaux, d'un effet positif des engrais bio-organiques alors que l'effet positif provenait à la base d'autres facteurs non considérés par les agents.

C'est donc via ces interactions qu'on observe à l'échelle de la population l'émergence d'un effet positif perçu des engrais bio-organiques. On constate dans la Figure 67 que cet effet positif perçu demeure jusqu'à la dixième année de simulation, voire tend à se stabiliser, et c'est pourquoi il est possible de le considérer comme l'émergence d'une nouvelle croyance.

c) Effets intrants sur le système biophysique

L'usage des amendements a bien entendu des effets sur le système biophysique. Dans la Figure 63 nous constatons une amélioration de la fertilité effective des sols (à droite) pour les agents-gestion-du-sol et une stabilisation pour les agents-partenariat (la fertilité du sol diminue au fur et à mesure des années pour les agents des autres stratégies). Les agents perçoivent ces évolutions comme nous le voyons dans la partie de gauche de la Figure 63, mais ces tendances cachent une disparité des perceptions, et ce notamment pour les agents-profit et les agents-gestion-du-risque. Cela traduit le fait que certains agents ont une méconnaissance totale de la fertilité effective de leur sol alors que d'autres (bien que peu nombreux) sont parvenus à une estimation correcte. Dans certains cas une meilleure connaissance de la fertilité des sols passe par la connaissance de la valeur du pH du sol, information qui peut venir soit à l'initiative d'une demande de l'agent auprès de l'agent-scientifique chargé des analyses de sol (cette demande peut être faite tous les ans) soit à l'initiative de l'agent-scientifique lui-même lors de la quatrième et de la huitième année (Figure 68).

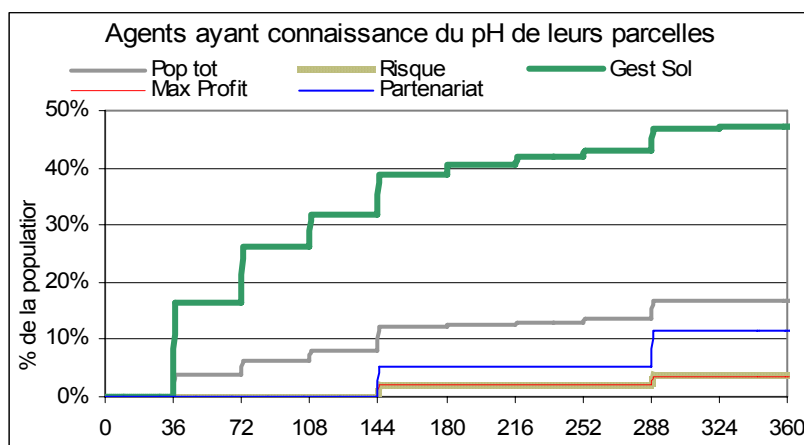


Figure 68 : Evolution de la connaissance du pH des sols tout au long des 360 pas de temps

Ces évolutions différentes de la fertilité du sol ont à leur tour un effet sur les rendements obtenus comme on peut le constater sur la Figure 69. Les rendements les plus importants sont ceux des agents-gestion-du-sol qui parviennent notamment à atteindre des rendements maximum pour la culture d'ail. Pour cette stratégie, les rendements supérieurs de l'ail par rapport aux autres cultures s'expliquent par le fait que l'ail est la seule culture qui n'est cultivée que durant la saison froide, saison à laquelle aucun manque d'eau ne survient (le calcul du rendement dans le modèle biophysique dépend du niveau de fertilité du sol mais également des stress hydriques survenus durant la période de culture).

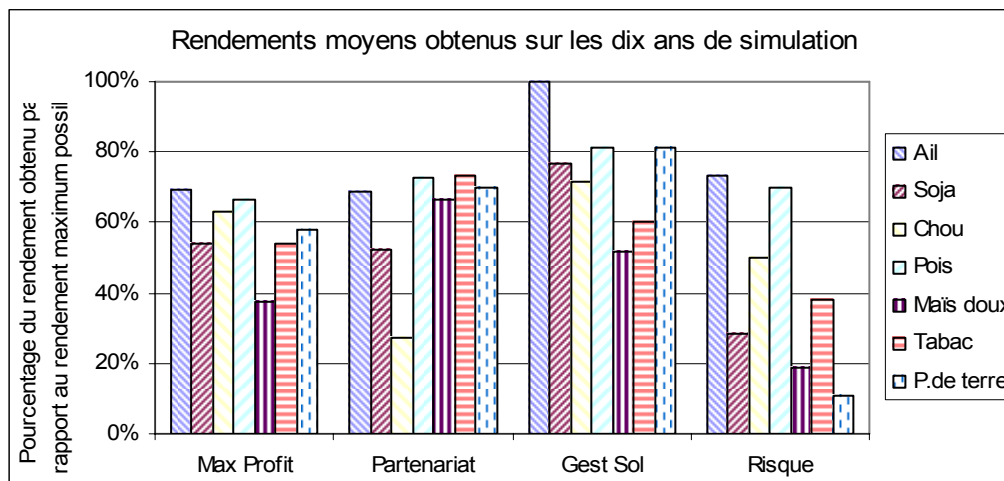


Figure 69 : Comparaison des rendements obtenus pour les différentes stratégies de culture

d) Conclusion

Nous venons de voir comment des phénomènes émergents apparaissent à l'échelle de la population d'agents ce qui, dans le cas de l'apparition d'une croyance quant à l'efficacité des engrais bio-organiques, nous semble particulièrement intéressant étant donné que nous pouvons la lier à des faits que nous avons constatés sur le terrain (les engrais bio-organiques étaient en effet très prisés par les agriculteurs lors de nos séjours sur le terrain).

Au niveau des résultats de simulation quant à l'application d'intrants, le fait que les agents-profit et les agents-gestion-du-risque n'en utilisent jamais nous a tout d'abord surpris ; et ce n'est qu'en revenant sur les croyances et les règles de décisions que nous avons identifiées et implémentées que nous avons compris qu'elles représentaient de telles contraintes que le processus de décision ne pouvait parvenir au choix de l'utilisation d'un intrant.

Cependant, l'étude des diagrammes EPR des agriculteurs regroupés dans ces catégories, révèle que l'utilisation d'intrants n'est pas exclue. En fait c'est parce que les stratégies que nous avons implémentées sont le regroupement de plusieurs diagrammes EPR que nous arrivons à un tel niveau de contrainte. En d'autres termes, les stratégies modélisées sont des stéréotypes alors que les individus poursuivent des stratégies plus nuancées comme nous le verrons dans le chapitre 13 ; cela a d'ailleurs été mentionné comme une critique par les

acteurs lors du test du modèle au cours de simulations participatives réalisées à la fin de la thèse.

Nous allons à présent étudier les différences d'évolution entre les différentes stratégies d'apprentissage ainsi qu'entre les différentes stratégies de commercialisation en nous intéressant aux bases de connaissances d'une part et aux revenus d'autre part.

12.3.3. Apprentissage et bases de connaissances

Comme nous l'avons vu, l'apprentissage joue un rôle important dans les résultats de simulations et contribue à différencier les agents au fur et à mesure de la simulation. Ainsi, à la Figure 68 nous avons montré comment les différentes stratégies de culture se distinguent quant à leur connaissance du pH du sol. La partie de gauche de la Figure 70, nous indique l'évolution de la taille moyenne des bases de connaissances du sol et des intrants (l'échelle de l'axe des ordonnées n'a que peu d'intérêt et ce sont les différences entre les différentes stratégies qui importent) des différentes stratégies d'apprentissage tout au long des 360 pas de temps de la simulation.

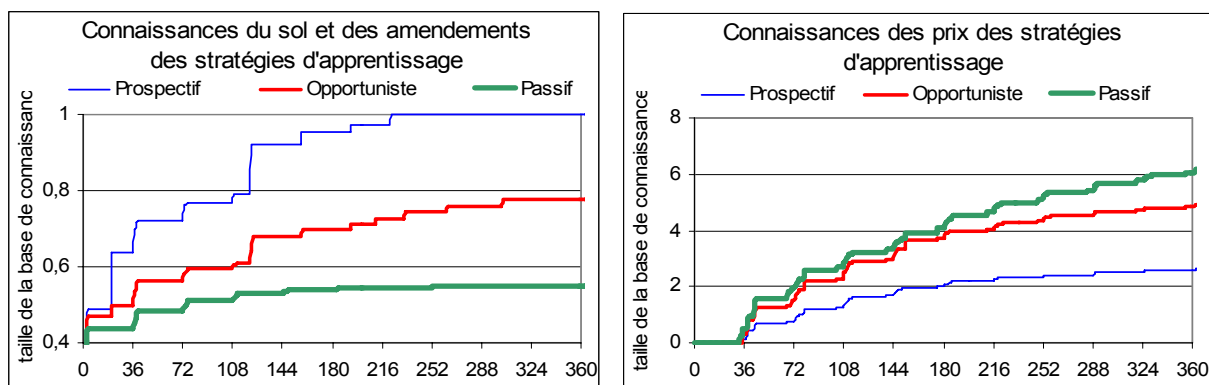


Figure 70 : Evolution des bases de connaissances des différentes stratégies d'apprentissage

La stratégie prospective va rechercher de l'information, comme par exemple la valeur du pH, alors que la stratégie opportuniste ne fait que recevoir de l'information. Enfin la stratégie passive n'accepte de recevoir de l'information que si l'agent y porte de l'intérêt. Dans le cas des connaissances liées à la gestion du sol, le fait que la stratégie passive ne soit associée qu'à des agents-profit et des agents-gestion-du-risque, c'est-à-dire des agents ne portant aucun intérêt particulier pour le sol, fait qu'il n'y a que très peu d'évolution de la taille des bases de connaissances. Par contre la partie droite de la Figure 70 qui représente l'évolution de la taille de la base de connaissance des prix montre une augmentation plus importante pour la stratégie passive car les agents-profit qui y sont associés portent un intérêt pour ce type de connaissance.

12.3.4. Commercialisation et revenus

Les stratégies de commercialisation ont un impact sur les prix de ventes obtenus (la stratégie spéculative obtenant généralement de meilleurs prix de vente en raison de sa meilleure connaissance des prix du marché, Figure 72) et les marges brutes réalisées, ce qui se retrouve dans la disparité des revenus entre les différentes stratégies de commercialisation comme indiqué dans la partie gauche de la Figure 71.

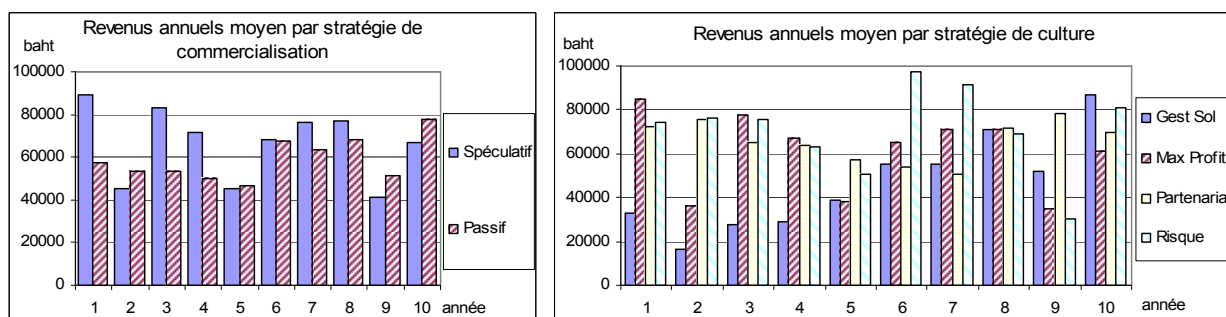


Figure 71 : Evolution des revenus de différentes stratégies

La Figure 72 montre également l'apprentissage progressif et important des agents de la stratégie de commercialisation spéculative quant à la connaissance des prix du marché. Cette information est en effet cruciale pour ce groupe qui base sa stratégie de commercialisation sur les fluctuations du marché et c'est pourquoi ses agents sont si actifs dans l'apprentissage des prix du marché. Cependant, cette stratégie de commercialisation n'est pas toujours payante, ainsi lors des années 5, 9 et 10 la stratégie de commercialisation passive (c'est-à-dire non spéculative : les agents vendent leurs denrées juste après la récolte) obtient de meilleurs résultats avec la stratégie spéculative¹⁰¹.

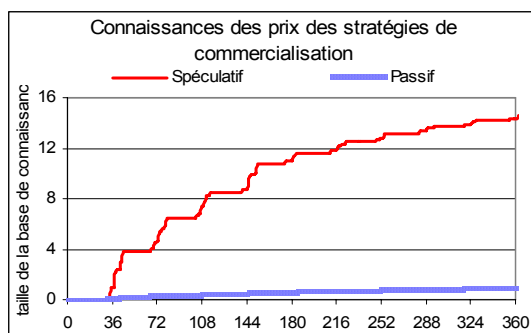


Figure 72 : Evolution de la connaissance des prix pour les stratégies de commercialisation

Revenons finalement sur la partie droite de la Figure 71 indiquant l'évolution des revenus des différentes stratégies de culture. Plusieurs faits marquants sont à considérer. Tout

d'abord la lente mais constante augmentation des revenus des agents-gestion-du-sol est le résultat de leurs efforts pour améliorer la fertilité du sol de leurs parcelles. Au final cette stratégie s'avère payante puisqu'ils obtiennent les meilleurs revenus la dixième année. Les revenus des agents-profit sont assez fluctuants du fait de la part importante de ces agents (les trois-quarts) qui poursuivent une stratégie de commercialisation spéculative (stratégie qui a pour conséquence des fluctuations de revenus comme nous le montre la partie gauche de la Figure 71). Les revenus des agents-partenariat sont certainement les plus stables notamment en raison de la plus grande stabilité des prix proposés par les entreprises privées avec lesquelles ces agents s'associent, et également du fait que les agents-partenariat parviennent à stabiliser la fertilité de leur sol grâce aux conseils de l'agent-Projet Royal. Enfin l'évolution des revenus des agents-gestion-du-risque est intéressante car elle est relativement conforme à ce que la majorité des agriculteurs nous ont décrit, durant nos enquêtes, de la situation à laquelle ils ont fait face dans les années passées jusqu'aux environs des années 2002 (c'est à dire les années où ils cultivaient principalement de l'ail et celles où ils ont commencé à modifier leurs assolements). Dans ce système que les agriculteurs nous ont décrit et que l'on retrouve dans les résultats des agents-gestion-du-risque, certaines années la culture d'ail peut être très payante, comme pour les années 6 et 7 dans la partie droite de la Figure 71, et d'autres peuvent être infructueuses comme l'année 5, voir catastrophiques comme l'année 9.

Les agriculteurs auprès desquels nous avons travaillé dans le village de Sai Mun avaient d'ailleurs un terme particulier pour évoquer ces années catastrophes, le mot thaï « katuun » qui est un terme familier pour dire banqueroute. Les agriculteurs utilisaient abondamment ce mot en plaisantant, et de manière exagérée pour le tourner en dérision. Mais ce fait est intrigant et il n'est pas impossible qu'il soit le reflet d'une crainte qu'aient ces personnes en permanence à l'esprit de revenir à la situation réellement difficile qu'ils ont connue auparavant (au moment où ils ont subi des baisses de rendement et de qualité importantes sur la culture d'ail, avec les conséquences économiques qu'elles ont entraînées ; c'est-à-dire aux environs des années 1998-1999).

Nous venons de parcourir la plupart des dynamiques et des résultats marquants que l'on observe dans les simulations de CatchScape3. Les évolutions de comportement que nous venons de détailler, l'apparition de nouvelles croyances, la simulation de tendances (comme l'augmentation progressive des revenus des agents-gestion-du-sol ou le processus de diffusion de nouvelles cultures au sein de la population) qui se sont effectivement produites

¹⁰¹ L'explication de ces résultats tient au fait que les agents-spéculatifs misent sur une vente au moment du pic des prix et que certaines années les prix chutent juste avant qu'ils ne se décident à vendre.

dans le village de Sai Mun et qui continuent à se dérouler, sont le résultat de la méthodologie d'identification et de modélisation des représentations que nous proposons dans cette thèse. Ces résultats sont encourageants et ils témoignent de la validité du modèle ainsi que de l'intérêt de la méthode. Mais avant de conclure ce chapitre, montrons brièvement comment nous utilisons différents points de vue de l'interface spatiale de la plateforme Cormas pour visualiser l'hétérogénéité des perceptions des agents. Ces points de vue de l'interface spatiale étant le moyen privilégié que nous avons choisi pour communiquer les résultats du modèle aux acteurs locaux durant les séances de simulations participatives.

12.4. Perceptions hétérogènes et points de vue de l'interface spatiale

Le point de vue principal du modèle est un point de vue sur les cultures cultivées. Il indique au moyen d'un code couleur les différents types de culture pour chaque parcelle cultivée. Dans la Figure 73 on voit les trois périmètres irrigués du village de Sai Mun qui sont irrigués au moyen d'un canal (ligne bleue formant un angle) relié à un barrage (triangle bleu) situé sur la rivière Samoeng (ligne bleue verticale). La rivière arrivant de l'Est vers la rivière Samoeng à l'amont des périmètres est la rivière Pang Da. Les autres blocs situés tout autour des « blocs-périmètres irrigués » sont les collines autour de la vallée et les deux périmètres irrigués situés en amont de ceux de Sai Mun (l'assolement des ces blocs est régulé au niveau global de CatchScape3, et non pas par des agents, et suit un assolement standard pour la région). Enfin les deux blocs de couleur rose représentent les villages de Samoeng (au nord) et de Sai Mun (au sud, juxtaposé au grand périmètre irrigué de Sai Mun).

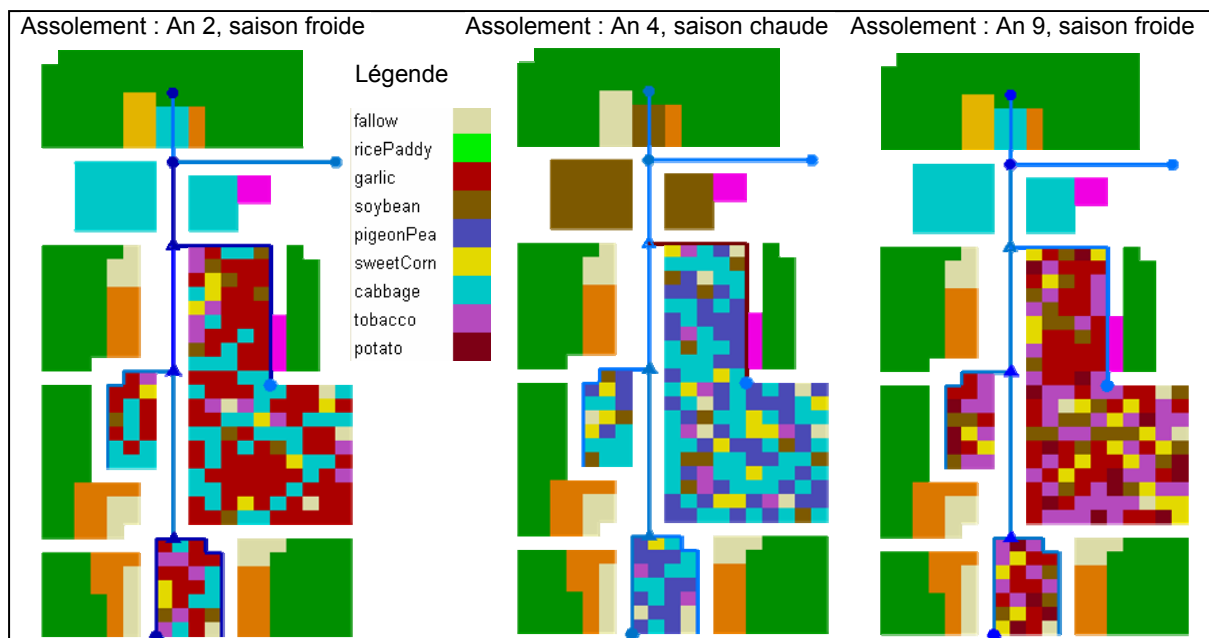


Figure 73 : Point de vue Culture de la saison chaude et de la saison froide

12.4.1. Point de vue sur les cultures et assolement

Ce point de vue sur les cultures permet de visualiser l'évolution de l'assolement de la saison froide et de la saison chaude au fur et à mesure des années de simulation. Dans la Figure 75 on observe l'évolution de l'assolement de la saison chaude avec une diversification et l'arrivée de cultures sous contrat comme le pois qui devient en dixième année une culture majeure de cette saison.

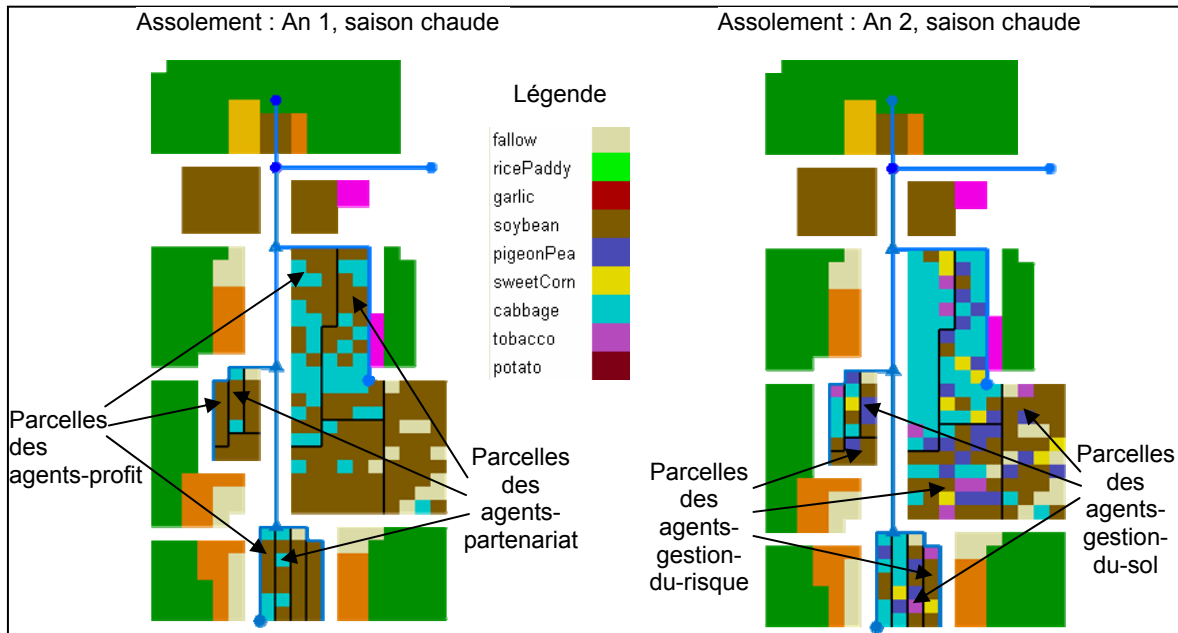


Figure 74 : Organisation spatiale des parcelles des différentes stratégies de culture

En outre, afin de faciliter la lecture de l'interface spatiale nous avons organisé l'emplacement des parcelles des différentes stratégies de culture en sous-blocs distincts. Ainsi les parcelles de chaque sous-bloc sont celles des agents d'une seule stratégie comme indiqué sur la Figure 74. Cette organisation spatiale étant bien entendu irréaliste et génératrice de biais (les parcelles se trouvant en fin de canal étant défavorisées pour l'accès à l'eau), nous ne l'utilisons que lorsque nous souhaitons visualiser les différences entre les différentes stratégies et en aucun cas lorsqu'il s'agit d'analyser les résultats du modèle comme nous l'avons fait dans la section précédente de ce chapitre.

Dans les Figure 74 et Figure 75 les différences d'assolement entre les différentes stratégies de culture apparaissent clairement avec, comme nous l'avons déjà dit, les agents-partenariat qui vont se tourner vers des cultures sous contrat et notamment la culture de pois, et les agents-gestion-du-sol qui pratiquent notamment la culture de soja ainsi que la mise en jachère dans le but d'améliorer la fertilité du sol. Nous remarquons d'ailleurs une certaine constance dans le choix des parcelles qui sont mises en jachère d'une année sur l'autre.

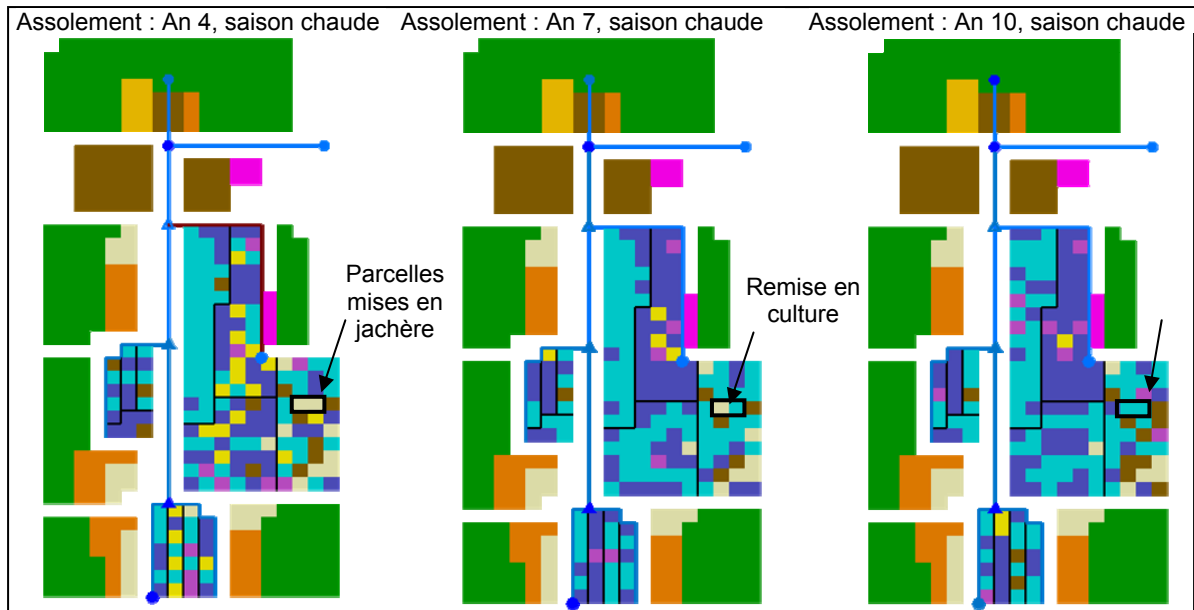


Figure 75 : Point de vue sur l'évolution des assolements de la saison chaude

Par exemple, si nous suivons l'évolution des deux parcelles indiquées à la Figure 75, nous nous apercevons qu'après une période de plusieurs années de mise en jachère (de l'année 1 à l'année 4), ces parcelles sont finalement remises en culture l'année 7 et l'année 10. Le moment de la remise en culture est comme nous l'avons déjà dit basé sur la fertilité du sol que l'agent perçoit ; sujet que nous allons à présent aborder avec les points de vue sur la fertilité du sol et l'utilisation d'intrants.

12.4.2. Points de vue sur la gestion de la fertilité des sols

La Figure 76 et la Figure 77 montrent l'évolution de différents points de vue liés à la gestion de la fertilité des sols entre la deuxième et la sixième année de simulation. Nous remarquons tout d'abord les différences entre la perception des agents et les niveaux de fertilité des sols simulés par le modèle biophysique. Ces différences ne sont pas semblables d'une stratégie de culture à une autre. Les stratégies maximisation du profit et gestion du risque ne perçoivent une fertilité moyenne que pour les parcelles ayant le niveau de fertilité le plus bas. Les agents-partenariat ont une réflexion plus approfondie par rapport à la fertilité de leur sol. Néanmoins, dans certains cas, leur croyance quant à la fertilité de leur sol est radicalement différente de celle qui est simulée par le modèle (dans la Figure 77, certaines parcelles sont perçues avec un niveau de fertilité élevé alors qu'elles ont un niveau effectif très bas).

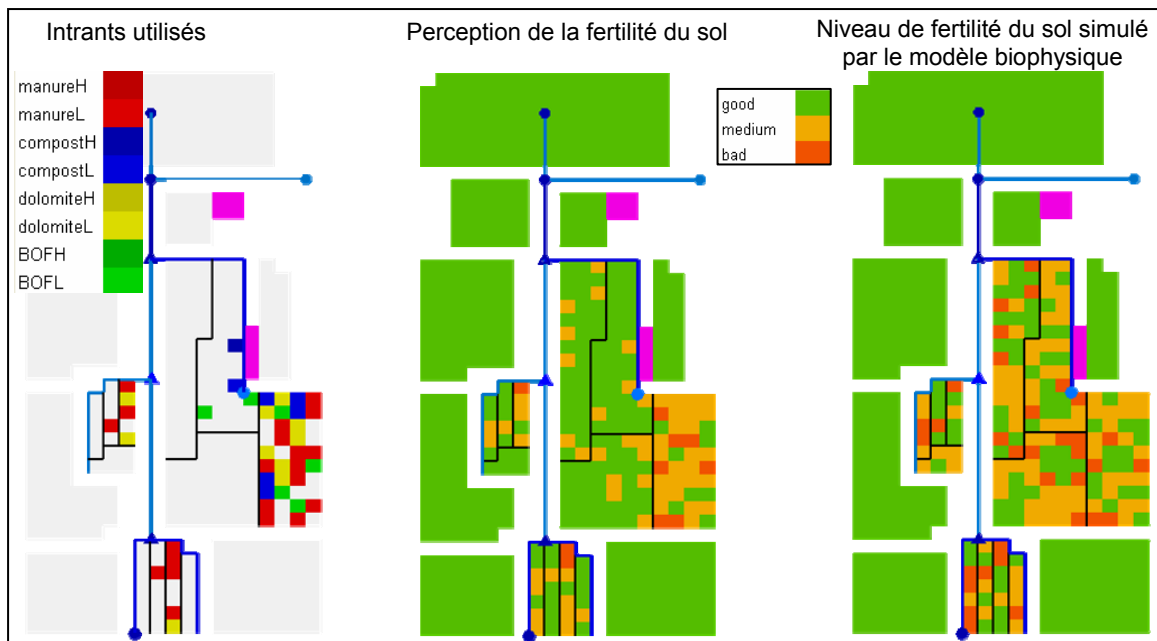


Figure 76 : Points de vue sur la gestion de la fertilité des sols à l'année 2

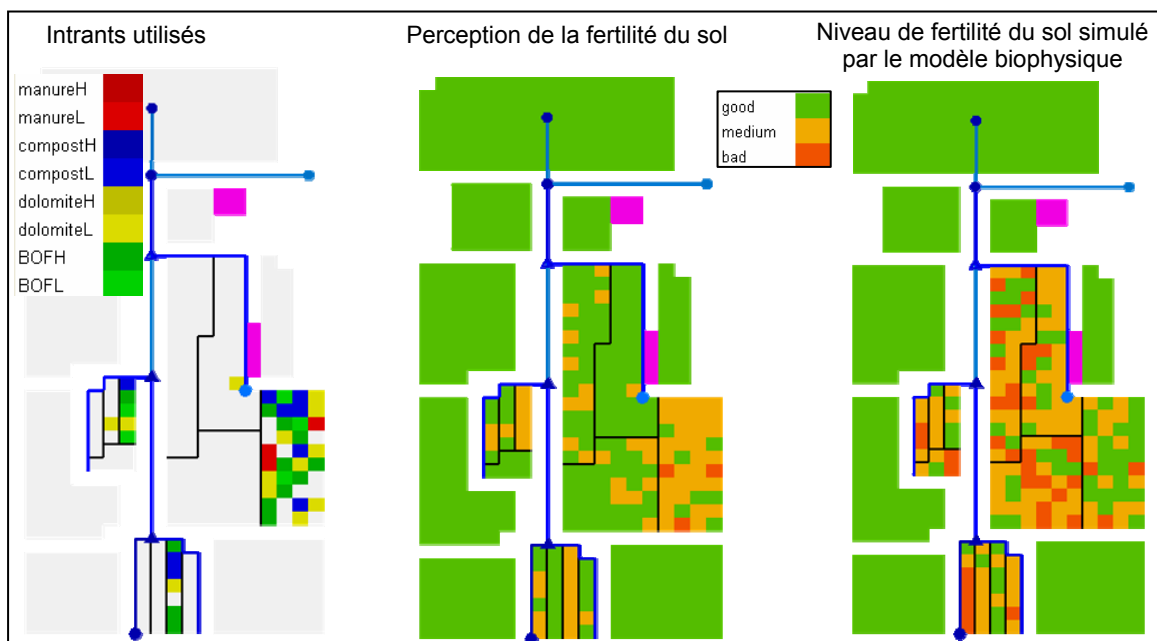


Figure 77 : Points de vue sur la gestion de la fertilité des sols à l'année 6

Enfin les agents-gestion-du-sol ont une vision plus proche des niveaux de fertilité simulés par le modèle biophysique voire pessimiste comme le montre la Figure 77. Il est remarquable également que ce sont les seuls agents (comparés aux autres stratégies) qui perçoivent un bon niveau de fertilité lorsque le niveau de fertilité effectif de la parcelle en question est en effet à son maximum.

La réponse des agents-partenariat et des agents-gestion-du-sol aux niveaux de fertilité moyen et bas qu'ils perçoivent est l'utilisation d'engrais bio-organiques et d'amendements minéraux et organiques. Lorsque leurs moyens financiers le leur permettent (on note

quelques cas de parcelles avec une fertilité moyenne ou basse pour lesquelles aucun intrant n'est appliqué) ces agents utilisent les intrants qu'ils pensent être les plus efficaces et qu'ils peuvent se permettre d'acheter. Après plusieurs années de simulation, les intrants les plus utilisés sont les engrais bio-organiques (Figure 77), signe de l'émergence d'une croyance quant à l'efficacité, non justifiée, de ces engrais, comme nous l'avons déjà vu dans la partie précédente.

12.4.3. Points de vue sur la gestion de l'eau

Nous présentons dans cette section deux points de vue liés à la gestion de l'eau, celui des alertes d'irrigation que lancent les agents en cas de manque d'eau et celui sur le stress hydrique des cultures. Ce dernier point de vue est basé sur la valeur du coefficient de stress hydrique KS, qui est un coefficient de réduction de l'ETR utilisé dans le calcul de l'ETP à chaque pas de temps (la valeur du coefficient KS étant calculée à chaque pas de temps). Ces deux points de vue sont présentés conjointement dans la Figure 78 et illustrent la situation perçue par les agents et la situation « réelle » simulée par le modèle biophysique d'une période de sécheresse se déroulant à la fin de la saison sèche.

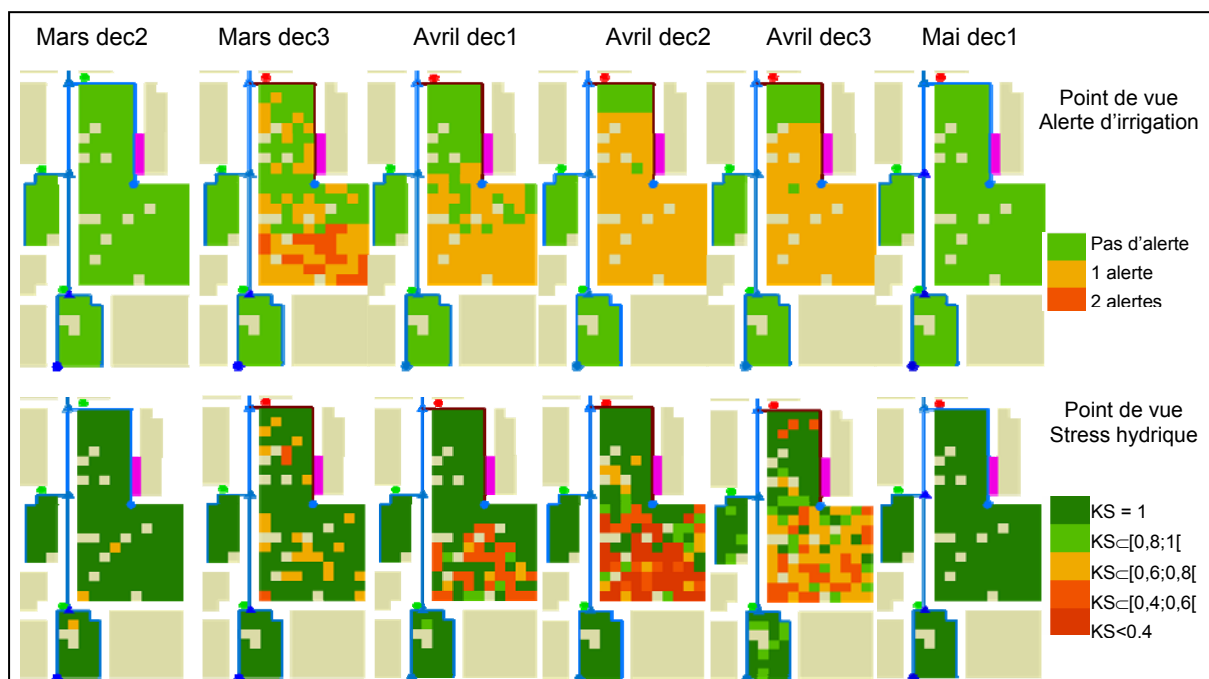


Figure 78 : Période de sécheresse et points de vue sur la gestion de l'eau

Les images de la Figure 78 sont des zooms sur les périmètres irrigués, unique zone de l'espace du bassin versant qui nous intéresse ici. Nous remarquons tout d'abord que le périmètre irrigué appelé Sai Mun (le plus grand situé sur la droite) est celui qui subit la sécheresse le plus fortement. Au contraire, les périmètres de Ban Kiou et de Na Haa Baht ne présentent que de très faibles manques d'eau effectifs (quelques parcelles présentent occasionnellement de légers stress hydriques dans la partie du bas de la Figure 78) qui ne

sont d'ailleurs pas considérés par les agents (aucun manque d'eau n'est signalé par les agents dans la partie du haut de la Figure 78). Par ailleurs, le nombre des parcelles présentant des alertes d'irrigation est plus important que celui des parcelles présentant un stress hydrique. Cela est notamment dû à la demande en irrigation des agents qui est supérieure aux besoins réels de la plante (ce qui est un fait attesté dans la zone d'étude ainsi que dans de nombreux systèmes irrigués). Nous allons à présent commenter la chronologie de cette séquence de pas de temps du modèle en nous appuyant sur les deux points de vue ici présentés.

A la troisième décennie de mars, le débit dans le canal devient insuffisant (la couleur du canal passe du bleu au marron) et les agents signalent des manques d'eau au gestionnaire de canal qui va alors mettre en place un tour d'eau (lorsque l'agent-gestionnaire de canal passe en mode tour d'eau le rond qui le symbolise, au dessus du périmètre, passe du vert au rouge). Le tour d'eau ne prendra effet qu'à partir de la première décennie d'avril. La mise en place du tour d'eau régule et diminue les quantités d'eau allouées. Ainsi de deux irrigations par décennie en moyenne, les agents passent à une irrigation par décennie (le tour d'eau étant de 10 jours). C'est pourquoi avant le tour d'eau certains agents signalent deux alertes (c'est-à-dire un manque d'eau pour chacune des deux irrigations qu'ils ont effectuées), alors qu'après sa mise en place les agents ne signalent au plus qu'un manque d'eau. Le deuxième effet du tour d'eau, négatif selon un critère d'équité, est que les parcelles qui souffrent le plus de manques d'eau sont celles situées en bout de canal (c'est-à-dire en bas du périmètre irrigué dans la Figure 78). En effet à la troisième décennie de mars, c'est-à-dire avant la mise en place du tour d'eau, les cultures subissant un stress hydrique sont situées un peu partout dans le périmètre alors qu'ensuite ce sont celles en bout de canal qui subissent les plus forts stress hydriques. Cet effet est dû au fait que chaque tour d'eau se déroule de bas en haut ce qui est la pratique courante des périmètres irrigués traditionnels du Nord Thaïlande comme ceux du village de Sai Mun. La sécheresse va alors s'installer et les cultures vont souffrir de stress hydriques plus ou moins forts en fonction de leur stade cultural, de leur résistance au stress hydrique et de la réserve hydrique du sol présente en début de sécheresse sur chaque parcelle. Les stress vont s'accroître jusqu'à atteindre un pic à la mi-avril. A la fin avril une petite pluie atténue quelque peu les déficits et ce n'est qu'au début du mois de mai que les pluies réapparaissent et que la situation redevient satisfaisante pour tous. Le fait que durant toute la période de sécheresse, les alertes des agents soient plus nombreuses que les stress hydriques réels, souligne la différence existant entre la perception des agents et la dynamique biophysique.

Nous venons de voir dans cette section, différents points de vue de l'interface spatiale de CatchScape3. Cette méthode d'analyse des résultats permet de mieux comprendre les

organisations spatiales des dynamiques simulées comme par exemple l'effet de la mise en place du tour d'eau qui défavorise les parcelles situées en bout de canal. Elle permet également de suivre aisément une parcelle donnée pour en comprendre sa dynamique. Mais son usage le plus intéressant pour l'objet de cette thèse est la confrontation de différents points de vue, d'une part pour l'analyse des résultats et d'autre part pour stimuler des discussions lors de l'usage du modèle dans des séances de simulation participative avec les acteurs locaux. La confrontation des points de vue est d'ailleurs un élément clé de ces séances dont l'un des objectifs est que les participants se rendent compte de la diversité des perceptions et s'approprient les différents points de vue, et notamment ceux des autres.

L'interface spatiale (et ses méthodes d'observation) est pour ces séances participatives un outil efficace et facile d'utilisation pour montrer et discuter les résultats de simulations avec les acteurs locaux. Néanmoins l'un des problèmes de cette méthode de présentation et d'analyse des résultats est qu'elle ne permet pas de gérer la variabilité existante entre les simulations d'un même scénario. En effet, nous ne visualisons qu'une simulation à la fois par cette méthode alors qu'une analyse détaillée nécessite un jeu de 30 répétitions du même scénario.

12.5. Conclusion

En premier lieu il est nécessaire d'établir si le modèle est fiable ou s'il ne l'est pas. La fiabilité du modèle a été estimée à partir des vérifications effectuées sur différents paramètres pour lesquelles nous avons des références observées et à partir de la variabilité des résultats entre différentes simulations d'un même scénario. La vérification des résultats hydrologiques simulés est certainement la plus délicate de notre analyse étant donné le manque de données observées que nous possédons pour le cas d'étude. Elle s'est effectuée à partir de données secondaires que nous avons d'autres bassins versants proches de celui de Samoeng, de quelques mesures de débits que nous avons effectuées et de notre expérience d'utilisation du modèle CatchScape dans d'autres cas d'étude du Nord Thaïlande. La raison principale qui nous amène à accepter les résultats simulés est que les débits de saison sèche sont cohérents par rapport à nos observations et par rapport à la dynamique hydrologique des bassins versants du Nord Thaïlande en général. Ainsi, la vitesse de décroissance des débits durant la saison sèche et les débits d'étiage en fin de saison sèche sont conformes aux données que nous avons. Par contre, les débits simulés de la saison des pluies et plus particulièrement les pics de crues ne sont pas fiables. Le fait que cette application soit pratiquement exclusivement tournée vers les processus hydrologiques et agricoles se déroulant durant la saison sèche nous amène à considérer le modèle comme fiable par rapport à l'utilisation qui en est faite ici. La variabilité et les valeurs simulées des résultats des périmètres irrigués et des rendements sont également dans des proportions

acceptables pour l'utilisation que nous en faisons dans cette application. La simulation des revenus et de l'endettement des agents pose problème étant donné que ni les dépenses domestiques courantes et autres frais, ni le remboursement des emprunts ne sont considérés dans le modèle. C'est pourquoi ces résultats sont à considérer avec précaution et nous avons préféré parler uniquement de revenus agricoles aux acteurs locaux lors des séances de simulation participative (par ailleurs nous avons fixé un seuil maximum d'emprunt pour empêcher que les niveaux d'endettement n'atteignent des montants irréalistes). Néanmoins les revenus agricoles simulés sont dans des gammes de valeurs tout à fait acceptables. Ce paramètre « revenu » apporte par ailleurs des résultats tout à fait intéressants, reflétant des tendances que nous avons observées sur le terrain comme notamment les différences d'évolution des revenus entre les différentes stratégies de culture au cours des 10 années de simulation (voir la Figure 71).

Pour ce qui est de la variabilité des résultats d'une simulation à l'autre, les niveaux de variation sont tout à fait acceptables si l'on considère la complexité du modèle et le nombre d'interactions modélisées. Cette stabilité des résultats et notamment celle des choix de cultures et d'intrants ainsi que des bases de connaissances – ces derniers ont une forte influence sur les croyances des états du système et les préférences des agents - nous permet de considérer le modèle comme étant fiable par rapport à sa variabilité.

Le paramètre le plus instable est certainement la date de déclenchement du tour d'eau et ce notamment en raison du seuil du nombre d'alertes d'irrigation à partir duquel l'agent-gestionnaire-de-canal déclenche la mise en place du tour d'eau. Néanmoins les tours d'eau se déclenchent toujours à des dates tout à fait conformes à ce que l'on observe sur le terrain et les conséquences sur les autres résultats de simulations de cette variabilité sont minimales étant donné le faible enjeu que représente la gestion de l'eau dans ce cas d'étude.

Sur la base de ces différents résultats, nous considérons donc le modèle comme étant fiable pour le cas d'application ici étudié.

Concernant les évolutions de comportements que nous avons décrits, notre première remarque est que ces évolutions représentent une certaine vision de la réalité qui est relativement conforme aux évolutions annuelles que nous avons observées sur le terrain et aux choix réels des agriculteurs que nous avons identifiés lors de nos enquêtes. En cela le modèle suit clairement une approche positive¹⁰², puisqu'il tente de reproduire la réalité. En outre le modèle parvient à reproduire des processus et des schémas existants qui nous intéressent tout particulièrement pour l'analyse des représentations d'acteurs. Les tendances

¹⁰² Une approche de modélisation positive est à mettre en opposition avec une approche normative dont l'objectif est d'améliorer le système ou de décrire comment il devrait être.

des différentes stratégies à une échelle globale sont riches d'informations. Par exemple, la stratégie de partenariat tend vers une stabilité des revenus alors que la stratégie de gestion du risque (pour qui l'entité du système « chance » apparaît souvent dans les résultats des *Playable Stories*) engendre des revenus fluctuants d'une année sur l'autre¹⁰³. De même le processus de diffusion de nouvelles cultures est très parlant. Les précurseurs sont les agents-partenariat, et dans une moindre mesure les agents-maximisation-du-profit, alors que les derniers à adopter de nouvelles cultures sont les agents-gestion-du-risque. Cela nous interroge quant au rôle de la notion de risque dans les processus de diffusion : l'aversion au risque engendre-t-elle nécessairement d'être parmi les derniers à adopter une innovation ? ; qu'est-ce qui amène un individu à passer outre son aversion au risque pour être parmi les premiers à adopter une innovation ? A la première question, nos résultats laissent penser que non, et ce en raison du fait que les agriculteurs répondant à une stratégie partenariat présentent dans nos résultats d'enquêtes une aversion au risque similaire à ceux de la stratégie gestion du risque. A la deuxième question nous pensons que l'époque où les agriculteurs du village ont fait face à plusieurs années successives de baisses de résultats (et dans bien des cas à de pertes de profit), a été déterminante, et qu'elle a profondément marqué les mentalités dans ce village. Nous pensons que ce choc a été tel que des individus ayant à la base une aversion au risque sont allés chercher des solutions innovantes à l'extérieur du village. Dans ce contexte peut-être que l'expression « ça ne peut pas être pire ailleurs » est la réponse à cette question.

Enfin l'émergence de nouvelles croyances comme celle dans les engrais bio-organiques que nous avons décrite est un résultat tout à fait intéressant puisqu'il prouve que cette croyance, qui existe dans le village de Sai Mun (et qui est en fait infondée), est le résultat des interactions sociales existantes dans le village et de la nature complexe et « cachée »¹⁰⁴ des processus biophysiques en jeu. Les anthropologues Bentley et Baker expliquent que l'apparition de connaissances erronées survient souvent lorsque qu'il y a nécessité de comprendre un objet ou un processus (parce qu'il est important pour la personne) qui ne peut pourtant pas être observé (Bentley et Baker 2005). En outre l'obtention de ce résultat renforce notre choix initial pour les Systèmes Multi-Agents comme outil de modélisation, étant donné que ce sont des outils notamment dédiés à la simulation de phénomènes émergents.

¹⁰³ A ce propos on peut se poser la question s'il ne faudrait pas mieux présenter les agents-partenariat comme des agents qui gèrent le risque et décrire les agents de la stratégie de gestion du risque comme des agents ancrés dans leurs habitudes.

¹⁰⁴ Le sol, et a fortiori la fertilité des sols, est une ressource cachée, dont la dynamique est difficilement compréhensible.

13. Test du modèle durant des séances de simulations participatives

L'objectif du test du modèle auprès des acteurs locaux est double. D'une part réaliser une validation à dire d'acteurs du modèle et des représentations modélisées et d'autre part de tester l'usage du modèle comme outil d'aide à la concertation (en passant par la construction d'une représentation partagée) sur la question de la gestion de la fertilité du sol dans le village de Sai Mun.

Pour cela nous avons :

- Etabli un protocole d'expérimentation basé sur une grille d'évaluation.
- Puis nous l'avons appliqué auprès d'un ensemble d'acteurs (les agriculteurs de Sai Mun mais également le Projet Royal de Pang Da et le bureau du Land Development Department de Chiang Mai).
- Enfin nous avons analysé les résultats obtenus selon notre grille d'évaluation et à partir des notes que nous avons prises (un à deux observateurs étant chargés de la prise de notes à chacune des séances de simulations que nous avons réalisées).

Ce chapitre est organisé selon ces trois aspects que nous allons à présent détailler un à un. En outre, nous avons choisi de discuter l'usage du modèle comme outil d'aide à la concertation dès ce chapitre dans la section 13.3. En effet, cet aspect ne rentre pas dans le cadre des questions de la problématique que nous avons posées à la section 5.3. Ainsi dans les chapitres 14 et 15 consacrés à la discussion de la problématique, nous discuterons uniquement des résultats de la thèse liés aux aspects méthodologiques (identification, formalisation, modélisation), aux simulations, en incluant ceux liés à la validation à dire d'acteurs des résultats de simulation (section 13.2 de ce chapitre).

13.1. *Protocole d'expérimentation*

Etant donné le plan d'expérience que nous avons suivi pour l'identification des représentations d'acteurs et qui était réalisé à une échelle individuelle, il nous est apparu clairement que le plan d'expérience du test du modèle devait également se faire à une échelle individuelle, et ce notamment pour l'objectif de validation à dire d'acteurs (chaque agriculteur pouvant alors valider ou rejeter le modèle de représentation lui correspondant et discuter les résultats du modèle). Par ailleurs le test de l'usage du modèle pour l'aide à la concertation passant par la création d'une représentation partagée devait se faire à une échelle collective. Dans cette perspective nous avons établi notre grille d'évaluation de façon à pouvoir couvrir ces deux échelles d'analyses.

13.1.1. Grille d'évaluation

La grille d'évaluation est établie sur la base d'un plan théorique des séquences qui constituent un processus d'aide à la concertation idéal.

La définition que nous retenons ici d'un processus de concertation est la suivante :

« La concertation est un processus, continu ou discontinu, visant à élaborer une action commune, souvent basée sur un compromis. La concertation est un processus de négociation mené par des groupes ayant un intérêt divergent vis-à-vis d'une ressource, mais dont la coopération est essentielle à l'existence de cette ressource et où les acteurs n'exercent pas leur pouvoir de confiscation. »

(Tremblay et Rolland 1996)

Comme nous l'avons dit à la section 3.2.1, le processus théorique de la modélisation d'accompagnement pour l'aide à la concertation qui s'appuie sur la création d'une représentation partagée, passe par les séquences suivantes :

1. Susciter la réflexion des acteurs quant à leurs rapports aux autres et à leur place dans le système.
2. Amener les acteurs à considérer les points de vue des autres dans leur représentation du système.

A partir de ce stade le processus de concertation sort du champ d'action direct du modèle et ne se passe pratiquement plus que dans les interactions humain-humain, et non plus dans les interactions humain-machine. C'est également à ce stade qu'il y a création d'une représentation partagée (partage de la diversité des comportements et des processus liés à la gestion de la fertilité du sol).

3. Réflexion des acteurs quant à de nouvelles stratégies visant à améliorer les objectifs individuels et/ou collectifs, et ce sur la base de leur interprétation des séquences 2 et 3.
4. Elaboration collective de nouvelles stratégies visant à améliorer la coordination sur la base d'une négociation entre les acteurs.

Sur la base de ces séquences, la grille d'évaluation que nous avons établie est la suivante (Tableau 12).

Nous avons donc réalisé tout d'abord des séances individuelles de simulations du modèle (avec un acteur par séance) durant lesquelles nous évaluons les éléments 1 à 4 puis une séance collective de simulation (en présence de tous les acteurs ayant participé aux séances individuelles) durant laquelle nous avons évalué les éléments 2 à 5 correspondant aux différentes séquences théoriques d'un processus de concertation. L'élément 1 de notre grille n'est évalué que durant les séances individuelles étant donné qu'il s'inscrit uniquement dans notre premier objectif qui est la validation à dire d'acteurs des représentations modélisées (sachant que ces représentations ont été identifiées à l'échelle individuelle).

N°	Élément évalué	Séquence du processus de concertation correspondante	Echelle d'analyse
1	Pertinence des représentations modélisées et des résultats de simulations selon les acteurs	/	Individuelle
2	Capacité du modèle à améliorer la réflexion et à susciter l'introspection	(1) Réfléchir à sa place dans le système	Individuelle
3	Capacité du modèle à aider la compréhension et la prise en compte des points de vue des autres	(2) Considérer le point de vue des autres dans sa propre représentation du système	Individuelle et Collective
4	Capacité du processus à susciter l'imagination de nouvelles stratégies	(3) Réflexion et imagination de nouvelles stratégies	Individuelle et Collective
5	Capacité du processus à susciter l'élaboration collective de nouvelles stratégies	(4) Elaboration collective de nouvelles stratégies collectives	Collective

Tableau 12 : Grille d'évaluation utilisée pour le test du modèle auprès des acteurs locaux

13.1.2. Plan d'expérience

Les types d'acteurs que nous avons inclus dans notre protocole d'expérimentation sont les agriculteurs du village de Sai Mun, les vulgarisateurs du Projet Royal de Pang Da et des experts du bureau du Land Development Department (LDD) de Chiang Mai (notamment des experts en conservation des sols).

Nous avons réalisé cinq séances individuelles auprès des agriculteurs de Sai Mun durant lesquelles 8 des 14 agriculteurs enquêtés étaient présents (l'une de ces séances a en fait été réalisée avec quatre agriculteurs). Une séance a été réalisée au bureau du LDD à Chiang Mai en présence de six agents du bureau dont le chef de l'unité de Chiang Mai, deux experts en conservation des sols et un vulgarisateur en gestion des sols). Malheureusement n'ayant pas pu trouver de date qui convienne aux vulgarisateurs du Projet Royal de Pang Da nous n'avons pas pu réaliser de séance avec eux. Enfin nous avons réalisé une séance collective qui s'est déroulée dans la salle de réunion du village de Sai Mun en présence de sept agriculteurs ayant participé aux séances individuelles plus un autre agriculteur, de deux des trois experts en gestion des sols du LDD ayant participé à la séance individuelle et de trois agents du Projet Royal de Pang Da (dont les deux vulgarisateurs du projet).

Durant toutes ces séances notre équipe était formée d'un opérateur du modèle (moi-même), d'une animatrice¹⁰⁵ et de un ou deux observateurs. L'enregistrement des données s'est fait par la prise de notes des observateurs ainsi que par des enregistrements audio dont nous avons extrait les informations les plus importantes à la suite des séances avec l'aide de la traductrice.

¹⁰⁵ L'opérateur du modèle ayant également joué occasionnellement un rôle d'animateur, ses interventions ont été traduites en Thaï par l'animatrice.

Enfin, le protocole d'expérience s'est déroulé selon un processus continu de collecte d'informations et de recommandations quant aux améliorations que les acteurs proposaient. C'est-à-dire que nous avons recueilli durant les séances individuelles les demandes des acteurs par rapport à l'amélioration du modèle, des résultats présentés et des scénarios qu'ils souhaitaient tester. Puis nous avons implémenté ces améliorations¹⁰⁶ ainsi que les trois scénarios principaux qui avaient été demandés, et nous avons utilisé cette nouvelle version du modèle durant la séance collective.

Par ailleurs une assistante de notre collègue anthropologue qui travaille dans le village de Sai Mun et qui assure une présence quasi-journalière dans le village, a eu l'occasion, durant la dizaine de jours qui ont suivi la fin des séances de simulations participatives, de collecter les réactions de quelques uns des agriculteurs. Ces réactions concernent le modèle, les simulations réalisées et les discussions qui ont eu lieu durant la séance collective. Par contre nous n'avons pas eu l'opportunité de collecter les réactions des représentants du LDD et du Projet Royal à la suite de la séance collective.

Nous allons à présent décrire la façon dont ces séances étaient organisées, puis nous verrons dans la section suivante les résultats obtenus.

13.1.3. Protocole des séances

Les séances réalisées ont pour point d'orgue la simulation du scénario de référence du modèle que nous avons présenté au chapitre précédent¹⁰⁷. Néanmoins pour parvenir à présenter le modèle et à discuter les résultats durant une séance (les séances individuelles durant approximativement deux, voire trois heures) il nous a fallu simplifier les résultats présentés.

Une simulation sur dix ans aurait été trop longue à présenter et les résultats des six premières années du scénario de référence montrent déjà les principales tendances du modèle. C'est pourquoi nous avons choisi de ne simuler que les six premières années. Par ailleurs une description et une analyse de l'ensemble des stratégies nous ont paru trop longues également. Nous avons donc choisi de ne présenter que les différentes stratégies de cultures (le modèle continuant à fonctionner avec l'ensemble des stratégies). La raison de ce choix est que l'étude de l'évolution des stratégies de culture permet de couvrir un large spectre des résultats du modèle dont notamment les évolutions d'assolements et d'utilisation

¹⁰⁶ Ce dernier étant la personne qui nous avait amené à suivre une démarche d'enquête de type ethnographique.

¹⁰⁷ Plus précisément le scénario de référence décrit au chapitre 12 correspond à celui que nous avons utilisé pour les séances individuelles mais il est enrichi des corrections du modèle faites par les acteurs lors de ces séances. Les résultats de simulations entre ces deux versions ne sont pas très différents étant donné le type de corrections demandées et que nous avons implémentées.

d'intrants, mais également les processus de diffusion tels que la diffusion de culture sous-contrat ainsi que les disparités de revenus entre les agents.

Sur cette base les protocoles des séances individuelles et de la séance collective étaient les suivants.

a) Protocole des simulations individuelles

Chaque séance individuelle de simulations était organisée en trois parties.

Nous procédions tout d'abord à une présentation des résultats obtenus à partir des enquêtes et des *Playable Stories* ainsi que des stratégies de cultures que nous avons identifiées. Une discussion autour de l'avis du participant sur la pertinence de ces stratégies et leur lien à la réalité en découlait. Afin de présenter les différentes stratégies nous utilisions le même formalisme que celui des *Playable Stories*. Ainsi, nous décrivions chaque stratégie à partir de trois ou quatre cartes représentant les entités du système les plus importantes pour cette stratégie (Figure 79).



Figure 79 : Présentation du panneau décrivant les stratégies au moyen de cartes

Le modèle était ensuite présenté en tant que tel, c'est-à-dire un modèle informatique dans lequel nous avons intégré les stratégies des agriculteurs, sachant que chacune de ces stratégies a sa propre façon de percevoir l'environnement, de réfléchir à son système et de prendre des décisions. Nous n'utilisons pas le mot « représentation » car nous n'avons pas trouvé de traduction en thaï adéquate et nous parlons de « façon de réfléchir ».

L'interface spatiale du modèle était ensuite expliquée en commençant par un point de vue sur l'occupation du sol et le réseau hydrographique (Figure 80)¹⁰⁸. Puis nous passons au point de vue sur les cultures et nous commençons les premiers pas de temps de la simulation.

¹⁰⁸ Techniquement, le modèle fonctionnait sur deux écrans distincts, l'un avec les interfaces présentées au participant et l'autre pour la manipulation du modèle (cet écran n'étant pas visible pour le participant).

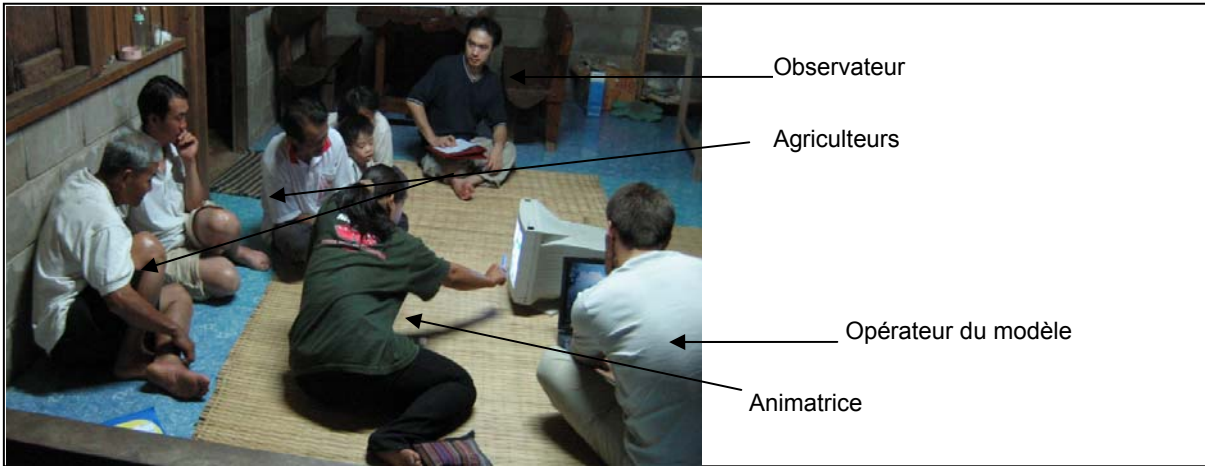


Figure 80 : Introduction du modèle auprès des acteurs et explication de l'interface spatiale

L'interface spatiale était agrémentée de quelques autres fenêtres, à savoir une barre de temps, un indicateur du niveau de pluie du pas de temps en cours et une légende des cultures en thaï (interface de gauche de la Figure 81).

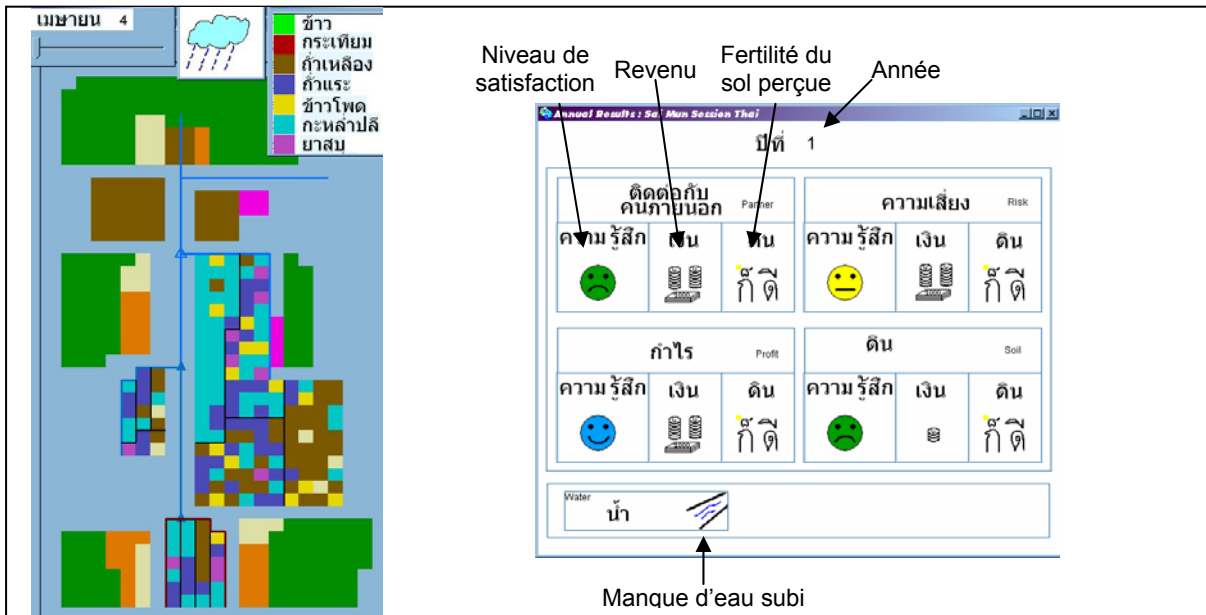


Figure 81 : Interfaces du modèle utilisées durant les séances de simulations participatives

A la fin de chaque saison, les résultats de la saison et notamment les différences d'assolements entre chaque stratégie étaient discutés, et à la fin de chaque année de simulation, une interface donnant les résultats de l'année était mise à jour par le modèle et présentée au participant (partie de droite de la Figure 81). Cette interface présente pour chaque sous population d'agent, la moyenne du niveau de fertilité perçue, le revenu moyen ainsi qu'un indicateur synthétique de la satisfaction moyenne des agents de cette

stratégie¹⁰⁹. Les types de paramètres pris en compte dans le calcul du niveau de satisfaction de l'agent dépendent de la stratégie. Ainsi, l'indicateur de satisfaction est un indicateur local reflétant les objectifs de chacune des stratégies. Par exemple les agents-maximisation-du-profit évaluent leur niveau de satisfaction essentiellement en fonction du revenu obtenu alors que les agents-gestion-du-sol vont par exemple être satisfaits lorsqu'ils perçoivent une amélioration de la fertilité du sol de leurs parcelles¹¹⁰.

L'interface en question servait de support pour une discussion à propos des résultats de l'année simulée (Figure 82) ce qui nous permettait notamment d'évaluer le premier élément de notre grille d'évaluation.



Figure 82 : Discussions autour des résultats annuels des simulations

Par ailleurs, durant les six années de simulation nous changions à différents moments le point de vue sur l'interface spatiale. Ainsi pour différentes années nous montrions les utilisations d'intrants à l'aide du point de vue correspondant. Nous montrions également une séquence de points de vue sur le manque d'eau perçu par les agents, correspondant à la fin de l'une des saisons sèches. Nous montrions également à deux reprises (en début de simulation et lors de la sixième année) et pour un pas de temps donné, le point de vue sur la fertilité du sol perçue et le point de vue sur la fertilité du sol simulée. Pour ces deux changements de point de vue (manque d'eau et fertilité des sols) un moment de discussion était prévu avant de continuer la simulation.

A la fin des six années de simulation la dernière partie de la séance consistait dans une discussion structurée autour de trois axes :

1. Les éléments d'incompréhension par rapport au modèle, à ses interfaces et à la présentation des résultats et ce qu'il faudrait faire pour les rendre plus compréhensibles.

¹⁰⁹ Par manque de temps le choix des indicateurs n'a pas pu se faire de manière participative et il s'est effectué au travers de discussions au sein de notre équipe de recherche.

¹¹⁰ La satisfaction des agents-partenariat est entre autre fonction du revenu et de la réalisation de culture sous contrat, et celle des agents-gestion-du-risque dépend notamment du niveau d'endettement et du revenu.

2. Comparaison modèle/réalité

2.1 Où est ce que le modèle se trompe par rapport à la réalité ? Et qu'est ce qu'il faudrait faire pour l'améliorer ?

2.2 Est-ce que le modèle et les résultats simulés nous apprennent quelque chose par rapport à la réalité ?

3. Proposition de scénarios de la part du participant pour la séance collective.

L'axe 1 visait à améliorer la présentation du modèle et des résultats. L'axe 2.1 correspond au premier élément de notre grille d'évaluation (pertinence des représentations modélisées et des résultats de simulations). L'axe 2.2 visait à évaluer les éléments 2 à 4 correspondant à l'usage du modèle pour l'aide à la concertation. Enfin l'axe 3 avait pour objectif la préparation de la séance collective et l'appropriation du modèle par les acteurs.

La version du protocole de la séance avec le LDD était similaire mis à part l'ajout d'une présentation préalable de la démarche dans son ensemble, à savoir une présentation de la démarche de modélisation positive, de la méthodologie d'identification des représentations et de la structure du modèle et en particulier le modèle hydrologique. La raison de cette présentation est notamment due au fait que le LDD de Chiang Mai est le partenaire thaïlandais lié à cette thèse, ce qui introduit un biais dans notre protocole puisque le LDD a de fait un statut particulier dans ce travail de recherche. Nous avons minimisé ce biais en incluant dans notre protocole d'expérimentation des experts du LDD avec qui nous n'avons pas collaboré auparavant et ce ne sont qu'eux qui ont participé à la séance collective. Durant la séance collective ces experts du LDD ont d'ailleurs joué le même rôle que les autres participants et notre relation particulière avec le bureau du LDD ne semble pas avoir posé problème.

b) Protocole de la séance collective

Le protocole de la séance collective est assez identique à celui des séances individuelles (introduction des différentes stratégies en début de séance, simulation entrecoupée de discussions, puis discussion générale) à la différence que nous avons présenté un scénario différent du scénario de référence. Le choix du scénario était fonction des propositions des acteurs, récoltées durant les séances individuelles. Ces derniers avaient suggéré différents scénarios liés à la gestion de la fertilité des sols et un scénario lié à une situation climatique extrême. Parmi les scénarios liés aux sols¹¹¹ nous avons sélectionné les deux pour lesquels un projet d'amélioration de la fertilité des sols est mis en place dans le village de Sai Mun : un projet de construction d'une fabrique locale de production de compost, payée et gérée par les agriculteurs de Sai Mun, et un projet de partenariat avec une instance des pouvoirs

¹¹¹ Ces scénarios étaient tous liés à une amélioration de la fertilité des sols sauf un qui était la question suivante « Que se passerait-il si la fertilité du sol diminuait ? » et que nous avons préféré écarter.

publics locaux procurant gratuitement des sacs de dolomites aux agriculteurs qui les appliqueraient alors sur leurs parcelles.

L'histoire que nous racontions avec le modèle durant cette séance collective était donc la suivante. Durant les deux premières années de simulations, la situation était identique au scénario de référence (avec notamment l'arrivée des agents-entreprises-privés la deuxième année). Au début de la troisième année, les agriculteurs de Sai Mun devaient choisir l'un des deux projets d'amélioration de la fertilité des sols sélectionnés après les séances individuelles. A ce moment, nous avons donc arrêté la simulation pour présenter les deux projets aux agriculteurs participants (descriptif, coût, durée)¹¹². Nous avons également fourni aux participants du LDD et du Projet Royal les moyennes simulées du niveau de pH et du pourcentage de matières organiques pour la première et la deuxième année. Puis nous avons demandé aux agriculteurs de choisir parmi ces deux projets celui qu'ils voulaient voir simuler, en tenant compte que les participants du LDD et du Projet Royal étaient en possession de données complémentaires quant à la fertilité des sols. Cette mise en scène qui rendait la séance plus attractive visait surtout à reproduire un schéma existant dans le Nord Thaïlande où les agriculteurs sont rarement en possession de données quantitatives quant à la fertilité de leurs sols. Pour prendre leurs décisions, ils sont, soit contraints de le faire en fonction de leurs propres estimations, soit « dépendants » d'experts et de vulgarisateurs, quand ils ont l'opportunité d'en rencontrer. Puis, un moment a été consacré à la discussion et à la réflexion, qui s'est poursuivi durant une pause-café. Nous avons ensuite simulé quatre années consécutives où est appliqué le projet sélectionné pour d'amélioration de la fertilité du sol. Le scénario présenté ci-dessus est constitué de six années de simulation (sur les dix prévues). La séance ayant duré quatre heures, discussion générale en fin de séance comprise, nous n'avons pas pu appliquer, après la septième année, le scénario de quatre années supplémentaires comportant une fréquence accrue des années climatiques extrêmes que nous avons envisagé au départ.

Cette discussion générale était axée sur des thèmes différents de ceux des séances individuelles, à savoir :

1. Qu'est-ce que le modèle et les résultats simulés ont appris aux différents groupes d'acteurs ?
2. Est-ce que certains acteurs pensent à de nouvelles façons de gérer le système ?

Durant cette discussion les animateurs de la réunion n'ont fait que proposer ces thèmes de discussion et nous ne sommes intervenus qu'occasionnellement. Nous n'avons par ailleurs

¹¹² L'effet que chacun des projets (application de compost ou de dolomite) a sur la fertilité du sol n'était par contre pas mentionné.

délibérément pas suggéré le thème d'une éventuelle élaboration d'une stratégie collective¹¹³ afin de voir si le sujet serait proposé par les participants eux-mêmes.

En outre, durant la simulation les résultats annuels des différentes stratégies étaient notés sur un tableau visible par tous, reprenant la structure de l'interface du modèle et permettant de comparer les résultats d'une année sur l'autre et de suivre leur évolution (Figure 83).

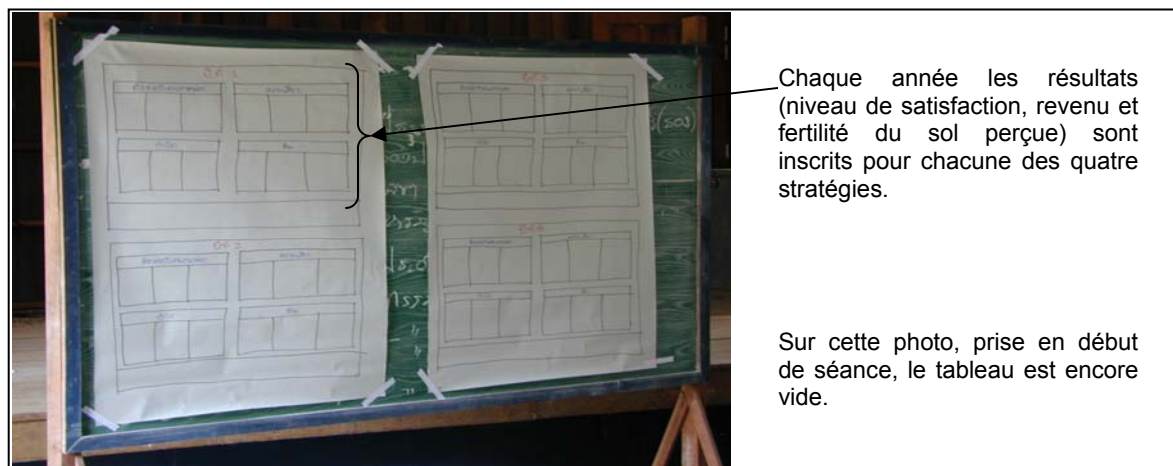


Figure 83 : Tableau de présentation des résultats annuels

Par ailleurs l'interface spatiale et l'interface des résultats annuels étaient présentées sur grand écran à l'aide d'un vidéoprojecteur (Figure 84). Les participants étaient disposés en cercle autour d'une table légèrement de biais par rapport à l'écran. L'opérateur et l'animatrice étaient sur l'un des côtés de la table et les observateurs étaient en retrait par rapport au groupe et n'intervenaient pas dans la discussion.

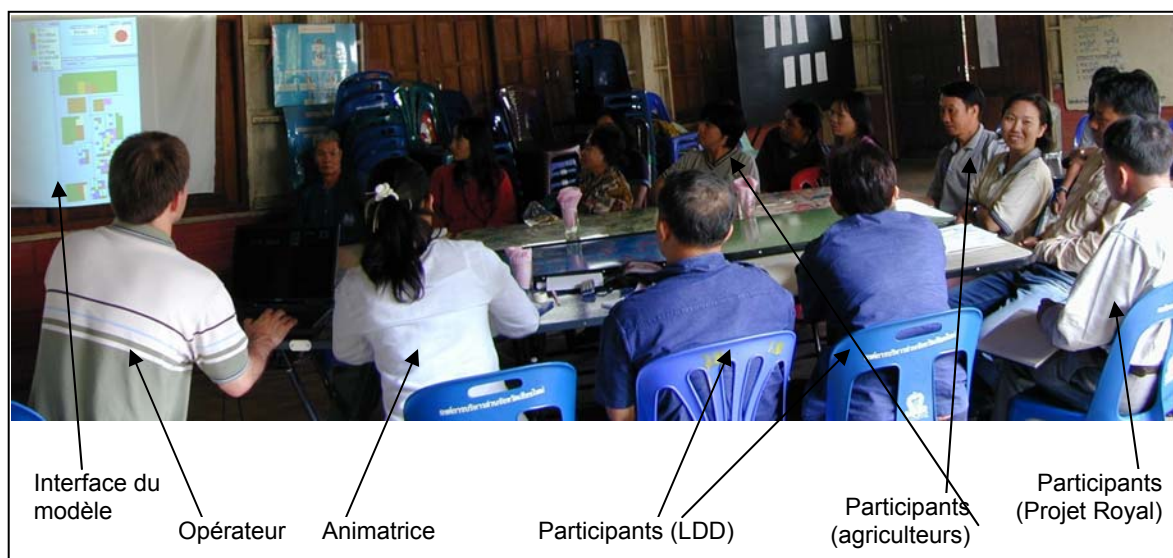


Figure 84 : Disposition de l'écran et des participants durant la séance collective

¹¹³ Ce qui n'était d'ailleurs pas notre rôle.

Nous allons à présent présenter les résultats de ces séances de simulations participatives en commençant par les résultats liés à la validation à dire d'acteurs, puis par ceux liés à l'usage du modèle pour l'aide à la concertation.

13.2. Résultats de la validation à dire d'acteurs

Nous présentons tout d'abord l'opinion des agriculteurs vis-à-vis des stratégies identifiées et modélisées, puis nous détaillons les corrections faites par les agriculteurs quant à différents aspects plus détaillés du modèle. Enfin nous présentons les résultats de la séance réalisée au LDD.

13.2.1. Séances avec les agriculteurs

De l'avis général de l'ensemble des agriculteurs ayant participé aux séances individuelles, les quatre stratégies présentées reflètent bien la réalité. Les considérations portant sur les différentes stratégies du modèle et leurs liens à la réalité étaient essentiellement basées sur (1) le panneau de présentation des stratégies que nous introduisons en début de séance, (2) les évolutions d'assolements des différentes stratégies simulées par le modèle, et (3) les différences de perceptions de la fertilité du sol des différentes stratégies. Dans certains cas le participant discutait des stratégies et de leurs liens à la réalité lors de la présentation du panneau mais la plupart du temps ce n'est que durant ou après la simulation qu'il discutait plus en profondeur les différences entre les différentes stratégies simulées et qu'il donnait finalement son avis quant à leurs liens à la réalité. Certains agriculteurs avaient d'abord un aperçu global des résultats (ils approuvaient par exemple l'évolution globale des assolements) puis regardaient en détail les différentes stratégies, alors que d'autres procédaient en comparant les différentes stratégies (voir exemple de l'agriculteur 1 à la section 13.3.1)

Par ailleurs certains agriculteurs nous ont expliqué que dans la réalité chaque personne peut avoir plusieurs stratégies en même temps, ou bien peut changer de stratégies en fonction des circonstances. A première vue, cette remarque semble reliée au concept même de stratégie qui est un élément évoluant dans le temps en fonction des objectifs et des contraintes rencontrées. Néanmoins les commentaires du participant nous font penser qu'il s'agit d'une notion en lien avec le contexte culturel et religieux des populations nord thaïlandaise où les notions de collectivité et de cohésion du groupe sont très présentes. Ci-dessous un extrait du discours de cet agriculteur :

« Oui, j'ai compris et c'est bien d'expliquer au début les différentes stratégies. Mais ces stratégies sont en fait reliées entre-elles. Les stratégies ne doivent pas être classifiées, ... distinguées. Toutes les stratégies doivent exister et échanger. Les agriculteurs dans la réalité s'entraident. Par exemple la stratégie partenariat apporte de nouvelles cultures [pour

que les autres puissent les adopter]. Les différentes stratégies sont liées les unes aux autres. » [Agriculteur 7]

Dans ce discours il y a notamment la notion de cohésion (« *les stratégies ne doivent pas être distinguées* ») mais également le fait que toutes les stratégies sont importantes et qu'elles forment un tout. Il est également intéressant de remarquer que l'agriculteur 7 avait été classifié dans la stratégie gestion du risque, stratégie qui est relativement dépendante des autres (« *Les agriculteurs dans la réalité s'entraident* »).

Nous avons également demandé durant la discussion générale si le participant pensait que d'autres stratégies existaient dans la réalité et tous sauf un s'en sont tenus aux quatre stratégies déjà existantes. Les commentaires de ce dernier (Agriculteur 14) laissent penser (sans que l'agriculteur ne l'ait clairement exprimé) qu'il serait peut être judicieux d'inclure une stratégie gestion de l'endettement. En effet, son discours était souvent axé sur ce thème et il réagissait durant la simulation en disant que pour gérer l'endettement il faudrait agir de telle ou telle manière en se référant aux résultats du modèle. La gestion de l'endettement passe selon lui par une gestion de l'exploitation à moyen terme (sur une période de 5 à 6 ans) où l'objectif est de diminuer l'endettement et de gérer les sources d'emprunts afin d'obtenir des taux d'intérêts le plus bas possible. Notons que l'agriculteur 14 avait été classifié dans la stratégie maximisation du profit et qu'il était, dans nos résultats d'enquêtes, l'un des agriculteurs exprimant le plus clairement ce type de stratégie. On peut alors supposer qu'il a pu y avoir dans le cas de cet agriculteur, un changement de stratégie. Ce n'est d'ailleurs pas le seul cas que nous avons remarqué (l'agriculteur 14 étant le cas le plus explicite), comme par exemple ce commentaire qui était lié à la réalité : « *Parfois le groupe du sol peut se lier avec le groupe du profit* » [Agriculteur 3]. Des travaux supplémentaires seraient nécessaires pour vérifier cette hypothèse.

Au niveau du détail des remarques sur ce qui correspond ou ne correspond pas à la réalité et qu'il faudrait changer dans le modèle, les participants ont abordé différents sujets que nous avons regroupés en quatre thèmes.

- Ce qui n'est pas dans le modèle : Les participants ont mentionné toute une série de processus qui ne sont pas pris en compte dans le modèle, comme par exemple la défense des cultures (feuilles brûlées du maïs, moisissures,...), l'utilisation de motoculteur, la gestion des emprunts (remboursements et gestion des taux d'intérêts), etc....
- Les assolements : Dans la réalité les agriculteurs ont mentionné que le riz n'est pas la seule culture de la saison des pluies et que certaines parcelles (mais peu) sont cultivées avec des aubergines ou encore laissées en jachère. De même un participant a indiqué qu'à son avis la stratégie-profit devait cultiver plus de soja.

- Les intrants : La non-utilisation d'intrants des agents-maximisation-du-profit et des agents-gestion-du-risque n'a pas été approuvée par les participants. Certains ont mentionné que les agriculteurs qui suivaient ce type de stratégie dans la réalité utilisaient presque autant d'engrais que ce que le modèle simule pour les agents-partenariat.
- Les revenus : L'indicateur sur le revenu annuel moyen des différentes stratégies n'a pas toujours été facile à évaluer pour les participants, et ce notamment en raison du fait que nous ne communiquions pas les données du fichier de fluctuation des prix du marché. De ce fait les participants ne comprenaient pas toujours pourquoi les revenus fluctuaient dans un sens ou dans l'autre. Néanmoins globalement l'évolution des revenus a été approuvée et notamment le fait que les agents cultivant beaucoup d'ail voyaient leur revenu fluctuer et que ceux cultivant du pois avaient des revenus plus stables (voire qui augmentaient).
- La gestion de l'eau : La séquence de sécheresse que nous observions à l'aide du point de vue sur les manques d'eau perçus, a suscité de nombreux commentaires. Les participants étaient tout à fait d'accord avec le fait que lors de la mise en place du tour d'eau, les parcelles de bout de canal étaient désavantagées. Plusieurs réflexions et discussions sur ce thème ont été engendrées comme nous le verrons dans la partie liée à l'usage du modèle pour la concertation.

Un dernier type de résultat par rapport à ces séances mérite d'être explicité. Durant les premières séances individuelles nous avons remarqué que certains participants n'étaient pas toujours à l'aise, seuls face à l'ordinateur entouré de trois (et une fois quatre) chercheurs. De ce fait pour l'une de ces séances nous avons choisi d'inviter quatre agriculteurs. Le résultat au niveau du rapport humain-humain et humain-machine n'a pas forcément été celui que nous attendions. Bien que nous ayons ressenti que les participants étaient plus à l'aise en groupe face à la machine, le groupe a eu pour effet d'isoler certains participants alors que d'autres dominaient la discussion. Il est par exemple tout à fait probable que l'agriculteur 7, qui est d'une nature assez timide (et avec qui nous avons réalisé une séance individuelle), ne nous aurait pas livré ses réflexions sur le lien entre les différentes stratégies lors d'une telle séance.

13.2.2. Séance avec le LDD

Les résultats de cette séance sont tout à fait différents de ceux des séances qui se sont déroulées avec les agriculteurs. Les six participants du LDD se sont intéressés à des sujets complètement différents de ceux des agriculteurs, d'ordre scientifique et méthodologique, et ne se sont que peu intéressés aux dynamiques et aux évolutions de comportement des agents. Cela est certainement dû à une différence de centres d'intérêts mais peut également

s'expliquer par le fait que, contrairement aux cas des agriculteurs, le modèle ne représente pas directement leur réalité.

L'approche de modélisation utilisée¹¹⁴ (que les participants ont souhaité voir explicitée au début de la séance) est tout d'abord apparue novatrice à leurs yeux, intéressante, mais difficilement accessible. Les participants se sont ensuite beaucoup intéressés à la modélisation des dynamiques hydrologiques que nous utilisons dans CatchScape3. Par ailleurs l'interface spatiale du modèle semble avoir posé problème aux participants du LDD (contrairement aux agriculteurs qui se sont facilement appropriés cette interface) pour qui une interface du type SIG aurait été plus adéquate. Le vulgarisateur du LDD a également souligné le fait que la méthodologie d'enquête utilisée est d'ordre qualitatif (alors que lui-même est plutôt familier des analyses quantitatives) et que de ce fait il n'était pas possible de connaître les proportions de chacune des stratégies dans le village.

En ce qui concerne les stratégies modélisées les participants ont exprimé le fait qu'elles avaient un certain lien avec la réalité (« *En effet, si un agriculteur s'intéresse au sol, alors il adoptera une stratégie en fonction et il aura peut être des pratiques mieux adaptées à son sol* » [un vulgarisateur du LDD]) mais qu'au LDD et plus généralement en Thaïlande, la typologie utilisée était différente. Cette typologie classe les agriculteurs en quatre catégories proches de celles utilisées dans les modèles de diffusion d'innovations : « les progressistes » (initiateurs), « le groupe intermédiaire », « ceux qui ont peu de connaissances » (suiveurs) et enfin « l'agriculture de subsistance » que le participant du LDD a mentionné comme correspondant aux agriculteurs les plus pauvres¹¹⁵.

Durant la discussion générale à la fin de la simulation, nous avons demandé quels types de scénarios ils souhaitaient voir simuler durant la séance collective, mais les participants à la séance ont suggéré que la proposition et le choix des scénarios viennent plutôt des agriculteurs que d'eux.

En résumé, les participants du LDD sont restés, durant cette séance, assez distants par rapport aux enjeux simulés par le modèle et ce sont plutôt intéressés à la structure du modèle et à la méthodologie utilisée. Nous verrons que l'attitude des experts du LDD a ensuite été très différente lors de la séance collective.

¹¹⁴ Le concept d'agents évoluant sur un environnement artificiel.

¹¹⁵ Néanmoins cette discussion n'est pas réapparue durant la séance collective.

13.3. Résultats de l'usage du modèle pour la concertation

13.3.1. Résultats des séances individuelles

Un des constats les plus frappants de ces séances individuelles, est que tous les agriculteurs se sont identifiés à une stratégie¹¹⁶. Soit au moment de la présentation du panneau des stratégies et dans ce cas l'agriculteur cherchait délibérément à trouver quelle stratégie pouvait lui correspondre. Soit durant la simulation et c'était alors plus de façon involontaire que l'agriculteur se retrouvait dans l'une des stratégies. Un deuxième constat intéressant est que la stratégie dans laquelle chaque agriculteur s'est reconnu, correspondait à chaque fois, sauf pour un agriculteur qui se disait entre deux stratégies, à celle que nous avons identifiée pour cet agriculteur lors de l'étape d'identification des représentations.

Nous avons déjà évoqué dans la partie précédente ainsi que ci-dessus comment les différentes stratégies ont suscité l'introspection des participants mais ces réflexions les ont également amenés à aborder d'autres thèmes tels que la place de la gestion des sols et de l'eau dans leur système, la façon de gérer les endettements ou encore les avantages et les inconvénients des différents types de culture. Néanmoins, s'il est clair que le modèle a suscité des réflexions de la part des participants, il n'est pas possible d'évaluer avec le protocole que nous avons mis en place, si ces réflexions sont différentes de celles qui auraient pu se produire au cours d'une simple discussion en face à face avec l'agriculteur ou lors des discussions qu'ont les agriculteurs entre eux après leur travail quotidien¹¹⁷. L'unique référence avec laquelle nous pouvons comparer ces résultats est notre interprétation de l'échelle d'analyse selon laquelle les agriculteurs - que nous avons appris à connaître durant l'enquête ethnographique réalisée un an auparavant - réfléchissent à leur système. Cette comparaison nous laisse penser que, pour certains participants, le modèle a permis d'élargir à l'échelle du village et de « l'ensemble » de sa population, la discussion que nous avons eue avec la personne et sa réflexion quant à son système.

Par contre, l'effet de l'usage du modèle qui est apparu clairement durant ces séances est la façon dont il a amené les participants à considérer les points de vue des autres stratégies présentées (sous l'hypothèse que la stratégie à laquelle le participant s'est déclaré appartenir soit correcte). Pour reprendre encore une fois les dires de l'agriculteur 7 cité plus haut, on identifie clairement dans son discours la prise en compte des autres ainsi que la vision de sa place par rapport aux autres. Les paroles de l'agriculteur 1 sont assez éloquentes également : « *Cette stratégie [les agents-maximisation-du-profit] est plus orientée*

¹¹⁶ Nous ne demandons jamais au participant de s'identifier à une stratégie et nous ne nous y attendions d'ailleurs pas.

¹¹⁷ Il faudrait pour ce faire, avoir une référence prise avant la séance.

vers les cultures de rentes et c'est parce qu'ils recherchent une amélioration du profit. La deuxième [les agents-gestion-du-sol] fait plus attention au sol. » [Agriculteur 1]. Dans cette assertion cet agriculteur se base sur les résultats du modèle pour comprendre l'objectif et les comportements de certains agents. Plus tard durant la séance, il fera le lien entre le modèle et la réalité et aboutira à sa propre interprétation des raisons pour lesquelles les agriculteurs du village ont des comportements différents. Lorsque nous avons demandé à cet agriculteur tout à fait à la fin de la séance ce qu'il avait trouvé intéressant durant cette séance, il nous a dit que ça lui avait permis de mieux comprendre les différents groupes d'agriculteurs du village. La stratégie-gestion-du-risque a également suscité de nombreuses réflexions parmi les participants. Lors de la séance qui s'est déroulée en présence de quatre agriculteurs, l'un des participants a d'abord dit qu'il ne comprenait pas cette stratégie. Un autre participant lui a répondu que certains agriculteurs du village étaient comme ça et a donné des exemples¹¹⁸. Il y a donc bien dans cet échange une prise de conscience de la part du premier participant de certains comportements et de certaines attitudes.

Ainsi, nous avons pu clairement identifier que l'usage du modèle favorise d'une part l'introspection et d'autre part la prise de conscience et, dans certains cas comme l'agriculteur 1, la prise en considération des points de vue des autres stratégies. Vis-à-vis des réflexions des acteurs sur leur système nous n'avons pas de certitude quant à la valeur ajoutée de l'usage d'un tel modèle par contre il est clair que le modèle suscite de nombreuses réflexions de la part des participants. Ce sont donc les éléments 2 et 3 de notre grille d'évaluation que nous avons pu observer et évaluer durant ces séances.

Notons également que durant la séance qui s'est déroulée en présence de quatre agriculteurs, une longue discussion a eu lieu entre les participants au sujet de l'impact des tours d'eau dans le périmètre irrigué de Sai Mun. Après avoir confirmé que les résultats de simulations correspondaient à la réalité, les participants ont discuté des solutions qu'ils entrevoyaient pour ne plus pénaliser les agriculteurs ayant une parcelle en bout de canal. La discussion a notamment porté sur l'usage d'une clé que les agriculteurs devraient demander à tour de rôle au gestionnaire de canal pour pouvoir irriguer (l'ordre du tour d'eau n'étant alors plus fonction de la localisation de la parcelle). Néanmoins, cette nouvelle stratégie collective a plus été suscitée par des discussions en cours au sein du village que par le modèle.

Enfin nous concluons cette partie en évoquant les éléments du modèle qui nous ont paru être les plus appropriés pour susciter la réflexion des participants. Il semblerait que

¹¹⁸ D'après notre connaissance des villageois, les agriculteurs correspondant à une stratégie gestion du risque sont un groupe minoritaire de la population du village et sont un peu à l'écart « socialement » des participants de cette séance.

l'interface spatiale et notamment les changements de points de vue sur cette interface (lorsqu'ils ne sont pas trop rapprochés les uns des autres) aient été générateurs de nombreuses réactions et commentaires de la part des agriculteurs. Par contre, si les indicateurs de revenus et de fertilité du sol perçus de l'interface des résultats annuels ont été bien compris et ont permis aux participants d'analyser et de discuter les résultats de simulation, l'indicateur de satisfaction des différentes stratégies n'a pas été toujours bien compris. Les participants souhaitent mieux comprendre pourquoi l'icône était tantôt une face souriante et tantôt une face triste. Or, le fait que cet indicateur soit la combinaison de différents paramètres et que son calcul soit différent pour chaque stratégie a rendu la compréhension de cet indicateur difficile et les participants ne savaient plus dire pour quelle raison les résultats changeaient.

13.3.2. Résultats de la séance collective



Les résultats obtenus durant la séance collective font clairement apparaître le potentiel de l'usage de ce type de modèle pour l'aide à la concertation.

En effet trois des quatre séquences du processus de concertation que nous avons citées au début de ce chapitre se sont produites durant cette séance et ont pu être clairement identifiées.

Selon notre grille d'évaluation les éléments que nous avons observés durant cette séance sont : (1) l'introspection et la réflexion par rapport au système, qui ont également donné lieu à des échanges de connaissances et de points de vue entre les participants, (2) la prise en compte des points de vue des autres, et (3) l'apparition chez de certains participants de la volonté de changer de comportement, et ce après la prise de conscience du point de vue des autres. Les deux premiers éléments sont apparus spontanément durant la simulation en réaction aux résultats présentés, et le troisième élément a eu lieu durant la discussion générale à la fin de la simulation.

Nous allons à présent détailler ces résultats en suivant l'ordre chronologique des éléments présentés ci-dessus. Afin de mieux cerner le rôle que les participants ont joué dans ce processus, le Tableau 13 présente une analyse résumée des quatre groupes d'acteurs présents durant cette séance en détaillant leurs objectifs, leurs moyens d'actions et leurs relations aux autres groupes d'acteurs. Ce tableau est une version simplifiée du modèle conceptuel d'analyse d'acteurs proposé par la FAO (ITAD 2000).

	Objectifs	Moyens d'actions	Relation aux autres
Agriculteurs	Fonction de la stratégie (améliorer le revenu, améliorer la fertilité du sol, établir des partenariats avec des entreprises privées,...)	Changer les pratiques agricoles et la commercialisation, s'informer, contacter des partenaires, contacter les institutions publiques	Apprendre des experts du LDD et recevoir des financements pour des projets liés à la préservation des ressources naturelles (eau et sol). Collaborer avec le Projet Royal pour améliorer les syst.de cultures, s'informer (nvls cultures/pratiques) Apprendre et réfléchir avec le groupe de chercheurs à propos du village/système agraire.
Experts du LDD	Préserver les ressources naturelles et notamment les sols.	Recherche expérimentale, mise en place de sites de démonstration « in situ », vulgarisation (réunions d'information et formations).	Fournir des résultats de recherches et d'expérimentations au Projet Royal. Rencontrer occasionnellement les agriculteurs. Collaboration avec les chercheurs
Vulgarisateurs du Projet Royal	Accroître la viabilité des systèmes agraires	Site de démonstration du projet à Pang Da. Mise en place de contrats de culture avec les agriculteurs pour tester et diffuser de nouvelles cultures et pratiques. Réunions d'information et formations.	Former les agriculteurs à mieux gérer leur exploitation agricole. Communiquer / collaborer avec le LDD pour s'informer des nouvelles techniques. Observer les travaux du groupe de chercheur
Groupe de chercheurs organisant la réunion	Comprendre l'hétérogénéité des représentations d'acteurs et leur impact sur les comportements. Tester une démarche participative auprès des différents acteurs en présence.	Modélisation d'accompagnement, organisation de réunions, enquêtes.	(durant la réunion) Animer et observer

Tableau 13 : Analyse d'acteurs des participants de la séance collective

a) Réflexion et échanges de connaissances

Le deuxième élément de notre grille d'évaluation (introspection et réflexion) s'est notamment manifesté par les nombreux commentaires des participants (toutes catégories d'acteurs confondues) quant aux résultats du modèle, ainsi que par les nombreux échanges d'opinions et de connaissances entre les participants. Les agriculteurs ont par exemple été interpellés par la distribution spatiale de la ressource en eau durant la saison sèche ou par les différences entre fertilité du sol perçue et fertilité du sol simulée par le modèle biophysique. Ces réactions ont fait l'objet de discussions entre les participants (notamment à propos de la fertilité du sol) durant lesquelles chaque groupe d'acteurs avançait, exposait ses connaissances. Les agriculteurs ont par exemple décrit certaines de leurs pratiques de gestion du sol et les raisons de ces pratiques (e.g. «Après la récolte nous brûlons les résidus de culture pour tuer les maladies qui font que le sol manque de substances nutritives »

[Agriculteur 11]). Un vulgarisateur du Projet Royal a exposé les différentes pratiques possibles pour gérer les sols. Les experts du LDD ont expliqué les effets de la dolomite sur les sols, et plus brièvement ceux du compost. L'agriculteur 9 a exposé son expérience quant à la différence de stabilité des résultats obtenus entre les cultures de tabac et de pois.

D'après les dires des participants en fin de séance, chaque groupe d'acteurs a acquis de nouvelles connaissances durant cette séance. Les agriculteurs ont été très intéressés par les informations venant du LDD et du Projet Royal concernant la gestion des sols. Les experts du LDD ont été surpris par la diversité des pratiques des agriculteurs, et les vulgarisateurs du Projet Royal en ont retiré une meilleure connaissance des pratiques des agriculteurs.

b) Compréhension du point de vue des autres et partage des opinions

Ces échanges de connaissances étaient fortement liés à des échanges de points de vue et d'opinions sur la « meilleure » façon de gérer les sols notamment. Ainsi, un expert du LDD a demandé, suite à l'intervention de l'agriculteur 11, pourquoi il ne préférerait pas enfouir les résidus plutôt que de les brûler. Le point de vue de cet agriculteur était que les résidus contenaient des maladies néfastes pour le sol (et qu'il fallait donc les brûler pour tuer la maladie). Cette discussion a donné lieu à de nombreux échanges d'opinions. De même, ce même expert du LDD a manifesté sa surprise quant aux rapides changements de l'assolement simulés par le modèle. Certains agriculteurs ont alors expliqué les raisons pour lesquelles ils devaient changer de culture. Cette discussion a évolué vers une comparaison des différentes stratégies simulées et une intervention a ensuite fait un lien avec la réalité : « *Tous les agriculteurs du village ont leurs propres raisons de suivre l'une de ces quatre stratégies* » [Agriculteur 12]. S'en est alors suivie une discussion au cours de laquelle plusieurs agriculteurs ont exposé aux experts du LDD et aux vulgarisateurs du Projet Royal leurs interprétations des différentes stratégies dans le modèle et dans la réalité. Des échanges ont également eu lieu entre les agriculteurs, comme par exemple cette assertion où l'agriculteur expose comment il compte sur les autres pour tester de nouvelles pratiques¹¹⁹ : « *Beaucoup d'agriculteurs préfèrent regarder ce que les gens comme Mr. X [Agriculteur 9] font et voir ensuite s'il a obtenu de bons résultats, et après ils décideront s'ils font pareil ou non*¹²⁰ » [Agriculteur 8]. Les experts et vulgarisateurs ont donné leurs points de vue sur ces questions et plus particulièrement sur la gestion des sols, puis nous avons

¹¹⁹ Notons que cette attitude correspond à la stratégie d'apprentissage que nous avons appelée « opportuniste ».

¹²⁰ L'agriculteur 9 est par ailleurs devenu chef du village entre le moment de nos enquêtes et celui du test du modèle. Ce même agriculteur a acquis une certaine reconnaissance dans le village, non pas pour son éloquence, mais plus parce qu'il a été précurseur dans l'adoption de contrats de culture de pois.

poursuivi la simulation. D'autres échanges de points de vue ont également eu lieu durant lesquels les participants échangeaient leurs opinions sur différents thèmes, comme par exemple l'usage de compost, l'instabilité des revenus liés à la culture d'ail, l'impossibilité financière pour certains agriculteurs de mettre en place certaines recommandations des services publics, les raisons pour lesquelles certaines cultures promues par les vulgarisateurs du Projet Royal ne donnent pas de bon résultats dans le village de Sai Mun. D'après nos observateurs, c'est notamment la grande diversité des points de vue d'acteurs montrés et simulés par le modèle, qui a permis de susciter autant de réactions de la part des participants. Il est difficile de confirmer cette interprétation, par contre il est certain que dans cette expérience, le modèle n'a agi que comme un objet intermédiaire et que les échanges de points de vue et les partages d'opinions se sont déroulés dans les interactions humain-humain et non pas dans les interactions humains-machine.

c) Changement de point de vue et imagination de nouvelles pratiques

Bien que nous ne sachions pas si cela a été mis en pratique, un agriculteur a exprimé durant la simulation puis durant la discussion finale, qu'il souhaitait changer ses pratiques et/ou sa stratégie. En rapport avec la simulation qui venait de se dérouler, l'agriculteur 1 a déclaré qu'il était d'abord de la stratégie « maximisation du profit », mais qu'il souhaitait à présent changer pour une stratégie « gestion du sol »¹²¹.

Nous n'avons pas noté d'autres souhaits d'adopter de nouvelles pratiques. Par contre les réactions des agriculteurs juste après la séance, nous laissent penser que les échanges de connaissances et d'opinions entre les participants, sur la gestion des sols notamment, ont, chez certains, changé leurs visions sur les pratiques culturales, sur l'utilisation d'intrants et sur les processus physico-chimiques liés au sol.

Ces réactions, juste après la séance, nous ont également appris que les agriculteurs avaient trouvé cette séance plus intéressante que les séances individuelles. Certains agriculteurs ont déclaré que parfois le modèle n'était pas facile à comprendre mais que le fait que la simulation se déroule pas à pas et année par année permettait de se forger une opinion petit à petit, puis d'avoir une impression générale à la fin. Comme pour les séances individuelles l'indicateur de satisfaction a posé des problèmes de compréhension pour certains participants (ces remarques sont venues de quelques agriculteurs ainsi que des vulgarisateurs du Projet Royal). Enfin les experts du LDD nous ont déclaré avoir « beaucoup appris » durant cette séance tant au niveau de l'agriculture de ce village que par rapport à la

¹²¹ Ce même agriculteur a également dit que la séance lui avait permis d'acquérir ce que nous avons traduit par une meilleure « vision sociale ». Malheureusement nous n'avons pas pu approfondir avec lui ce qu'il entendait plus précisément par ce terme.

méthode participative¹²². Et le chef du village (Agriculteur 9) s'est dit intéressé de poursuivre ces séances de simulations participatives en nous invitant à y inclure des aspects liés aux climats¹²³ et au marché.

13.3.3. Réactions quelques jours après les séances

Environ une à deux semaines après la séance collective, l'assistante de notre collègue anthropologue a eu l'occasion de collecter les réactions de quelques uns des agriculteurs ayant participé à la séance collective (c'est-à-dire tous les agriculteurs des séances individuelles sauf un qui était le seul correspondant à la stratégie gestion-du-risque).

Ces agriculteurs ont tout d'abord indiqué qu'ils avaient apprécié les séances et notamment les échanges d'informations et de connaissance avec le LDD et le Projet Royal durant la séance collective. Par ailleurs, ils ont déclaré que le modèle reflétait bien la réalité et ont indiqué la fourchette de ressemblance de 70 à 80 %¹²⁴. Certains participants ont également mentionné le fait que pour bien comprendre le modèle il fallait être tout le temps concentré sur l'écran et que ce n'était pas toujours aisé. Enfin ils ont exprimé le fait qu'ils étaient tout à fait d'accord avec les quatre stratégies du modèle, mais que pour une prochaine séance il serait bien d'enlever la stratégie gestion-du-risque. Ce dernier résultat est particulièrement intéressant bien qu'il nous soit difficile de l'analyser par manque d'informations. Deux aspects peuvent, peut être, expliquer cette demande. D'une part le fait qu'aucun agriculteur correspondant à cette stratégie n'était présent durant la séance collective. Et d'autre part que la stratégie gestion-du-risque a une connotation quelque peu négative dans l'esprit des agriculteurs, car elle correspond à un comportement réfractaire au changement et à des personnes relativement isolées par rapport aux réseaux sociaux principaux du village¹²⁵.

13.4. Conclusion

Aux dires des agriculteurs le modèle développé apparaît exact dans sa façon de représenter les différentes stratégies de culture, les comportements en découlant et la façon dont les agents perçoivent l'environnement. Ces stratégies étant au cœur de notre travail de modélisation des représentations, ces résultats contribuent à valider notre méthodologie d'identification et de modélisation des représentations. Néanmoins, nous n'avons abordé

¹²² Par la suite, le chef du LDD de Chiang Mai s'est déclaré intéressé de comprendre et de mieux approfondir cette méthode participative.

¹²³ Notamment les effets du climat sur les « maladies » des cultures.

¹²⁴ Nous avons déjà remarqué durant nos enquêtes que les agriculteurs de ce village aiment beaucoup utiliser des pourcentages pour synthétiser une information.

¹²⁵ Les agents-gestion-du-risque étant essentiellement combinés avec la stratégie d'apprentissage passive.

durant ce test que les stratégies de cultures. Quelques éléments semblent confirmer que les agriculteurs se sont également reconnus dans les différentes stratégies d'apprentissage mais d'autres expériences seraient nécessaires pour obtenir une validation à dire d'acteurs. Les experts du LDD ont un avis différent sur ces stratégies et les perçoivent comme une possibilité parmi d'autres de classer les agriculteurs. Par ailleurs le peu d'informations que nous avons pu recueillir quant à l'opinion du Projet Royal concerne la stratégie de culture axée vers le partenariat pour laquelle les vulgarisateurs estiment que dans la réalité elle est plus axée vers la recherche de profit que ce qui est modélisé.

Par ailleurs certains aspects des prises de décision des stratégies de cultures sont apparus inexacts ou incomplets (voir la conclusion du §13.2.1 pour un aperçu détaillé). Par exemple, nous avons appris que la croyance sur le fonctionnement du système implémentée dans les agents selon laquelle les besoins alimentaires en matière de riz doivent être impérativement produits sur l'exploitation, est inexacte et que dans certains cas, les agriculteurs préfèrent produire des cultures de rente durant la saison des pluies et acheter du riz par ailleurs.

Concernant l'usage du modèle pour l'aide à la concertation, il nous faut d'abord rappeler que les conditions n'étaient peut être pas idéales pour un tel test. D'une part le processus de concertation s'est essentiellement déroulé autour de la question de la fertilité du sol et de sa gestion. Or, cet enjeu concerne une gestion quasi-individuelle. Les interactions quant à cet enjeu se passent, dans le modèle, essentiellement via les communications entre agents (il n'y a pas d'interaction entre la ressource en sol des différentes parcelles comme il peut y en avoir pour la ressource en eau). D'autre part, le processus étudié n'est pas, selon la définition de Tremblay et Rolland (1996), un processus de concertation¹²⁶. En effet, les experts du LDD n'ont pas participé dans l'objectif de collaborer avec les agriculteurs de Sai Mun et ils ont, vis-à-vis des agriculteurs, plutôt joué le rôle de « puits de connaissances ». Il s'agirait alors plutôt d'un processus de support à la discussion.

Néanmoins, lors de la séance collective ainsi que durant les séances individuelles, nous avons pu évaluer et valider les éléments 2 à 4 de notre grille d'évaluation¹²⁷. Nos observations de l'usage du modèle et ce que les participants nous ont déclaré, montrent assez clairement que les représentations modélisées ont joué un rôle important pour l'usage du modèle en aide à la concertation. En effet, (1) les comparaisons de l'évolution des comportements des différentes stratégies, et (2) les différences de perceptions et de

¹²⁶ La concertation selon Tremblay vise « à élaborer une action commune, souvent basée sur un compromis ».

¹²⁷ Le cinquième élément de cette grille (élaboration collective de nouvelles stratégies) n'est pas apparu durant ce test et cela est peut être dû aux conditions « non-collaboratives » de l'enjeu étudié.

croyances des agents¹²⁸ ont été parmi les éléments qui ont le plus suscité la réflexion, l'introspection et la prise en compte des points de vue d'autrui. Or, dans notre méthodologie ces aspects sont intimement liés à la modélisation des représentations effectuées. De même, il semblerait que le fait que les agriculteurs aient pu s'identifier à l'une ou l'autre des stratégies, a facilité la transposition du modèle vers la réalité. Pour un usage en concertation, la valeur ajoutée d'un modèle du système intégrant les représentations d'acteurs serait donc dans la pluralité des points de vue¹²⁹ modélisés.

Notre troisième et dernier élément de conclusion concerne le rapport que les agriculteurs ont établi avec le modèle. Nous ne souhaitons pas ici aborder le rapport que les participants font entre le modèle et la réalité¹³⁰, sujet qui a d'ailleurs fait l'objet d'une thèse à part entière dans notre équipe de recherche (Daré 2005), mais restituer nos observations quant à l'appropriation du modèle par les agriculteurs et sur ce qu'ils attendent du modèle. Il nous faut tout d'abord préciser que nous avons dès le départ présenté le modèle aux agriculteurs comme étant « le modèle du village » et que ce que nous avons mis dans le modèle venait de ce qu'ils nous avaient dit. Nous avons donc, en quelque sorte, incité l'appropriation du modèle. Les différentes remarques formulées spontanément par les agriculteurs¹³¹, concernant les éléments à modifier et à ajouter dans le modèle, laissent penser qu'il y a bien eu appropriation du modèle par certains agriculteurs¹³². La question qui se pose alors est : qu'est-ce que les participants attendent du modèle, qu'il reflète la réalité ou qu'il reflète une réalité souhaitée, idéale, qu'ils aimeraient voir se produire ? Le fait que les participants de la séance collective aient exprimé le souhait d'éliminer la stratégie gestion-du-risque du modèle¹³³ peut laisser penser qu'ils optent pour la deuxième possibilité, puisqu'ils éliminent de cette façon une stratégie, qu'ils ont eux-mêmes reconnu exister dans le village, mais qui ne leur convient pas pour diverses raisons. Dans ce cas est-ce que nous ne sortons pas du cadre de la concertation ? N'y a-t-il pas alors danger qu'un groupe d'acteurs s'approprie le modèle pour imposer son point de vue ? Il est également possible que cette demande des agriculteurs soit aussi une proposition de scénario. Dans ce cas nous entrons dans un

¹²⁸ Les différences de perceptions étaient notamment montrées par les points de vue de l'interface spatiale comme celui sur la fertilité du sol perçue. Les croyances des agents étaient reflétées par les choix des agents et communiquées aux participants partiellement par le tableau de présentation des stratégies et partiellement de façon orale.

¹²⁹ Un point de vue est ici compris dans le sens de « façon de penser et de percevoir le monde »

¹³⁰ D'après nos observations il est apparu clairement que les acteurs effectuent effectivement ce rapprochement entre les résultats du modèle et la réalité.

¹³¹ Dans d'autres cas, les suggestions venaient en réponse à l'une de nos questions.

¹³² Comme par exemple de la part du chef du village, qui nous demandait en fin de séance collective d'intégrer le climat et le marché dans le modèle pour la prochaine séance.

¹³³ Autre signe qui conforte d'ailleurs qu'il y a bien appropriation du modèle par les agriculteurs.

domaine d'usage du modèle par les agriculteurs différent, puisque le modèle serait alors un outil leur permettant de se projeter dans l'avenir ; un moyen de tester des scénarios pour évaluer s'il est intéressant d'aller ou pas vers une certaine direction (comme par exemple tester ce qui arriverait si les agriculteurs de la stratégie gestion-du-risque changeaient tous de stratégies).

Partie V : Discussion

La question qui a initié la thèse porte sur l'intérêt et les méthodes de la modélisation des représentations des acteurs locaux pour la gestion des bassins versants. Dans la problématique, nous avons recentré cette question sur les aspects méthodologiques, en distinguant d'une part la démarche visant un usage coordonné de différents outils dans une méthodologie d'ensemble et, d'autre part, l'utilisation et l'adaptation des techniques de l'ingénierie des connaissances au contexte « in situ » de notre application. Ces deux questions ont été énoncées par rapport au contexte de la gestion des bassins versants. Cependant, les résultats, obtenus à la suite de la première étape de la méthodologie (identification et formalisation des représentations), ont montré que les représentations et les comportements des agriculteurs des deux villages étudiés ne sont que très peu liés à l'échelle du bassin versant. Ce résultat a d'ailleurs fait l'objet d'une communication au colloque du PCSI¹³⁴ 2003 (Becu et Perez 2004). Par ailleurs, durant les travaux sur le site d'étude nous avons réalisé que les deux villages étudiés n'étaient que très peu dépendants l'un de l'autre du point de vue hydrologique¹³⁵. Ces constats nous ont amenés, pour la modélisation et la simulation, à recentrer notre étude sur le village de Sai Mun. Les résultats alors obtenus portent sur la modélisation des représentations d'acteurs locaux pour la gestion des ressources naturelles (et notamment la gestion des sols).

Si le cadre de la gestion des ressources naturelles que nous avons étudié est bien compris dans celui de la gestion des bassins versants, il n'est pourtant pas identique tant au niveau de l'échelle d'étude qu'au niveau des thématiques d'interactions étudiées¹³⁶. C'est pourquoi, la discussion des résultats de la thèse ne porte pas spécifiquement sur le contexte de la gestion des bassins versants, mais sur le contexte de la gestion des ressources naturelles.

¹³⁴ Programme Commun Systèmes Irrigués

¹³⁵ Une possibilité aurait alors pu être de recentrer nos travaux sur le village de Buak Jan et la zone centrale de Pang Da (et donc restreindre l'étude au seul bassin versant du Pang Da), mais ce cas d'étude n'était pas non plus idéal pour deux raisons. D'une part le réservoir d'eau situé juste en amont de la zone de centrale de Pang Da, annule pratiquement tout effet d'interdépendance entre les deux sites vis-à-vis de la gestion de l'eau. D'autre part, notre collègue anthropologue ne travaillait pas sur la zone centrale de Pang Da, mais dans le village de Sai Mun, et nous n'aurions pas pu interagir et bénéficier de son expérience autant que nous l'avons fait en choisissant le village de Sai Mun.

¹³⁶ La gestion des bassins versants étant caractérisée par la forte structuration spatiale de la dynamique hydrologique et des interactions à prendre en compte. Or cette thématique est peu abordée dans nos résultats de modélisation et de simulations.

14. Utilisation coordonnée des différents outils dans la méthodologie d'ensemble

Dans ce chapitre, nous allons discuter les résultats de la thèse qui nous permettent d'apporter des éléments de réponse à la question suivante : comment utiliser de manière coordonnée différents outils dans une méthodologie d'ensemble allant de la prise de contact avec le terrain jusqu'à la réalisation d'un modèle du bassin versant intégrant les représentations des acteurs ? Etant donné que notre étude s'est recentrée sur l'un des villages lors de l'étape de modélisation des représentations, nous n'aborderons pas la modélisation des représentations liée aux interactions amont-aval entre les deux villages étudiés. Par contre, le modèle hydrologique réalisé est bien un modèle de bassin versant et nous en tiendrons compte dans notre discussion.

Nous abordons tout d'abord les apports et les limites de chaque technique utilisée pour la méthodologie d'ensemble, puis nous discutons les avantages et les inconvénients de l'usage conjugué de ces techniques dans la méthodologie. Rappelons que les techniques utilisées sont : (1) l'entretien « situé », (2) l'analyse de protocole, (3) la démarche de modélisation d'accompagnement (implication des acteurs dans la construction du modèle) et (4) la technique de modélisation multi-agents.

14.1. Les apports de chaque technique pour la méthodologie d'ensemble

14.1.1. L'entretien situé comme moyen d'accéder aux représentations

L'entretien situé s'avère une technique d'enquête intéressante dans le sens où elle enrichit le discours de la personne au travers des interactions entre ce qui se dit et ce que la personne fait et/ou observe durant l'entretien. Pour accéder aux représentations les deux aspects sont importants (ce qu'elle fait et ce qu'elle voit) mais dans la pratique il n'est pas toujours facile d'obtenir des conditions d'enquête où les deux aspects sont réunis. L'entretien situé est plus facile à réaliser lorsqu'il est conjugué avec une méthode d'enquête ethnographique, car celle-ci permet d'approcher et de discourir avec les personnes durant la réalisation d'une activité donnée¹³⁷. Si le cadre dans lequel se déroule l'entretien est en effet important pour accéder aux représentations, les questions posées, la façon de mener l'entretien et la relation de confiance entre l'enquêteur et l'enquêté sont autant d'aspects nécessaires pour parvenir à l'objectif. Les questions ouvertes et la façon de mener l'entretien à la manière

¹³⁷ L'approche ethnographique telle que nous l'avons appliquée, impliquait que nous participions à la vie du village et aux activités réalisées (activités agricoles comprises).

d'une simple conversation¹³⁸ entre deux individus, sont des méthodes qui demandent une certaine pratique mais qui dans notre cas se sont avérées très utiles pour révéler des schémas de pensée, des associations d'idées ou des orientations de comportement. La relation de confiance entre les deux personnes joue elle sur les biais de réponse de la part de l'enquêté. Le statut de l'enquêteur autant que la relation sociale entre les deux personnes entrent en compte. L'approche ethnographique peut aider à établir cette relation de confiance mais il ne nous est pas possible de savoir si la relation de confiance obtenue est due à l'approche en elle-même où au fait que nous avons passé plus de temps auprès des agriculteurs.

Dans le cas de cette application, l'entretien situé a donc permis de collecter des informations traduisant les schémas de pensée des agriculteurs et à ce titre cette technique apparaît comme un moyen d'accéder aux représentations des acteurs. Pour ce qui est de leur valeur ajoutée par rapport à d'autres techniques d'enquête, des expériences comparatives seraient nécessaires. Dans la section suivante, nous reviendrons sur certains aspects de l'entretien situé que nous étudierons sous l'angle de l'acquisition des connaissances pour la construction des diagrammes EPR.

14.1.2. La formalisation des représentations dans les diagrammes EPR

Dans cette partie nous abordons les apports pour la méthodologie d'ensemble des diagrammes EPR réalisés lors de la phase de formalisation, ainsi que leurs limites. La réalisation des diagrammes EPR étant basée sur l'analyse de protocole, nous traiterons également les apports et les limites de cette technique. Néanmoins, les adaptations faites sur l'analyse de protocole pour parvenir à un formalisme Orientée-Objet ne seront traitées qu'au chapitre suivant.

Les diagrammes EPR et l'usage de l'analyse de protocole permettent avant tout d'apporter une méthode formelle pour l'extraction et la formalisation des représentations à la méthodologie d'ensemble. Comme nous l'avons dit, la démarche de modélisation d'accompagnement se base sur la modélisation et le partage des représentations, mais jusqu'à présent les méthodes pour parvenir à cette modélisation ne spécifiaient pas la façon de passer des représentations d'acteurs observés sur le terrain aux représentations modélisées. L'un des aspects peut être le moins spécifié par la démarche de modélisation d'accompagnement (et qui pourtant est crucial) est certainement l'interprétation des dires d'acteurs et des observations réalisées par exemple durant des séances de jeux de rôles. C'est sur cet aspect que les diagrammes EPR, via l'analyse de protocole, interviennent.

¹³⁸ Toute la difficulté est alors d'entretenir la conversation en interférant le moins possible dans le cheminement de pensée de l'enquêté.

L'analyse de protocole, tel que nous l'appliquons, se propose d'interpréter le discours d'une personne en analysant les mots et les expressions sémantiques exprimées selon une structure d'extraction prédéterminée. Comme nous nous intéressons à la représentation de la personne, les spécifications de la structure d'extraction sont déterminées en fonction. Bien entendu, cette méthode repose sur l'hypothèse initiale que les mots et les expressions sémantiques exprimés sont capables de traduire la représentation de la personne.

L'analyse de protocole, comme les diagrammes EPR et comme l'entretien situé, sont, en outre des méthodes adaptées à l'étude des représentations d'acteurs locaux, mais qui dans ce contexte sont des méthodes génériques (le seul lien méthodologique au terrain d'étude étant le choix des thèmes abordés par l'entretien situé). De ce fait cette méthode d'identification et de formalisation des représentations peut être dupliquée. Il devient alors possible d'entrevoir par exemple des études comparatives entre différents terrains d'application, pour mieux comprendre les représentations d'acteurs ou pour analyser et développer la méthode.

Le second apport de la méthode est cette formalisation synthétique de la représentation sous la forme d'un diagramme. Nous avons vu que les diagrammes EPR permettaient en effet de retrouver les croyances sur l'état du système et son fonctionnement. En cela nous pouvons donc dire que l'objectif de formalisation des représentations est atteint¹³⁹. Mais les diagrammes EPR permettent également de lire des schémas de pensée, d'avoir un aperçu de l'ontologie du système tel que l'individu se le représente. Ces aspects sont fort intéressants pour mieux comprendre les différences de points de vue entre individus et, dans nos résultats, ont contribué à définir l'hétérogénéité des représentations d'acteurs.

Néanmoins les diagrammes EPR et leur méthode d'élaboration présentent certaines limites. Tout d'abord, les représentations formalisées par cette technique ne sont vraies que pour un instant donné et dans un contexte donné. Cela est bien entendu lié à la nature même des représentations qui sont socialement construites et dépendantes du contexte dans lequel elles sont exprimés (Lauriol 1995). Les différences entre les diagrammes EPR et les résultats des *Playable Stories* témoignent de ces changements de représentation entre deux instants donnés. Nous verrons à ce propos, que c'est par l'emploi conjugué de différentes techniques que nous tentons de prendre en compte ces changements.

Mais, les différences entre les représentations formalisées par les diagrammes EPR et celles formalisées par les *Playable Stories*, reflètent également certaines insuffisances de la méthode d'élaboration des diagrammes EPR. Tout d'abord l'emploi de la technique

¹³⁹ Rappelons que la définition retenue de la notion de représentation est l'idée que ce fait une personne de l'état et du fonctionnement du monde.

d'entretien, pour générer des transcriptions à partir desquelles les représentations sont extraites, présente certaines limites. Les résultats sont dépendants de la façon dont les questions sont formulées durant l'entretien (La France 1987) et ses résultats sont uniquement relatifs à des connaissances non-tacites (Lépy 1997). Par ailleurs la méthode d'extraction (identification analyse et formalisation des mots et expressions sémantiques) présente également certaines limites. La subjectivité de l'analyste peut entraîner des biais d'interprétation engendrant ainsi des déformations ou des pertes d'information dans les résultats obtenus (Gray et Anderson 1987, Waterman et Newell 1971). Par ailleurs, ces résultats sont grandement dépendants de la structure d'extraction utilisée (Milton, et al. 1999). Le choix de cette structure est donc important, et nous verrons à la section 14.2.2, qu'en ce qui concerne la modélisation des représentations, la structure d'extraction établie a donné des résultats satisfaisants.

Enfin, soulignons que les diagrammes EPR permettent difficilement d'identifier les éléments les plus importants des représentations. Les informations, bien que structurées selon le formalisme établi, restent quelque peu entremêlées. Il est possible que cela provienne de l'utilisation de l'entretien comme technique d'acquisition ; technique qui tend à procurer des résultats non-structurés (Portmann et Easterbrook 1992). Du fait de ces résultats, les diagrammes EPR obtenus peuvent difficilement être utilisés directement avec les acteurs locaux et sont plutôt destinés à un usage par des personnes initiées aux techniques de représentation des connaissances.

En résumé, les diagrammes EPR sont donc une technique formelle d'extraction et de formalisation des représentations des acteurs locaux à un instant donné et dans un contexte donné. Les thèmes sur lesquels portent ces représentations sont bien entendu dépendants des thèmes abordés lors de l'entretien (pour notre application ces thèmes étaient le bassin versant, la gestion de ses ressources naturelles et son environnement agricole). Les diagrammes EPR sont plutôt destinés à un usage scientifique pour l'analyse du contenu des représentations et de leur hétérogénéité. Les points sensibles de cette technique sont la formulation des questions lors des entretiens et la subjectivité de l'analyste lors de l'extraction des représentations (analyse de la transcription de l'entretien). Si ces biais et ces insuffisances sont inhérents à la technique et sont clairement identifiés en ingénierie de la connaissance, nous verrons que l'usage conjugué de différentes techniques permet de résoudre certains de ces problèmes.

14.1.3. La modélisation d'accompagnement pour vérifier et enrichir le modèle

Dans cette partie nous discutons l'usage de la modélisation d'accompagnement vu sous l'angle de l'implication des acteurs dans la construction du modèle. Pour cela deux procédures ont été mises en place : d'une part les *Playable Stories* qui avait pour objectif la

vérification des représentations formalisées, et d'autre part les séances de simulations participatives dont l'un des objectifs était la validation du modèle à dire d'acteurs.

Pour ce qui est de la vérification des représentations formalisées, les *Playable Stories* ont pu vérifier les entités importantes pour les acteurs et les entités qui sont reliées entre-elles. Néanmoins, elles ne sont pas adaptées à une vérification des règles de fonctionnement du système. Par ailleurs, le choix de l'histoire qui est racontée durant ces séances a une grande influence sur le domaine d'informations qui est élicité. Pour la vérification d'un échantillon de représentations préalablement élicité, il est donc important que l'histoire racontée soit en adéquation avec le domaine d'élicitation du premier échantillon.

La technique des *Playable Stories* offre également l'avantage d'être une technique d'élicitation, basée sur un formalisme Orienté-Objet, pouvant s'employer avec la plupart des acteurs locaux. Nous l'avons utilisé auprès d'agriculteurs ayant des niveaux d'éducation très divers et la méthode a été comprise par tous. Par contre, les *Playable Stories* ne peuvent s'appliquer qu'auprès de personnes sachant lire (les entités du système sont représentées par des cartes sur lesquelles le nom de l'entité est écrit).

Une particularité des *Playable Stories*, particulièrement intéressante pour la méthodologie d'ensemble, est sa capacité à révéler et à éliciter les spécificités de la représentation de chacun des individus enquêtés. Elles permettent notamment de faire ressortir, plus distinctement que les diagrammes EPR, l'orientation des comportements des individus par rapport à leur système. En cela, les résultats des *Playable Stories* ont grandement participé à la caractérisation de l'hétérogénéité du catalogue de représentations identifiées et à la détermination des différentes stratégies d'agent modélisées dans CatchScape3. Mais cette particularité laisse également entrevoir la possibilité d'utiliser les *Playable Stories* séparément des diagrammes EPR. Les *Playable Stories* seraient dans ce cas un moyen d'appréhender, durant une phase préliminaire de l'étude, l'hétérogénéité des comportements¹⁴⁰.

Vis-à-vis de la démarche d'accompagnement en général, les applications telles que les *Playable Stories* et les simulations participatives sont intéressantes car elles permettent un enrichissement des résultats et/ou du modèle (chaque retour vers les acteurs apporte de nouveaux résultats et de nouvelles questions). En outre, cette démarche itérative de retour vers les acteurs après chaque étape de formalisation et/ou de modélisation, a permis une meilleure appropriation par les acteurs des résultats de recherche et/ou du modèle. Ce qui est un atout pour un objectif final orienté vers l'aide à la concertation. Néanmoins, le test du

¹⁴⁰ Des travaux sont d'ailleurs en cours dans un bassin versant proche du Pang Da sur l'usage des *Playable Stories* comme outil d'analyse préliminaire des comportements. Les résultats serviront de base pour une étude plus approfondie des comportements et d'identification des règles de décision.

modèle montre que l'appropriation du modèle par les acteurs peut également conduire à des usages détournés du modèle, pas toujours souhaitables (comme par exemple utiliser le modèle pour imposer son point de vue aux autres). Cela pose des questions quant à la légitimité de l'approche vis-à-vis des acteurs locaux impliqués, et nous reviendrons sur cet aspect durant la conclusion.

14.1.4. Les SMA pour modéliser les interactions et les représentations

Nos hypothèses de départ pour le choix des Systèmes Multi-Agents (SMA) comme outil de modélisation étaient que ce sont des outils d'une part particulièrement bien adaptés à la conceptualisation et à la modélisation de concepts sociocognitifs tels que les représentations (cet aspect relève en fait de la modélisation orientée agent en général) et d'autre part capables de prendre en compte et de modéliser les interactions entre usagers et entre usagers et ressources.

Dans notre méthodologie, ces deux aspects se sont concrétisés par l'architecture d'agent dans laquelle nous intégrons les représentations identifiées ainsi que par la modélisation des interactions sociales (modélisation des échanges d'information et de l'apprentissage des agents via les réseaux sociaux) et la modélisation des interactions entre les agents et les ressources du bassin versant.

Pour ce qui est de la modélisation des représentations, l'architecture d'agent utilisée a en effet permis d'intégrer les différents types d'informations collectées durant les phases de la méthodologie d'identification (perceptions, croyances, règles de décision), et plus spécifiquement les croyances qui forment le cœur de notre modélisation des représentations. Celles-ci sont intégrées dans deux compartiments distincts (croyances sur l'état du système et croyances sur le fonctionnement du système) et il est aisé durant la phase de modélisation de distinguer les informations appartenant à l'un ou à l'autre des compartiments. Si cette distinction accroît la lisibilité de la représentation de l'agent pour le modélisateur, les représentations sur le fonctionnement du système sont difficilement visibles pour l'utilisateur du modèle (les croyances sur l'état du système peuvent elles être « affichées » à l'aide des points de vue de l'interface spatiale).

Au-delà de la modélisation des représentations, nous nous sommes intéressés durant cette application à la modélisation de l'évolution des représentations. A ce sujet, Drogoul souligne que la modélisation de processus d'apprentissage des agents permet de simuler l'évolution des représentations (Bredeche et al. 2003, Drogoul et Ferber 1994) Dans notre méthodologie, le système de révision des croyances sur l'état du système (qui passe par la mise à jour des bases de connaissances) a en effet montré sa capacité à faire évoluer l'idée que se font les agents de différentes parties de leur système, tel que la fertilité du sol ou l'efficacité des intrants. Par contre, l'architecture d'agent que nous avons utilisée ne prévoit

pas de révision des croyances sur le fonctionnement du système. Ces dernières sont fixes et n'évoluent pas durant la simulation. Dans la réalité, les changements de croyances sur le fonctionnement du système existent. Les individus révisent ces croyances et en établissent de nouvelles (Piaget 2003, Moscovici 1976) ; et nous avons pu en observer quelques exemples durant les séances de simulations participatives.

Pour ce qui est de la modélisation des interactions sociales, les SMA se sont avérés être un outil adéquat et efficace. Le fait que chaque acteur est défini par un agent informatique autonome capable d'envoyer, de recevoir et de gérer de l'information, permet une modélisation explicite des échanges d'informations (Hu et Weliman 2001, Minar et al. 1996, Ferber 1995). Par ailleurs, les résultats de simulations, décrits au chapitre 12, montrant l'émergence d'une nouvelle croyance au sein de la population d'agent (cas des engrais bio-organiques), démontrent la puissance de cette architecture et laissent également entrevoir la possibilité de développer un système de révision des croyances basé sur ces résultats émergents.

L'un des points forts de la modélisation des interactions entre agents et ressources est la possibilité de visualiser sur l'interface spatiale du modèle la perception qu'ont les agents de l'état des ressources. Le fait que les agents soient informatiquement indépendants des processus biophysiques modélisés facilite grandement l'implémentation de cette fonction du modèle. En cela, le choix des SMA et du logiciel Cormas paraît justifié. Outre l'aspect visuel qui facilite l'utilisation avec les acteurs locaux, cette fonctionnalité permet d'évaluer l'hétérogénéité et la structuration spatiale des perceptions. Dans le contexte de la gestion des bassins versants, cet aspect nous paraît important étant donné la multitude des points de vue d'acteurs et la forte structuration spatiale des dynamiques des bassins versants.

Enfin la programmation Orientée-Objet des dynamiques hydrologiques et des formes de gestion de la ressource en eau que nous avons effectuée, résulte en une architecture modulaire intéressante. En effet, couplés à une architecture hydrologique de type Arc-Nœud, les différentes classes de nœuds, d'arcs, de zones d'offre en eau et de zones de demandes en eau, peuvent être réutilisées pour d'autres applications. Chaque classe de zone d'offre définit une dynamique hydrologique particulière d'écoulement et de transfert des flux ; et chaque classe de demande en eau définit un système particulier de gestion et d'allocation de la ressource. Nous avons testé la réutilisation de ces classes pour une autre application dans un autre bassin versant. L'étape la plus longue est alors la conceptualisation de l'architecture arc-nœud pour le nouveau bassin versant : (1) reconstitution du réseau hydrographique, (2) définition des zones d'offre et de demande de chaque nœud, (3) définition des types de processus hydrologique et des types de gestion. L'étape de programmation est ensuite rapidement effectuée puisqu'il suffit d'importer les classes

correspondantes dans le modèle, puis d'écrire la méthode d'initialisation du réseau arc-nœud avec les types de classes correspondants.

En conclusion, les SMA se sont avérés être un bon outil pour modéliser les représentations et les interactions. La méthodologie utilisée révèle des insuffisances au niveau de la modélisation de l'évolution des représentations. La possibilité d'afficher et d'analyser les perceptions des agents et leurs visions de la ressource est particulièrement intéressante dans le contexte de la gestion des ressources naturelles. Basé sur la programmation Orientée-Objet et l'architecture arc-nœud, le module hydrologique et le module de gestion collective de l'eau développés permettent une réutilisation souple et rapide pour de futures applications.

14.2. L'usage conjugué des différentes techniques

Dans cette partie, nous discuterons les avantages et les inconvénients de l'usage conjugué de différentes techniques dans la méthodologie. Nous centrons notre discussion sur l'identification des représentations, puis nous abordons la modélisation.

14.2.1. Pour l'identification des représentations

Le premier constat qui ressort de nos résultats est que l'identification des représentations est un processus qui doit se faire dans la durée et de manière continue tout au long du processus. Cela est dû à deux aspects majeurs de l'identification des représentations.

Tout d'abord la représentation que se fait une personne de son environnement évolue dans le temps et est fonction du contexte dans lequel se trouve la personne au moment où elle exprime sa représentation. Ainsi, nous avons pu voir des différences de représentation exprimée chez une même personne, suivant que la personne est en train de récolter ou d'irriguer. De même, nos résultats tendent à confirmer que la représentation d'une même personne a changé entre le moment de l'entretien et celui de la séance de *Playable Stories*.

Le deuxième aspect est lié à la technique d'identification utilisée. Nous avons observé que chaque technique d'identification n'élicite pas les mêmes types d'informations. Cela est dû au domaine d'information sur lequel nous avons centré chacune des techniques mais également à la technique elle-même qui a un effet sur le type d'information élicite. Les chercheurs du domaine de l'ingénierie de la connaissance décrivent ces différences entre les différentes techniques utilisées (Shadbolt et O'Hara 1997) et y répondent par l'usage conjugué de différentes techniques d'élicitation (Portmann et Easterbrook 1992).

Ainsi, l'identification des représentations ne doit pas être envisagée comme une action ponctuelle, mais comme un processus durant lequel différentes techniques sont employées, qui vont alors se compléter pour enrichir les représentations identifiées par de nouvelles informations. Durant ce processus les représentations des individus évoluent, et peuvent

éventuellement se contredire entre deux instants donnés. A l'instar d'Easterbrook (1991), le choix méthodologique que nous avons fait, est alors de prendre en compte ces différences et de les évaluer à la fin du processus d'identification. Là s'arrête la similitude entre la méthodologie que nous proposons et les démarches utilisées en ingénierie des connaissances. En effet, en ingénierie des connaissances l'objectif est souvent d'atteindre un modèle unique du fonctionnement du système. Dans le domaine de la gestion des ressources naturelles tel que nous l'envisageons, l'objectif est de comprendre et de prendre en considération l'hétérogénéité des représentations. Ainsi, identifier et modéliser la représentation d'un individu particulier n'est pas important en soi. Ce qui importe c'est l'identification de l'hétérogénéité des représentations pour pouvoir l'étudier via l'outil de modélisation. Ainsi, notre méthodologie suggère que les différences de représentation identifiées tout au long du processus soient utilisées pour enrichir la formalisation et la modélisation de différents types de représentation. Chaque représentation modélisée n'est donc pas celle d'un individu ou d'un groupe d'individus en particulier mais celle d'un cas type qui est formé à partir d'informations homogènes collectées tout au long du processus d'identification. Les représentations modélisées sont donc en quelque sorte des stéréotypes. A cela il faut également ajouter que cette démarche a été rendue possible grâce à l'utilisation des SMA qui permettent de définir différents types d'agents.

Le deuxième constat de l'application de l'étape d'identification des représentations est que ce processus ne peut pas être conduit aussi linéairement que tel que nous l'avons présenté dans la description de notre méthodologie (voir notamment la Figure 18). Tout d'abord l'usage d'une approche de modélisation d'accompagnement rend le processus cyclique. Par ailleurs, si la réalisation des diagrammes EPR et des *Playable Stories* suivent un ordre déterminé (les *Playable Stories* servant à vérifier les diagrammes), l'usage des enquêtes est utile à différents stades de la méthodologie. Une première série d'enquêtes est nécessaire en début d'identification pour initier le processus et fournir le matériel nécessaire à la réalisation des diagrammes EPR. Mais, des enquêtes sont également utiles, voire nécessaires, par la suite pour vérifier et compléter les données collectées. Dans notre application nous avons enquêté les acteurs à différentes reprises et à différents stades du processus. Par exemple il s'est trouvé que les indicateurs de l'environnement perçus et la façon dont les agriculteurs évaluent ces indicateurs n'avaient pas été clairement identifiés ni via la réalisation des diagrammes EPR ni par les *Playable Stories*. Ainsi, des enquêtes complémentaires ont été menées en fin d'étape d'identification pour collecter ces informations. Cet exemple, qui peut paraître anodin, traduit à notre sens non pas la complémentarité des différentes techniques dans la méthodologie d'ensemble, mais le fait qu'étant donné le grand nombre d'informations élicitées à chaque phase, chaque technique ne peut pas parvenir à couvrir l'étendue de ces informations. Dans le domaine de l'ingénierie

des connaissances, Davenport et Prusak font le même constat en soulignant que l'expertise d'un domaine fait appel à tellement de connaissances que l'élicitation de toutes ces connaissances est impossible (Davenport et Prusak 1998). C'est pourquoi, nous pensons qu'il n'est pas possible de considérer le déroulement de la méthodologie de manière linéaire et que des compléments d'enquêtes sont requis. Dans notre application nous avons choisi d'utiliser les entretiens comme complément d'enquête mais d'autres méthodes peuvent être envisagées comme par exemple une deuxième série de *Playable Stories*.

En résumé, du fait que les représentations des acteurs locaux des bassins versants¹⁴¹ évoluent dans le temps et couvrent un large domaine d'information, ce n'est que par l'usage conjugué de différentes techniques, et selon un processus continu et non-linéaire, qu'il est possible d'identifier et de caractériser les représentations et leur hétérogénéité.

14.2.2. Pour la modélisation des représentations

Dans notre méthodologie, les points clés de l'utilisation conjuguée des différentes techniques pour la modélisation des représentations sont :

- l'utilisation des diagrammes EPR et de l'architecture d'agent pour l'implémentation des représentations,
- l'utilisation des résultats des *Playable Stories* et des diagrammes EPR pour caractériser l'hétérogénéité des représentations et déterminer les stratégies d'agent modélisées,
- l'implémentation des interactions entre le modèle biophysique de bassin versant et l'architecture d'agent.

Dans cette partie nous nous intéressons tout particulièrement à l'usage conjugué des diagrammes EPR et de l'architecture d'agent. Nous traitons également l'usage conjugué d'une modélisation des processus biophysiques et de l'architecture d'agent. Pour ce qui est de la caractérisation de l'hétérogénéité des représentations par l'usage conjugué des *Playable Stories* et des diagrammes EPR, cet aspect a déjà été traité dans la partie précédente ainsi que dans le chapitre 11. C'est pourquoi nous ne reviendrons sur cet aspect que dans la conclusion de ce chapitre.

a) Diagrammes EPR et architecture d'agent pour l'implémentation des représentations

Les agents du modèle sont bâtis selon l'architecture d'agent que nous avons définie dans notre méthodologie. Cette architecture comporte des procédures liées à la prise de décision, à l'exécution de tâches, à la perception de l'environnement, mais comporte également deux compartiments (croyances sur l'état et sur le fonctionnement du système) dans lesquels la

¹⁴¹ Ici, la spécificité du contexte « bassin versant » réside dans le grand nombre de sujets (appartenant à des thèmes différents et interagissant les uns avec les autres) que couvre la représentation que se fait un acteur de son système.

représentation de l'agent est implémentée. L'usage conjugué des diagrammes EPR et de l'architecture d'agent pour l'implémentation des représentations réside alors dans la capacité des diagrammes EPR à fournir les informations nécessaires pour implémenter les procédures des deux compartiments de l'architecture d'agent liés aux représentations.

Comme nous l'avons dit à propos de l'analyse de protocole, les résultats obtenus par cette méthode d'extraction sont grandement dépendants de la structure d'extraction choisie. S'il est difficile d'évaluer la pertinence de la structure d'extraction en tant que telle (il s'agit d'un choix méthodologique), il est par contre possible d'évaluer les résultats qu'elle a produits. Pour cela nous avons établi, dans le Tableau 14, la correspondance trouvée, post résultat, entre les éléments que nous identifions dans les transcriptions et les éléments constitutifs des représentations modélisées. Ces derniers étant les croyances sur l'état du système et les croyances sur le fonctionnement du système (l'ontologie des entités formant la représentation est quant à elle plutôt utilisée pour la mise en place des *Playable Stories*).

Eléments de la structure d'extraction	Eléments constitutifs des représentations
Entités du système	Ontologie des entités formant la représentation
Attributs des entités	Croyance sur l'état du système
Processus opérés par les entités (tâches ou activités)	Croyance sur le fonctionnement du système* <i>*Retrouvé dans peu de cas dans nos résultats</i>
Relations fonctionnelles entre les entités (règles de fonctionnement du système)	Croyance sur le fonctionnement du système Croyance sur l'état du système** <i>**Uniquement dans le cas de règles de contrôle interne</i>

Tableau 14 : Correspondance entre la structure d'extraction et l'architecture d'agent

Ce tableau montre que la structure d'extraction permet de distinguer assez aisément les croyances sur l'état du système et les croyances sur le fonctionnement du système. Les premières se retrouvent dans les entités et leurs attributs. Les croyances sur le fonctionnement du système sont elles représentées par les relations fonctionnelles du diagramme et, dans une moindre mesure, par certaines tâches et activités des entités du système. Néanmoins, cette correspondance n'est pas toujours systématique et un travail de formalisation reste à faire après la réalisation d'un diagramme EPR pour pouvoir implémenter une représentation. Celui-ci consiste notamment dans l'interprétation des règles de contrôle interne du diagramme afin de distinguer celles qui sont relatives à l'état du système de celles en rapport avec fonctionnement du système. En outre, le Tableau 14 ne présente qu'une partie des informations contenues dans les diagrammes EPR. Ces derniers comportent en effet d'autres relations fonctionnelles et d'autres tâches et activités qui sont quant à elles relatives à la prise de décision, à l'action, ou encore aux indicateurs de l'environnement perçus. C'est notamment à ce sujet que nous disions dans la partie précédente que les informations des diagrammes EPR étaient entremêlées. Ici encore, un

travail d'interprétation est donc nécessaire pour distinguer ce qui tient d'une croyance sur le fonctionnement du système de ce qui tient d'une règle de décision, d'une action ou d'une perception.

Il apparaît donc que si les informations requises pour l'implémentation des représentations sont en effet présentes dans les diagrammes EPR, un travail d'interprétation est nécessaire pour déterminer dans quel compartiment de l'architecture d'agent chaque information doit être implémentée. En d'autres termes, la méthode d'extraction et de formalisation des diagrammes EPR génère de l'information relative à la représentation de l'individu mais cette information est agrégée avec d'autres informations.

Ce constat s'applique d'ailleurs aussi au compartiment objectif de l'architecture d'agent. En effet, nous avons vu dans les résultats de modélisation que ce compartiment ne comportait en fait que très peu d'informations. Or cela tient du fait qu'une fois les diagrammes EPR regroupés par stratégie de comportement, les objectifs des individus sont agrégés et inclus dans les informations relatives à la décision, et également dans celles relatives aux croyances sur le fonctionnement du système. Ainsi, pour ce qui est des objectifs, notre méthodologie ne parvient pas à les distinguer de manière explicite, ces derniers étant confondus (au sens figuré) avec la représentation modélisée.

Ces limites, que nous venons d'évoquer pourraient certainement être partiellement corrigées par l'établissement d'une meilleure correspondance entre la structure d'extraction de l'analyse de protocole et l'architecture d'agent¹⁴², mais il est également possible que ces limites soient le reflet du fameux « goulot d'étranglement » des techniques d'élicitation (Hayes-Roth, et al. 1983). Portmann et Easterbrook avaient expliqué à ce sujet que le problème de l'élicitation des connaissances réside dans la nature même de la connaissance qui est « compilé » et qui ne peut être séparée en composantes élémentaires (Portmann et Easterbrook 1992). Or le problème que nous rencontrons est justement la nature agrégée de l'information produite par la technique d'élicitation.

De manière plus pragmatique nous pensons que la nature agrégée de l'information des diagrammes EPR tient aussi en grande partie à l'utilisation de l'entretien (technique connue par les chercheurs de l'ingénierie des connaissances, pour générer de l'information confuse). Pour y remédier les chercheurs de l'ingénierie de la connaissance utilisent conjointement

¹⁴² Il serait par exemple intéressant d'inclure un compartiment en rapport aux préférences des agents, comme cela se fait dans les architectures d'agents BDI (Belief, Desire, Intention) (Rao et Georgeff 1995) Ce compartiment permettrait de mieux séparer les croyances, les objectifs et les règles de décision. Ainsi, les croyances généreraient des préférences, et celles-ci généreraient des décisions effectives en fonction des objectifs et des contraintes rencontrées. Une telle architecture serait particulièrement intéressante pour mieux étudier les préférences des agents dont on a vu l'importance et l'intérêt dans le chapitre consacré à l'analyse des simulations de CatchScape3.

aux entretiens toute une variété d'autres techniques d'acquisition, qui vont permettre de mieux organiser l'information. Il serait ainsi par exemple envisageable d'utiliser des méthodes de classification qui permettent de structurer le domaine étudié (Murray-Prior 1998). Ces méthodes offrent également l'avantage de pouvoir être utilisées auprès d'acteurs locaux comme en atteste de récentes expériences menées en Thaïlande sur l'évaluation participative de ressources naturelles par les acteurs du bassin versant de Mae Sa (non publié mais les méthodes employées sont décrites dans (Niemeyer et Spash 2001, O'Connoer et Spash 1999)). Un usage plus important des *Playable Stories* pourrait également aider à mieux organiser l'information. Cela pourrait être réalisé par une phase supplémentaire qui consisterait à demander à la personne de décrire oralement son système sur la base du modèle conceptuel réalisé durant la troisième phase des *Playable Stories*. La personne aurait alors à repenser son système, à mieux l'organiser et éventuellement à mieux le décrire en indiquant, par exemple, les types de relations entre les différentes entités du système. Tout au long de cette phase, qui s'apparente aux techniques d'analyse de tâches (Galloin 1988), les explications et commentaires de la personne seraient enregistrés puis analysés par une méthode d'extraction comme celle utilisée pour les diagrammes EPR. Ainsi, nous venons de voir que l'une des limites rencontrées de l'usage des techniques d'élicitation, et donc des diagrammes EPR, pour la modélisation des représentations est la nature quelque peu agrégée et entremêlée de l'information produite (et qui requière donc une étape de formalisation complémentaire pour pouvoir procéder à l'implémentation). Un certain nombre d'amélioration des techniques déjà employées peuvent être envisagées (mieux adapter la structure d'extraction à l'architecture d'agent, mieux structurer l'architecture d'agent, diviser l'analyse et l'implémentation par thème d'étude). Mais, encore une fois, c'est surtout par l'emploi de plusieurs techniques d'acquisition adaptées aux conditions in-situ des bassins versants que nous pensons pouvoir parvenir à une meilleure organisation de l'information élicitée.

Nous allons à présent aborder le deuxième thème de cette partie qui a trait à l'usage conjugué des modèles biophysiques et du modèle d'agent.

b) Modèles biophysiques pour l'interaction agent-environnement

Précisons tout d'abord que dans l'approche que nous avons suivie, l'implémentation de modèles biophysiques est impérative pour le fonctionnement du modèle dans son ensemble. En effet, l'architecture du modèle passe par la modélisation d'agents qui perçoivent un environnement sur lequel ils agissent. L'environnement tel que nous le définissons est donc

l'ensemble des processus biophysiques présents dans un bassin versant qui sont perçus par les acteurs locaux enquêtés, dans la limite des thématiques étudiées.

Les problèmes que nous rencontrons sont alors liés à la diversité des indicateurs perçus et utilisés par les agriculteurs, au rapport d'échelle entre la représentation de l'individu et son domaine d'action et enfin à ce qu'il est possible d'implémenter dans un modèle biophysique de bassin versant.

Nous avons vu à la section 11.3 que, pour notre terrain d'application, les agriculteurs utilisent une grande diversité d'indicateurs de l'environnement pour évaluer son état. Par exemple, les agriculteurs se rapportent à la couleur et à la densité du feuillage pour évaluer la qualité d'une culture, mais également au flétrissement et au maintien des pieds. Cette diversité d'indicateurs rend leur modélisation difficile car chaque indicateur a trait à un processus biophysique particulier et que ces processus sont liés les uns aux autres. A certains moments, le modélisateur est donc obligé de faire le choix de modéliser certains processus et pas d'autres. La question est alors de savoir quels sont les processus qui sont importants à modéliser. Si, par rapport à la thématique étudiée, certains processus peuvent être écartés, il n'en reste pas moins que dans la réalité la dynamique des exploitations agricoles fonctionne par rapport à l'ensemble de ces indicateurs.

Dans notre application nous avons choisi les processus biophysiques modélisés de manière arbitraire, sans consultation des acteurs locaux. Néanmoins nous pensons qu'il serait plus judicieux de faire appel aux acteurs pour faire ces choix. En modélisation d'accompagnement, entre autre, de nombreuses applications ont montré que les acteurs locaux étaient souvent plus à même que le modélisateur pour distinguer ce qu'il est important de modéliser et ce qui ne l'est pas¹⁴³ (d'Aquino, et al. 2003, Castella, et al. 2002, Trébuil, et al. 2002, Bousquet 1994). Ainsi, nous pensons que les retours vers les acteurs au cours du processus de modélisation sont un aspect important de la méthodologie.

La deuxième difficulté vient de la différence d'échelle que nous avons observée entre la représentation de l'individu et son domaine d'action ; ce qui pose la question de l'échelle des processus biophysiques à modéliser. A plusieurs reprises dans les diagrammes EPR nous avons trouvé des croyances sur le fonctionnement du système qui sont relatives à l'échelle du bassin versant, comme par exemple le fait qu'une bonne forêt située dans la partie du bassin versant apporte des éléments nutritifs aux sols des plaines. Néanmoins, nous nous sommes aperçus que souvent ces types de croyances ne sont pas pris en compte dans les

¹⁴³ La raison est, mais cela reste une supposition, que le modélisateur a souvent tendance à développer des modèles trop complexes, comportant trop de paramètres et trop de processus, alors que les acteurs locaux sont capables de simplifier le système en un ensemble de paramètres et de processus relativement restreint.

règles de décision au quotidien. Cela pose donc un double problème : d'une part le rapport entre la représentation et l'action et d'autre part l'échelle temporelle des actions modélisées. Selon le paradigme constructiviste, la représentation se construit via l'action au quotidien : « *Si la décision émerge d'un flot continu d'actions c'est aussi par le traitement cognitif qu'opère la personne. Cela donne du sens à l'action par l'interprétation, l'intuition, l'attribution de significations particulières à ces actions* » (Lauriol 1994). Ainsi la représentation que se construit la personne lui sert en quelque sorte à conforter, voir à justifier, son action au quotidien. Si l'on reprend l'exemple ci-dessus de la forêt qui apporte des éléments nutritifs, cette représentation n'est-elle pas alors une façon de conforter une position qui veut que l'on fasse attention à la forêt¹⁴⁴ ? La perception commune de l'importance des forêts pour les bassins versants en Thaïlande tendrait à confirmer cette hypothèse (Walker 2003). Le problème est alors de savoir si ces représentations, qui ne déterminent pas l'action au quotidien mais la justifient, doivent être implémentées. Dans notre application, nous avons pris le parti de les modéliser et de ce fait nous avons un modèle biophysique qui se rapporte à l'échelle du bassin versant (la taille de la forêt étant un indicateur de l'agent). Néanmoins, cette croyance, puisqu'elle est implémentée comme telle, ne rentre dans aucune prise de décision de l'agent. Nous obtenons donc un modèle où les représentations sont, en quelque sorte, à l'échelle du bassin versant (et le modèle biophysique est donc à cette échelle également) mais où les actions sont uniformément locales.

Cela nous amène donc au deuxième problème que nous évoquons et qui a trait à l'échelle temporelle des actions modélisées. Toujours sur la base de l'exemple précédent, si le rôle de la forêt ne rentre pas en ligne de compte dans les actions quotidiennes des agriculteurs on peut se demander si ce n'est pas par contre le cas pour les actions à plus long terme. Nous n'avons pas de données à ce sujet mais on peut supposer que la perception de la forêt agit sur le type de stratégie adopté par les agriculteurs¹⁴⁵. Ainsi, il faudrait pouvoir distinguer les représentations agissant sur les actions quotidiennes et celles liées aux stratégies à moyen et à long terme. Techniquement et du point de vue de la modélisation à strictement parler, cela est possible. Il est par exemple possible d'inclure différentes échelles temporelles dans l'architecture d'agent ; avec des objectifs et des stratégies d'actions liés à l'action au quotidien et des objectifs et des stratégies pour les décisions à moyen ou à long terme (ces dernières se référeraient alors aux types de croyances que nous évoquons plus

¹⁴⁴ Nous n'avons d'ailleurs aucune certitude que les agriculteurs ayant évoqué ce rôle de la forêt ont, en effet, constaté dans leurs actions au quotidien que ces « éléments nutritifs » (en l'occurrence des limons) provenaient des forêts avoisinantes.

¹⁴⁵ D'après notre connaissance du terrain, il serait par exemple vraisemblable qu'un agriculteur croyant que les forêts avoisinantes sont dégradées, adopte une stratégie tournée vers la gestion des ressources naturelles.

haut). En outre le modèle biophysique est quant à lui déjà à même de simuler des processus à moyen terme. Néanmoins, du point de vue de l'identification et de l'élicitation, notre méthodologie ne permet pas d'opérer une telle distinction entre les représentations liées à l'action quotidienne et celles liées à une échelle de temps plus importante.

Comme nous venons de le voir ces considérations sur les échelles temporelles appellent d'autres considérations sur les changements de stratégies des agriculteurs.

14.3. Conclusion

Dans le chapitre 3 de cette thèse nous avons présenté les techniques de la modélisation multi-agents et notamment la démarche de modélisation d'accompagnement. Nous avons alors explicité en quoi l'intégration des représentations des acteurs dans le modèle était importante pour le processus de concertation. C'est par l'intégration et la communication de l'hétérogénéité des représentations, que s'opère la création d'une représentation partagée, base sur laquelle une décision collective pourra s'appuyer (d'Aquino, et al. 2003, Barreteau, et al. 2001, Bousquet 1996).

Dans le chapitre 13 nous avons présenté les résultats liés à l'usage du modèle CatchScape3 pour l'aide à la concertation. Ces résultats tendent à confirmer que la méthodologie que nous proposons résulte dans des modèles pouvant, en effet, favoriser par leur usage la création d'une représentation partagée. En outre, dans le chapitre 3 nous avons également souligné au sujet de la modélisation d'accompagnement, que la démarche présente certaines lacunes vis-à-vis de l'identification et de l'intégration des représentations d'acteurs locaux dans le modèle. Les questions qui ont alors motivé l'établissement de notre méthodologie étaient notamment : comment interpréter les observations faites sur le terrain ou au cours de séances de jeux de rôles, puis comment intégrer ces représentations ?

Nous apportons ci-dessous des éléments de réponse à ces questions en distinguant trois apports de notre méthodologie.

- L'utilisation des techniques d'élicitation pour l'interprétation des dires d'acteurs.
- La mise en place d'un processus continu et non-linéaire d'identification des représentations (basé sur l'utilisation conjuguée de différentes techniques d'acquisition), pour identifier et caractériser l'hétérogénéité des représentations.
- L'utilisation d'une architecture d'agent comportant des modules spécifiques et distincts pour l'implémentation des représentations élicités.

L'analyse de protocole est une technique qui demande de l'entraînement pour pouvoir être maîtrisée mais qui ne requiert aucun équipement particulier, si ce n'est un magnétophone. Son principal atout, nous l'avons déjà dit, est de proposer une méthode formelle d'interprétation des dires d'acteurs qu'il est possible de reproduire sur d'autres terrains d'application et auprès d'autres types d'acteurs. La simplicité de sa mise en œuvre permet

son utilisation par des non-experts du domaine de l'ingénierie des connaissances. Néanmoins un certain apprentissage est nécessaire et le travail d'analyse des transcriptions d'entretiens est relativement long et fastidieux. La structure d'extraction que nous nous proposons est adaptée aux besoins d'une programmation Orientée-Objet et peut s'appliquer à la formalisation des représentations d'acteurs. Néanmoins, les représentations formalisées par cette technique ne sont vraies que pour un instant et un contexte donné. Pour cela, et pour palier aux défauts de la technique, l'analyse de protocole doit être employée conjointement avec d'autres techniques d'élicitation ; différentes méthodes d'acquisition autres que l'entretien, mais également d'autres méthodes de formalisation. Si les techniques d'élicitation permettent d'interpréter de manière formelle les dires d'acteurs, leur principal défaut est la nature entremêlée des informations produites. Pour cela aussi, et dans le cas d'une utilisation intensive, les types de méthodes d'acquisition et de formalisation des données doivent être multipliés et notamment les techniques favorisant la structuration des données. Mais avant toute chose, l'objectif de l'étude et le type d'information que l'on souhaite éliciter doivent être clairement déterminés et organisés afin d'assurer une meilleure structuration des informations élicités et de minimiser les biais d'interprétation lors du travail de modélisation qui en découle (Menzies 2000, Lukose et Kremer 1996). La perspective est alors de s'orienter vers une démarche modélisatrice de l'ingénierie des connaissances où le modèle conceptuel du système est prédéfini avant de procéder à l'élicitation proprement dite, et ce, afin de mieux structurer et de mieux organiser l'information intégrée dans le modèle informatique (Shadbolt et Milton 1999, Iglesias, et al. 1996).

Lors de séances de jeux de rôles, les praticiens de la modélisation d'accompagnement observent souvent des comportements et des points de vue hétérogènes au sein d'un même groupe d'acteurs. L'application sur le bassin versant Mae Salaep, tout au nord de la Thaïlande, en est un exemple (Trébuil, et al. 2002). Les jeux de rôles y ont permis de distinguer différents types de comportements vis-à-vis de la gestion de l'érosion et des choix d'assolement au sein des agriculteurs qui ont participé à l'exercice (Barnaud 2004). L'identification de ces différences est alors faite via l'observation des comportements des participants durant le jeu de rôle et par des enquêtes postérieures permettant de confirmer les déductions faites à partir des observations. L'interprétation de l'observateur et l'identification non systématique due aux effets de groupe (les comportements les moins exacerbés sont susceptibles de ne pas être identifiés par l'observateur) sont deux limites de cette approche.

Ici, nous proposons une autre approche, celle des *Playable Stories*. Celles-ci peuvent être considérées comme des jeux de rôles individuels où le participant est mis en situation (comme dans un jeu de rôle classique) et où son comportement va, de ce fait, s'exprimer. Nous soutenons également que le formalisme contraint des *Playable Stories* (la description

du système par ces entités et les relations entre ces entités) permet de mieux structurer les orientations de comportements (Gaines et Shaw 1993) et rend possible la comparaison des résultats des différentes séances individuelles. L'intérêt des *Playable Stories* réside donc dans le fait que, basées sur une méthode de mise en situation, elles permettent de faire ressortir les comportements durant la séance, et que, basées sur un formalisme relativement simple, elles permettent de générer des résultats qui peuvent être synthétisés et comparés pour l'identification des orientations de comportements. Néanmoins, l'hypothèse selon laquelle le nombre de fois qu'une personne mentionne une entité indiquerait l'importance que la personne accorde à cette entité, est une hypothèse forte, sujette à de nombreuses controverses notamment dans le domaine de la linguistique (Reinert 1998, Salem 1993). Dans notre méthodologie nous associons cela avec des analyses qualitatives basées notamment sur les commentaires des participants, qui nous permettent d'ajuster les résultats quantitatifs obtenus. De même, ce n'est qu'en combinant les résultats des *Playable Stories* à ceux des diagrammes EPR que nous parvenons à décrire l'hétérogénéité des représentations d'une manière qui, selon les résultats de la validation à dire d'acteurs, semble cohérente.

Ainsi, comparée à l'approche classique des jeux de rôles, celle que nous proposons ici est basée sur une identification et une analyse systématique de chacune des orientations de comportements de l'échantillon d'acteurs étudié. Cela est rendu possible par le niveau d'analyse qui est à l'échelle individuel. Néanmoins, ce niveau d'analyse rend la démarche beaucoup plus fastidieuse et la méthode d'analyse des résultats nécessite d'être mieux étudiée pour pouvoir spécifier les biais qu'elle induit.

Pour l'intégration des représentations des acteurs locaux, notre méthodologie propose une structure d'implémentation des agents définie par l'architecture d'agent et ses différents compartiments. Dans notre application cette structure a en effet permis l'intégration des représentations, néanmoins il ne s'agit pas d'une architecture spécifique à l'intégration des représentations mais uniquement d'un cadre spécifiant l'articulation entre des croyances sur l'état du système et des croyances sur le fonctionnement du système. D'autres structures d'agent sont possibles, comme les architectures BDI (Rao et Georgeff 1995), ainsi que celle que nous proposons. Cette dernière nous paraît bien adaptée à la structure d'extraction choisie pour l'analyse de protocole effectuée. Mais, au-delà des aspects techniques, c'est l'utilisation même d'une architecture d'agent qui nous apparaît discutable. En effet, il peut paraître paradoxal qu'une architecture d'agent soit nécessaire alors que la posture de la modélisation d'accompagnement veut qu'on ne postule pas sur une théorie des comportements avant d'engager des actions sur le terrain.

« [La doctrine de la modélisation d'accompagnement signifie] n'avoir aucune hypothèse implicite dans l'expérimentation : ceci constitue un objectif en soi de la

démarche et implique le développement de procédures de mise en évidence de telles hypothèses à la fois sur le plan empirique et conceptuel, ce dernier plan consistant à confronter le modèle à des résultats reconnus par la communauté scientifique. »

Charte de la modélisation d'accompagnement: <http://cormas.cirad.fr/reseaux/commod>

Nous venons de voir dans ce chapitre que, confronté aux limites des techniques d'élicitation qui consistent en une faible structuration des données, plus de formalisation conceptuelle était nécessaire. Ici également, pour l'implémentation des représentations, un modèle conceptuel plus détaillé des comportements et des représentations des agents aiderait à la structuration des données. Néanmoins, au-delà de la contradiction avec la doctrine de la modélisation d'accompagnement, cette orientation méthodologique ne pose-t-elle pas un problème quant à son application sur le terrain ? Il semblerait que nous soyons face à deux postures différentes d'appréhension de la complexité du terrain : d'une part une posture où l'on arrive sur un terrain avec un modèle conceptuel déjà établi et où l'on extrait uniquement les données qui correspondent au modèle utilisé - démarche qui s'apparenterait alors à une élicitation dirigée par le modèle conceptuel, comme par exemple (Bimson et Burris 1998) - d'autre part une posture où l'on se confronte à la complexité et aux ambiguïtés du terrain et où l'on cherche à structurer les données extraites - cette posture s'apparenterait alors pour l'analyse d'entretiens à la *Grounded Theory* selon l'approche de Strauss et Corbin (1990). Nous entrevoyons alors les avantages et inconvénients de chacune de ces postures : meilleure structuration du modèle et risque de ne pas capturer un élément clé du système pour l'un ; meilleure adéquation au terrain d'étude et difficulté de formalisation et de structuration pour l'autre. Le choix entre l'une ou l'autre de ces postures dépend bien entendu de l'objectif poursuivi. A cet égard, il paraît vraisemblable que la deuxième voie résulte en une meilleure appropriation du modèle par les acteurs locaux (Barreteau, et al. 2001), ce qui, pour un usage en aide à la concertation, est un grand avantage, voire une condition nécessaire (Pennanguer et al. 2003, Richard-Ferroudji 2003).

Nous venons d'identifier les atouts et les contraintes de l'usage des différentes techniques proposées ici dans une méthodologie d'ensemble visant l'identification et la modélisation des représentations des acteurs locaux de la gestion des ressources naturelles. Certaines de ces techniques appartiennent aux techniques d'élicitation de l'ingénierie des connaissances. Pour les intégrer nous avons dû les adapter aux différents contextes des acteurs locaux des bassins versants, ou du moins des acteurs locaux de la gestion des ressources naturelles. Nous allons à présent discuter l'adaptation de ces techniques dites « de laboratoire ».

15. Utilisation et adaptation des techniques de l'ingénierie des connaissances

Dans ce chapitre nous discutons les adaptations faites sur les techniques de l'ingénierie des connaissances et les limites que nous avons rencontrées pour leur utilisation auprès des acteurs locaux du bassin versant. Nous abordons également dans une deuxième partie les adaptations faites sur l'analyse de protocole pour parvenir à un formalisme Orienté-Objet. Enfin dans la troisième partie de ce chapitre, nous discutons la méthodologie développée face aux points sensibles reconnus des techniques d'élicitation des connaissances.

15.1. Adaptation au cadre « *in situ* » des bassins versants

La première adaptation faite aux techniques de l'ingénierie des connaissances est celle de la méthode d'acquisition des représentations, à savoir l'entretien situé. Notre objectif dans la définition de cette méthode d'enquête était la prise en compte du concept d'action située qui met l'accent sur le contexte dans lequel se trouve la personne au moment où elle agit, où elle décide. Comme nous l'avons vu, la technique de l'entretien situé procure une valeur ajoutée par rapport à un entretien « classique », dans le sens où le discours de la personne se trouve enrichi par ce qu'elle voit ou fait. Cette méthode a été notamment efficace lorsqu'elle était associée avec une méthode d'enquête ethnographique. Néanmoins, il est probable que la méthode ethnographique ait également entraîné une plus grande subjectivité de notre part, à la fois dans la façon dont nous posons les questions et dans l'interprétation que nous faisons des réponses. Par ailleurs les entretiens menés via cette méthode d'enquête sont réalisés au fil des rencontres que nous faisons et, de ce fait, les lieux et les contextes varient d'une personne à l'autre (ce qui rend la comparaison de deux entretiens plus difficile à analyser). Dans leur méthodologie Abel et Ross pallient à cela en suivant un parcours prédéterminé et identique avec chacune des personnes enquêtées (Ross et Abel 1998). Néanmoins, ce protocole quelque peu lourd, n'est pas toujours facile à mettre en place et dépend des relations entre enquêteur et enquêtés.

L'un des objectifs des *Playable Stories* était d'éliciter une partie des informations tacites liées aux représentations des agriculteurs enquêtés (informations n'ayant pu être élicitées par les entretiens). Pour cela, nous nous étions inspirés des techniques d'analyses de tâches de l'ingénierie des connaissances et nous avons construit la phase 2 des *Playable Stories* qui s'apparente à une mise en situation durant laquelle la possibilité d'observer le comportement de l'agriculteur nous est donnée. Néanmoins, durant ces séances les entités du système, non identifiées au départ et reconnues par la suite par l'agriculteur comme faisant partie du système, sont élicités aussi bien durant la phase 2 (mise en situation) que durant la phase 3 (conceptualisation). Ainsi, ces informations que nous pouvons considérer comme tacites,

sont autant révélées par la mise en situation que par l'introspection et la réflexion de l'agriculteur au cours de ces séances. En outre, nous nous sommes également servi, durant l'étape de modélisation, d'informations non présentes dans les diagrammes EPR ou dans les résultats *Playable Stories*, mais qui sont issues de notre connaissance du terrain, et que nous considérerons comme des informations tacites (e.g. la culture de soja représente un faible investissement ; le pic de travail durant la récolte du riz est assuré par l'entraide entre villageois, par contre les pics de travail liés à des cultures de rentes devront être assurés par de la main d'œuvre payée)¹⁴⁶. Étant donné la nature de ces informations et leur utilisation sporadique, nous ne considérons pas cela comme un manque important de la méthodologie. Par contre, si l'on souhaite privilégier dans tous les cas l'élicitation comme méthode d'identification, des efforts complémentaires seront nécessaires pour parvenir à mieux éliciter les informations tacites.

Les *Playable Stories*, dont le formalisme reprend la structure Concept-Relation et est analogue au formalisme Orienté-Objet, sont également intéressantes dans leur adaptation des techniques d'extraction, car elles rendent publique la structure d'extraction elle-même. La symbolisation des entités du système par des cartes a permis de matérialiser le formalisme, et les agriculteurs se sont rapidement familiarisés avec cette structure d'extraction. Ceci tend d'ailleurs à confirmer l'hypothèse que la structure Concept-Relation est une forme naturelle d'expression d'idées et de connaissances (Gensel 1995a, Paquin, et al. 1990). Néanmoins, les informations qui peuvent être exprimées par ce formalisme sont limitées. D'une part elles se limitent à des connaissances déclaratives (de quoi le système est fait), et parfois structurelles (pourquoi le système est fait de telle façon), mais en aucun cas à des connaissances procédurales (comment le système fonctionne). En outre, les informations élicitées et placées devant l'agriculteur deviennent difficiles à lire et à organiser dès qu'elles sont trop nombreuses. Ici encore un besoin de structuration des données élicitées se fait donc ressentir mais avec la difficulté supplémentaire que l'organisation des données doit être effectuée au cours de la séance avec l'agriculteur.

Il nous semble donc que pour développer cette technique, des séances plus longues doivent être imaginées, leur protocole pouvant par exemple s'inspirer du système KADS de la démarche modélisatrice de l'ingénierie des connaissances (Wielinga, et al. 1992). Ce protocole pourrait inclure des cycles successifs comportant à chaque fois trois phases : (i) une phase d'élicitation durant laquelle de nouvelles entités et de nouvelles relations sont identifiées et ajoutées, (ii) une phase d'organisation pour pallier à la nature désorganisée des

¹⁴⁶ Dans certains cas ces informations ont fait l'objet d'enquêtes complémentaires auprès des agriculteurs.

informations provenant des techniques d'élicitation, cette phase consisterait en une description et une labellisation¹⁴⁷ de chaque information (donner une étiquette et classer les informations), (iii) et une phase de conceptualisation durant laquelle les informations (entités et relations) sont reliées les unes aux autres pour concevoir et enrichir un modèle conceptuel du système.

En outre nous avons également pu observer que les *Playable Stories* suscitaient l'intérêt des participants pour le partage des représentations élicitées avec les autres membres de la communauté. A ce titre, il pourrait alors être intéressant de concevoir des séances collectives pour comparer les modèles conceptuels individuels réalisés et/ou pour concevoir collectivement un modèle conceptuel commun.

Au-delà de ces considérations d'ordre plutôt technique, il nous faut rappeler que l'une des principales limites de l'utilisation des techniques de l'ingénierie des connaissances pour l'identification « in situ » de représentations d'acteurs locaux, est que, prises individuellement, ces techniques ne montrent l'image que d'un instant donné et par rapport à un contexte donné. Nous l'avons déjà vu, les représentations sont en perpétuelle évolution en fonction des circonstances du moment. Ainsi, au moment où nous avons effectué les *Playable Stories* les préoccupations de certains agriculteurs étaient portées sur la gestion des emprunts. Il est possible de gérer partiellement ces évolutions en utilisant plusieurs phases d'élicitation à différents moments. Mais qu'en est-il lorsque les représentations changent du tout au tout, lorsqu'une personne modifie complètement sa façon de penser ? Nous avons pu en avoir un exemple avec l'agriculteur 14 qui, dans notre classification, passe d'une stratégie « maximisation du profit » à une stratégie « gestion de l'endettement / gestion du risque » durant le test et la validation à dire d'acteurs du modèle.

Techniquement, ce qui pose problème pour gérer ce type de changements, est le fait que les croyances sur le fonctionnement du système sont figées dès lors qu'elles sont intégrées dans le modèle (ce sont des méthodes) ; alors que les croyances sur l'état du système sont des variables que l'on peut faire évoluer via la simulation. Une solution pour arriver à simuler l'évolution des croyances sur le fonctionnement du système serait d'avoir des agents qui puissent changer de stratégie en cours de simulation (ce qui a d'ailleurs été partiellement mentionné par les agriculteurs durant les séances de simulations participatives). Pour cela, il faudrait pouvoir identifier et formaliser les règles qui font qu'une personne va changer de stratégie, ce que certains appellent les « règles de changement de règles » (Maton 2001,

¹⁴⁷ Cela est d'autant plus important pour les relations dont la nature peut varier d'un cas à l'autre. Une étiquette pour chaque relation indiquant s'il s'agit d'une relation de cause à effet, d'un lien moyen-objectif, ... faciliterait alors le travail d'analyse qui en découle.

Ostrom 2000) et qui dans le domaine de la modélisation (et de l'intelligence artificielle en particulier) est souvent appelé « méta-règles » (Chavalarias 2003, Janssen et Jager 2001b). Par contre vis-à-vis de l'usage du modèle les changements de préoccupations des acteurs peuvent poser problème lorsqu'ils sont trop « rapides ». Par exemple, en 2002-2003 lors de la phase d'identification les préoccupations des agriculteurs de Sai Mun n'étaient quasiment pas portées sur des problèmes de gestion de l'eau, alors que durant le test du modèle en 2004, certains agriculteurs étaient préoccupés par les catastrophes climatiques. S'il est en effet possible de s'adapter assez rapidement à ces changements en implémentant par exemple de nouveaux scénarios (comme nous l'avons fait avec les scénarios climatiques extrêmes), l'élicitation des comportements des acteurs par rapport à ces enjeux demande quant à elle plus de temps. On peut alors se demander si les techniques d'élicitation peuvent vraiment s'adapter à un usage pour la construction de modèles visant l'aide à la concertation ; le fond du problème étant le temps relativement long requis pour procéder à l'élicitation par rapport à la volatilité des préoccupations et des représentations des acteurs locaux. Néanmoins, ces considérations sont à mettre en perspective par rapport à notre terrain d'étude. En effet, le système agricole du village de Sai Mun, comme nous l'avons déjà dit, est dans une phase de transition et de ce fait évolue assez rapidement. En outre, les personnes ayant évoqué ces problèmes climatiques sont des agriculteurs relativement initiateurs/précurseurs du village¹⁴⁸. Les problèmes de fertilité du sol sur lesquels nous avons centré notre étude étaient toujours d'actualité lorsque nous avons procédé au test du modèle en 2004. Ainsi, s'il est certain que les techniques d'élicitation sont des techniques relativement longues à mettre en place, d'autres expériences sont requises pour évaluer en quoi cela limite la démarche d'ensemble.

Nous abordons à présent un dernier point de l'adaptation des techniques d'élicitation au cadre des acteurs locaux des bassins versants, et qui a trait au nombre d'unités de décision à prendre en compte. En effet, contrairement aux applications classiques de l'ingénierie des connaissances, les bassins versants, et leur dimension agricole en particulier, ont la particularité d'avoir une multitude d'unités de décision indépendantes : les exploitations agricoles. Ceci est encore plus marqué dans notre cas d'application nord thaïlandais où la surface moyenne d'une exploitation agricole est de l'ordre d'un hectare. De ce fait le nombre d'experts à considérer, au sens de l'ingénierie des connaissances, est très élevé. Dans les seuls villages de Buak Jan et de Sai Mun sur lesquels nous avons travaillé, et sans compter les acteurs autres que les agriculteurs, ce sont plus de 150 exploitations agricoles qui

¹⁴⁸ Il est également fortement probable que le fait que l'année climatique 2003-2004 ait été plus sèche que l'année 2002-2003, ait contribué à faire ressortir ces préoccupations liées au climat.

agissent indépendamment et participent au fonctionnement du système « bassin versant » dans son ensemble. A titre indicatif, les applications dans le domaine de l'ingénierie des connaissances travaillent en général sur des domaines impliquant un à dix experts (Oxford 1990). De manière générale les approches d'analyses et de modélisation des bassins versants se basent sur des unités telles que les systèmes de production ou encore les unités collectives de décision (Heathcote 1998)¹⁴⁹. L'un des problèmes de l'adaptation des techniques de l'ingénierie des connaissances au cadre des bassins versants est donc que les techniques d'élicitation sont des approches centrées sur l'individu alors que l'analyse et la modélisation des bassins versants sont plutôt centrées sur les systèmes de production ou sur les unités collectives de décision.

Dans notre application nous avons pris le parti de ne pas déroger à la règle d'une élicitation par unité de décision, et de ce fait nous obtenons un échantillon de représentations formalisées dont nous ne savons rien de sa représentativité par rapport à la population dans son ensemble. Ce choix se justifiait par le fait que cette thèse s'intéresse (i) à l'hétérogénéité des représentations, (ii) à la mise en place d'une méthodologie, et que nous avons souhaité tester dans un premier temps l'adaptation des techniques auprès d'acteurs locaux¹⁵⁰. Néanmoins, il nous faut à présent poser la question de l'application de ces techniques à des situations où la population est plus nombreuse, comme dans le cas des bassins versants. Cette question ne peut être résolue par la simple utilisation d'une technique d'échantillonnage. En effet, nous n'avons pas ici à échantillonner des caractéristiques d'exploitations agricoles mais des représentations ; or dans la méthodologie que nous proposons nous ne connaissons la teneur de la représentation des individus qu'après avoir procédé à son élicitation.

Perez propose une approche forte intéressante dans laquelle il différencie décisions individuelles et représentation collective (non publié). La méthodologie consiste dans un premier temps à identifier les pôles de décisions du système puis à procéder à l'élicitation de la représentation collective de chacun de ces pôles. Un seul individu représentatif par pôle est donc sélectionné et sa représentation est élicitée et considérée comme la représentation collective du groupe. Ainsi, dans l'application qu'il mène en Indonésie, une analyse de protocole est réalisée auprès d'un représentant de chacune des communes de la zone d'étude. L'hétérogénéité des décisions individuelles des exploitations agricoles est quant à

¹⁴⁹ Souvent dans les applications de la modélisation orientée-agent aux bassins versants, l'unité d'analyse choisie pour modéliser les agents économiques est l'unité de production et non pas l'individu (Becu, et al. 2003b, Berger et Ringler 2002).

¹⁵⁰ L'emploi des techniques d'élicitation auprès d'un agriculteur et non plus auprès d'un expert est déjà une adaptation qui mérite d'être testée.

elle identifiée par une enquête complémentaire auprès d'un échantillon restreint d'agriculteurs. Dans leur méthodologie, Abel et Ross procèdent un peu de la même manière en choisissant de mener l'élicitation auprès de représentants des différents groupes d'acteurs (Ross et Abel 1998).

En modélisation d'accompagnement, la question du choix des personnes participant au processus, et donc de l'échantillonnage en général, ne se pose pas dans ces termes. Les praticiens de la modélisation d'accompagnement choisissent tout d'abord des personnes appartenant à chacun des groupes d'acteurs impliqués dans l'enjeu étudié. Lorsque le groupe d'acteur comporte un nombre de personnes limité (gestionnaires de parc naturel, administration locale, service de vulgarisation) la question de l'échantillonnage ne se pose pas vraiment et les praticiens auront tendance à choisir le/les représentant officiel de ce groupe (Etienne, et al. 2003). Par contre lorsqu'il s'agit d'un groupe de personnes plus important, typiquement les agriculteurs d'un village ou d'une zone, les praticiens vont alors choisir les participants en fonction de diverses caractéristiques de la population ; ces caractéristiques variant en fonction de l'enjeu étudié (Lacombe, et al. 2005, Mathevet, et al. 2003, Borderelle 2002, Barreteau et Bousquet 1999). Par exemple, pour un enjeu lié à l'eau, Promburon choisit les participants en fonction de leur niveau d'accès à la ressource en eau et de leur utilisation de cette ressource, ainsi que (et en fonction) de critères ethniques particuliers à sa zone d'étude (Promburon 2004). Pourtant ce qui est visé dans cet échantillonnage est en fait, comme dans notre cas, l'hétérogénéité des représentations. L'hypothèse implicite derrière cette méthode d'échantillonnage est donc que le positionnement agricole-écologique-ethnique-technique-etc. des personnes reflète leur vision des choses par rapport à cet enjeu.

Pourtant, l'individualité de chaque personne, son caractère, son passé, tant d'éléments qu'il est difficile d'évaluer, façonnent la représentation de la personne, et le risque, avec une méthode d'échantillonnage basée sur des caractéristiques d'exploitations, est d'obtenir un échantillon très peu représentatif des points de vues existants au sein du groupe¹⁵¹. Ce risque est d'ailleurs d'autant plus important en modélisation d'accompagnement où le nombre de participants est limité. C'est pourquoi, nous pensons que la question de l'échantillonnage n'est pas vraiment résolue en modélisation d'accompagnement et que l'utilisation des techniques d'élicitation, qui donnent l'emphase sur l'individualité de chacune des personnes, accentue ce problème.

¹⁵¹ Le niveau de représentativité de la population recherché ici n'est pas du tout semblable à celui qui est visé pour la création de modèle d'aide à la décision, comme par exemple (Berger et al. In Press)

15.2. Analyse de protocole et formalisme Orienté-Objet

Nous avons vu à la section 14.2.2 que l'analyse de protocole et la structure d'extraction choisies permettaient d'extraire des informations décrivant les représentations d'une manière intelligible et utilisable pour la modélisation. Cette structure d'extraction, est avant tout une structure de type Concept-Relation, mais qui se veut également être une adaptation au formalisme Orienté-Objet et plus précisément au formalisme UML (voir les sections 4.1.4 et 7.2.1).

Le point délicat de cette structure d'extraction par rapport au formalisme UML, est certainement le fait que les règles de fonctionnement du système (qui sont un type de relation que nous avons estimé crucial pour la méthodologie) ne trouvent pas d'équivalent en UML. Ce manque d'équivalence avait également été identifié au cours de notre première application à la vallée de l'Orb (Becu et al. 2003a). Nous avons alors constaté que la formalisation de certaines procédures des objets du modèle faisait appel à un ensemble de règles extraites par l'analyse de protocole, et que l'agencement de ces règles était sujet à de multiples interprétations possibles de la part du modélisateur (annexe 4)¹⁵². Les résultats de l'application Nord Thaïlandaise confirment le fait que les règles de fonctionnement du système sont l'équivalent de procédures dans le formalisme UML¹⁵³. En outre, la forte structuration du modèle d'agent (architecture d'agent et usage de différentes classes de stratégies), a restreint le nombre de règles à prendre en compte pour l'implémentation d'une procédure ; néanmoins il est tout à fait possible que cela ne soit pas le cas pour un autre terrain d'application. Ainsi les limites de l'adaptation du formalisme de l'analyse de protocole à la modélisation Orientée-Objet, ne sont pas tant au niveau du formalisme UML, mais plutôt au niveau procédural quand il s'agit d'implémenter les processus internes du modèle (ce que nous avons appelé la microstructure du modèle).

L'introduction des diagrammes EPR dans notre méthodologie se voulait à la base un moyen de soumettre cette microstructure du modèle aux acteurs locaux. Mais nous avons vu que, bien qu'ils présentent d'autres avantages, les diagrammes EPR sont plutôt des outils destinés à un usage scientifique et qu'ils ne sont pas, dans leur forme actuelle, directement utilisables auprès des acteurs locaux. Les *Playable Stories* quant à elles n'abordent pas la microstructure du modèle. Ainsi, notre méthodologie n'apporte pas de réponse par rapport à l'implémentation de la structure interne de ces procédures, si ce n'est le fait de segmenter

¹⁵² Par exemple l'ordre selon lequel les règles sont combinées va modifier la procédure implémentée.

¹⁵³ Les règles de fonctionnement interne peuvent, quant à elles, être dans certains cas des contraintes sur les attributs de l'objet.

l'architecture du modèle le plus fortement possible, afin de réduire le nombre de règles à prendre en compte dans chacune des procédures.

Dans le domaine de l'ingénierie des connaissances la principale solution utilisée¹⁵⁴ est d'implémenter les méthodes avec l'assistance directe de la personne (l'expert) auprès de qui l'élicitation est réalisée. L'expert est alors soit à côté du modélisateur et ce dernier entre les données dans l'ordinateur, soit devant l'ordinateur et c'est lui qui implémente directement les méthodes (Ford et Sterman 1997, Gaines et Shaw 1993, Wielinga, et al. 1992). S'il n'est bien entendu pas envisageable d'utiliser ce type de protocole tel quel, auprès de populations comme celles que nous avons enquêtées, la question est alors comment transposer ce type de technique dans notre contexte « in situ » (auprès des acteurs locaux des bassins versants) et est-ce que le gain d'informations élicitées mérite un tel investissement matériel, technique et social.

15.3. Gestion des points sensibles des techniques de l'ingénierie des connaissances

En conclusion du chapitre 4, nous mentionnons les points sensibles de l'élicitation des connaissances qui ont été définis comme le goulot d'étranglement de ces techniques. Les trois points sur lesquels nous escomptions un apport de notre méthodologie étaient alors : la gestion des points de vue contradictoires, l'élicitation des connaissances tacites, le manque de structure des informations élicitées.

Nous avons mentionné dans ce chapitre ainsi qu'au chapitre précédent certains de ces aspects. Ainsi, dans notre application des techniques d'élicitation nous nous sommes également retrouvés confrontés à une faible structuration des informations élicitées. La combinaison des données extraites des *Playable Stories* et celles des diagrammes EPR permet de mieux organiser et analyser les données, mais uniquement au niveau de la macrostructure de l'information, c'est-à-dire pour la caractérisation de l'hétérogénéité des représentations. Pour ce qui est de l'identification des différents types de règles et de processus (objectifs, règles de décision, croyances, etc...) la combinaison de ces deux techniques n'aide en rien étant donné la nature très générale des données extraites par les *Playable Stories*. Ainsi, si dans notre cas on peut supposer que l'usage de différentes techniques a permis de défaire quelque peu la nature entremêlée des données couramment extraites par les techniques d'élicitation, cela n'est vrai que pour les connaissances

¹⁵⁴ Certains auteurs soutiennent également que l'utilisation d'une architecture d'agent extrêmement détaillée permet au modélisateur de segmenter à l'extrême les informations et de ce fait d'implémenter la microstructure du modèle aisément (Glaser 1997).

déclaratives (de quoi le système est-il fait) et notre méthodologie dans son état actuel ne résout en rien la nature entremêlée des connaissances procédurales.

De même, nous avons vu que vis-à-vis des connaissances tacites notre méthodologie se base sur la réutilisation de techniques et d'approches déjà connues de l'ingénierie des connaissances : l'entretien situé qui se base sur le concept d'action située et qui par extension est lié aux techniques d'analyse de tâches et d'observation directe (Hoffman 1987), et la mise en situation durant les *Playable Stories* qui, elle aussi, s'inspire des techniques d'analyse de tâches (McGraw et Harbison-Grigg 1989). Ici encore, les résultats que nous obtenons sont déjà connus de l'ingénierie des connaissances. Ces techniques nous permettent d'éliciter des informations tacites très spécifiques et de manière assez sporadique mais ne permettent pas d'éliciter un jeu complet d'informations directement implémentable sans qu'il y ait besoin d'ajouter de l'information complémentaire¹⁵⁵ (Trimble 2000, Lépy 1997).

Le principal apport de notre méthodologie pour l'ingénierie des connaissances se situe donc au niveau de la gestion des points de vue contradictoires. Néanmoins, ce n'est pas tant notre méthodologie qui est en cause mais plutôt l'approche et l'objectif recherché dans cette application. En effet, tout au long de ce travail de recherche nous nous sommes intéressés et nous avons cherché à caractériser l'hétérogénéité : l'hétérogénéité des comportements, l'hétérogénéité des représentations,... Dans notre approche les conflits entre différents points de vue ne sont donc pas un problème mais un jeu de données qui nous permet de définir différents types d'agents (ou plus précisément différents types de stratégies d'agents). De même, contrairement à d'autres applications dans le domaine de la modélisation multi-agents comme (Jager et Janssen 2003), nous ne cherchons pas à définir un agent générique qui intégrerait toutes les informations du système et serait capable d'adopter n'importe quel type de comportement. Nous cherchons au contraire à segmenter l'information, à distinguer les informations relevant de tel ou tel type de comportement et à les intégrer dans des modules différents de notre modèle. Ainsi, le problème de la gestion des points de vue contradictoires ne se pose pas dans notre cas ; et ce même lorsque les informations d'un même individu se contredisent, puisque nous ne cherchons pas à implémenter la représentation d'un individu mais nous implémentons uniquement les informations de chacun des individus relevant d'une stratégie ou d'un comportement particulier.

¹⁵⁵ L'information complémentaire se substituant alors aux informations tacites n'ayant pas pu être élicitées.

15.4. Conclusion

Cette application nous apprend que les techniques d'élicitation de l'ingénierie des connaissances sont transposables dans un contexte « in situ », c'est-à-dire un contexte non-contrôlé par rapport à des expérimentations en laboratoire, et que les limites rencontrées sont similaires à celles des applications classiques de ces techniques. D'un point de vue expérimental, la difficulté supplémentaire réside dans la non-homogénéité des conditions dans lesquelles se déroule la phase d'acquisition (non uniformité des lieux et des situations lors des entretiens) et dans le fort lien existant entre l'expérimentation et la vie de tous les jours. En effet, des conditions de laboratoire permettent de détacher le quotidien de ce qui se passe durant l'expérimentation (l'environnement de l'expérimentation représentant une coupure par rapport à la réalité quotidienne) (Lincoln et Guba 1985). Alors que dans l'approche que nous proposons l'entretien se déroule dans des conditions « habituelles » de travail. A ce titre, on peut d'ailleurs se demander si l'approche ethnographique n'a pas centré les informations élicitées sur les activités et l'environnement quotidiens. Dans le contexte de notre application, cela n'était pas réellement souhaité étant donné que nous visions notamment l'élicitation des représentations en lien avec l'échelle du bassin versant alors que, comme nous l'avons montré (Becu et Perez 2004), les préoccupations quotidiennes des agriculteurs enquêtés ne sont pas à l'échelle du bassin versant.

A plusieurs reprises, nous évoquons les avantages potentiels d'une approche basée sur la modélisation d'accompagnement pour l'utilisation des techniques d'élicitation (structuration progressive et partagée des informations élicitées) et ce notamment comme une possibilité de dépasser certaines limites des techniques d'élicitation. Néanmoins, il est possible que les résultats obtenus en termes de structuration et d'organisation des données ne soient pas liés à une approche de modélisation d'accompagnement mais plus au fait que nous répétions différentes phases successives d'élicitation. En ce sens, nous attestons alors simplement le fait que plus on reste longtemps sur un terrain et plus on enquête, mieux on connaît ce terrain et plus on est à même de le décrire de manière structurée. C'est finalement durant le test du modèle auprès des acteurs locaux que transparaissent les avantages potentiels de la modélisation d'accompagnement pour l'élicitation. Lors de ce test nous avons pu observer que les participants structuraient leurs représentations, bâtissaient un modèle du monde sur la base du modèle que nous leur soumettions, voire modifiaient le modèle proposé. Néanmoins, l'effet « boîte noire » qui veut que l'utilisateur ne puisse ou ne veuille pas critiquer et modifier le modèle proposé est aussi présent. Barreteau et al. montrent que le jeu de rôles permet d'« ouvrir la boîte noire » et de rendre le modèle moins opaque aux yeux de ses utilisateurs (Barreteau, et al. 2001). Une telle utilisation conjointe des jeux de rôles et des techniques d'élicitation est suggérée au travers des *Playable Stories*. Mais, ces

recherches demanderaient à être poursuivies afin de mieux cerner le rôle que peut jouer la modélisation d'accompagnement par rapport à l'élicitation des connaissances.

Conclusion générale

A partir d'une réflexion sur le rôle des représentations des acteurs locaux dans la gestion collective des bassins versants et sur les approches de modélisation participatives, ce document a présenté un travail de construction et de test d'une méthodologie d'identification et de modélisation des représentations.

La modélisation participative étant encore au stade expérimental, et les outils et démarches pour identifier, formaliser et modéliser les observations faites sur le terrain n'étant pas encore bien établis, cette thèse s'est particulièrement focalisée sur des aspects techniques. Pour cela, l'ingénierie des connaissances, domaine travaillant à l'interface entre l'homme et la machine, a été une forte source d'inspiration et les avancées faites dans ce domaine nous ont permis de bâtir notre méthodologie sur un socle technique déjà éprouvé.

Mais cette thèse a apporté également des éléments de réponses à la question de l'intérêt et des apports de la modélisation des représentations pour la gestion des bassins versants. A la fin de notre travail de terrain, nous avons pu tester le modèle résultant de notre méthodologie auprès des acteurs locaux. Les résultats obtenus, bien que demandant des vérifications complémentaires, sont riches d'enseignements. Notre réflexion sur l'intérêt de l'approche se nourrit également des applications faites dans le domaine de la modélisation d'accompagnement qui sont de plus en plus nombreuses. En outre, certains aspects de notre méthodologie ont fait, par la suite, l'objet de recherches complémentaires qui participent à notre réflexion.

Dans cette conclusion, nous synthétiserons ces deux aspects : l'aspect technique de l'identification et de la modélisation des représentations et l'aspect portant sur l'intérêt et les apports de cette approche. Enfin nous nous poserons la question de la légitimité de l'approche de la modélisation des représentations par rapport aux acteurs concernés.

Les recherches menées dans le cadre de cette thèse sur les aspects techniques de l'identification et la modélisation des représentations d'acteurs locaux aboutissent à deux principaux constats :

Une formalisation non-exhaustive des éléments de représentation

L'utilisation des techniques de l'ingénierie des connaissances, et plus particulièrement de l'analyse de protocole, offre un cadre formel d'interprétation des dires d'acteurs. Si d'un côté ces techniques permettent d'identifier et de formaliser une grande partie des éléments constitutifs des représentations (selon notre grille d'analyse), une partie de l'information ne parvient pas à être formalisée formellement. Pour certains dires d'acteurs, il n'a par exemple pas été possible de distinguer de manière formelle la part liée à la représentation du fonctionnement du système et la part liée à la représentation de l'état du système. Dans ce

type de cas, l'interprétation subjective de l'analyste a alors été nécessaire. Cette incapacité de la technique à formaliser l'ensemble de l'information n'est pas particulière aux travaux de cette thèse. Elle a été constatée dans de nombreux travaux de l'ingénierie des connaissances (Engels et Bremdal 2000, Kremer 1995). Dans leur appréciation de l'état de la recherche dans le domaine de l'ingénierie des connaissances, Studer et al. (2003) estiment que cela est dû au fait que les experts ne sont pas eux-mêmes conscients de l'ensemble de l'information qu'ils mobilisent pour résoudre un problème. Ce sont également pour des raisons apparentées que les chercheurs travaillant sur l'automatisation de l'extraction de connaissances à partir du langage naturel ne parviennent à l'heure actuelle qu'à en extraire la structure mais non le sens (Alani et al. 2003, Szulman et al. 2002, Paquin et Dupuy 1995).

Ainsi, les techniques que nous proposons dans cette thèse permettent de guider l'analyse mais ne peuvent être considérées comme des références absolues. Ceci est d'autant plus vrai que, comme nous l'avons constaté dans nos résultats et comme indiqué par les chercheurs de l'ingénierie des connaissances (Portmann et Easterbrook 1992, Hayes-Roth, et al. 1983), à partir d'un certain nombre de données recueillies, les informations formalisées s'entremêlent et de nouveaux choix d'ordre subjectif sont alors nécessaires pour parvenir à un modèle formel, implémentable informatiquement.

Comme indiqué à la section 14.2.2, des techniques complémentaires (allant de la simple enquête complémentaire à des techniques impliquant plus les acteurs dans la construction du modèle) peuvent être utilisées pour vérifier, confirmer et valider les hypothèses adoptées par l'analyste durant le travail de formalisation. C'est ce que nous avons tenté de faire par l'emploi des Playable Stories comme technique de vérification des représentations formalisées, et qu'il nous paraît intéressant de continuer à développer.

Evolution des représentations et agent générique ?

Nous avons pu constater au fil de la thèse que les représentations des acteurs locaux changent, pas seulement dans leur vision de l'état du système mais également au niveau de leurs croyances quant au fonctionnement même du système (voir la section 14.2.2). Cet état de fait est pourtant difficile à gérer du point de vue de la modélisation. Tout d'abord il existe un laps de temps relativement conséquent (plusieurs mois) entre le moment où les données sont collectées et le moment où elles sont effectivement intégrées dans le modèle. La méthodologie, sous sa présente forme, est telle que les représentations des acteurs sont alors susceptibles d'évoluer suffisamment pour rendre obsolètes les résultats d'analyse. Cela est notamment dû à la technique d'analyse de protocole qui est relativement longue à appliquer. Face à cela, des ajustements du modèle pourraient être envisagés en employant des techniques plus rapides une fois la première version du modèle établie. Néanmoins, cela

ne résout pas vraiment le problème des changements de représentations étant donné qu'il est en grande partie dû à la difficulté de les modéliser¹⁵⁶. Pour cela, les applications dans le domaine des SMA utilisent souvent des règles de changements de règles (Huigen 2004, Barreteau 1998), c'est-à-dire des règles qui vont gérer la transition d'un jeu de règles à un autre. Concrètement cela prendrait la forme pour le modèle développé dans cette thèse, de règles permettant à un agent de passer d'une stratégie à une autre. Pour cela des hypothèses théoriques peuvent être utilisées, comme dans (Gatherer 2002, Edmonds 1998), mais notre intérêt dans cet exercice de modélisation n'est pas de tester une théorie ou d'optimiser un système mais de suivre une approche de modélisation positive au travers de laquelle nous tentons de représenter la réalité de manière acceptable. L'enjeu est alors de parvenir à extraire ces règles de changement de règles à partir de données collectées sur le terrain. Néanmoins, notre compréhension des changements de comportements des individus à long terme est encore faible et les méthodes pour parvenir à les identifier ne sont pas encore bien établies. Notons l'utilisation des récits de vie (Bertaux 1997) pour comprendre les causes des périodes de transitions dans le parcours d'une exploitation agricole. Une des difficultés rencontrées par ces techniques se basant sur le passé, est que les personnes enquêtées peinent à se remémorer les raisons pour lesquelles elles ont changé leurs comportements. En outre, l'échelle de temps, nécessaire à la vérification de telles règles, est beaucoup plus importante que pour des règles comportementales classiques.

Face à ces difficultés, que nous n'avons pas souhaité aborder dans cette thèse, notre démarche d'analyse, que nous qualifions « d'ancrée » (inspirée de la *grounded theory*, voir la section 10.1.3), a été de distinguer différentes tendances de représentations et de comportements parmi les données recueillies. C'est ce qui nous a amené à différencier différentes stratégies et à les intégrer dans différents types d'agents. Du fait qu'il s'agisse d'une démarche ancrée, les résultats obtenus ne sont donc valides que pour le terrain étudié. Ce sont donc des résultats locaux ne visant pas l'établissement d'un comportement d'agent générique commun à l'ensemble des agents. Les résultats sont ici dédiés à la co-construction de modèles utilisables en outil d'aide à la concertation sur le terrain d'application ou dans le cadre de formations. De ce fait nous sommes en droit de nous demander si le temps investi pour parvenir à un tel modèle est profitable et il serait intéressant de réaliser des études de coûts sur de telles démarches. Pour information, l'application de la méthodologie proposée dans cette thèse a nécessité plus d'un an et demi de travail pour une personne. Il serait alors intéressant de réfléchir à des adaptations plus

¹⁵⁶ Il ne s'agit pas seulement des changements de croyances sur l'état du système, comme nous l'avons effectué dans cette thèse, mais également des changements de croyances sur le fonctionnement du système.

souples de la présente méthodologie comme par exemple les travaux de Perez et Dray qui utilisent une procédure semi-automatique pour extraire l'information des transcriptions (Dray et al. 2006).

Enfin, dans la suite de nos réflexions sur l'établissement d'un agent générique pouvant changer de comportements, une autre difficulté méthodologique est à considérer : elle réside dans le fait que l'échantillonnage n'est pas quantitativement représentatif. En effet, dans son état actuel, notre méthodologie ne permet pas de déterminer les proportions des différentes stratégies utilisées dans la population. Elle s'axe sur l'identification de l'hétérogénéité des représentations mais ne procure pas de données quantitatives représentatives de la population. Il pourrait alors être intéressant de considérer des techniques combinant des méthodes quantitatives et qualitatives où l'anthropologue identifie des indicateurs révélateurs de certains types de comportements. Ces indicateurs sont ensuite utilisés pour quantifier les proportions des différents types au moyen d'enquêtes quantitatives menées sur un échantillon représentatif de la population (Steckler et al. 1992).

Intérêts pour la gestion des bassins versants

Nous distinguons ci-dessous deux types d'apports de notre méthodologie pour la gestion des bassins versants : ceux liés à l'analyse des représentations des acteurs locaux et ceux liés à l'usage du modèle pour l'aide à la concertation.

En premier lieu, au regard des typologies de comportements d'agriculteurs trouvées dans la littérature, il apparaîtrait que révéler les caractéristiques des agriculteurs en se basant sur leurs représentations apporte un regard original sur la caractérisation des exploitations. Ainsi, les typologies couramment utilisées en Thaïlande pour différencier les stratégies des exploitations agricoles, distinguent souvent celles orientées vers une agriculture de marché de celles s'apparentant à l'agriculture de subsistance (Rutherford 2003). Dans le même d'ordre d'idée, la vision couramment admise du comportement de certains groupes d'agriculteurs, comme notamment certaines minorités ethniques vivant dans les montagnes du Nord Thaïlande telles que les Hmong, les Lahu et les Akha, est souvent celles de personnes cherchant uniquement à maximiser leur profit. Etiquette qui joue en défaveur de ces groupes dans les discussions sur l'aménagement et la gestion des bassins versants avec les institutions gouvernementales ou non-gouvernementales car elle est associée à un comportement non respectueux de l'environnement et opposée à un développement agricole durable (Chiengthong 2003, von Geusau et al. 1992). En basant notre analyse sur l'hétérogénéité des représentations, nos résultats portent un autre regard sur les types de comportements d'agriculteurs rencontrés sur ces terrains. Le profit est certes une préoccupation majeure des agriculteurs enquêtés mais leurs préoccupations sont également d'ordre écologique, tournées vers le maintien des niveaux de ressources naturelles à court

ou à moyen terme. Ainsi, les agriculteurs Hmong du village de Buak Jan ont un système bien établi de rotation de cultures et de mise en jachère dont l'objectif est le maintien de la fertilité des sols. De même, la relation au profit est loin d'être toujours basée sur un objectif de maximisation. Dans les deux villages étudiés la stabilité de la production et des prix de ventes est une préoccupation majeure de nombreux agriculteurs et l'objectif recherché est la garantie d'un revenu moyen tous les ans.

Le test du modèle réalisé au moyen des séances de simulations participatives a permis de vérifier cette typologie de comportement auprès des agriculteurs. Ces derniers l'ont approuvée et se sont individuellement reconnus dans l'une des stratégies proposées. Cela ne permet pas de valider notre typologie de manière absolue et il faudrait pour cela réaliser de nouveaux tests intégrant par exemple différentes typologies afin de les comparer et de les discuter avec les agriculteurs. Notre typologie semble toutefois comporter des éléments de vérité au regard de résultats complémentaires obtenus sur un autre bassin versant du Nord Thaïlande. En effet, la technique des Playable Stories a été appliquée une nouvelle fois après la période de thèse sur deux autres villages de la province de Chiang Mai et les typologies de comportement et de stratégie obtenues comportent des similitudes. Prachasuksanti trouve ainsi des orientations stratégiques tournées vers le profit, d'autres tournées vers la minimisation du risque et la stabilité de la production et des prix et enfin des groupes d'agriculteurs qui semblent particulièrement intéressés par les techniques de production, leur amélioration et les innovations agronomiques (Prachasuksanti 2005). Les agriculteurs de ce dernier type adopteraient alors assez souvent un comportement de précurseurs lors de la diffusion d'une innovation, et ce non pas seulement par attrait du gain mais aussi, semblerait-il, par curiosité technique et attrait de la nouveauté. Au regard des similitudes trouvées entre les deux typologies (e.g. aversion au risque, attrait technique et agronomique), il serait intéressant d'étendre les sites d'applications de cette technique afin de vérifier s'il existe des orientations de comportements et des stratégies récurrentes d'un site à l'autre.

De l'usage du modèle, notons tout d'abord que comme tous modèles de simulation de systèmes complexes, celui-ci permet d'explorer la dynamique du système. L'intégration dans le modèle de représentations d'acteurs identifiés sur le terrain permet alors d'explorer des questions telles que l'établissement de croyances collectives ayant eu lieu sur le site d'étude. C'est ainsi, qu'à la section 12.3.2 nous expliquons l'établissement d'une croyance sur l'usage des engrais bio-organiques dans le village de Sai Mun par une perception biaisée de la fertilité du sol et par le jeu des interactions sociales entre les villageois. Encore une fois, des vérifications complémentaires seraient nécessaires pour valider ce type d'hypothèses. Ici, les vérifications prendraient certainement la forme d'analyse de sensibilité sur les paramètres du

protocole d'échange d'informations au sein du réseau d'agents ; et d'autres protocoles de diffusion d'informations pourraient être testés.

Vis-à-vis de l'usage en aide à la concertation, le modèle développé reflète la diversité des croyances et des perceptions des acteurs. Dans notre application, seules les représentations des agriculteurs ont été caractérisées et intégrées, mais cela pourrait être étendu à l'ensemble des acteurs clés du système bassin versant. Ainsi Promburon travaille à l'échelle du bassin versant également dans le Nord Thaïlande et intègre dans son protocole d'étude des acteurs tels que le LDD (*Land Development Department*), les projets royaux ou le RFD (*Royal Forest Department*) : (Promburom 2004). Montrer la diversité des représentations et des comportements permet de désacraliser certains *a priori* et croyances générales que les acteurs peuvent avoir les uns sur les autres. Ainsi, les agents du LDD présents à la séance de simulation participative étaient surpris de la diversité de comportement des agriculteurs montrée par les simulations et une discussion s'en est suivie avec les agriculteurs

Ces séances, s'appuyant sur des modèles intégrant les représentations d'acteurs, tendent donc à mettre les participants sur un même pied d'égalité quant à l'usage du modèle. Les relations hiérarchiques préexistantes entre les acteurs¹⁵⁷ ne sont pas pour autant remises en cause. Ainsi, la perception des agents-agriculteurs de la fertilité du sol et les niveaux de fertilité du sol calculés par le modèle biophysique (que l'on pourrait attribuer à la vision des agents du LDD) ont la même importance dans le modèle et sont présentés ainsi. Cette perspective scientifique mais aussi idéologique chère à la modélisation d'accompagnement (Barreteau et others 2003) a pour but de permettre la création d'une plateforme de communication sur laquelle les acteurs peuvent s'appuyer pour décrire leurs problèmes et supporter leurs propos. Comme nous l'avons dit cela prend toute son importance dans des terrains tels que les bassins versants du Nord Thaïlande étant données les hiérarchies de dominance existant entre les acteurs lors de négociations quant à la gestion des bassins versants (Prabudhanitisarn et al. 2002b). Promburon montre alors que l'utilisation de jeux de rôles permet aux différents acteurs (agriculteurs, LDD, RFD) de mieux comprendre les contraintes et les points de vue de chacun et de discuter sur un même pied d'égalité (Promburom 2004).

Ce dernier point nous renvoie alors à la question de la légitimité, et plus précisément à la légitimité de la démarche mise en place. Est-il légitime d'amener ces différents acteurs (agriculteurs, LDD, Projet Royal) à discuter sur un même pied d'égalité ? Est-il légitime « d'extraire » les représentations d'un groupe de personnes puis de les transcrire et de les

¹⁵⁷ Lors de la séance collective que nous avons réalisée, les statuts imposant une certaine autorité de certains acteurs sur d'autres (e.g. LDD par rapport aux agriculteurs) étaient maintenus.

révéler aux autres lors de séances de simulations participatives ? Plusieurs aspects sont à prendre en compte dans cette vaste question.

Tout d'abord il y a la question de la transparence. La co-construction du modèle, ici menée individuellement dans un premier temps, a permis de créer des moments privilégiés entre chacun des participants et le groupe de chercheurs durant lesquels la démarche a été expliquée, démonstration à l'appui. Il était demandé explicitement à chacun des participants s'il souhaitait voir présenter à la séance collective la représentation formalisée dans le modèle correspondant à la sienne dans la réalité. Nous n'avons pas eu de refus. Dans leur réflexion sur la légitimité de la modélisation d'accompagnement, Daré et al. (Daré et al. p.c.) se réfèrent à Crozier (1977): « *Chacun doit s'attacher à conserver cette zone d'incertitude dans laquelle les acteurs exploitent leur capacité de pouvoir ou de domination avec les autres* ». Etant donné que les praticiens et animateurs de la démarche de la modélisation d'accompagnement sont des acteurs parmi les autres, une certaine zone d'incertitude leur serait accordée pour arriver à leurs fins. Néanmoins, cela est-il juste et équitable considérant la capacité de moyens que possède le groupe de praticiens/animateurs ? En effet dans les travaux de cette thèse ainsi que dans ceux menés par la suite sur l'usage de séances de simulations participatives, praticiens, modélisateurs et animateurs sont intimement confondus. Or cette marge d'interprétation subjective au niveau de la formalisation informatique des informations recueillies (discutée en début de conclusion), la façon ensuite de présenter les résultats, l'implémentation des interfaces et autres marges de manœuvres, sont autant de moyens que possèdent les chercheurs et que ne possèdent pas les autres acteurs. Sans parler du statut particulier jouant plutôt en leur faveur que leur octroient dans le contexte Nord Thaïlandais leurs origines occidentales. Sachant cela, il nous paraît souhaitable et équitable que le groupe de chercheurs fasse un effort de transparence plus important que les autres acteurs et consulte systématiquement ces derniers lors de choix sur le modèle ou le processus, et ce au niveau individuel. Ainsi, dans l'expérience qui a suivi les travaux de cette thèse, les scénarios montrés en séance collective étaient proposés par les acteurs locaux collectivement (à la séance précédente) ou individuellement et choisis lors de discussions avec chacun des groupes d'acteurs locaux individuellement (Becu et al. 2006). Cela nous paraît d'autant plus important dans des contextes d'applications potentiellement conflictuels et où les rapports de pouvoirs sont déséquilibrés (e.g. autorité du LDD sur les agriculteurs, précarité foncière des Hmongs dont l'établissement à l'amont des bassins est contesté).

Ces aspects nous renvoient à la légitimité de notre intervention. Au cours des journées du groupe de la modélisation d'accompagnement de 2005, cette question a été abordée en distinguant la formalisation de la demande et la capacité des acteurs à répondre à la demande et à s'intégrer au processus. Dans notre cas, la demande des agriculteurs a été

faite de manière orale et s'est produite à la fin de notre phase d'insertion sur le terrain. Il est donc fort probable que la demande ait été suscitée par notre présence initiale sur le terrain. Pour le cas du village de Sai Mun il s'agissait d'une demande d'appui face au problème de la baisse de la fertilité des sols que les agriculteurs ne savaient pas comment résoudre. Face à cela, nous nous sommes placés en tant que facilitateur entre les agriculteurs d'une part, et les agents du LDD et du Projet Royal possédant le savoir technique d'autre part. Conformément à la charte de la modélisation d'accompagnement¹⁵⁸, notre capacité d'intervention était la modification des perceptions des acteurs (en nous appuyant sur le modèle) et la modification de leurs façons d'interagir (en organisant une réunion mettant ces acteurs en présence). Notre légitimité en tant qu'acteurs dans ce processus était donc triple : la demande des agriculteurs, les contacts que nous avons avec le LDD et le Projet Royal et le savoir-faire pour le développement du modèle et la mise en place de la démarche. Néanmoins, la question de la capacité des acteurs à s'intégrer au processus demeure. Dans notre expérience, l'application n'a pas été poussée suffisamment loin pour y répondre mais certaines observations prêtent à réflexion. Il s'agit plus précisément du fait que bien que le processus ait été mené de manière transparente vis-à-vis de l'ensemble des acteurs, nous avons pu observer que ces derniers ne savent pas toujours à quoi s'attendre au moment des séances de simulations collectives. Le modèle et le processus conservent une certaine opacité qui crée une zone d'incertitude pouvant être mal perçue par les participants. Ainsi, en début de séance les agents du LDD et du Projet Royal semblaient inquiets des retombées de la réunion et ont mis un certain temps avant de se positionner dans la discussion. Face à cela, dans les travaux qui ont suivi la thèse, sur un autre bassin versant du Nord Thaïlande, nous avons pris le parti, après la première séance collective, de présenter au préalable à chacun des groupes d'acteurs individuellement les simulations prévues pour la prochaine séance collective (Becu, et al. 2006). Nous pensons de cette manière accroître la capacité d'intervention des acteurs dans le processus. Dans cette expérience, cela s'est traduit par la non-participation à la troisième séance collective des agriculteurs Hmong ; ces derniers étant certainement le groupe d'acteurs le plus défavorisé dans les rapports de pouvoirs en jeu dans ce contexte d'application. Des recherches complémentaires sont nécessaires pour cerner les raisons exactes de leur non-participation, et d'autres cas de ce type ont été observés lors de démarches de modélisation d'accompagnement comme par exemple le cas d'industriels de la canne à sucre en Thaïlande (Suphanchaimart et al. 2003). Notre hypothèse est que cela se produit lorsqu'un groupe d'acteurs estime qu'il n'est pas, ou qu'il n'est plus, dans son intérêt de prendre part

¹⁵⁸ <http://cormas.cirad.fr/pdf/ComModCharte.pdf>

au processus. C'est pourquoi, il nous semble que le retrait potentiel de certains groupes d'acteurs du processus est un aspect important de la démarche et que les praticiens de la modélisation d'accompagnement doivent s'assurer qu'il soit possible.

Bibliographie

- Abbot J., Chambers R., Dunn C., Harris T., de Merode E., Porter G., Townsend J. et Weinder D. 1998. Participatory GIS: opportunity or oxymoron? PLA notes 33. London, IIED: 27-33.
- Abel N. 1998. Sustainable Use of Rangelands in the 21st Century: On the road to a better future for the Western Division of NSW, CSIRO and NSW Department of Land and Water Conservation: 28.
- Abel N., Ross H., Herbert A., Manning M., Walker P. et Wheeler H. 1998. Mental Models and Communication in Agriculture RIRDC Publication No 98/140. ACT, Australia, Rural Industries Research and Development Corporation: 90.
- Abrami G. 2004. Niveaux d'organisation dans la modélisation multi-agents pour la gestion de ressources renouvelables. Application à la mise en œuvre de règles collectives de gestion de l'eau agricole dans la basse-vallée de la Drôme. Thèse de Doctorat en Sciences de l'eau. Engref, Montpellier.
- Alani H., Kim S., Millard D., Weal M., Hall W., Lewis P. et Shadbolt N. R. 2003. Automatic Ontology-Based Knowledge Extraction from Web Documents. IEEE Intelligent Systems. 18(1). 14-21.
- Alcamo J., Kreileman E. et Leemans R. 1996. Global models meet global policy. Global Environmental Change. 6(4).
- Allen W., Kilvington M. et Horn C. 2002. Using participatory and learning-based approaches for environmental management to help achieve constructive behaviour change. Research Contract Report LC0102/057. Lincoln, New Zealand, Landcare.
- Ambrosini V. et Bowman C. 1999. Mapping organisational success. Working Paper 27/04/1999. Lancaster, Lancaster University.
- Axelrod R. 1997. The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Conflict and Cooperation, Princeton University Press.
- Axelrod R. A. 1976. Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites. Princeton, NJ, Princeton University Press.
- Balman A. 1997. Farm Base Modelling of Regional Structural Change: A Cellular Automata Approach. European Review of Agricultural Economics. 24(1). 85-108.
- Barnaud C. 2004. Erosion des sols et systèmes agraires dans les hautes terres du nord de la Thaïlande. Une approche de la complexité par une modélisation d'accompagnement. Mémoire de DEA, Géographie et pratique du développement, Ecole doctorale "Milieux, Cultures et Sociétés du Passé et du Présent". Institut National Agronomique Paris-Grignon et Université Paris X-Nanterre, Paris, France.
- Barnaud C., Promburom P., Bousquet F. et Trébuil G. 2005. Companion Modelling to Facilitate Collective Land Use by Akha Villagers in Upper Northern Thailand. "Sustainable Use of natural Resources and Poverty Dialogue in Montane Mainland South East Asia" (MMSEA IV). Sapa, Vietnam. 16-19 May 2005. 17.
- Barreteau O. 1998. Un Système Multi-Agent pour explorer la viabilité des systèmes irrigués: dynamique des interactions et modes d'organisation. Thèse de Doctorat, Sciences de l'Eau. ENGREF, Montpellier. 259 p.
- Barreteau O. 2003. The joint use of role-playing games and models regarding negotiation processes: characterization of associations. Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 6(2). Online: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/2/3.html>.
- Barreteau O. et Bousquet F. 1999. Jeux de rôles et validation de systèmes multi-agents. Ingénierie des systèmes multi agents. 67-80.
- Barreteau O., Bousquet F. et Attonaty J.-M. 2001. Role-Playing games for opening the black box of MAS: method and teachings of its application to Senegal River Valley irrigated systems. Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 4(2). Online: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/4/2/5.html>.

- Barreteau O., Bousquet F. et Weber J. 1996. Modes de gestion et viabilité de périmètres irrigués: questions de représentation. Tendances nouvelles en modélisation pour l'environnement.
- Barreteau O., Cernesson F., Ferrand N. et Brunet S. 2002. Pluralité des références spatiales et sociales pour les acteurs d'un contrat de rivière. Montagnes Méditerranéennes.
- Barreteau O., Garin P., Dumontier A., Abrami G. et Cernesson F. 2003. Agent-based facilitation of water allocation: case study in the Drome river valley. *Group Decision and negotiation*. 12. 441-461.
- Barreteau O. et others 2003. Our Companion Modelling Approach. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 6(2). Online: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/2/1.html>.
- Barry C. A. 1998. Choosing qualitative data analysis software: Atlas/ti and Nudist compared. *Sociological research online*. 3(3).
- Becu N. 2001. Modélisation de la gestion de l'eau d'irrigation à l'échelle d'un bassin versant et exploration du système via simulations, approche basée sur les Systèmes Multi-Agents, cas du bassin versant du Mae Yam - Nord-Thaïlande. Mémoire de DEA Sciences de l'Eau dans l'Environnement Continental. Montpellier, ENGREF: 128.
- Becu N., Barreteau O., Perez P., Saising J. et Sungted S. 2005. A methodology for identifying and formalising farmers' representations of watershed management: a case study from Northern Thailand. F. Bousquet, G. Trébuil and B. Hardy, Companion Modeling and Multi-Agent Systems for Integrated Natural Resource Management in Asia. IRRI Press, Los Baños (Philippines). 41-62.
- Becu N., Bousquet F., Barreteau O., Perez P. et Walker A. 2003a. A Methodology for Eliciting and Modelling Stakeholders' Representations with Agent Based Modelling. *Lecture Notes in Artificial Intelligence*. 2927. 131-148.
- Becu N. et Perez P. 2004. La gestion intégrée de bassin versant face aux représentations des acteurs locaux : le cas du bassin versant de Pang Da, Nord Thaïlande. S. Bouarfa, P. Le Goulven and M. Kuper PCSI 2003 : La gestion intégrée de l'eau au sein d'un bassin versant. Montpellier (France). Décembre 2003.
- Becu N., Perez P., Barreteau O. et Walker A. 2002. How Bad the Agent-Based Model CATCHSCAPE is not? *International Environmental Modelling and Software Society (IEMSS)*. Lugano. 06/2002. 184-189.
- Becu N., Perez P., Walker A. et Barreteau O. 2001. CatchScape: an integrated Multi-Agent model for simulating water management at the catchment scale. A Northern Thailand case study. G. e. al. MODSIM, Australian National University. Canberra, Australia. 12/2001. 1141-1146.
- Becu N., Perez P., Walker A., Barreteau O. et Le Page C. 2003b. Agent based simulation of a small catchment water management in northern Thailand: Description of the CatchScape model. *Ecological Modelling*. 170(2-3). 319-331.
- Becu N., Sangkapitux C., Neef A., Kitchaicharoen J. et Elstner P. 2006. Participatory simulation sessions to support collective decision: the case of water allocation between a Thai and a Hmong village in northern Thailand. *International Symposium "Towards Sustainable Livelihoods and Ecosystems in Mountainous Regions"*. Chiang Mai, Thailand. 7-9 March 2006.
- Bentley J. W. et Baker P. S. 2005. Understanding and Getting the Most from Farmers' Local Knowledge. Participatory Research and Development: for sustainable agriculture and natural resource management: A Sourcebook. 58-64.
- Berger T. 2001. Agent-based spatial models applied to agriculture: a simulation tool for technology diffusion, resource use changes and policy analysis. *Agricultural Economics*. 25(2-3). 245-260.
- Berger T. et Ringler C. 2002. Trade-offs, efficiency gains and technical change: Modeling water management and land use within a multiple-agent framework. *Quarterly Journal of International Agriculture*. 41(1/2). 119-144.
- Berger T., Schreinemachers P. et Woelcke J. In Press. Multi-Agent Simulation for Development of Less-Favored Areas. *Agricultural Systems. Development Strategies for Less-Favored Areas*.(Special Issue).

- Bergson H. 1907. L'Évolution Créatrice. Paris, Félix Alcan. English translation: Creative Evolution (Macmillan, London, 1911).
- Bertaux D. 1997. Les récits de vie. Paris, Nathan.
- Beven K. J., Abbott M. B. et Refsgaard J. C. 1996. A discussion of distributed hydrological modelling. Distributed hydrological modelling. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht; Netherlands. 255-278; 102 ref.
- Bimson K. D. et Burris L. B. 1998. Conceptual model-based reasoning for knowledge-based software project management. Twenty-First Annual Hawaii International Conference on Decision Support and Knowledge Based Systems Track, IEEE Computer Society Press. Kailua-Kona, Hawaii, United States. 255-265.
- Bitter-Rijkema M., Martens R. et Jochems W. 2002. Supporting knowledge elicitation for learning in virtual teams. *Educational Technology & Society*. 5(2). 113-118.
- Bock C. 2001. Goal-driven modeling, part 2. *Journal of Object-Oriented Programming*. 13(11).
- Bogdan R. et Taylor S. J. 1975. Introduction to Qualitative Research Methods: A Phenomenological Approach to the Social Sciences. New York, Wiley.
- Boiffin J., Kéli-Zagbahi J. et Sébillotte M. 1986. Systèmes de culture et statut organique des sols dans le Noyonnais: applicatiois du modèle de Hénin et Dupuis. *Agronomie*. 6.
- Boissau S. et Castella J.-C. 2003. Constructing a common representation of local institutions and land-use systems through simulation gaming and multi-agent modeling in rural areas of northern Vietnam: the samba-week methodology. *Simulation and Gaming*. 34. 342-357.
- Booch G., Jacobson I. et Rumbaugh J. 1996. The Unified Modeling Language for Object Oriented Development, Rational Software Corporation.
- Borderelle A.-L. 2002. Eléments pour une modélisation théorique destinée au partage de connaissance. Exemple de l'utilisation des produits phytosanitaires en viticulture sur la ressource en eau. Mémoire de DEA. ENGREF-Université de Montpellier 2, Montpellier.
- Bougon M. G. 1983. Uncovering cognitive maps: The Self-Q technique. G. Morgan, Beyond method: Strategies for social research. Sage Publications, Beverly Hills. 173-188.
- Bousquet F. 1994. Des milieux, des poissons et des hommes : étude par simulation multi-agents, le cas de la pêche dans le delta du Niger. PhD Dissertation. Université Claude Bernard, Lyon (France).
- Bousquet F. 1996. Usage des ressources renouvelables et modélisation des représentations: Une approche par les systèmes Multi-Agents. *Tendances nouvelles en modélisation pour l'environnement*. 187-193.
- Bousquet F., Barreteau O., Le Page C., Mullon C. et Weber J. 1999. An environmental modelling approach. The use of multi-agent simulations. B. F. and W. A., Advances in Environmental and Ecological Modelling. 219.
- Bousquet F., Castella J.-C., Trébuil G., Boissau S. et Kam S. P. 2001a. The Use of Multi-Agent Simulations in Companionable Modelling Approach for Agro-ecosystem Management. Integrated Management for Sustainable Agriculture, Forestry and Fisheries Workshop. Cali, Colombia. 28-31 August 2001.
- Bousquet F. et Le Page C. 2004. Multi-agent simulations and ecosystem management: a review. *Ecological Modelling*. 176. 313-332.
- Bousquet F., Trébuil G., Boissau S., Baron C., Aquino (d') P. et Castella J.-C. 2001b. Knowledge Integration for Participatory Land management: The Use of MAS and a Companionable Modelling Approach. International Workshop on Participatory Technology Development and Local Knowledge for Sustainable Land Use in Southeast Asia, Fondation européenne pour la science et Université de Hohenheim. Chiang Maï, Thaïlande. 6-7 juin 2001. 16 p.
- Bousquet F., Trébuil G., Boissau S., Baron C., Aquino (d') P. et Castella J.-C. 2005. Knowledge Integration for Participatory Land management: The Use of MAS and a Companion Modelling Approach. A. Neef, Participatory approaches for Sustainable Land Use in Southeast Asia. White Lotus, Bangkok, Thailand. 291-310.

- Bratman M. E. 1987. Intentions, plans and practical reason. Cambridge, Harvard University Press.
- Bredeche N., Chevaleyre Y., Zucker J.-D., Drogoul A. et Sabah G. 2003. A Meta-Learning Approach to Ground Symbols from Visual Percepts. *Journal of Robotics and Autonomous Systems*. 43(2-3). 149-162.
- Breton A. 1924. Manifeste du surréalisme. Réimpression 1995 "Manifeste du Surréalisme, édition complète", Société Nouvelle des Editions Pauvert.
- Brooks R. A. 1991. Intelligence without representation. *Artificial Intelligence*. 47. 139-159.
- Brunet R. 1986 La carte modèle et les chorèmes. *Mappe Monde* 4(1),
- Brunet S. 2000. Diagnostic de fonctionnement du bassin versant de l'Orb. Mémoire de DESS Ingénierie des Hydrosystèmes Continentaux en Europe. Clermont Ferrand, Cemagref: 79.
- Campbell H. 2001. A critical evaluation of object-oriented analysis and design methods with a special focus on object formulation. MPhil, Department of Computing. University of Central Lancashire, Preston, UK.
- Campo P. 2003. Multi-agent systems integrating GIS and remote sensing: Tools for participatory natural resource management (prototype for Loon in Bohol, The Philippines). Master of Science, Remote Sensing. University of the Philippines, Diliman, Quezon City (Philippines).
- Carley K. M. 1996. Artificial intelligence within sociology. *Sociological methods and research*. 25(1). 3-30.
- Caron P. 2001. Zonage à dire d'acteurs : des représentations spatiales pour comprendre, formaliser et décider. Le cas de Juazeiro, au Brésil. S. Lardon, P. Maurel and V. Piveteau, Représentations spatiales et développement territorial. Hermes, Paris. 343-357.
- Casas Gomez M. 2002. A functional description of semantic relationships. *Language Design*. 4.
- Castelfranchi C. 2001. The theory of social functions: challenges for computational social science and multi-agent learning. *Cognitive Systems Research*. 2(1). 5-38.
- Castella J.-C., Boissau S., Hoang L. A. et Husson O. 2003. Enhancing communities' adaptability to a rapidly changing environment in Vietnam uplands: the SAMBA role-play. R. C. Serrano and R. T. Aggangan, Sustaining Upland Development in Southeast Asia: Issues, tools & institutions for local natural resources management. PCARRD, Los Banos, Philippines. 203 - 236.
- Castella J.-C., Boissau S. et Tran Ngoc Trung D. D. Q. 2002. Samba, un système multi-agents pour la compréhension des dynamiques agraires. Cas des zones de montagne du bassin du fleuve Rouge (Viêt Nam). D. Orange Gestion Intégrée des Ressources Naturelles en Zones Inondables Tropicales, IRD Editions. Paris. 733-751.
- Castella J.-C., Trung T. et Boissau S. 2005. Participatory Simulation of Land-Use Changes in the Northern Mountains of Vietnam: the Combined Use of an Agent-Based Model, a Role-Playing Game, and a Geographic Information System. *Ecology and Society*. 10(1). Online: <http://www.ecologyandsociety.org/vol10/iss1/art27/>.
- Cavazza M. 1993. Modèles mentaux et sciences cognitives. M. F. Ehrlich, H. Tardieu and M. Cavazza, Les modèles mentaux : approche cognitive des représentations. Masson, Paris. 121-141.
- Cendrowska J. 1987. An algorithm for inducing modular rules. *International Journal of Man-Machine Studies*. 27(4). 349-370.
- Chaib-draa B. 2002. Causal Maps, Theory, Implementation and Practical Applications in Multiagent Environments. *IEEE, Transactions on Knowledge and data engineering*. 14(6). 1-17.
- Charoenmuang T. 1994. The governance of water allocation problems in Thailand - four case studies from the upper northern region. T. D. R. Institute, Water conflicts. Natural resources and environment program, TDRI, Queen's University, Canada. Bangkok. 111-147.

- Chavalarias D. 2003. Human's Meta-cognitive Capacities and Endogenization of Mimetic Rules in Multi-Agents Models. First Conference of the European Social Simulation Association. Groningen, The Netherlands. 18-21/09/2003.
- Chevallier P. 1983. L'indice de précipitations antérieures. Evaluation de l'humectation des sols des bassins versants représentatifs. Cahier ORSTOM, série Hydrologie. 20(3,4). 179-190.
- Chiangthong J. 2003. The politics of ethnicity, indigenous culture and knowledge in Thailand, Vietnam and Lao PDR. Social Challenges for the Mekong Region. Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand. 147-172.
- Cibran M. A., d'Hondt M. et Jonckers V. 2003. Aspect-oriented programming for connecting business rules. 6th International Conference on Business information systems (BIS'03), Colorado Springs, USA. 10-12 June 2003.
- Clouet Y. 2001. Représentations mentales et spatiales des acteurs : délégation de Memzel Bouzayenne en Tunisie. S. Lardon, P. Maurel and V. Piveteau, Représentations spatiales et développement territorial. Hermes, Paris. 319-342.
- Cockes et Ive 1996. Mediation support for forest land allocation: the SIRO-MED system. Environmental management. 20. 41-52.
- Conte R. 2000. *The Necessity of Intelligent Agents for Social Simulation*. G. Ballot and G. Weisbuch Applications of Simulation to Social Sciences., Hermes. Paris.
- Conte R. et Castelfranchi C. 1995. Norms as mental objects, from normative beliefs to normative goals. C. Castelfranchi and J.-P. Muller From reaction to cognition, Springer. 186-196.
- Conte R. et Paolucci M. 2001. Intelligent Social Learning. Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 4(1). Online: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/4/1/3.html>.
- Cooper O. 1984. Resource scarcity and the Hmong response: patterns of settlement and economy in transition. Singapore, Singapore University Press.
- Costanza R. et Ruth M. 1996. Dynamic Systems Modelling for Scoping and Consensus Building. U. o. Versailles European Chapter of the International Society for Ecological Economics. Paris, France.
- Costanza R. et Ruth M. 1998. Using dynamic modelling to scope environmental problems and build consensus. Environmental Management. 22(2). 183-195.
- Craik K. 1943. The nature of explanation. Cambridge (UK), Cambridge University Press.
- Croke B. F., Merritt W. S. et Jakeman A. J. 2004. A dynamic model for predicting hydrological response to land cover changes in gauged and ungauged catchments. Journal of Hydrology. 291. 115-131.
- Crozier M. et Friedberg E. 1977. L'acteur et le système. Paris, Seuil.
- d'Aquino P., Le Page C., Bousquet F. et Bah A. 2002. A novel mediating participatory modelling: the "self-design" process to accompany collective decision making. International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology. 12(1). 59-14.
- d'Aquino P., Le Page C., Bousquet F. et Bah A. 2003. Using self-designed role-playing games and a multi-agent system to empower a local decision-making process for land use management: The SelfCormas experiment in Senegal. Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 6(3).
- Daré W. 2005. Comportements des acteurs dans le jeu et dans la réalité: indépendance ou correspondance ? Analyse sociologique de l'utilisation de jeux de rôles en aide à la concertation pour la gestion de l'eau (vallée du fleuve Sénégal). Thèse de Doctorat. Engref, Paris (France).
- Daré W. et Barreteau O. 2003. A role-playing game in irrigated system negotiation: between play and reality. Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 6(3).
- Daré W., Richard A. et Barreteau O. p.c. Regards sociologiques sur la modélisation d'accompagnement : la légitimité en question.
- Davenport T. H. et Prusak L. 1998. Working Knowledge: How Organisations Manage What They Know. Boston, MA, Harvard Business School Press.
- De Lamater J. 1982. Response-effects of question content. W. Dijkstra and J. van der Zouwen, Response behaviour in the survey interview. Academic Press, London.

- Dearden P., J., Schlager E. et Gimblett R. 2000. Simulating common pool resource management experiments with adaptive agents employing alternate communication routines. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 3(2).
- Debenham J. 1998. Knowledge Engineering: Unifying Knowledge Base and Database Design, Springer-Verlag.
- DEKARTES 1998. PROPICE Development Environment Version 2.0.0 info documentation. Documentation.
- Delang C. O. 2002. Deforestation in Northern Thailand: The result of Hmong Farming Practices or Thai Development Strategies? *Society and Resources*. 15. 483-501.
- Denis M. et Vega (de) M. 1993. Modèles mentaux et imagerie mentale. M. F. Ehrlich, H. Tardieu and M. Cavazza, Les modèles mentaux, approches cognitives des représentations. Masson, Paris.
- Department_of_Energy Hydrological data from Mae Khan and Mae Sap rivers (1988, 1993-1995, 1998), Department of Energy of Thailand.
- Department_of_Hydrology Hydrological data from Mae Khan Nua and Mae Sap Tai rivers (2000-2003), Department of Hydrology, Mae Rim office, Chiang Mai Province, Thailand.
- Descola P. 1996. Constructing natures: symbolic ecology and social practice. P. Descola and G. Palsson, Nature and Society: anthropological perspectives. Routledge, London. 82-102.
- Doorenboos J. et Kassam A. H. 1979 Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper 33(Food and Agriculture Organisation of the United Nations)
- Dorel G. 1997. Cartes et croquis en géographie. Colloque de Clermont-Ferrand sur la cartographie,. Clermont-Ferrand. 26 novembre 1997.
- Downs R. M. et Stea D. 1973. Cognitive Maps and Spatial Behaviour: Process and Products. R. M. Downs and D. Stea, Image and Environment: Cognitive Mapping and Spatial Behaviour. Aldine, Chicago. 8-26.
- Downs R. M. et Stea D. 1977. Maps in Minds: Reflections on Cognitive Mapping. New York, Harper and Row.
- Dray A., Perez P., Jones N., Le Page C., d'Aquino P., White I. et Auatabu T. 2006. The AtollGame Experience: from Knowledge Engineering to a Computer-Assisted Role Playing Game. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 9(1). Online: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/9/1/6.html>.
- Drogoul A. et Ferber J. 1994. Multi-agent simulations as a tool for studying emergent processes in societies. J. E. Doran and N. Gilbert, Simulating societies. UCL Press. 127-142.
- Ducrot R., Le Page C., Bommel P. et Kuper M. 2004. Articulating land and water dynamics with urbanization: an attempt to model natural resources management at the urban edge. *Computers, Environment and Urban Systems*. 28(1). 85-106.
- Easterbrook S. M. 1991. Handling conflict between domain descriptions with computer-supported negotiation. *Knowledge acquisition*. 3. 255-289.
- Easterbrook S. M. 1992. Domain Hierarchies of Alternative Viewpoints. *IEEE intelligent system requirements engineering* 1993. 65-72.
- Eden C., Ackermann F. et Cropper S. 1992. The analysis of cause maps. *Journal of Management Studies*. 29. 309-324.
- Edkins A. 1998. A cognitive approach to exploring the management of the design process. London, University College London: 22.
- Edmonds B. 1998. On Modelling in Memetics. *Journal of Memetics - Evolutionary Models of Information Transmission*. 2.
- Ehlinger S. 1996. L'approche socio-cognitive de la formation de la stratégie: apports théoriques et méthodologiques. Atlantic Institute for Market Studies Conference. Montréal.
- Ehret B. D., Gray W. D. et Kirschenbaum S. S. 2000. Contending with complexity: Developing and using a scaled world in applied cognitive research. *Human Factors*. 42(1). 8-23.

- El-Shaarawi A. et Piegorisch W. W. 2002. Encyclopedia of Environmetrics. Chichester, J. Wiley & Sons. 4 vols.
- Engels R. et Bremdal B. 2000. Information extraction: state-of-the-art report, deliverable 5 of the EU 5th framework Project OnToKnowledge (IST-1999-10132), CognIT a.s.
- Epstein J. M. et Axtell R. 1996. Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up, Brookings Press and MIT Press.
- ESSC et CBFMO 1998. Community mapping manual for resource management, Environment science for social change. Manila, Geba Press, Environmental Science for Social Change and Community Based Forest Management Office. Department of Environment and Natural Resource of the Philippines.
- Etienne M., Le Page C. et Cohen M. 2003. A Step-by-step approach to building land management scenarios based on multiple viewpoints on multi-agent system simulations. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 6(2).
- FAO 2005. Evaluation du bilan en éléments nutritifs du sol : Approches et méthodologies. *Bulletin FAO: Engrais et Nutrition végétale*. 14.
- Felfernig A., Friedrich G. et Jannach D. 2001. Conceptual modeling for configuration of mass-customizable products. *Artificial Intelligence in Engineering*. 15(2). 165-176.
- Ferber J. 1995. Les Systèmes Multi-Agents : Vers une intelligence collective. Paris, InterEditions.
- Ferber J. et Guérin V. 2003. Représentations et simulation : de la modélisation à la mise en situation. Le statut épistémologique de la simulation: 10ème journées de Rochebrune: rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels, Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications. Rochebrune. 26 janvier au 3 février 2003.
- Ferber J. et Gutknecht O. 1998. A meta-model for the analysis and design of organizations in multi-agents systems. Y. Demazeau ICMAS'98, IEEE Computer Society. Paris. 128-135.
- Ferrand N. 1997. Modèles multi-agents pour l'aide à la décision et la négociation en aménagement du territoire. Thèse de doctorat. Université Joseph Fourier de Grenoble, Grenoble (France).
- Fiol C. M. et Huff A. S. 1992. Maps for managers: Where are we? Where do we go from here? *Journal of Management Studies*. 29. 267-285.
- Ford D. N. et Serman J. D. 1997. Expert knowledge elicitation to improve mental and formal models, May 1997.
- Fox J. 1998. Mapping the commons: the social context of spatial information technologies. *The Common Property Resource Digest*. Quarterly Publication of the International Association for the Study of Common Property. 45. 1-4.
- Fox J., Truong D. M., Rambo A. T., Tuyen N. P., Cuc L. T. et Leisz S. 2000. Shifting Cultivation: A New Paradigm for Managing Tropical Forests. *BioScience*. 50(6). 521-528.
- Friedberg C. 1992. Représentation, classification : comment l'homme pense ses rapports au milieu naturel. M. Jollivet, Sciences de la nature, sciences de la culture. Editions du CNRS. 357-371.
- Gaines B. R. 1998. The Emergence of Knowledge through Modeling and Management Processes in Societies of Adaptive Agents. 10th Knowledge Acquisition Workshop. Banff, Alberta. 1-13.
- Gaines B. R. 2000. Knowledge science and technology: Operationalizing the Enlightenment. P. Compton, A. Hoffmann, H. Motoda and T. Yamaguchi Proceedings of the 6th Pacific Knowledge Acquisition Workshop. Sydney. December 11-13 2000. 97-124.
- Gaines B. R. et Shaw M. L. G. 1989. Comparing the Conceptual Systems of Experts. *IJCAI '89*. 633-638.
- Gaines B. R. et Shaw M. L. G. 1993. Eliciting knowledge and transferring it effectively to knowledge-based system. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. 5(1). 4-14.
- Galloin J. F. 1988. Transfert des connaissances, systèmes experts : techniques et méthodes. Paris, Eyrolles.

- Gatherer D. 2002. Identifying cases of social contagion using memetic isolation: comparison of the dynamics of a multisociety simulation with an ethnographic data set. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 5(4). Online: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/5/4/5.html>.
- Geertz C. 1996. *Religion as a Cultural System*. M. Banton, Anthropological approaches to the study of religion. Association of social anthropologists. Tavistock, London.
- Gensel J. 1995a. Contraintes et représentation de connaissances par objets: application au modèle TROPES. PhD, Laboratoire LIFIA-IMAG. Spécialité Informatique. Grenoble 1, Grenoble. 295 p.
- Gensel J. 1995b. Integrating constraints in an object-based knowledge representation system. *Lecture Notes in Computer Science*. 923. 67-77.
- Gigerenzer G. et Todd P. T. 1999. Simple Heuristics That Make Us Smart. Evolution and Cognition Series, Oxford University.
- Gilbert N. 1995. Simulation : an emergent perspective. Conference on New Technologies in the Social Sciences. Bournemouth, UK.
- Gilbert N., Pyka A. et Ahrweiler P. 2001. Innovation Networks - A Simulation Approach. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 4(3).
- Giroto V. 1993. Modèles mentaux et raisonnement. M. F. Ehrlich, H. Tardieu and M. Cavazza, Les modèles mentaux : approche cognitive des représentations. Masson, Paris. 79-99.
- Glaser N. 1997. The CoMoMAS approach: from conceptual models to executable code. MAAMAW'97. Ronneby, Sweden.
- Gonzalez R. 2000. Platforms and terraces : bridging participation and GIS in joint-learning for watershed management with the Ifugaos of the Philippines. PhD Thesis. Wageningen University.
- Gottesdiener E. 1999. Turning rules into requirements. *Application Development Trends*. 1999(July).
- Graham I. 2001. Object oriented methods principles, products and practices, Addison Wesley.
- Gray W. D. et Anderson J. R. 1987. Change-Episodes in Coding: When and How Do Programmers Change Their Code? G. N. Olson, S. Sheppard and E. Soloway Second Workshop on Empirical Studies of Programmers, Ablex. Norwood. 185-197.
- Gray W. D. et Kirschenbaum S. S. 2000. Analyzing a novel expertise: An unmarked road. J. M. C. Schraagen, S. F. Chipman and V. L. Shalin, Cognitive task analysis. Erlbaum, Mahwah, NJ. 275-290.
- Gurung T. 2004. Use of multi-agent simulation to improve irrigation water-sharing in Lingmuteychu watershed (Bhutan). Master of Science in Agricultural Systems. Chiang-Mai University, Chiang-Mai (Thailand).
- Happe K., Balmann A. et Kellermann K. 2003. Agent-based agricultural policy analysis with AgriPoliS. Proceedings of the 8th Annual Workshop on Economics with Heterogeneous Interacting Agents. Kiel. 29.-31.05.2003.
- Hayes-Roth F., Waterman D. A. et Lenat D. B. 1983. Building Expert Systems. Reading, Massachusetts, Addison-Wesley.
- Heathcote I. W. 1998. Integrated Watershed Management: Principles and Practice. Toronto, John Wiley and Sons, Inc.: 424.
- Hénin S., Monnier G. et Turc L. 1959. Un aspect de la dynamique des matières organiques du sol. *Compte rendu de l'académie des sciences française*. 248. 138-141.
- Heylighen F. 1991. Structuring Knowledge in a Network of Concepts. F. Heylighen, Workbook of the 1st Principia Cybernetica Workshop. Principia Cybernetica, Brussels-New York. 52-58.
- Hoffman R. R. 1987 The problem of extracting the knowledge of experts from the perspective of experimental psychology. *Artificial Intelligence Magazine*
- Hornborg A. 1996. Ecology as semiotics: Outlines of a contextualist paradigm for human ecology. P. Descola and G. Palsson, Nature and Society: Anthropological Perspectives. Routledge, London. 45-62.

- Hreiche A. 2001. Modélisation conceptuelle "à réservoirs" du transfert pluie-débit en climat méditerranéen. Flow Regimes from International Experimental and Network Data, UNESCO.
- Hu J. et Weliman M. P. 2001. Learning about other agents in a dynamic multiagent system. *Cognitive Systems Research*. 2. 67-79.
- Hui K., Chalmers S., Gray P. et Preece A. 2003. Experience in using RDF in agent-mediated knowledge architectures. L. van Elst, V. Dignum and A. Abecker Agent-mediated knowledge management (2003 AAAI spring symposium), AAAI Press. 82-89.
- Huigen M. 2004. First principles of the MameLuke multi-actor modelling framework for land use change, illustrated with a Philippine case study. *Journal of Environmental Management*. 72(1-2). 5-21.
- Hutchins E. 1999. Mental models as an instrument for bounded rationality. Dahlem workshop on bounded rationality: the adaptive toolbox. May 18 1999.
- Iglesias C. A., Garijo M., Centeno-González J. et Velasco J. R. 1997. Analysis and design of multiagent systems using MAS-CommonKADS. Proceedings of the 4th International Workshop on Intelligent Agents IV, Agent Theories, Architectures and Languages. 24-26 July 1997. 313-327.
- Iglesias C. A., Garijo M., González J. C. et Velasco J. R. 1996. A methodological proposal for multiagent systems development extending CommonKADS. B. R. Gaines and M. Musen 10th Banff Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems Workshop. Banff, Canada. November 1996. 1-17.
- IIASA 1999. Cleaner air for a cleaner future: controlling transboundary air pollution, International Institute for Applied System Analysis.
- ITAD 2000. Training in Project Cycle Management for FAO.
- Jacobson I., Christerson M., Jonsson P. et Overgard G. 1998. Object Oriented Software Engineering - A use case driver approach, Addison Wesley.
- Jager W. 2000. Modelling consumer behaviour. PhD thesis. University of Groningen.
- Jager W. et Janssen M. A. 2003. The need for and development of behaviourally realistic agents. *Lecture Notes in Artificial Intelligence*. 2581. 36-49.
- Jager W., Janssen M. A. et Vlek D. A. J. 1999. Consumats in a commons dilemma: Testing the behavioural rules of simulated consumers COV report no. 99-01. Groningen, Centre for Environment and Traffic Psychology, University of Groningen.
- Jakeman A. J. et Letcher R. A. 2003a. Integrated assessment and modelling: features, principles and examples for catchment management. *Environmental Modelling & Software*. 18. 491-501.
- Jakeman A. J. et Letcher R. A. 2003b. Integrated Assessment and Modelling: Features, Principles and Examples for Catchment Management. *Environmental Modelling and Software*. 18. 491-501.
- Janssen M. A. 2002. Changing the rules of the game: lessons from immunology and linguistics for self-organization of institutions. M. A. Janssen, Complexity and Ecosystem Management: The Theory and Practice of Multi-Agent Systems. Edward Elgar Publishing, Cheltenham, U.K. / Northampton, Mass. 35-47.
- Janssen M. A. et Jager W. 1999. An integrated approach to simulating behavioural processes: A case study of the lock-in of consumption patterns. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 2(2). Online: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/2/2/2.html>.
- Janssen M. A. et Jager W. 2001a. The costs of decision making: Evolving use of cognitive strategies of agents in complex environments. *Simsoc 5: "Frontiers in Social Sciences Simulations"*. Kazimierz Dolny (Poland). September 21-23, 2001.
- Janssen M. A. et Jager W. 2001b. Fashions, habits and changing preferences: simulation of psychological factors affecting market dynamics. *Journal of Economic Psychology*. 22. 745-772.
- Johnson-Laird 1983. Mental Models: Towards a cognitive science of language, inference and consciousness. Cambridge, Cambridge University Press.

- Kanok R. et Benjavan R. 1994. *Shifting Cultivation in Thailand: its Current Situation and Dynamics in the Context of Highland Development*. London, International Institute for Environment and Development.
- Kelly G. A. 1955. The psychology of personal constructs. New York, Norton.
- Kozlack J., Demazeau Y. et Bousquet F. 1999. Multi-Agent system to model the Fishbank play process. CEEMAS. Varsovia (Poland).
- Krairapanond N. et Atkinson A. 1998. Watershed management in Thailand: Concepts, problems and implementation. *Regulated rivers: research and management*. 14. 485-498.
- Kremer R. 1995. The Design of a Concept Mapping Environment for Knowledge Acquisition and Knowledge Representation. Banff Knowledge Acquisition Workshop. Banff, Alberta.
- La France M. 1987. The knowledge acquisition grid: a method for training knowledge engineers. *International Journal of Man-Machine Studies*. 26. 245-255.
- Lacombe G., Bousquet F., Kuper M., Boonmun C., Phupak S., Naivinit W., Vejpas C. et Trébuil G. 2005. How farmers can manage variability in the rice ecosystem of northeast Thailand? The contribution of agent-based modelling. V. Kachitivichyanukul, U. Purintrapidan and P. Utayopas SIMMOD 2005, Simulation and modelling: integrating sciences and technology for effective resource management. Bangkok (Thailand). 17-19 January 2005. 345-352.
- Lapassade G. 1991. L'ethnosociologie. Paris, Klincksieck.
- Laperrière V. 2004. Modélisation multi-agents du changement de pratiques viticoles. Mémoire de DEA Structures et Dynamiques Spatiales. Université Joseph Fourier, Grenoble (France).
- Laukkanen M. 2000. Cognitive maps of entrepreneurship, describing policy makers subjectivity. ICSB World Conference. Brisbane, Australia. June 7-10, 2000. 20.
- Lauriol J. 1994. Approches cognitives de la décision et représentation sociale. *Revue Internationale de Systémique*. 8(2). 139-166.
- Lauriol J. 1995. Approches cognitives de la décision et concepts de représentation sociale. A. Noël, P. Véry and M. Wissler, Perspectives en management stratégique, vol. 3. Economica, Paris. 425-454.
- Le Bars M., Attonaty J.-M. et Pinson S. 2002. An agent-based simulation for water sharing between different users. Proceedings of the first international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems: part 1, ACM Press. Bologna, Italy.
- Le Goulven P., Bachta M. S., Le Grusse P. et Luc J. P. 2003. Gestion du bassin du Merguellil (Tunisie) - Dynamiques ressources-usages autour de l'ensemble d'El Haouareb - Interactions et modélisations à différentes échelles. S. Bouarfa, P. Le Goulven and M. Kuper PCSI 2003 : La gestion intégrée de l'eau au sein d'un bassin versant. Montpellier (France). Décembre 2003. 12.
- Lenat D. et Guha R. 1990. Building Large Knowledge Based Systems: Representation and Inference in the Cyc Project. Reading, Massachusetts, Addison-Wesley.
- Lépy N. 1997. Expertise et acquisition des connaissances en Intelligence Artificielle. SPI'97. Rennes, France. June 1997.
- Letcher R. A., Croke B. F., Jakeman A. J., Merritt W. S. et Perez P. 2002. IWRAM: an integrated modelling toolbox for considering impacts of development and land use change in Northern Thailand. A. E. Rizzoli and A. J. Jakeman Proceedings of the International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs). Lugano, Switzerland. 24-27 June 2002. 97-102.
- Lincoln Y. S. et Guba E. G. 1985. Naturalistic inquiry. Beverly Hills, CA, Sage.
- Lukose D. et Kremer R. 1996. Knowledge Engineering, Part A: knowledge representation, UNE, Armidale.
- Magee K. 1987. The elicitation of knowledge from designers. *Design Studies*. 8(2). 62-69.
- Maniezzo V., Morpurgo R. et Mussi S. 1993. D-kat: a Deep Knowledge Acquisition Tool. *Expert Systems*. 10(3). 157-165.

- Mao J.-Y. et Benbasat I. 2000. The Use of Explanations in Knowledge-Based Systems: Cognitive Perspectives and a Process-Tracing Analysis. *Journal of Management Information Systems*. 17(2). 153-180.
- Mathevet R., Bousquet F., Le Page C. et Antona M. 2003. Agent-based simulations of interactions between duck population, farming decisions and leasing of hunting rights in the Camargue (Southern France). *Ecological Modelling*. 165. 107-126.
- Maton L. 2001. La dynamique du comportement des viticulteurs du bassin versant de l'Orb. Mémoire de DEA Economie de l'environnement et des ressources naturelles. Paris, INA-PG: 141.
- Maurel P. 2001. Les représentations spatiales : concepts de base et éléments de typologie. S. Lardon, P. Maurel and V. Piveteau, Représentations spatiales et développement territorial. Hermes, Paris. 75-108.
- McGraw K. et Harbison-Grigg K. 1989. Knowledge acquisition principles and guidelines. New York, Prentice-Hall.
- McKinnon J. 2005. Mobile interactive GIS: bringing indigenous knowledge and scientific information together. A narrative account. A. Neef, Participatory approaches for Sustainable Land Use in Southeast Asia. White Lotus, Bangkok, Thaïlande. 217-231.
- Menzies T. 1996. Assessing Responses to Situated Cognition. KAW '96, Knowledge Acquisition Workshop. Banff. 21 September 1996.
- Menzies T. 2000. Knowledge elicitation: the state of the art. *Handbook of Software Engineering and Knowledge Engineering*. 2.
- Mermet L. 1991. Participation, strategies and ethics: Roles of people in wetland management. *Landscape Urban Ecol*. 20(1-3). 231-237.
- Mermet L. 1992. Stratégies pour la gestion de l'environnement. Paris, France, L'Harmattan.
- Merritt W. S., Croke B. F. et Jakeman A. J. 2005. Sensitivity testing of a model for exploring water resources utilisation and management options. *Environmental Modelling & Software*. 20(8). 1013-1030.
- Mesny A. 1991. Les sciences de l'administration : une discipline pluri-paradigmatique ? Mémoire de MSC. Université de Laval, Québec.
- Milton N., Shadbolt N. R., Cottam H. et Hammersley M. 1999. Towards a knowledge technology for knowledge management. *International journal of human-computer studies*. 53(3). 61-65.
- Minar N., Burkhart R., Langton C. et Askenazi M. 1996. The Swarm simulation system : a toolkit for building multi-agent simulations. Technical Report, Santa Fe Institute: 11.
- Minsky M. 1975. A framework for representing knowledge. P. Winston, The Psychology of Computer Vision. McGraw Hill, New York.
- Molle F. 2003a. Development trajectories of river basins: a conceptual framework. Research Report 72. Colombo, Sri Lanka, IWMI International Water Management Institute: 33.
- Molle F. 2003b. Technical and Institutional Responses to Basin Closure in the Chao Phraya River Basin, Thailand. 3rd conference of the international water history association. Alexandria, Egypt. December 11-14 2003.
- Moscovici S. 1973. Introduction à la psychologie sociale. Paris, Larousse Université. 2: 363.
- Moscovici S. 1976. Social influence and social change. London, Academic Press.
- Moscovici S. 2001. Social representations: explorations in social psychology. New York, New York University press.
- Murray P. C. 1998. Technologies, techniques, and disciplines in knowledge management. K. Metazine, New language for new leverage: the terminology of knowledge management.
- Murray-Prior R. 1998. Modelling farmer behaviour: a personal construct theory interpretation of hierarchical decision models. *Agricultural Systems*. 57(4). 541-556.
- Neef A., Bollen A., Sangkapitux C., Chamsai L. et Elstner P. 2004. Can local communities manage water resources sustainably? Evidence from the Northern Thai highlands. ISCO 2004, 13th International Soil Conservation Organisation Conference. Brisbane. July 2004.
- Newell A. 1980. Physical symbol systems. *Cognitive Science in Industry*. 4(2). 135-183.
- Newell A. 1982. The Knowledge Level. *Artificial Intelligence*. 18. 87-127.

- Newell A., Shaw J. C. et Simon H. A. 1957. Problem solving in humans and computers. *Carnegie technical*. 21(4). 35-38.
- Newell A. et Simon H. A. 1956. The logic theory machine. *Transactions on Information theory*. 2(3). 61-79.
- Newell A. et Simon H. A. 1972. Human Problem Solving. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall.
- Niemeyer S. et Spash C. L. 2001. Environmental valuation analysis, public deliberation, and their pragmatic syntheses: a critical appraisal. *Environment and Planning C: Government and Policy*. 19. 567-585.
- O'Connoer M. et Spash C. L. 1999. Valuation and the environment: theory, method and practice. Cheltenham, U.K., Edward Elgar.
- Odell J. 1998. Advanced Object-Oriented Analysis and Design Using UML. New York, NY, U.S.A., Cambridge University Press: 264.
- Olivier de Sardan J.-P. 1995. La politique du terrain. Sur la production des données en anthropologie. *Enquête*. 1. 73-74.
- Ostrom E. 2000. Collective Action and the Evolution of Social Norms. *The Journal of Economic Perspectives*. 14(3). 137-158.
- Ostrom E., Gardner R. et Walker J. 1994. Rules, games and common pool resources, The university of Michigan Press.
- Oxford 1990. Knowledge and knowledge engineering.
- Paquin L.-C. et Dupuy L. 1995. An Approach to Expertise Transfer: Computer-Assisted Text Analysis. K. Schmidt, Content, Concepts, Meaning. Advances in Computing and the Humanities, vol. 3. JAI Press, Greenwich. 17-28.
- Paquin L.-C., Dupuy L. et Rochon Y. 1990. Analyse de texte et acquisition des connaissances: aspects méthodologiques. *Intelligence Artificielle et Sciences Cognitives au Québec*. 2(3). 95-113.
- Parker D. C., Manson S., M., Janssen M. A., Hoffmann M. J. et Deadman P. J. 2003. Multi-Agent Systems for the simulation of Land-Use and Land-Cover change: a review. *Annals of the Association of American Geographers*. Forthcoming.
- Pennanguer S., Tartarin F., Beuret J.-E. et Fontenelle G. 2003. Logiques d'acteurs et concertation en gestion de la zone côtière : le cas de la baie du Mont Saint-Michel. 71ème congrès de l'Acfas, colloque "Territorialité, espace et droits d'usages dans le domaine marin". Rimouski, Québec. 19-23 mai 2003.
- Perez P., Ardlie N., Kuneepong P., Dietrich C. et Merritt W. S. 2002. CATCHCROP: modeling crop yield and water demand for integrated catchment assessment in Northern Thailand. *Environmental Modelling & Software*. 17(3). 251-259.
- Perez P., Dray A., Le Page C., d'Aquino P. et White I. 2004. Lagoon, Agents and Kava: a Companion Modelling Experience in the Pacific. B. J. Dijkum C. Van, Kleijer H, Hilten B. Van Recent Developments and Applications in Social Research Methodology: Proc. of the 6th International Conference on Logic and Methodology, RC33, SISWO, NI. Amsterdam, Netherlands. 17-20 Aug 2004.
- Piaget J. 1947. La psychologie de l'intelligence. Paris, Armand colin.
- Piaget J. 1971. Science of education and the psychology of the child. New York, Viking Press.
- Piaget J. 2003. La représentation du monde chez l'enfant. Paris, Puf: 336.
- Pinkaew L. 1998. The ambiguity of Watershed: The Politics of People and Conservation in Northern Thailand- A Case study of the Chom Thong Conflict., Department of Anthropology. University of Washington, Seattle.
- Portmann M.-M. et Easterbrook S. M. 1992. PMI: Knowledge Elicitation and De Bono's Thinking Tools. *Lecture Notes in Computer Science*. 599. 264-282.
- Pouget J. C., Bellaubi F., De Sa A., Habib Z. et Le Goulven P. 2003. Un environnement de modélisation pour tester l'allocation de ressources en eau - HyD2002 et ses applications. P. Le Goulven, S. Bouarfa and M. Kuper PCSI 2003: Gestion intégrée de l'eau au sein d'un bassin versant, CEMAGREF-CIRAD-IRD. Montpellier, France. 3 Decembre 2003. (CD Rom, ISBN: 2-87614-591-X).

- Prabudhanitisarn P., Itthirunwong P., Wattanapinyo A. et Wonweerapant N. 2002a. Social, cultural and political dimension of sustainable land use and natural resource management at a community level: A case of Song Watershed, Phrae province, Thailand. TUCED-SLUSE, In Joint Interdisciplinary Research Project #1: Song Watershed. Thailand.
- Prabudhanitisarn S., Itthirunwong P., Wattanapinyo A. et Wonweerapant N. 2002b. Social Cultural and Political Dimensions of Sustainable Land Use and Natural Resource Management at a Community Level: A Case of Song Watershed. C. H. Trayno, S. Prabudhanitisarn, P. Oksen, S. Dontree and C. Saarnak, Problems of sustainable land use and natural resource management in a community at Song watershed, Phrae province, Thailand. DUCED-SLUSE. 231-264.
- Prachasuksanti P. 2005. Importance of farmers' behaviour in agriculture and local resource management: the case study of Mae La Ngun sub-catchment (Northern Thailand). Master Thesis, Farm Management Institute. Hohenheim University, Stuttgart, Germany.
- Promburom P. 2004. Participatory Multi-agent Systems Modelling for Collective Watershed Management: The use of role-playing games. International Environmental Modelling and Software Society iEMSs 2004 International Conference: Complexity and integrated resources management, University of Osnabrück. Osnabrück (Germany). 14-17 June 2004.
- Puginier O. 2005. Planning, participation and policy: tools and experiences in the northern highlands of Thailand with hill tribe farming systems. A. Neef, Participatory approaches for Sustainable Land Use in Southeast Asia. White Lotus, Bangkok, Thailand. 233-250.
- Ramdaldi G. et Callosa-Tarr C. 2005. Participatory 3-D modelling: bridging the gap between communities and GIS technology. A. Neef, Participatory approaches for Sustainable Land Use in Southeast Asia. White Lotus, Bangkok, Thailand. 205-216.
- Rao A. S. et Georgeff M. P. 1995. BDI agents: from theory to practice. V. Lesser Proceedings of ICMAS'95, MIT Press. Cambridge.
- Reinert M. 1998. Quel objet pour une analyse statistique du discours ? Quelques réflexions à propos de la réponse Alceste. 4ème journées JADT.
- Rialle V. 1990. Contribution à la définition du profil de cogniticien: caractéristiques fonctionnelles, savoir et savoir-faire dans l'élaboration d'une base de connaissances. APPLICA 90 : Second Cong. Europ. Multi-média, Intelligence Artificielle et Formation. Lille, France. 24-26/9/1990.
- Richard-Ferrouddji A. 2003. Vers l'institutionnalisation d'une " gouvernance de bassin " ? Le cas du bassin versant de l'Orb. S. Bouarfa, P. Le Goulven and M. Kuper PCSI 2003 : La gestion intégrée de l'eau au sein d'un bassin versant. Montpellier (France). 7.
- Rigg J. 1995. Counting the Costs: Economic Grow and Environmental Change in Thailand. Singapore, Institute of Southeast Asian Studies.
- Rodhain F. 1999. Tacit to Explicit: Transforming Knowledge Through Cognitive Mapping - An Experiment. ACM SIGCPR Conference. New-Orleans, Louisiana, USA. 8-10 April 1999. 51-56.
- Rodríguez C. A. et Hammen M. C. 1999. Non timber forest products and indigenous management of the forest in the middle Caquetá river: complementary and new options. NTFP research in the Tropenbos programme: results and perspectives. 28 January 1999.
- Rogers E. M. 1995. Diffusion of Innovations. New York, The Free Press.
- Ross H. et Abel N. 1998. Eliciting mental models of landscape processes : the transect method. Conference at the University of Sydney. Sydney. 3-6 December.
- Rouchier J., Bousquet F., Barreteau O., Le Page C. et Bonnefoy J.-L. 2000. Multi-Agent modelling and renewable resources issues: the relevance of shared representations for interacting agents. S. Moss and P. Davidsson, Multi-Agent-Based Simulation. Springer. 181-197.
- Rouchier J., Bousquet F., Requier-Desjardins M. et Antona M. 2001. A multi-agent model for describing transhumance in North Cameroon: Comparison of different rationality to develop a routine. Journal of Economic Dynamics and Control. 25. 527-559.

- Rousseau L. 2003. Comparaison de points de vue pour la formulation de problèmes. Thèse de doctorat. Université Paris Dauphine, Paris.
- Roussel O., Bourmeau E. et Walter C. 2001. Évaluation du déficit en matière organique des sols français et des besoins potentiel en amendements organiques. *Etude et gestion des sols*. 8(1).
- Roy E. F. 1996. The cognitive geometry of nature: a contextual approach. P. Descola and G. Palsson, Nature and Society: anthropological perspectives. Routledge, London. 103-123.
- Ruf T. 1994. Dynamiques de l'utilisation de l'eau dans l'agriculture andine : la gestion ancienne et actuelle des ressources hydriques à Urcuquí (nord de l'Equateur). Colloque Recherche pour une agriculture tropicale viable à long terme, Comptes rendus de l'Académie d'agriculture de France. Paris. 19 octobre 1994. 87-104.
- Rutherford J. 2003. Institutions, impacts and responses in the agrarian transformation of the mountains of Northern Thailand. P. R. Lijiang, C. X. Jianchu and S. Mikesell *Landscapes of diversity: indigenous knowledge, sustainable livelihoods and resource governance in montane mainland southeast Asia*. Proceedings of the III Symposium on MMSEA, Kunming: Yunnan Science and Technology Press. 25-28 August 2002. 55-78.
- Salem A. 1993. Méthodes de la statistique textuelle. Thèse de doctorat d'Etat. Université Paris III, Paris.
- Saxena K. G., Rao K. S., Sen K. K., Maikhuri R. K. et Semwal R. L. 2001. Integrated natural resource management: approaches and lessons from the Himalaya. *Conservation Ecology*. 5(2). Online: <http://www.consecol.org/vol5/iss2/art14/>.
- Scoccimarro M. et Walker A. 1999. Agricultural intensification and emerging water resource constraints: a case study from northern Thailand.
- Searle J. R. 1997. The Mystery of Consciousness. New York, The New York Review of Books: 224.
- Sebillotte M. et Soler L.-G. 1990. Les processus de décision des agriculteurs. J.-L. Le Moigne, Modélisation systémique et système agricole: décision et organisation. INRA, Paris. 93-117.
- Sébillotte M. et Soler L.-G. 1990. Les processus de décision des agriculteurs. J. Brossier, B. Vissac and J.-L. Le Moigne, Modélisation systémique et système agricole: décision et organisation. INRA, Paris. 93-117.
- Shadbolt N. R. et Milton N. 1999. From Knowledge Engineering to Knowledge Management. *British Journal of Management*. 10(4). 309-322.
- Shadbolt N. R. et O'Hara K. 1997. Model-Based Expert Systems and the Explanation of Expertise. P. J. Felton, K. Ford and R. R. Hoffman, Expertise in Context. AAI Press / MIT Press, Menlo Park, CA.
- Shapiro J. J. et Hughes S. K. 1999. The personal meaning scheme as principle of information ordering: postmodernisme, transdisciplinarity, and the ontology of classification. ACH-ALLC'99. Virginia.
- Shaw M. L. G. et Gaines B. R. 1988. A methodology for recognizing consensus, correspondence, conflict and contrasts in a knowledge acquisition system. J. H. Boose and B. R. Gaines Third AAI Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems Workshop. Banff. November 1988. 1-30.
- Shaw M. L. G. et Gaines B. R. 1992. Repgrid-net: Combining Conceptual Modeling with Electronic Mail to Provide Decision Support. 7th Banff Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems Workshop. Banff, Canada. 1-24.
- Simon H. A. 1955. A behavioral model of rational choice. *Quarterly Journal of Economics*. 69. 99-118.
- Simon H. A. 1957. Administration Behaviour : Study making processive in Administrative Organization. New York, New York: Macmillan: 322.
- Simon H. A. 1984. Computer science as empirical inquiry : symbols and search. J. Haugeland, Mind design.

- Smith J. A., Harré R. et Van Langenhove L. 1995. Idiography and the case-study. J. A. Smith, R. Harré and L. Van Langenhove, Rethinking psychology. SAGE Publications, London. 59-69.
- Smith M. 1992. CROPWAT - a computer program for irrigation planning. FAO Irrigation and Drainage Paper n°46. Rome, Italy, Food and Agricultural Organization of the United Nations.
- Sperber D. 1985. On anthropological knowledge. Cambridge, Cambridge University Press.
- Steckler A., McLeroy K. R., Goodman R. M., Bird S. T. et McGormick L. 1992. Toward integrating qualitative and quantitative methods: An introduction. *Health Education Quarterly* 1992;. 19. 1-18.
- Steinberg L. et Meyer R. 1995. Childhood. New York, McGraw Hill.
- Strauss A. et Corbin J. 1990. Basics of qualitative research: Grounded Theory procedures and techniques. Newbury Park, CA, Sage Publications.
- Studer R., Decker S., Fensel D. et Staab S. 2003. Situation and Perspective of Knowledge Engineering. C. Cuena, Y. Demazeau, A. Garcia and J. Treur, Knowledge Engineering and Agent Technology, vol. 54. IOS Series on Frontiers in Artificial Intelligence and Applications. IOS Press.
- Suchman L. 1987. Plans and situated actions: the problem of human/machine communication, Cambridge University Press.
- Suphanchaimart N., Bousquet F., Wongsamun C., Patamadit I., Panthong P et Trébuil G. 2003. Companion modeling to understand the expansion of sugarcane in rainfed lowland paddies of upper northeast Thailand. Poster présenté à la conférence de l'UMR SAGERT " Organisation spatiale et gestion des ressources et des territoires ruraux ", CNEARC. Montpellier, France., 25-27 février 2003.
- Szulman S., Biébow B. et Aussenac-Gilles N. 2002. Structuration de Terminologies à l'aide d'outils de TAL avec TERMINAE. *Revue Traitement Automatique des Langues*. 43(1).
- Talineau J. C., Bonzon B., Fillonneau C. et Hainnaux G. 1981. Contribution à l'étude d'un agrosystème Prairial dans le milieu tropical humide de la Côte d'ivoire: Analyse des données relatives à l'état de la matière organique. *Cah. ORSTOM. Série Pédologie*. XVIII(1). 29-47.
- Tanabe S. 1994. Ecology and Practical Technology: Peasant Farming Systems in Thailand. Bangkok, White Lotus Co.
- The business rules group 2000. Defining business rules: what are they really?
- Trébuil G., Baron C., Bousquet F. et Shinawatra B. 2002. Collective creation of artificial worlds helps govern concrete natural resource management problems: a northern Thailand experience. *International Symposium Sustaining Food Security and Managing Natural Resources in Southeast Asia*. Chiang Mai (Thailand). January 8-11, 2002.
- Tremblay D.-G. et Rolland D. 1996 *Concertation: modèles et perspectives*. Cahier de recherche 96(2), Montréal: Télé-université.
- Trimble J. A. 2000. Structuring Knowledge acquisition of Software development projects. *South African Computer Journal*. 26. 172-180.
- Ullman J. D. 1988. Principles of Database and Knowledge-base Systems, Computer Science Press.
- Van Asselt M. 1994. Global Integrated Assessment Models as Policy Support Tools : A Triangular Approach. Enschede, Netherlands, University of Twente.
- Van Asselt M. 2001. The problem areas of scenario building. Turku, 6-7 June, 2001.
- Van Asselt M., Mellors J. et al. 2001a. Participatory methods in Integrated Assessment. Maastricht, Nederland, International Center For Integrative Studies.
- Van Asselt M., Rotmans J. et Greeuw S. 2001b. Puzzle solving for policy. A provisional handbook for Integrated Assessment. Maastricht, Netherlands, ICIS.
- Van der Sluijs J. et Klopogge P. 2000. The inclusion of stakeholder perspectives in Integrated Assessment of Climate Change. Euro Conference: Implementation and Limits of Interdisciplinarity in European Technology Assessment. Bad Neuenahr.

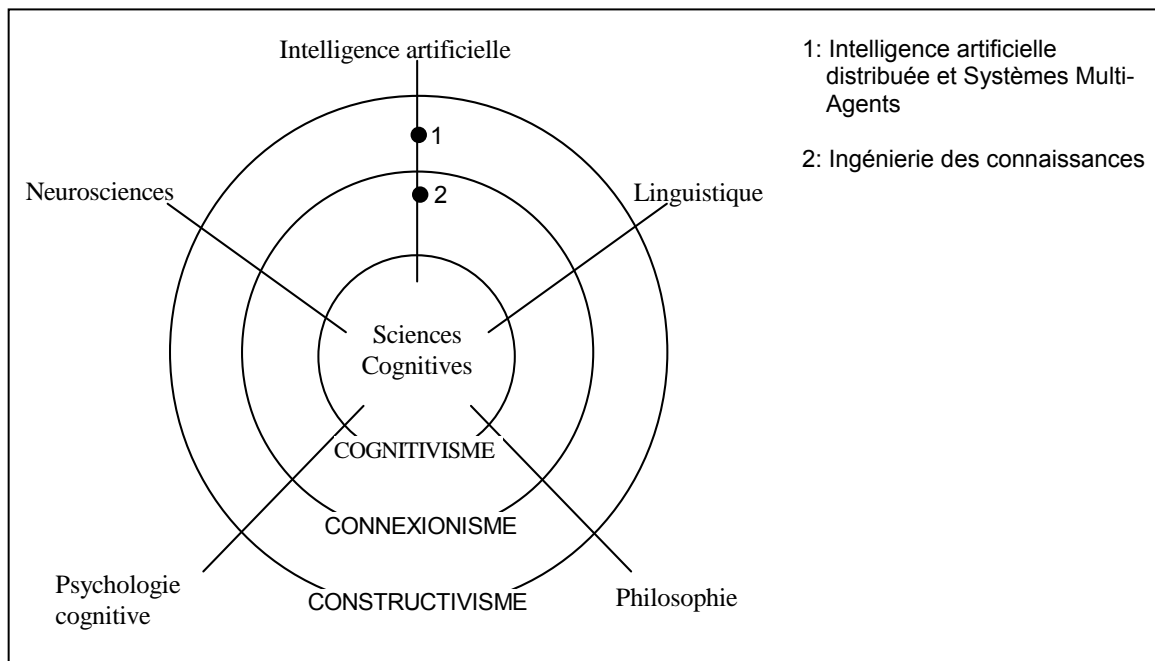
- van Noordwijk M., Tomich T. P. et Verbist B. 2001. Negotiation support models for integrated natural resource management in tropical forest margins. *Conservation Ecology*. 5(2).
Online: <http://www.consecol.org/vol5/iss2/art21/>.
- Vanpen S. 1986. Historical Development and Management of Irrigation Systems in Northern Thailand. Chiang Mai (Thailand), Department of Geography, Faculty of Social Sciences, Chiang Mai University.
- Varela F. J. 1989. Connaître les sciences cognitives : tendances et perspectives, Editions du Seuil.
- Vejpas C., Bousquet F., Naivinit W. et Trébuil G. 2004. Participatory Modelling for Managing Rainfed Lowland Rice Varieties and Seed System in Lower Northeast Thailand. Mekong Rice Conference, IRRI Press. Ho Chi Minh City, Viêt-Nam. 15-17 octobre 2004.
- Vennix J., Andersen D. F., Richardson G. P. et Rohrbaugh J. 1996. Model building for group decision support: issues and alternatives in knowledge elicitation. J. D. W. Morecroft and J. D. Sterman, Modeling for learning organizations. Productivity Press, Portland, Oregon.
- Vinck D. 1999. Les objets intermédiaires dans les réseaux de coopération scientifique. *Revue Française de Sociologie*. 40(2). 385-414.
- Vlahavas I. 2002. MACLP: multi agent constraint logic programming. *Information Sciences*. 144(1-4). 127-142.
- von Geusau L. A., Wongprasert S. et Trakansupakon P. 1992. Regional development in northern Thailand: its impact on highlanders. M. Johnson, Lore: capturing traditional environmental knowledge. Centre de recherches pour le développement international, Ottawa (Ontario), Canada. 143-163.
- Walker A. 2001. The "Karen Consensus", ethnic politics and ressource-use legitimacy in northern Thailand. *Asian Ethnicity*. 2(2). 145-162.
- Walker A. 2003. Agricultural transformation and the politics of hydrology in Northern Thailand. *Development and Change*. 34(5). 941-964.
- Walker A. 2004. Seeing farmers for the trees: Community forestry and arborealisation of agriculture in northern Thailand. *Asia Pacific Viewpoint*. 45(3). 311-24.
- Walker A. et Wooldridge M. 1995. Understanding the Emergence of Conventions in Multi-Agent Systems. *ICMAS 95*. 384-389.
- Waranoot T. et Bengtsson B. E. 1996. A conflict over natural resources between highland and lowland populations in Thailand. D. S. Edwards, W. E. Booth and S. C. Choy, Tropical rainforest research - Current issues. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 513-522.
- Waterman D. A. et Newell A. 1971. Protocol analysis as a task for artificial intelligence. *Artificial Intelligence*. 2. 285-318.
- Wielinga B. J., Schreiber A. T. et Breuker J. J. A. 1992. KADS: a Modelling Approach to Knowledge Engineering. *Knowledge Acquisition*. 4. 5-53.
- Winograd T. et Flores F. 1986. Understanding computers and cognition. Reading MA, Addison Wesley.
- Wooldridge M. 1999. Intelligent agents. G. Weiss, Multiagent Systems. A modern approach to distribute artificial intelligence. MIT press. 27-78.
- Wrightson M. T. 1976. The documentary coding method. R. Axelrod, Structure of Decision, The Cognitive Maps of Political Elites. Princeton University Press, Princeton, NJ. 291-332.
- Wu X. et Cai K. 2000. Knowledge object modeling. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics- Part A: Systems and Humans*. 30(2).

Annexes

Annexe 1 : Synthèses et informations sur les paradigmes de la représentation	300
Annexe 2 : Classification des techniques et applications modélisant les représentations selon la démarche utilisée et l'usage qui en est fait	303
Annexe 3 : Règle de fonctionnement du système	305
Annexe 4 : L'expérience de l'Orb, un modèle à dire d'acteurs	306
Annexe 5 : « Story board » des Playable Stories des deux villages étudiés	323
Annexe 6 : Guides d'entretien utilisés	328
Annexe 7 : Transcriptions d'entretiens	330
Annexe 8 : Classification des entités pour le village de Sai Mun	340
Annexe 9 : Implémentation du réseau social du village de Sai Mun	341
Annexe 10 : Liste des sondes utilisées dans l'analyse des résultats de simulation	342

Annexe 1 : Synthèses et informations sur les paradigmes de la représentation

Carte polaire des sciences cognitives (ré-interprétation de Varela 1989)



Les axes indiquent les principales disciplines contribuant au développement des sciences cognitives. Certains auteurs ajouteraient certainement à ces axes les sciences de l'éducation ou l'épistémologie et n'intégreraient pas la philosophie ou la sociologie. La version ici présentée tente de faire ressortir le statut que chacune de ces disciplines accorde à la représentation.

Les paradigmes de la cognition sont indiqués par des cercles concentriques, en partant du paradigme cognitiviste au centre (historiquement le premier), pour passer aux idées connexionnistes puis au constructivisme.

Quelques définitions

Cognition : Dans son sens général, la cognition est l'acte de connaître. Dans son sens particulier le terme cognition est employé de différentes manières suivant la discipline et le paradigme dans lequel on se place. En psychologie, la cognition se rapporte à des processus mentaux tels que la mobilisation de connaissances, l'apprentissage ou la décision.

Sciences cognitives : Les sciences cognitives sont un hybride de plusieurs disciplines s'intéressant chacune à sa manière et selon son propre point de vue à « l'étude de l'intelligence et des systèmes intelligents » (Simon et Kaplan 1989).

Intelligence artificielle : L'IA s'intéresse au développement de programmes informatiques plus ou moins complexes capables d'effectuer des tâches cognitives plus ou moins difficiles. Cette discipline peut être vue comme le pôle technologique des sciences cognitives.

Psychologie cognitive : Branche de la psychologie s'intéressant à une variété de processus cognitif (perception, apprentissage, mémoire et structure des représentations impliquées dans la cognition). La psychologie cognitive étudie notamment dans le détail ce qui se passe entre un stimulus et une réponse.

Neurosciences : Etude du système nerveux.

Précisions au sujet des différents paradigmes de la cognition

Cognitivisme : L'esprit est vu comme une forme de logique assimilable au comportement d'un ordinateur capable de traitements computationnels. L'hypothèse cognitiviste consiste donc à voir l'intelligence comme le traitement de symboles à partir de règles. Ces symboles sont des éléments représentant les entités du monde donc l'on admet la réalité physique dans le cerveau. En outre ce paradigme présuppose également de la faculté de tout à chacun de se représenter le monde sous la forme de codes symboliques.

Connexionisme : Ce paradigme inspiré à la base de la biologie des neurones et de l'architecture neuronale, considère l'intelligence comme l'émergence d'états globaux dans un cerveau, à partir de la somme d'une multitude d'opérations simples de bas niveau. La connaissance prend alors du sens seulement à un niveau global et n'est plus enfermée à l'intérieur de symboles comme dans le cognitivisme, et c'est l'état global du système qui est identifiable à une faculté donnée.

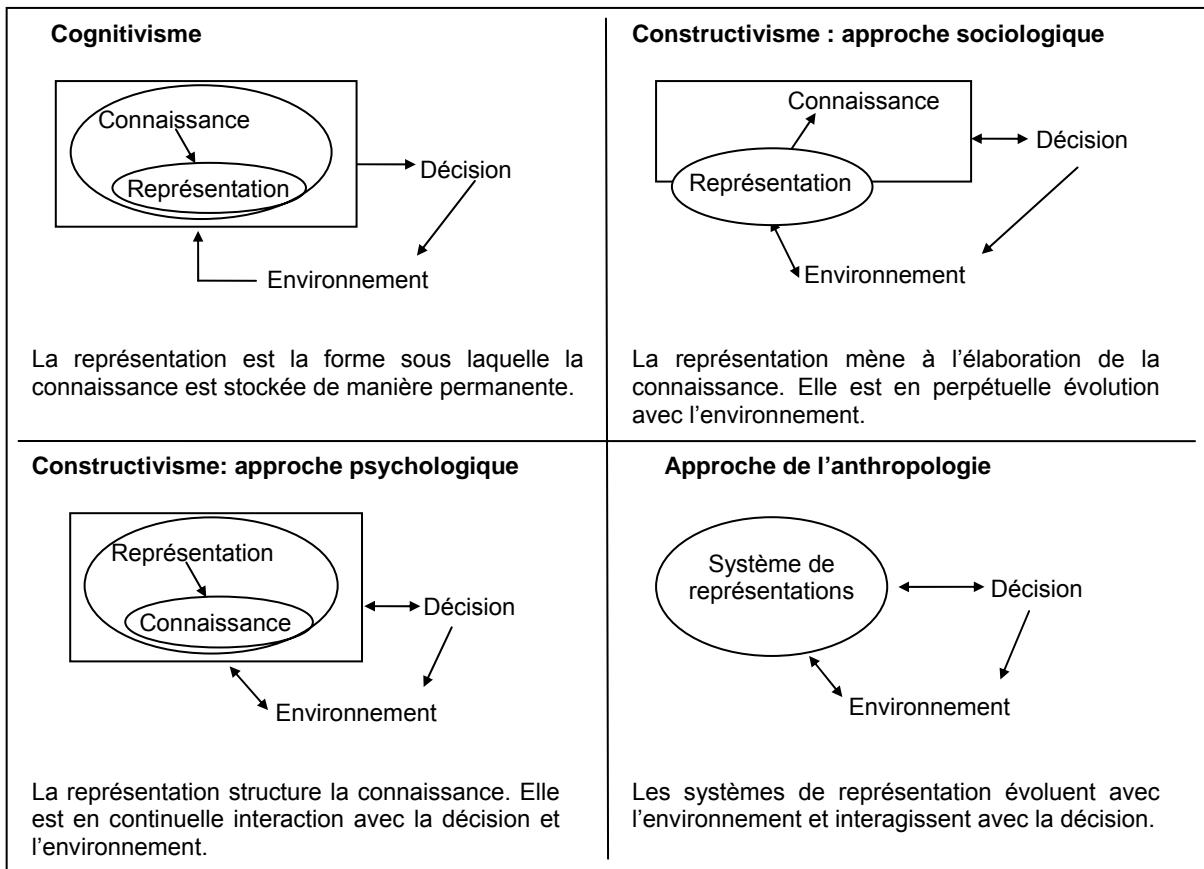
Constructivisme : Le paradigme constructiviste rejette la cognition comme une résolution de problèmes au moyen de représentations (au sens de codes symboliques ayant une réalité physique dans le cerveau). L'intelligence est vu comme une action constructive, inextricablement liée à l'historique de ce qui est vécu, permettant à l'individu d'évoluer dans une réalité en perpétuelle évolution, modifiant également l'individu lui-même. Les représentations des individus sont alors dites socialement construites.

Sources : Les définitions et explications ci-dessus sont librement inspirées des dictionnaires des sciences cognitives d'Eysenck (1990) et de l'Université d'Alberta (Dawson et Medler), ainsi que de Varela (1989).

La représentation dans son rapport à l'environnement extérieur et au processus décisionnel dans différentes approches

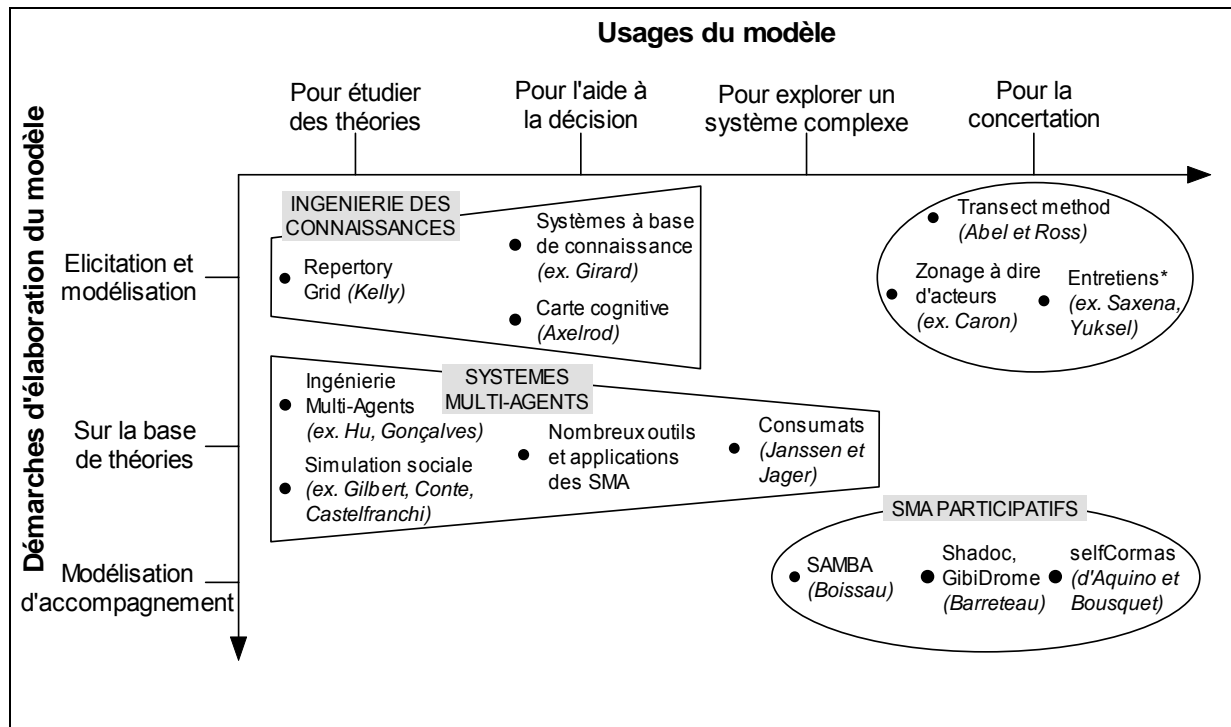
Nous proposons ci-dessous une schématisation libre des liens entre représentation, environnement et décision dans les différentes approches que nous abordons au chapitre 2.

Dans ces schémas, une flèche simple symbolise une relation unilatérale et une flèche à double sens symbolise l'interaction ou la coévolution.



Annexe 2 : Classification des techniques et applications modélisant les représentations selon la démarche utilisée et l'usage qui en est fait

Cette figure propose une classification de quelques unes des techniques et applications de la modélisation des représentations citées dans cette thèse, en fonction de leurs usages et de la démarche d'élaboration du modèle. Elle n'est ni exhaustive, ni absolue, puisque les outils, techniques et applications peuvent avoir plusieurs usages et peuvent utiliser des démarches d'élaboration mixtes.



Axe des démarches d'élaboration du modèle

Cet axe représente la démarche utilisée pour la modélisation des représentations. Il reprend certaines démarches des chapitres 3 et 4.

Axe des usages du modèle

Nous avons distingué quatre types d'usage du modèle. Certains auraient ajouté l'usage en aide à la négociation ou d'autres usages. Ci dessous des précisions sont données sur les différents usages indiqués sur cet axe.

Concevoir un modèle des représentations d'acteurs ou d'agents pour étudier les théories de la représentation ou d'autres concepts des sciences cognitives

Concevoir un outil intégrant les représentations d'experts ou d'acteurs pour générer de l'expertise automatiquement ou pour aider les décideurs dans leurs choix

Concevoir un modèle intégrant les représentations des acteurs pour explorer la dynamique et la viabilité des interactions du système. Dédié notamment à cet usage, nous aurions pu également figurer les modèles multi-agents «de rassemblement de connaissances». Ces

modèles sont construits à partir de l'expertise des chercheurs des dynamiques biophysiques et/ou sociales et qui, outre la représentation des chercheurs, intègrent parfois les représentations des acteurs locaux. Des exemples de ce type de modèles dans le domaine de la gestion de l'eau sont Sinuse (*Feuillette*), SaoPaulo (*Ducrot*) et CatchScape1 (*Becu*)

Concevoir un modèle ou des modèles intégrant l'hétérogénéité des représentations de différents acteurs et se servir des différences et des similitudes entre les représentations modélisées pour faciliter la concertation entre les acteurs au cours de séances collectives de démonstration du ou des modèles.

Outils et applications

Classé selon ces deux axes, nous avons positionné les différents outils et applications en les repérant par un point. A chaque fois un intitulé est cité, suivi (en italique) des auteurs auxquels nous faisons référence. L'intitulé renseigne sur le champ d'application, la technique, ou le modèle dont il est question. Ces applications ou champs d'application (comme le champ de la simulation sociale) sont encadrés par des quadrilatères ou des ovales représentant le domaine scientifique dont est issu l'outil principal utilisé. Les applications en haut à droite de la figure appartiennent à des domaines différents. Enfin l'orientation des quadrilatères suggère une évolution dans le temps des usages qui ont pu être faits des applications provenant du domaine scientifique. La base du quadrilatère indique l'usage initial des applications du domaine, et le sommet indique certaines tendances actuelles. Dans les ovales nous n'avons pas distingué de tendances.

Note : * Dans le cas des entretiens permettant d'élucider les représentations et utilisés pour la concertation entre acteurs, il n'y a pas de modélisation des représentations.

Annexe 3 : Règle de fonctionnement du système

La notion de règle de fonctionnement doit être comprise dans un sens plus large que la simple relation de cause à conséquence (règle du type Si-Alors). En effet, les règles de fonctionnement peuvent également exprimer des notions d'invariances, c'est à dire ce qui est vrai ou faux (e.g. « l'eau ne brûle pas », ou « la culture d'ail rapporte un bon prix »^{*}), ou un moyen pour arriver à un but (e.g. « je cultive du soja pour améliorer la fertilité du sol »), ou encore une condition pour pouvoir réaliser une opération ou atteindre un but (e.g. « pour utiliser le canal d'irrigation en début de saison, il faut d'abord le nettoyer »). Ainsi, la notion de « règle de fonctionnement du système » est une notion englobant le pourquoi et le comment du fonctionnement du système, contrairement à la notion de « règle au sens strict » que l'on pourrait interpréter comme étant uniquement descriptive du fonctionnement d'un processus^{*}.

**Bien que cet invariant concernant la culture d'ail puisse paraître étrange, nous verrons qu'il s'agit d'un fait avéré dans la représentation que certains agriculteurs du cas d'étude thaïlandais, se font du fonctionnement de leur système. En outre cet exemple nous permet de rappeler que nous ne cherchons pas à formaliser une réalité absolue du fonctionnement du système, mais bien la réalité telle qu'elle est perçue par les acteurs.*

***Au sens de la description du fonctionnement d'un processus, des assertions comme « l'eau ne brûle pas » (invariant) ou « je cultive du soja pour améliorer la fertilité du sol » (moyen-but) ne sont pas des règles au sens strict mais nous les considérons comme des règles de fonctionnement du système.*

Annexe 4 : L'expérience de l'Orb, un modèle à dire d'acteurs

Cette expérience nous a permis de tester la méthodologie mise en place pour l'identification et la modélisation des représentations d'acteurs locaux. Nous avons notamment pu évaluer la faisabilité d'appliquer la technique d'analyse de protocole au cadre du formalisme Orienté-Objet. En outre nous avons testé la prise en compte du concept d'action située dans notre démarche d'enquête. Au travers de cette expérience nous nous sommes également retrouvés confrontés à la question de l'hétérogénéité des représentations et des points de vue contradictoires, et nous avons cherché à y apporter des réponses. Dans cette expérience, nous nous sommes arrêtés à la phase de conceptualisation du modèle et nous n'avons pas eu l'occasion d'effectuer des retours auprès des acteurs ou des restitutions.

1. Problématique du cas d'application

L'application s'est déroulée dans le cadre du projet européen FIRMA¹⁵⁹ dont l'un des sites d'études est la vallée de l'Orb (Hérault). Cette application était associée à un travail de recherche portant sur la pollution de forages d'eau potable situés à l'exutoire du bassin versant du Taurou par des produits phytosanitaires issus de la viticulture (activité agricole dominante de la zone). Afin de traiter cette problématique, un modèle multi-agents, autre que celui que nous allons présenter, avait été développé au sein de l'équipe du Cemagref, à partir de savoirs scientifiques concernant les processus de ruissellement et de transport des produits phytosanitaires, de dires d'experts du terrain et d'enquêtes de terrain concernant les règles de comportement des viticulteurs. Le modèle Phylou qui en est issu, simule l'application de traitements phytosanitaires selon différentes stratégies de cultures et le transfert des matières polluantes des parcelles, vers la rivière, en passant par des réseaux de fossés (Borderelle 2002). En outre, la calibration et la validation du modèle ont été effectuées tout au long du processus de modélisation par un groupe sélectionné d'experts connaissant le terrain d'étude et les futurs utilisateurs potentiels. De part son mode de construction et de validation, ce modèle représente ce que l'on pourrait appeler un modèle à dire d'experts.

La démarche que nous avons alors suivie a consisté à essayer de construire un modèle à dire d'acteurs. Nous avons traité la même problématique que celle du modèle Phylou, mais en prenant une voie d'entrée différente, celle des viticulteurs, et non celle des experts. Ainsi, à partir d'entretiens auprès d'un échantillon de viticulteurs, nous avons essayé de saisir leurs

perceptions des éléments et de la dynamique du système, puis nous avons intégré ces dires d'acteurs dans un modèle conceptuel reflétant leurs représentations du système.

Le bassin versant du Taurou se situe au niveau de la moyenne vallée de l'Orb sur la rive gauche. Le Taurou draine sur environ 25 km un bassin d'une superficie de 64 km² qui traverse 9 communes du département. Après un premier contact avec des personnes ressources connaissant bien le contexte du terrain, il est apparu que la question de la pollution par les produits phytosanitaires était sujette à polémique et que les viticulteurs pourraient être réticents à s'exprimer librement à ce sujet. Nous avons donc été confrontés à une première difficulté qui réside dans l'acceptation de notre travail par les viticulteurs. En effet, étant donné que nous cherchons à saisir leur représentation du système, il est nécessaire que les viticulteurs puissent parler librement lors des entretiens avec peu d'*a priori* par rapport à l'utilisation des informations qu'ils nous livrent. Une mauvaise acceptation du travail réalisé ou un manque de confiance dans l'enquêteur de la part des viticulteurs pourrait entraîner des réponses stratégiques, c'est à dire des réponses dont le contenu est orienté par rapport à ce que le viticulteur pense de l'utilisation que fera l'enquêteur des informations qu'il lui donne¹⁶⁰. Etant donné que notre positionnement en tant qu'Institut de recherche ayant travaillé en collaboration avec la Chambre d'Agriculture n'était pas neutre par rapport à la question de la pollution par les produits phytosanitaires, nous avons préféré passer par une voie détournée pour identifier les représentations des viticulteurs de ces processus. Nous avons donc choisi de baser le guide d'entretien sur les processus d'écoulement des eaux et d'érosion, à l'échelle de la parcelle dans un premier temps (nous commençons par ce qui est le plus proche des activités quotidiennes des viticulteurs), puis à l'échelle du bassin versant¹⁶¹.

2. Protocole d'enquête

Nous avons réalisé une enquête auprès des viticulteurs du bassin versant du Taurou portant sur leur perception des questions d'écoulement des eaux et d'érosion. L'enquête a consisté en des entretiens individuels auprès d'un échantillon relativement restreint de viticulteurs.

¹⁵⁹ Projet de recherche financé dans le cadre du 5ème PCRD, visant à développer des modèles multi-agents pour une gestion intégrée et participative de la ressource en eau. "Freshwater Integrated Resource Management with Agents" - EVK1-1999-70.

¹⁶⁰ Typiquement une personne ne va pas dire qu'elle utilise de fortes doses de produits phytosanitaires si elle pense que cela pourra se retourner contre elle.

¹⁶¹ Ce choix est justifié par trois raisons : (i) les processus d'écoulement sont directement liés au transfert de produits phytosanitaires dans le bassin, (ii) l'érosion est un élément clé intervenant dans les choix de pratiques culturales et d'aménagement des viticulteurs et ces choix influent sur les pratiques d'application de produits phytosanitaires, (iii) les viticulteurs n'étaient pas enclins à s'exprimer sur leurs pratiques liées à l'utilisation de produits phytosanitaires.

a) Choix de l'échantillon

L'échantillonnage a été basé sur un critère d'hétérogénéité des systèmes exploitations, qui, n'ayant pas de données sur la personnalité ou les modes de pratiques des viticulteurs, nous est apparu comme étant le seul critère à notre disposition pour atteindre la diversité des représentations que les viticulteurs pouvaient avoir du fonctionnement de leur système. Nous avons donc choisi 10 viticulteurs en fonction de la taille de l'exploitation, de sa localisation, de l'adhésion à une filière qualité (AOC, Bio, vin de pays), de l'âge du chef d'exploitation et du type de cave (cave coopérative ou cave particulière).

b) Guide d'entretien

La technique d'enquête utilisée consistait en des entretiens individuels semi-directifs. C'est à dire que nous avons suivi un guide d'entretien dans lequel une seule question était posée pour chaque thème abordé (quatre thèmes ont été abordés), et des questions de relance, préparées à l'avance, étaient utilisées dans le cas où la personne ne savait pas comment aborder l'un des thèmes. Ainsi, le principe était de laisser la plus grande liberté de parole aux interlocuteurs (nous n'interrompions pas le fil de leur argumentation et nous les laissions passer d'un thème à l'autre librement), tout en assurant un minimum de structure et d'homogénéité à l'enquête (questions identiques d'un entretien à l'autre, utilisation de questions de relance pour s'assurer que chaque thème a bien été abordé, éventuellement dans le désordre, par chaque viticulteur). Le premier thème abordé portait sur les pratiques de l'exploitant sur ces parcelles et concrètement nous posions la question suivante « *Quelles sont vos pratiques culturelles par rapport au ruissellement et à l'érosion sur l'exploitation ?* ». De même, pour les autres thèmes, nous avons essayé de rester le plus ouvert possible dans la façon dont nous formulons les questions. Par exemple pour exprimer le problème de l'érosion nous demandions « *Qu'est ce qui fait qu'une parcelle est érosive ?* ». Il a parfois été nécessaire d'employer des questions plus spécifiques comme « *Où va l'eau qui ruisselle de vos parcelles ?* », ou d'utiliser des symboles lorsque nous avons cherché à identifier la façon dont les viticulteurs appréhendaient les éléments caractéristiques du bassin versant, comme par exemple : « *Quels types de paysage rencontre-t-on sur le bassin versant ?* ».

c) Localisation des entretiens

Les entretiens se sont déroulés sur les parcelles de chaque exploitant afin que celui-ci puisse montrer directement la manière dont il réalise ses pratiques et les types de systèmes qu'il perçoit. L'idée était de placer l'exploitant en situation et ainsi de saisir au plus juste sa propre représentation du système en lui demandant de le décrire directement à partir des éléments qui s'offraient à notre vue. Lorsque la discussion s'engageait sur des zones hors de notre champ de vision, nous avons laissé à disposition des viticulteurs, des feuilles

blanches et des cartes de la région afin qu'ils puissent dessiner un croquis ou nous indiquer un point particulier sur la carte. Dans la pratique, la carte n'a été utilisée qu'une fois, mais les croquis pour expliquer comment était aménagée l'exploitation ou comment l'eau s'écoulait ont été utilisés presque systématiquement.

d) Enregistrement

Tous les entretiens ont été enregistrés à l'aide d'un magnétophone. Ils ont ensuite été retranscrits mot à mot pour les parties les plus en lien avec le sujet d'étude, et partiellement lorsque la discussion était plus ou moins hors sujet. Les retranscriptions ont ensuite été envoyées aux personnes interviewées afin qu'elles les valident.

3. Construction du modèle

a) Principe d'analyse

Afin de structurer l'analyse des transcriptions et de limiter les erreurs d'interprétation, une analyse thématique des transcriptions a été effectuée avant de procéder à la formalisation des dires d'acteurs à proprement parler. L'analyse thématique a consisté à identifier des thèmes récurrents au travers d'une première lecture rapide de l'ensemble des transcriptions permettant d'identifier les grands sujets abordés lors des entretiens, puis d'une deuxième lecture détaillée de l'ensemble des phrases afin de vérifier si elles pouvaient correspondre à l'un de ces sujets. Cela a permis d'obtenir une description détaillée de chaque thème. Ces thèmes n'étant pas forcément ceux que nous avons définis à l'avance dans le guide d'entretien (bien qu'il y ait certains recoupements) mais étaient plutôt le reflet des sujets sur lesquels les viticulteurs avaient tenu à s'exprimer. Toutes les phrases et expressions sémantiques des transcriptions ont ensuite été classifiées selon ces thèmes et nous avons ainsi obtenu une transcription par thème. Etant donné que chacune de ces transcriptions thématiques regroupaient les dires de différents viticulteurs, nous avons gardé trace de l'auteur de chaque phrase ou expression sémantique à l'intérieur de ces transcriptions.

C'est ensuite à partir de ces transcriptions thématiques que nous avons effectué l'analyse de protocole à proprement parler. Le principe est tel que décrit dans la section 4.1.3 de la thèse et nous avons utilisé la même grille de correspondances entre expressions sémantiques et formalisme Orienté-Objet que dans le tableau présenté dans à cette section.

b) Des dires des viticulteurs aux méthodes du modèle

L'un des intérêts de cette expérience réside dans le fait que les dires d'acteurs ont été formalisés et le modèle conceptuel a été construit au fur et à mesure de la lecture des transcriptions. Afin de l'illustrer et de rendre plus concret ce que peut être une analyse de

protocole, nous proposons ci-dessous de suivre l'élaboration d'une partie du modèle réalisé à partir des dires des viticulteurs. Nous prendrons pour cela l'exemple de la construction de la méthode de ruissellement du modèle.

Point de départ

Afin de formaliser les dires des viticulteurs au sujet du processus de ruissellement, il nous a d'abord fallu définir un point de départ (il s'agit d'un choix « arbitraire » du modélisateur). Etant donné que nous nous intéressions aux perceptions des processus de ruissellement et d'érosion, et que le concept d'orage avait été mentionné par tous les viticulteurs, il nous a semblé judicieux de commencer par la construction de cet objet. La première phrase que nous avons traitée était :

« S'il fait un orage trop fort, le sol ne boit pas et ça ruisselle » Viticulteur A.

A partir de notre grille de correspondances nous avons formalisé :

- deux objets : Orage et Sol
- un attribut de l'objet Orage : « force »
- une relation entre Orage et Sol représentant une association entre ces deux classes d'objet
- un processus formalisé comme une méthode de l'objet Sol : « ruisseler » (le processus « boire » de l'objet Sol pouvant être décrit dans la méthode « ruisseler » nous n'en avons pas fait une méthode séparée)

Par ailleurs, nous avons également défini la méthode « pleuvoir » pour l'objet Orage qui est implicite dans cette phrase.

Nous nous sommes ensuite penchés sur la phrase suivante :

*« [le ruissellement] dépend de comment l'eau tombe. Si ça tombe fort ou doucement.
Si 40 mm tombent d'un seul coup, ça ruisselle » Viticulteur B*

La notion de temps, dans l'adverbe « doucement » et dans l'expression « d'un seul coup » nous a entraîné à revoir notre formalisation de la « force » des orages de la phrase précédente, et à redéfinir cet attribut plutôt comme une « intensité ». Par ailleurs l'expression « d'un seul coup » laisse entendre une période de temps et nous avons donc défini un attribut « durée » pour l'objet Orage.

Paramètres influençant le processus

A ce stade de la formalisation nous avons quelques informations à propos de l'orage mais encore peu à propos du sol, et nous ne pouvions pas encore modéliser le déroulement de la méthode « ruisseler ». Nous avons donc cherché dans les transcriptions pour plus d'information sur l'objet Sol et sur les paramètres influençant le processus de ruissellement. Nous avons trouvé plusieurs phrases et groupes de phrases que nous avons formalisées, et nous présentons ici trois d'entre elles.

« Un schiste, vous prenez 100 litres d'eau, vous versez ; l'eau elle s'infiltré directement, elle disparaît ... Avec une terre rouge, l'eau elle s'écoule » Viticulteur A

Nous avons ici formalisé un attribut « type » pour l'objet Sol et défini deux valeurs possibles à cet attribut : schiste ou argilo-calcaire (qui est le type de sol auquel le viticulteur 1 fait référence lorsqu'il parle de terre rouge). Nous avons également noté que l'infiltration était importante dans un cas et pas dans l'autre, ce qui nous a amené à définir un attribut « capacité d'infiltration » pouvant prendre deux valeurs : important ou faible, correspondant au sol schisteux ou argilo-calcaire respectivement.

Par ailleurs, nous avons également relevé plusieurs phrases du type :

« Si plusieurs orages (même de faibles intensités) se suivent, à force, la pluie commence à ruisseler » Viticulteur F

Nous avons interprété ce type de phrases et d'idées à partir de ce que nous avons déjà formalisé à ce stade. Par ailleurs plusieurs interprétations de cette phrase sont possibles et nous avons choisi celle qui s'appuie sur une base théorique solide. Celle-ci réside dans la capacité de stockage qu'un sol peut avoir et dans le fait que lorsque la capacité de stockage d'un sol est arrivée à saturation, la pluie ne peut plus que ruisseler dessus. Nous avons donc défini l'attribut « capacité de stockage » pour le sol et nous avons pris note du fait que cette capacité de stockage devait être actualisée au cours de la méthode de ruissellement.

« Sur les [argilo-calcaires] s'il pleut durant l'été mais pas assez longtemps ça sert à rien car tout ruisselle » Viticulteur D

Ici nous avons eu recours à d'autres citations de viticulteurs pour pouvoir formaliser cette phrase. En effet, dans d'autres phrases nous avons noté que les viticulteurs parlaient de phénomène de battance durant l'été. C'est pourquoi nous avons supposé que le viticulteur D faisait référence à ce phénomène dans sa phrase. Nous avons donc ajouté un attribut « battance » à l'objet Sol pouvant prendre la valeur vrai ou faux (suivant si le sol est battant ou pas), et nous avons pris note du fait que dans la méthode de ruissellement si l'attribut « battance » était vrai alors l'infiltration serait nulle pour des pluies de courte durée. Par ailleurs dans d'autres phrases nous avons trouvé des informations attestant du fait que la battance apparaissait durant l'été et qu'elle disparaissait après une certaine durée de pluie. Nous avons donc formalisé une méthode de mise à jour de la battance. Néanmoins, aucune information quantitative ne nous indiquait à quel moment la battance apparaissait et disparaissait et des données théoriques définissant des valeurs seuils nous ont alors été nécessaires pour faire fonctionner le modèle.

Formalisation de la méthode « ruissellement »

A ce stade de la formalisation la structure du modèle était donc la suivante (Figure 85):

Afin de formaliser la méthode ruissellement nous nous sommes attachés aux différents processus décrits par les viticulteurs et préalablement mentionnés. Nous les avons synthétisés et ordonnés ci-dessous :

1. La pluie génère du ruissellement et de l'infiltration (concept retrouvé dans tous les entretiens)
2. Si la battance existe, l'infiltration est nulle (Viticulteur D)
3. Si la capacité de stockage du Sol est saturée, l'infiltration est nulle (Viticulteur F)
4. La capacité d'infiltration du Sol et l'infiltration sont corrélées positivement (Viticulteur A)
5. L'intensité et la durée de l'Orage augmentent le ruissellement (Viticulteurs A et B)
6. La capacité de stockage du Sol évolue durant un orage (Viticulteur F)
7. La valeur de la battance devient « faux » après un certain temps de pluie (Viticulteur D et données théoriques pour la valeur seuil)

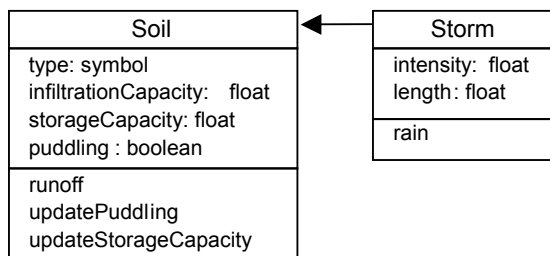


Figure 85 : Diagramme de classe UML du modèle au stade 1

A partir de ces informations nous avons donc formalisé la méthode de ruissellement tel que décrit dans la Figure 86.

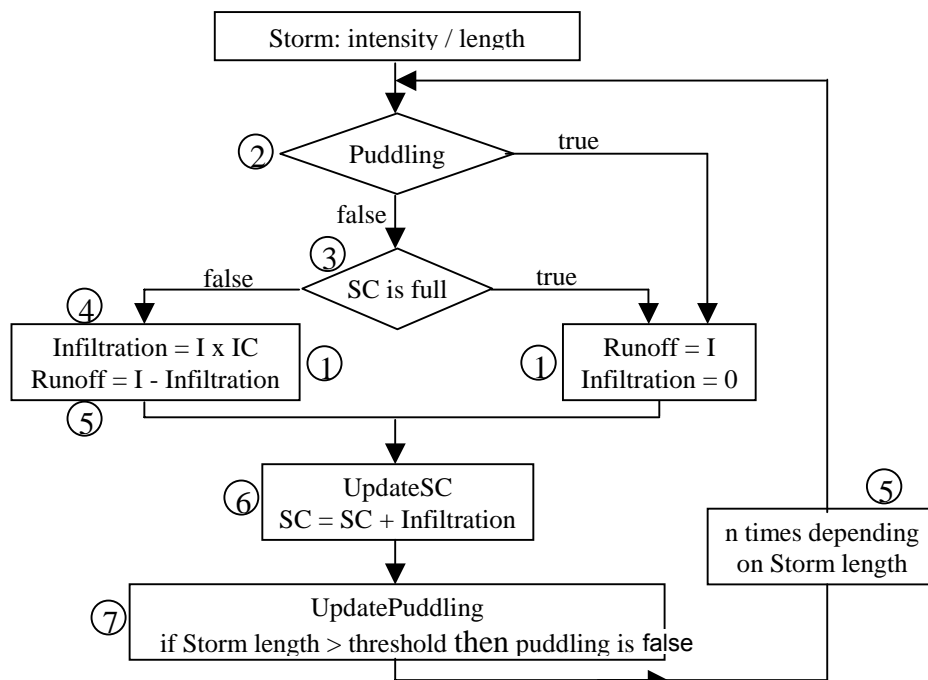


Figure 86 : Diagramme d'activité UML de la méthode ruissellement de l'objet Sol. Les chiffres entourés d'un cercle renvoient aux différents processus évoqués par les viticulteurs et synthétisés plus haut. (I : intensité ; IC : capacité d'infiltration ; SC : capacité de stockage)

c) Modèle obtenu

Par la suite nous avons ajouté à cette méthode les paramètres de gestion des parcelles influençant le processus de ruissellement tel que décrit par les viticulteurs ainsi que d'autres facteurs. La même démarche a été suivie pour les autres méthodes du modèle (chacune correspondant à un processus décrit par au moins un viticulteur). Par ailleurs, lors de la formalisation de ces différentes méthodes nous avons été confrontés à des avis contradictoires vis à vis de l'influence de différents facteurs sur les processus modélisés. C'est par exemple le cas de l'influence de l'orientation des rangs de vignes sur l'érosion, avec une partie des viticulteurs qui estiment qu'orienter les rangs dans le sens de la pente diminue l'érosion : « *En zone de coteaux on essaye de planter, si possible, dans le sens de la pente. Ce qui permet, lorsque l'on fait des labours, que chaque sillon prenne son eau de manière à ce qu'il n'y ait pas rassemblement sur un même sillon de toutes les eaux. Comme ça en bas de pente, ça produit moins de ravines* » Viticulteur E ; et une partie des viticulteurs qui estiment qu'il est préférable de planter dans le sens contraire à la pente : « *Les gens qui plantent dans le sens de la pente disent, mais ça peut ne pas être vrai, que chaque rang écoule son eau et que ça éviterait des ravinements très puissants. Moi j'ai l'impression qu'avec cette méthode on retrouve plutôt les éléments grossiers en haut qu'en bas* » Viticulteur I. Dans ce cas nous avons donc formalisé les deux avis sous deux méthodes différentes et avons laissé le choix à l'utilisateur du modèle de lancer les simulations avec l'une ou l'autre de ces méthodes. Nous avons également dû traiter d'autres types de contradictions que nous synthétisons dans la section 4.c).

Enfin, les transcriptions nous ont également servi à identifier différents types de comportements et de méthodes culturales chez les viticulteurs que nous avons formalisés sous la forme de différentes stratégies pouvant être adoptées par les agents du modèle.

Le modèle obtenu intègre donc les représentations, des dix viticulteurs enquêtés, des processus de ruissellement et d'érosion, avec les entités (objets) du système perçues (Figure 87), les processus et interactions qui leur sont associés, ainsi que les stratégies de gestion des viticulteurs (Figure 88).

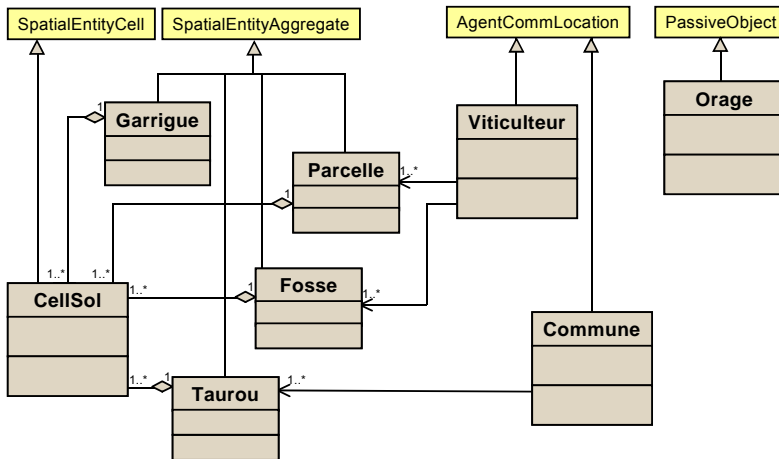


Figure 87 : Diagramme de classe UML du modèle final

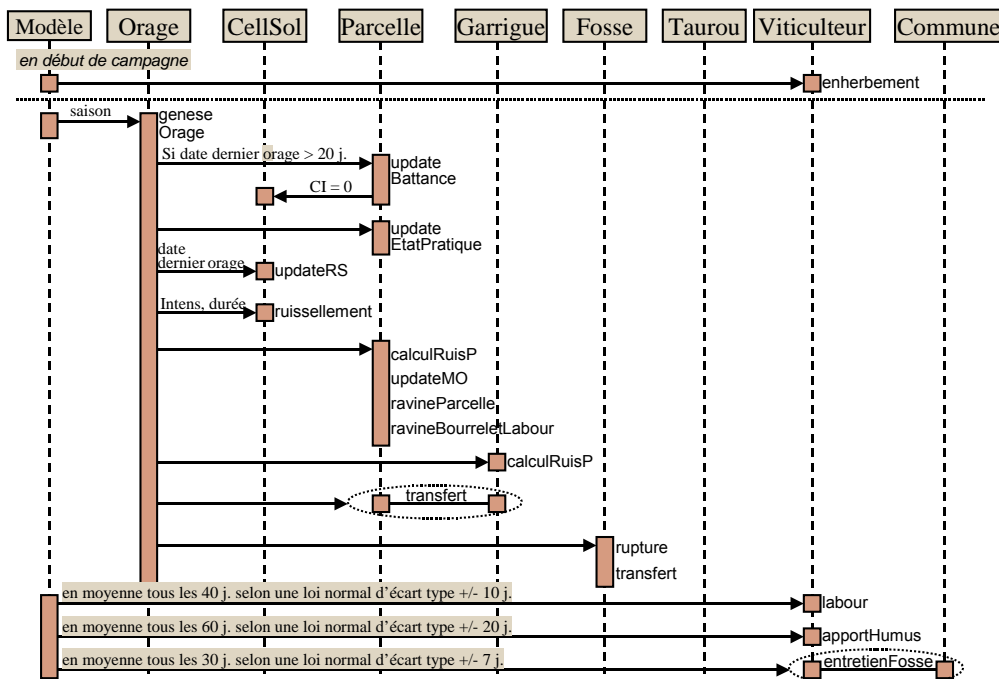


Figure 88 : Diagramme de séquence UML du modèle final

4. Expériences acquises

A partir de l'exemple de la construction des premiers éléments du modèle et de l'élaboration de ses méthodes, nous avons explicité comment utiliser l'analyse de protocole pour bâtir le modèle au fur et à mesure que nous avançons dans la formalisation des dires d'acteurs. Cette construction du modèle au cours de la formalisation a permis d'affiner le modèle ainsi que notre analyse des transcriptions. Nous avons également vu comment dans certains cas nous devons intégrer des hypothèses et données théoriques afin d'interpréter certaines expressions ou compléter certains processus afin de les rendre opérationnels. Afin de garder la trace des informations que nous avons rajoutées, nous avons établi une liste de

l'ensemble des éléments et processus du modèle en indiquant la source de l'information ayant servi à la conceptualisation. Une telle liste permet lors de séances de restitution de soumettre aux acteurs les hypothèses prises durant la phase de conceptualisation.

Outre ces conclusions un certain nombre de points, tirés de cette expérience, nous ont permis d'avancer dans l'élaboration de notre méthodologie.

a) Entretiens « situés »

Relation enquêteur – enquêté

La technique d'entretien utilisée pour l'expérience de l'Orb nous a paru satisfaisante. Le fait de mener les entretiens sur les parcelles des exploitants a, nous semble-t-il, apporté de la richesse aux descriptions et aux discours des personnes interrogées ce qui n'aurait pas eu lieu si nous avions été dans un endroit clos ou extérieur à la zone connue de l'exploitant. Ici encore, le fait que ce soit l'exploitant qui nous invite sur ses terres contribue à le mettre en confiance et à s'exprimer librement. Par contre cela n'empêche pas la personne de tenir un discours stratégique ou intéressé par rapport à ce qu'elle pense être préférable de nous dire ou pas. Par exemple, il est probable que certains viticulteurs aient minimisé ou à l'inverse exagéré l'impact qu'ils perçoivent de l'usage de produits phytosanitaires ou de l'érosion de leur sol. De même nous avons pu remarquer que l'usage du magnétophone pouvait parfois être une gêne. Certains viticulteurs nous ont demandé d'arrêter l'enregistrement lorsqu'ils souhaitent nous parler de certains aspects qu'ils estimaient « compromettants ». Dans ce cas, quel aurait été le discours des autres personnes interrogées si nous n'avions pas utilisé de magnétophone ? C'est pourquoi il nous a semblé qu'un effort plus important devait être fait pour que notre travail soit mieux accepté et mieux compris par les acteurs.

Localisation des entretiens

L'entretien *in situ* crée une interaction entre le discours de la personne et ce qu'elle voit au moment où elle parle. Ainsi, une personne va parler, par exemple, d'un cours d'eau plutôt que d'un autre aspect du système, si au moment où elle nous parle nous nous trouvons face à un cours d'eau. En nous promenant dans le paysage, tel que nous avons pu le faire dans l'expérience de l'Orb, le discours de la personne est « guidé » par les différents éléments du paysage que nous rencontrons. Certes, cela enrichit l'entretien, mais d'un autre côté cela nuit à l'homogénéité de la méthode d'enquête. En outre, dans le cas de l'Orb, ce sont les viticulteurs qui ont choisi l'itinéraire de notre parcours au cours de l'entretien. Dans ce cas on est en droit de penser que certains viticulteurs aient pu vouloir nous montrer certains endroits mais pas d'autres. Ainsi, encore une fois nous introduisons par cette technique un degré de liberté que nous ne contrôlons pas.

A partir de cette expérience, nous avons modifié légèrement notre protocole d'entretien. Nous pensons qu'il est souhaitable que l'entretien se déroule en extérieur dans une zone

connue de l'acteur (sur les parcelles de l'exploitation dans le cas d'agriculteurs), mais que nous gardions le contrôle de l'endroit dans lequel se déroule l'entretien. Il nous est ainsi apparu plus aisé de mener l'entretien dans un seul endroit à la fois, quitte à enquêter la même personne plusieurs fois à des endroits différents.

Technique de questionnement

La façon dont nous avons utilisé le guide d'entretien dans l'expérience de l'Orb nous a donné satisfaction du point de vue de la liberté d'expression qu'il offre à la personne enquêtée. Dans certains cas, il peut également être préférable de laisser la personne s'exprimer longuement sur des sujets hors-contexte, quitte à revenir lors d'un prochain entretien sur des sujets du guide d'entretien n'ayant pas été abordés à l'entretien précédent. En effet, nous avons pu remarquer que des ruptures brusques de la conversation visant à recentrer la discussion sur des sujets qui nous intéressaient, avaient tendance à déstabiliser la personne, ou du moins à créer une certaine distance entre l'enquêteur et l'enquêté.

C'est pourquoi, nous avons essayé par la suite, tout en nous servant d'un guide d'entretien, de mener nos entretiens de façon à ce qu'ils apparaissent sous la forme d'une conversation aux yeux de la personne interrogée, plutôt que comme un « interrogatoire ». Pour cela le guide d'entretien doit être bien préparé de façon à ce que l'enchaînement des questions et des sujets abordés suive une certaine logique, et ce même si les sujets sont traités dans le désordre. En outre cela demande une certaine pratique de ce type d'entretien de la part de l'enquêteur.

Par ailleurs, nous avons remarqué que lorsque les questions et la conversation étaient structurées de manière à faire ressortir les entités du système dans un premier temps, puis les dynamiques de ces entités et les interactions qu'elles peuvent avoir avec les autres entités dans un deuxième temps, l'analyse de protocole qui suit en est facilitée et le résultat de la formalisation s'en trouve enrichi. C'est pourquoi, par la suite nous avons essayé de mener les conversations avec les acteurs selon le plan suivant :

- Quelles sont les entités du système perçues par les acteurs ?
- Quelles sont les dynamiques de ces entités et leurs interactions ?

b) L'analyse de protocole face à la conceptualisation Orientée-Objet

L'analyse de protocole à l'aide de la grille de correspondances entre les objets de connaissances et le formalisme Orienté-Objet a permis de construire un modèle multi-agents ayant un sens par rapport à la représentation des acteurs. Les objets du modèle correspondent aux différentes entités du système que les viticulteurs ont évoquées, les méthodes et interactions du modèle correspondent aux dynamiques perçues, et les actions des viticulteurs sur leur système et les éléments qu'ils prennent en compte pour mener ces actions sont intégrées au niveau des agents du modèle. Ainsi, cette expérience a conforté

notre perspective d'utilisation de techniques d'élicitation pour l'intégration des représentations des acteurs dans un modèle multi-agents.

Néanmoins, un certain nombre de remarques doivent être faites quant à l'utilisation de l'analyse de protocole.

Utilisation de la grille de correspondances

Tout d'abord, la grille de correspondances entre les expressions sémantiques des transcriptions et les éléments du formalisme Orienté-Objet, ne doit pas être utilisée de manière trop stricte. Il s'agit plutôt d'un guide pour la formalisation que d'une vérité absolue devant être suivie « mot à mot ». Un nom ne doit pas toujours être formalisé sous la forme d'un objet, de même qu'un adjectif n'est pas forcément un attribut (Graham 2001). Prenons l'exemple ci-dessous.

« L'érosion prend la couche de limon et ça laisse le schiste à nu. Ça déstructure complètement les sols. Le schiste c'est un amalgame de terre fine (de limon) et de strates. Alors quand la flotte vous prend la terre fine, il ne reste que la roche. » Viticulteur F

Les mots « *couche* », « *strate* » et « *roche* » ne sont pas formalisés dans le modèle. Ici il s'agit plutôt d'une description détaillée de la part du viticulteur qui lui permet de nous expliquer qu'une fois érodés, les schistes ne sont plus adaptés à la culture. De même, l'adjectif « *fine* » pour la terre n'est pas non plus pris en compte dans notre formalisation. Cet exemple, nous montre que les choix de l'analyste quant à ce qui doit être traduit sous forme d'objet et d'attribut sont en fait souvent guidés par le niveau de précision du modèle qui est envisagé. L'analyste va chercher à extraire les informations correspondant au niveau de précision souhaité ou va interpréter les dires de l'acteur à un niveau d'analyse qui correspond au niveau de précision envisagé. Un procédé identique est utilisé quant à l'échelle spatiale. Par exemple, dans l'assertion suivante – « *L'eau qui s'écoule d'une parcelle très vite elle va à la rivière. Et dans la mer.* » Viticulteur D – les mots « *parcelle* » et « *rivière* » correspondent à l'échelle spatiale qui a été fixée pour le modèle et ont donc été traduits sous forme d'objet. Par contre le mot « *mer* » est en dehors du référentiel spatial choisi et n'a donc pas été formalisé

Formalisation de la microstructure du modèle

En outre, nous avons pu voir au travers de l'exemple de construction du modèle plus haut, qu'un certain nombre de problèmes sont rencontrés lorsqu'on cherche à formaliser la microstructure des concepts et des méthodes.

- Les dires d'acteurs comportent des parties non explicitées qui lors de la formalisation se traduisent par des paramètres manquants ou par des processus liés mais dont on ne sait pas comment fonctionne le lien. L'ingénierie des connaissances explique ces absences d'informations par le fait qu'il s'agit de connaissances tacites, mais parfois cela peut tout simplement correspondre au fait que la personne n'a pas d'idées sur comment le

processus fonctionne dans le détail et se contente de le considérer et de l'expliquer de manière globale. Néanmoins, un modèle informatique ne peut se contenter d'une formalisation « approximative » du fonctionnement d'un processus, et si l'on souhaite que le modèle puisse fonctionner nous sommes alors obligés de compléter ces manques. Dans l'expérience de l'Orb nous avons pris le parti de les compléter par des fondements et des données théoriques. Dans ce type d'approche il est alors important que les informations ajoutées ne dénaturent pas les données provenant des dires d'acteurs et qu'elles les expliquent de la façon la plus simple possible.

- Certains dires d'acteurs nécessitent d'être interprétés pour pouvoir être formalisés. Comme décrit dans la section 4.4 de la thèse, cela provient en partie de la nature du langage ordinaire dont la compréhension est parfois hasardeuse. Ainsi, dans l'exemple de construction du modèle présenté plus haut, nous avons pu interpréter correctement ce qu'était une « terre rouge », mais par contre nous avons mal interprété dans un premier temps ce que pouvait être « la force » d'un orage. Il est tout à fait probable que d'autres erreurs d'interprétations aient eu lieu sans que nous nous en soyons rendu compte.
- La construction des méthodes complexes est certainement le processus le plus délicat d'une analyse de protocole basée sur le formalisme Orienté-Objet. L'exemple de la construction de la méthode ruissellement présentée plus haut est particulièrement parlant. Trois types de biais entrent en jeu. D'une part, le biais provenant des interprétations ayant dû être faites pour obtenir les informations utilisées dans la construction de la méthode (les processus numérotés de un à sept dans notre exemple). D'autre part, le biais provenant de l'ordre avec lequel ces processus sont intégrés dans la méthode (la méthode finale peut être été différente si les processus de la méthode ruissellement sont intégrés par exemple dans le sens inverse à celui présenté dans notre exemple). Enfin, le biais provenant de la façon dont les processus sont intégrés. Pour le vérifier, nous avons soumis les mêmes informations à différents modélisateurs et nous avons observé des différences dans la microstructure des méthodes formalisées. Par exemple, la Figure 89 montre deux formalisations différentes de la méthode de ruissellement (celle de gauche correspond à celle que nous avons utilisée).

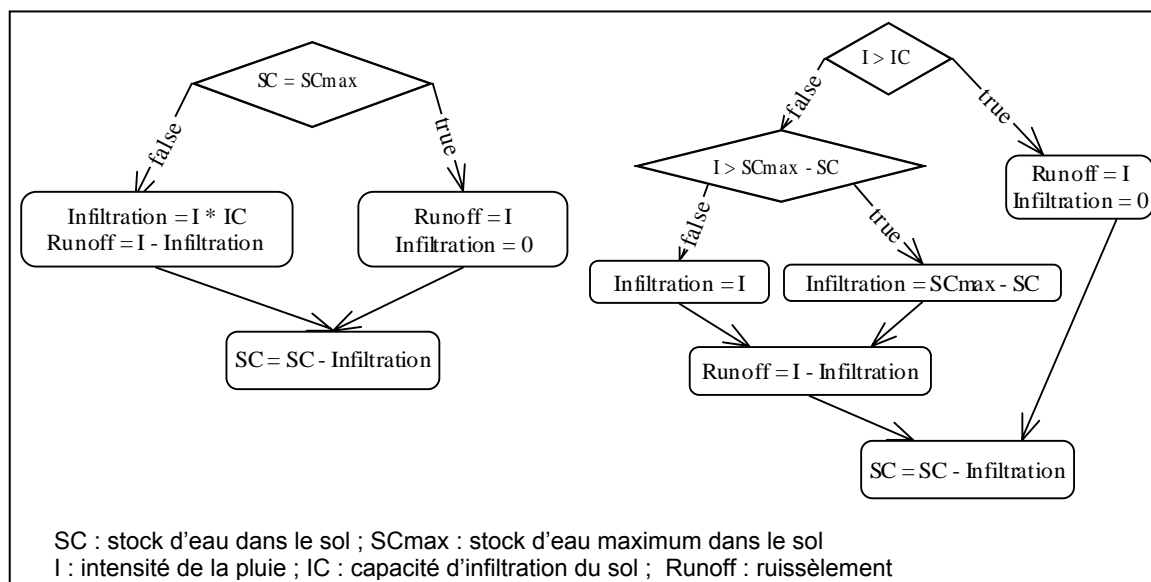


Figure 89 : Deux formalisations différentes de la méthode de ruissèlement

- En outre, nous avons constaté que de manière générale les méthodes rattachées à des processus physiques mettant en jeu plusieurs éléments du système, étaient les plus controversées (la méthode « ruissèlement » étant la plus controversée d'entre toutes). Il semblerait que cela provienne du fait que les processus physiques sont les moins bien explicités par les acteurs (et ce d'autant plus que les interactions entre les éléments au sein de la même méthode sont nombreuses). Par ailleurs, nous avons également constaté que plus la méthode est basée sur de nombreuses informations, plus le biais d'interprétation du modélisateur est important.

En ce qui concerne les problèmes rencontrés à l'échelle de la microstructure du modèle, notre démarche dans l'expérience de l'Orb a été de les recenser, éventuellement de les gérer en intégrant des informations provenant de sources autres que les dires d'acteurs, mais nous n'avons pas interrompu pour autant la construction du modèle. L'idée était au début d'obtenir un premier modèle qui fonctionne, et de soumettre par la suite les problèmes rencontrés aux acteurs (ce que nous n'avons pas eu le temps de faire dans le cas de l'Orb). Néanmoins, à la suite de cette expérience, il nous est apparu que la présentation d'un modèle déjà entièrement formalisé n'était pas forcément la meilleure méthode pour amener les acteurs à discuter les hypothèses prises lors de sa construction, et ce pour deux raisons. Tout d'abord présenter un problème auquel nous avons déjà trouvé une solution n'est pas la façon la plus judicieuse pour le remettre en cause. Ensuite parce que l'échelle des problèmes rencontrés est celle de la microstructure du modèle. Or, si une démonstration du modèle permet de discuter et de remettre en question la structure et les processus du modèle à une échelle globale, il est moins aisé de réaliser la même opération pour des processus relevant d'une échelle plus fine.

Ordonnancement dans la formalisation des dires d'acteurs

Par ailleurs, bien que l'analyse de protocole soit en quelque sorte réalisée en interaction avec la construction du modèle et qu'il est possible de revenir et de corriger des éléments déjà formalisés au cours de l'analyse, les premiers objets et éléments formalisés prennent une place prépondérante dans le modèle. Dans le cas du modèle des viticulteurs du bassin versant du Taurou nous avons commencé par formaliser l'objet Orage ce qui nous a amené à choisir un séquençement du modèle dirigé par les événements pluvieux (Figure 88). Ainsi, comme pour la construction des méthodes, le modèle obtenu dépend du choix des premiers éléments formalisés et de leur ordonnancement durant l'analyse de protocole. Cela paraît d'autant plus problématique que dans le cas de l'expérience de l'Orb nous avons utilisé les dires de l'ensemble des acteurs enquêtés pour formaliser les éléments d'un même modèle.

Mélange des dires d'acteurs

Dans l'expérience de l'Orb nous avons fusionné les transcriptions des différents viticulteurs avant l'analyse de protocole. Ainsi, un objet du modèle peut avoir été formalisé en partie à partir des dires d'une personne et la définition de ses attributs peut provenir des dires de plusieurs autres personnes. Notre démarche était que les informations provenant d'une personne pouvaient être utilisées pour compléter les manques d'informations constatés dans les dires d'une autre personne. Si du point de vue du modèle cette démarche fonctionne correctement (jusqu'à ce que l'on rencontre des avis contradictoires, cas que nous traitons dans le paragraphe suivant), elle complique la vérification des informations par les acteurs lors d'une éventuelle restitution. En effet une fois intégrées dans le modèle, il devient très compliqué de garder trace de la source de chaque bout de code formalisé. Dans le cas de l'Orb, nous avons distingué les informations qui provenaient de l'ensemble des viticulteurs et celles ayant été mentionnées par une partie des viticulteurs seulement, et ce afin de soumettre ces dernières aux autres viticulteurs pour avoir leur approbation.

Orientations pour l'élaboration de la méthodologie

Afin d'apporter une solution aux problèmes liés à la formalisation de la microstructure du modèle que nous venons de mentionner, nous avons ajouté dans notre méthodologie une étape intermédiaire de vérification par les acteurs avant l'intégration des représentations dans le modèle. Notre hypothèse est qu'une telle vérification permet une validation des représentations formalisées et une meilleure appropriation du modèle par les acteurs. Replacée dans le cadre de la modélisation d'accompagnement, cette étape se place donc à l'intermédiaire entre une construction du modèle directement réalisée par les acteurs et une démarche cyclique de vérification du modèle lors de phases de simulations (Bousquet, et al. 2001a). Pour cela, il nous a donc fallu définir un objet intermédiaire permettant de présenter et de soumettre la formalisation des représentations, tout en conservant une bonne lisibilité et traçabilité des informations ayant servi à la formalisation. En d'autres termes, une formalisation des représentations qui soit proche des dires d'acteurs tout en pouvant être

intégrée facilement dans le modèle. Par ailleurs, étant donné que la démarche consistant à fusionner les dires des acteurs au moment de l'analyse de protocole ne facilite pas la lisibilité et la traçabilité des dires d'acteurs, il nous a semblé préférable d'effectuer cette étape de vérification à l'échelle individuelle. Ainsi, à la suite de cette expérience, l'orientation que nous avons prise pour l'élaboration de notre méthodologie a consisté à établir un catalogue de représentations individuelles formalisées pour pouvoir les vérifier individuellement, avant de les intégrer dans le modèle.

c) Modélisation des points de vue contradictoires

Concernant la gestion d'avis contradictoires entre les différentes personnes interrogées, l'expérience de l'Orb nous a appris que ces conflits n'étaient pas toujours problématiques. Nous avons rencontré trois types de contradictions dans cette expérience.

Le premier type de contradictions apparaît lorsque deux personnes parlent d'un même processus mais utilisent des indicateurs différents pour s'y référer ou pour l'évaluer. C'est par exemple le cas de l'évaluation du processus d'érosion sur une parcelle de vigne en pente, pour laquelle, certains viticulteurs utilisent la quantité de sol que l'on retrouve en bas de parcelle, et d'autres utilisent le nombre de centimètres de mise à nu des souches de vignes. Dans les deux cas cette évaluation entraîne des actions de gestion similaires (comme remonter la terre en haut de parcelle ou construire un talus de protection), et les viticulteurs évoquent bien le même processus. Ce type de contradiction est facilement gérable dans un SMA. Pour cela il suffit de définir deux points de vue différents du processus d'érosion, chacun correspondant à l'un des indicateurs. Des seuils d'interventions peuvent également être définis pour chacun des deux indicateurs, sans que cela génère des conflits au niveau de l'implémentation.

Le deuxième type de contradictions que nous avons rencontré est relatif à des valeurs seuils ou à des résultats quantitatifs. Ce type de contradictions n'est pas non plus problématique en soi du moment que l'on considère le développement du modèle comme étant un processus continu de construction du modèle avec les acteurs. En effet, les différentes valeurs seuils ou données quantitatives trouvées dans les transcriptions peuvent être rediscutées avec les acteurs. Elles peuvent alors s'avérer être du même ordre de grandeur dans lequel cas il est vraisemblable qu'un consensus peut être atteint, ou dans le cas contraire la discussion peut permettre de faire ressortir les raisons de fond du désaccord ; et d'identifier une éventuelle opposition des avis dans lequel cas nous nous retrouvons dans le troisième type de contradictions.

Le troisième type de contradictions apparaît lorsque les représentations individuelles sont explicitement, sans ambiguïté possible, contradictoires, c'est à dire qu'elles s'opposent. Dans l'expérience de l'Orb nous avons identifié deux cas : une opposition quand à l'effet de

la garrigue sur l'érosion (certains viticulteurs pensent qu'un couvert de garrigue diminue l'érosion, d'autres pensent qu'il l'augmente), et une concernant l'influence de l'orientation des rangs de vignes (voir page 313). Comme nous l'avons vu, dans l'expérience de l'Orb nous avons géré ces oppositions en définissant deux scénarios différents pour le modèle. Néanmoins, cette option tient à la façon dont les représentations ont été intégrées pour ce cas d'application. Dans le cas de l'application du Nord Thaïlande, la façon d'intégrer les différentes représentations dans le modèle est différente. La gestion des représentations contradictoires est donc différente.

Annexe 5 : « Story board » des Playable Stories des deux villages étudiés

« Story board » utilisé pour le village de Sai Mun

L'histoire est divisée en trois années de six périodes chacune.

Year 1

1/ [June-July]

It's in the game the beginning of June. You start the game with an amount of money. This is your money [we give the money]

The dry season is already past and rainfall is now enough. The ceremony of the Muang Faay has been done and water is now flowing in the canals. This period of the game is 2 months, so what will you do as a farmer during June and July.

2/ [August-September]

There is now a lot of water. Water is good. Rice is growing well too. It's about 2 months old. If you need some more information about what is happening the village or something else you can ask when ever you like.

So, what will you do during this period of August and September?

3/ [October-November]

Rice is now mature. Your neighbour celebrated the wedding of his first son 2 weeks ago. What are you going to do for this period of October and November?

[It's possible to crop a 2nd crop]

4/ [December-January]

The weather is now cold and it's not raining anymore.

[If he already planted a second crop] Crops in the village are growing continuously (in the way it is). What will you do during December and January?

[If he didn't plant a second crop yet] Most of the farmers in the village already planted the second crop after rice but some farmers are going to plant just now. What will you do during December and January?

5/ [February-March]

It's going to be the end of the cold season.

[Time to harvest garlic; and to plant a 3rd crop]

6/ [April-May]

The weather is very hot and Songkran festival is approaching.

[Get Money from harvested products if not yet done (except for dry garlic). Pay off the debts.]

Year 2 (soil)

1/ [June-July]

We are now at the beginning of rainy season again. The ceremony of the Muang Faay has been done already. One month ago a scientist from Mae Joe University came at the village

and said that the soil was not good in the village. If you want to ask questions to the scientist, Nick will play the role of the scientist. Do you ask him something? So what will you do now?

2/ [August-September]

It's now beginning of August. Rice is growing well in the village.

3/ [October-November]

Rice is now mature and you can harvest it. You can also plant another crop afterwards.

4/ [December-January]

[If he has plant garlic already] Your garlic is growing slowly and you don't know why.

[If he didn't plant garlic already] Most farmers in the village have already planted another crop. Most of them planted garlic. They say the price of garlic will be good this year.

5/ [February-March]

[If he has plant garlic] Your garlic as well as the garlic of the other farmers in the village has yellow leaves. Some villagers said that this is because the soil is bad. It is now time to harvest garlic.

[If he didn't plant garlic] The garlic of the farmers of the village that have plant garlic has yellow leaves. Some villagers said that this is because the soil is bad.

[Time to harvest garlic; and to plant a 3rd crop]

[After he harvest garlic]

The garlic harvested in the village was very small size and yields were little quantity.

6/ [April-May]

The weather is very hot and Songkran festival is approaching.

The soil scientist from Mae Joe University came back to the village and comments about the things that you did.

Year 3 (water / Market)

1/ [June-July]

We are now at the beginning of the rainy season again.

2/ [August-September]

It is now the beginning of the month of August and 2 months have past since the beginning of the rainy season. It has been raining a lot before but now the rain is surprisingly less. It is less than the year before. But the water is still a lot.

3/ [October-November]

It is now the beginning of the month of October and the rainy season already stopped. It has stopped raining very soon compare to the other years and it starts to be cold already. The water is not much but it should be enough.

[Time to harvest rice / it's possible to crop a 2nd crop]

4/ [December-January]

It's now the beginning of December and many farmers in the village complain that they don't have enough water. You too, you don't have many water.

[Should try to have a rotational irrigation system for sharing water]

5/ [February-March]

[If he didn't set a rotational irrigation system, tell him that the villagers have set a rotational irrigation system in January]

It is now the first week of February and your crop couldn't be irrigated for 10 days, but it is still not your turn to get the water.

[Time to harvest garlic]

[After he harvests his crop]

Some farmers said that there are not sure if the price of the crops will be good or not this year.

[Can plant a 3rd crop]

6/ [April-May]

It will be Songkran soon. Some farmers sold their crop but they didn't get a good price. Farmers are not sure what the price of the crops in the future.

[Should sell all his crops]

« Story board » utilisé pour le village de Buak Jan

L'histoire est divisée en quatre années de quatre périodes chacune.

Year 1

1/ [June-July-August]

This story starts at the beginning of June, at this moment the rainy season already started. And the soil has moisture again.

[If he chose a plot during phase 1] There is no crop cultivated on your plot.

What will you do during June, July and August?

2/ [September-October-November]

This is the beginning of September, it's raining a lot. What will you do during these months of rainy season, and now what will you do during the beginning of cold season until the end of November?

3/ [December-January-February]

This is the beginning of December, the weather is very cold. In about a month, it will be Hmong New Year. What will you do during this cold season, of December, January and February?

4/ [March-April-May]

It's now the dry season, most of streams are dry now but the water at the 3 ponds at the village still has a lot of water. What will you do during this dry season until the end of May?

The first year of the game is now finished. After this first year, you see that in the game, some of your plots the soil is not quite good because it's already old.

Year 2

We start now the second year of the game.

1/ [June-July-August]

Once again, it's the beginning of June and the rainy season is starting. What will you do for this rainy season?

2/ [September-October-November]

This is now the beginning of September and you notice that in this period, the rainfall is less than the year before. What will you do during September, October and November?

3/ [December-January-February]

This is now the beginning of December; Hmong New Year is coming soon.

You see that some of the pipes that you use for irrigation are broken. It's about 3,000 Baht to repair...

[Wait a bit]

You also see that the water is very few, drier than last year. What are you going to do during the months of December, January and February?

4/ [March-April-May]

This is now the beginning of dry season. Water is lacking. Farmers can not irrigate as much as they want. Your relative comes to ask you for water because he couldn't irrigate his crop for many days.

In this period, what are you going to do?

At the end of April, the water is very very dry. And your crop couldn't be irrigated for 10 days...

[Wait a bit]

What are you going to do from now until the end of dry season?

[If he didn't do anything for the low fertility soil] The part of your plot which the soil is not so good is getting worse and worse at the end of this year. And, you have seen that the production on this soil is very bad.

Year 3

1/ [June-July-August]

This is the beginning of June and the rainy season is starting. Your relative had a lot of problems the last dry season. The water was dry in the village for 1 month.

He is asking this year to borrow a part of your plot to be able to grow...

[Wait a bit]

What are you going to do during June, July and August?

2/ [September-October-November]

This is the beginning of September, it's still in rainy season and rainfall looks like enough for this year.

The farmers in the village that sold their production had a bad income because the price is low...

[Wait a bit]

What are you going to do in this period of September, October and November?

3/ [December-January-February]

This is the beginning of December. In a month, there will be Hmong New Year.

Your first son is getting married this month. The parents of the bride want to meet to and ask about money...

[If he sells a crop] The price is very low this year.

4/ [March-April-May]

This is the beginning of March. The water is quite few but still enough. But in April, it's lacking of water in the village for almost 2 weeks.

Until now, all farmers that sold their crop had a very bad price.

What are you going to do for this period of March, April and May?

Year 4

1/ [June-July-August]

This is now the beginning of June; it's the beginning rainy season again.

A person from OHD is making a meeting at the village about protecting the soil from flowing water.

He says that farmers in Buak Jan need to improve their plot to prevent the soil.

If you want to speak with the person from OHD, Nick will be the OHD officer. You can ask him question...

[Wait a bit]

What will you do in the month of June, July and August?

2/ [September-October-November]

This is the beginning of September, the rain is very hard.

On the plots of some other farmers, the surface of the soil was washed away.

What are you going to do during this period?

3/ [December-January-February]

This is now the beginning of December. In a month, there will be Hmong New Year.

The weather is cold. What are you going to do?

4/ [March-April-May]

This is the beginning of March. The water in the village is still enough, but during April, it is dry for 2 weeks. What are you going to do?

Annexe 6 : Guides d'entretien utilisés

Les questions alignées à gauche introduisent le thème et sont systématiquement posées. Les questions en retrait précédées d'un tiret sont les questions de relance posées lorsque la personne ne sait pas comment aborder le thème.

Guide d'entretien – Fertilité du sol – Sai Mun

Personal management and situated representation

What is your strategy of fertilization of your plots?

Important elements of the domain

What are the factors that affect soil fertility?

Relations between elements

How does soil fertility affect your crop?

Relation to the past

Is it now different from ten years ago?

Management and improvement

What could you do to improve soil fertility?

Guide d'entretien – Gestion de l'eau – Sai Mun

Muang Faay water management

How do you share the water of the Muang Faay (the canal) with the other farmers?

- What is role of the Kae Muang (Muang Faay Manager)?
- Could the farmers manage the sharing of water by themselves (without the Kae Muang)?
- If you had more water to irrigate your plot, would you grow differently from now?

Interactions between Muang Faay

During drought periods, which Muang Faay have more water than others, and why?

- During drought periods, are there some arrangements between the different Muang Faay of the area, and what kind of arrangements?
- Does the Kae Muang of the different Muang Faay collaborate together to manage the water, and how?

Perception of the catchment dynamic

Where does the water of the Samoeng river comes from?

- Does the water of the Samoeng river comes from other places as well?
- Is there a lot of water coming from the streams of the Samoeng river, and why?
- Does the forests, bring water to the Samoeng river, and how?
- Is there some water from Pang Da / Buak Jan that goes to the Samoeng river?

What are the factors that affect the dry season flow?

- Forest, mountain, agriculture in Pang Da / Buak Jan / upstream villages
- Why some years the dry season river flow in Samoeng is higher / lower than during other years?

Can you tell in advance if there will be a lot of water or not in the Samoeng river during the dry season?

Guide d'entretien Buak Jan

Elements and processes of water dynamic in Buak Jan

What are the main water sources used for irrigation by the farmers of Buak Jan?

What are the processes and evolution of those different water sources?

- Where does the water come from and where does it go in each water sources?
- Are there other villages using the water coming from Buak Jan.
- How does the water quantity of those water sources evolve along the time (within a year / during several years)?

Collective water management

Can you tell me about collective water management / water sharing in Buak Jan?

- Are there any conditions for you to access to the different type if water source?
- Can other farmers use the water which is in your [concrete pound; water tank; in the same stream]?
- Do you share water with relatives [in water tank; in concrete water pound]?

Elements of cropping and water management

Can you tell me about how do you crop and what are the factors (things) that are important for cropping?

- In your thinking, is [soil; water; cropping technique; irrigation technique; market; cash] an important factor for cropping, and why?

Relation between soil and water

Can you tell me about the different types of soil in Buak Jan?

Do you change your management of cropping and irrigation according to the different types of soil?

- Is the type of soil in the village suitable for irrigation?
- Can the soil store a lot of water for the plant to drink?
- How does the soil influence the crop that can be grown and how does it influence the water flow (the way the water pass on the surface)?

Improvement

Does soil and water need to be improved in Buak Jan, and how?

- Do you think the water from the spring should be improved?
- On the plot, would you like to improve irrigation (or technique of irrigation) and how?
- Would you like to have erosion control measures [vetiver grass; hillside dish; bench terrace]?

Annexe 7 : Transcriptions d'entretiens

Exemple de transcription n°1

Interviewee: Farmer 9 – Sai Mun

20 February 2003

Objective: Perception of Soil Fertility

at Farmer 9's field

Scientists come every year to test the soils. They say the decrease of garlic yields may be because farmers use too much fertilizer.

In the past organic fertilizer (manure from cattle) was used but the development of agriculture bring the use chemical fertilizer and that might affect the soils.

[Is the soil good here or not?]

Yes but because of intensive use of chemical fertilizer it became acidic.

The use of much fertilizer makes something happen to the soil. It makes it acidic, so crops are not that good after.

[What are the factors that affect soil fertility?]

Chemical fertilizer is one of the factors. It destroys the nutrients in the soil. Farmers use a lot of chemical fertilizer. Chemical fertilizer doesn't mix well in the soil. It gives nutrients to the plant but the soil doesn't improve, whereas organic fertilizers mix well so it becomes soil. So, to improve the soil, one needs to use organic fertilizer.

"Chemical fertilizers give to the plant, not to the soil". "There are costs, but not benefits." Even sometimes, farmers put too much fertilizers and the plant cannot take it all.

A plant uses both chemical fertilizer and the soil to feed itself. The soil is the one that has the biggest impact because it contains and gives water and fertilizer.

If too much chemical fertilizer is used, than the remaining [of what hasn't been taken by the plant] stays in the soil and destroy the fertility of the soil. It makes it acidic or basic.

Today farmers do not put too much chemical fertilizer anymore. "The more you put [chemical fertilizer], the worst it is!" I use chemical fertilizer and manure.

Water affects soil fertility. The extension department said the water may have a problem at the hot springs and it may affect in Sai Mun. Not good water affects soil but more it affects even more the plant. There is a relation between soil and water but [it looks like the relation is not important or unclear to F9].

[Is it now different from ten years ago?]

In the past, there was no problem with the soil and the water. The traditional farming did not use chemicals. But now it's a new situation and they have [the farmers] a new situation that has never been encounter before.

Soils are different everywhere. Fertility of soil comes from animal as in the past. At [a location] animal and soils give fertility.

[What could you do to improve soil fertility?]

Soil fertility will improve if we do nothing to the soil. Can improve if we use for example mostly organic fertilizer (80%) and a little of chemical fertilizer (20%). Some crops can also improve soil fertility [rotational cropping].

To improve we need to increase organic fertilizer and to do rotational cropping; so that we are not stuck in the same cycle as today.

Rotational cropping is the reverse of what we did. We did 20 years of garlic production. Rotation is good because different crop need different kind of fertility (nutrients). For example garlic needs 10/15/15; but pees need 13/13/1. It's different quantity of each nutrient.

A plant needs always the same type of fertilizer (the same formula). This is a knowledge from the farmers and a belief. They know this because, for example, last year they use 15/15/15 on garlic, so they use the same this year; because it's a belief.

Including a fallow period in the cropping rotation is possible and good because:

1. Bacteria will die and it will come back to normal
2. Grass will grow and after dying its residues (waste) will bring nutrients at the surface of the soil
3. No chemical are used, so it's better for the soil.

Worms that stay in the soil can improve the soils (but the one in the plants are bad). The worms of the plants come from the sky, not from the soil. They spread everywhere in vegetable plots. They are enemies of the plants.

Using organic fertilizer and rotational cropping will take many years before to recover the soil fertility, while when using chemical fertilizers one can see immediately the benefit on the crop (7 days). But still chemical fertilizers are not good on the long term. Thus on the short term, using a lot of chemical fertilizers on vegetables for example gives excellent product ; but 2 years later the soil fertility will decrease.

My soil isn't so good because I have to use a lot of chemical fertilizer in order to get good products. I used hormones too. Other farmers are using organic fertilizer for a company.

"Organic fertilizer can help the soil but it still needs chemical fertilizers to help the plant. It is essential to use chemical fertilizers for a plant because otherwise you will not get the required quality grade. This is because the market needs it. If they don't use chemical fertilizers they cannot sell their product."

I also did organic cropping, but I had very little quantity of product. So I had a very little income even though the market on organic product is increasing.

Comparing soils from the forests and soils from an agricultural area, soils from the forests are much better because they have no pollution. It's the same at Buak Jan because they are using shifting cultivation. If they had money, to improve soil fertility, they would put manure so that the fertility would come back and they wouldn't need to use chemical fertilizers anymore. Or they would let the land fallow for 3 years, cut the grass and make compost. If

the area is big enough this will enable to decrease the quantity of insects because they wouldn't have any grass.

Pees, beans,... are good for increasing soil fertility because:

1. they contain good chemicals
2. the investment is low because it needs very low chemical fertilizers
3. the roots make the soil better

It's possible to grow pees and beans on acidic soils, but not other crops like corn or others. In Mae Saep they can do it because they use manure.

[Why are the soils not good today?]

The soils store the chemicals and nutrients on the long term, and so the plant cannot eat them. When chemicals are stored in the soil it will bad in two ways:

1. the nutrients are stored, so they can not be accessed for the plant,
2. it makes the soil more clayey [hard and sticky] so the water runs off quickly and the soil becomes acidic.

In fact it's the use of chemicals that makes the soil acid and an acidic soil makes it clayey.

And, a clayey soil is a problem. "The more you put [chemicals], the worst it is"

A scientist (Department of Agricultural Extension) said the soil is acidic so we need to restore it. A farmer cannot see if a soil is acidic. It must be tested by a scientist.

To improve the soils, there are 3 ways:

1. Rotational cropping
2. Manure
3. Turn over the soil and let it seat

[Why does other farmers do not do those improvements?]

Because good garlic will give a 100, while another crop will give 10. To do such improvements it's difficult. You can do it with the RP for example. You need to be industrious, confident and committed.

Exemple de transcription n°2

Interviewee: Farmer 12 – Sai Mun

25 March 2003

Objective: Perception of Soil Fertility and sweet corn production

at Farmer 12's field

[The interview was done at the her field in Na Haa Baht (right side) just after they had harvested their sweet corn production and planted soybean. She said that she and her husband have plenty of free time after planting garlic.]

Since 4 or 5 years the soil is not good. The factors that explain this is that they use chemical fertilizer and didn't use organic fertilizer. The chemical fertilizers affect the soil. It makes it acidic and hard.

The Royal Project extension officer said that farmers should crop beans. Maize doesn't like hard soil. Sweet corn needs more chemical fertilizers than maize and soil may be a reason of

that difference between maize and sweet corn. Rice and beans don't care about the soil quality. "Putting water on rice doesn't make the soil harder"

Cropping soybean will improve the soil after 3 or more years, if there is no garlic cropped. Then the soil will not be bad: not acidic anymore and it will be loose. Then, garlic can give a good production. Beans have rhizobium that makes the soil better.

Applying herbicide will make the soil bad [because it's chemicals]. With my husband we use it if we don't have time to make weeding by hand.

I'll irrigate the soybean [it was just planted few days before] within 2 or 3 days. I'll fill up the terrace at half of its height. Filling the terrace with water is good for the soil.

"Bio-organic fertilizer is good for the soil put it takes a long time to see the result. While with chemical fertilizers it takes just 3 days to see the result on the crop."

Using manure and compost is better than cropping soybean. It's quicker to make the soil better. With manure or compost it will take only 2 years to see the result on the crop. For soybean it takes about 3 to 4 years.

[Why garlic was not good this year?]

Because the dump at Mae Kaen was smelling bad this year and the has wind blow the smoke from the dump to the garlic fields and polluted them.

To improve soil fertility I will change of crop to see if it's better [try different crop to see which one is best]. This is because some farmers are going to stop growing garlic and will grow other crops instead, like cabbage for example.

If my soil was acid [can check with soil analysis], then the RP officer will give me seeds of specific crop (Potuang) that I will have to grow for 3 or 4 months and return it into the soil [bury it]. There is no product to harvest with this crop; it's only grown to make compost for the soil. This crop will decrease acidity and increase the fertility of the soil.

In the past the cropping system was the same than today. Put in the past farmers where using 1 or 2 bags of chemical fertilizer while they are using 3 to 4 bags today. This change appeared about 5 years ago. 10 to 15 years ago farmers where using even less fertilizer then 5 years ago (less then 1 or 2 bags), because there were not has much disease and insects.

In the past (15 to 20 years ago), farmers were raising cows and they had manure for the soil. Farmers where growing garlic but just a little. I stopped raising cows because I didn't have enough grazing area [they changed their cropping system].

Life today is very different from 15 to 20 years ago. In the past, there was not as much facilities and goods as today. It wasn't as comfortable. So, in the past I didn't have as much needs as today.

Exemple de transcription n°3

Interviewee: Farmer 10 – Sai Mun

20 May 2003

Objective: Water management and catchment dynamic

at Farmer 10's field

Topic 1: Muang Faay water management

In rainy season, the farmers irrigate when they want though they are allowed to open only the number of piece of wood that they have off [the water gate of the plot is closed by several pieces of the wood put on the top of each other]. All the farmers respect this rule but if one doesn't, the Kae Muang and his assistants are always checking along the canal. At the beginning of rainy season, all farmers have to clean the canal. Each farmer has to clean a length of the canal equal to 15 times of his area. If one doesn't come, he has to pay 200 Baht. He may also hire someone to replace him. At Sai Mun, the cleaning of the canal lasted one day, May 20. The opening ceremony of the canal is done after. If a farmer is very sick and can not join the cleaning, he does not need to pay the fine. The Kae Muang does not need to clean the canal himself, he supervises the work. During dry season there is no sharing. The first farmer of the canal will irrigate his plot by diverting the water of the canal and after will left the water in the canal flows downstream for another farmer to irrigate. There is a rotation system. In order to set the rotation system, the meeting will be organized. The day for the first farmer to irrigate will be set. In Sai Mun, it takes about 5 days for rotation. If there is a drought, we will use the water pump from the district office and place it at a weir. Then when a farmer wants to irrigate, the husband and wife help each others. The husband will go to the weir and turn on the water pump. The wife will go to the plot to open the water gate of the plot. When the plot is finished to irrigate, the wife will make a signal [make some noise] for the husband to close the water pump. The farmer needs to pay for the fuel for the water pump by himself. Five or six years ago, the water was not enough. So the farmers asked the district office to use/get a big water pump to pump water directly from the weir to the canal.

Topic 2: Interaction and management between Muang Faay

The water in Sai Mun Faay is more than Ban Kew because there is a water flow all year in Sai Mun [she talks about the period before the creation of the new Ban Kew dam/weir]. But the water in Na Haa Baht is more than in Sai Mun because in Na Haa Baht, there is a gate that is used for closing or opening the water. Therefore the Na Haa Baht weir can keep some water but at Sai Mun weir, there is no water gate so water at the weir always flows. The water in Sai Mun Faay will be dry in dry season. When we have a problem about water the different Muang Faay do not help each other. We just go to see the district office and ask for the water pump to pump from Samoeng river to the canal.

Topic 3: Perception of the catchment dynamic

The water of the Samoeng river comes from the hot spring. It also comes from Mae Pok, Mae Khun Sab and Pong Kwao [different villages and locations]. The streams from these locations meet together at Samoeng river. There are about 32 springs. The water from the

forest doesn't flow in dry season. But in rainy season, it first flows to many little streams and then goes to Samoeng river. Because it keeps water for itself (around its roots) but in rainy season, it releases the water (because it has more water than what it needs) that can flow down. The water also comes from Pang Da and from Buak Jan. It flows down to two streams (Thad Hua Chang and Nong Lom) that meet together at the spring before flowing to Samoeng river. The water from Pang Da spring comes from a cave. In the past (about 10 years), a big farmer came to crop in Nong Lom [Pang Da area] in a spongy area. Agriculture has dry all the area and water stopped flowing to Nong Lom. Before that, it was flowing. The road construction in Samoeng also contributed to dry the river. But it's not a lot of water for Sai Mun farmers. It may even be good because it avoids flooding in Samoeng river.

However, because Sai Mun village is the lowest village of the area the water always flows down to Sai Mun. Even if they do a lot of agriculture in Pa Kluay, water will still be enough in Sai Mun because when a farmer irrigate his plot, the water flows out afterward, [to the river] Of course, if the farmers do a lot of agriculture, the Samoeng river will be dry. But the truth is that there is no chance that the farmers in the above villages will do a lot of agriculture. About Pang Da, agriculture will not effect because there is a spring that flows the whole year. The water quantity is always the same [from one year to another]. Except in 1999, Samoeng river was dry because an upstream village built a reservoir and stopped the flow of the river. In dry season, the water still flows. It's never completely dry. If the farmers want to increase the quantity of the water, they grow banana trees next to the river.

Exemple de transcription n°4

Interviewee: Farmer 9 – Buak Jan

28 April 2003

Objective: Farming and perception of soil and water management

at Farmer 9's field

There is no rain at the moment so I irrigate water to the plot. I have planted already but there is no rain so I have to irrigate. The plot is not only mine but it belongs to my 3 siblings. We share the plot. Upper, I plant yellow corn [plot down on the road] and this side I will grow again. It is too much to grow at the same time. I have to wait 2 weeks to grow the rest again.

Elements and processes of water dynamic in Buak Jan

There is a water source where there are big trees [a stream]. I connect water pipes from there. I use it to irrigate about 3 plots [the 3 plots are next to each other but at different elevation. The 3 farmers connect their pipe to the stream]. I irrigate my plot with water from many other sources too: at Palao also [source at Toong Rao], at the stream next to a lychee orchard. It is not only mine. It belongs to my father in law but he let me use the water. All relatives who have a plot next to the big trees can use the water from that source (the one at the big trees). It [the water source] belongs to my father in law.

Sometimes, there are some problems because of the hose which is sometimes broken. The water can be used the whole year. Sometimes it's less than usual but it still can be used for irrigation. The water source here [the one next to the lychee orchard] is the strongest one in the village. It doesn't just flows down but there is a spring at the stream. I connect the pipe passed the lychee orchard and over the other stream and through some farmers' plot up on the hill and then I finally reach my plot. All together I have about 200 pipes. However, in rainy season, I rarely use the water from that stream. I just use rainfall.

There is also a big public water pound at the middle of the village. It's the same place as the one OHD station uses. Buak Jan villagers bought the land from a villager of Kong Hae. It cost about 100,000 baht. Then, they (the villagers) dig 3 water ponds. Anyway, the farmers who bought a small piece of land in that area before [before that all of the land was bought by the Buak Jan villagers], do not need to pay again for using water from the ponds. The villagers who did not bought the land [in the past], have to pay 2,000 baht before using the water from the ponds [they pay to the village committee]. So, the villagers have to pay 2,000 baht at the first time and then they can use the water from the 3 ponds forever.

Most of the villagers use the water from that spring [public ponds]. And, farmers which plot is on very high lands have to pump water from the spring in the village but for lower plot, farmers use the water from the streams around here.

[What are the processes and evolution of those different water sources?]. It's from nature. The water comes out from the underground. To tell you the truth, in this period of development, in the high land, farmers rarely use the water from the stream because they can pump water such as OHD station. They pump the water to use in the station.

The quantity of water for a certain year depends on rainfall. Last year, the water was drier than this year. This year, there is more water than last year because it's rain more often. It depends on the amount of rainfall.

Topic 2: Collective water management

About collective water, the farmers will pump the water to store in a small pond and irrigate later. If they don't pump, they will not have water to irrigate. So, if they want to irrigate they need to pump the water and store it in a small pond. My brother had to dig a small pond to keep water before irrigation. I, myself, connect from the stream and irrigate directly which is different from my brother [that had to built the water pond] because the water flow is not strong enough [for the brother]. [How could you stop the water flow after finishing irrigation?] I don't stop it. I just let it flow naturally. It keeps on flowing all the time. It's the water from the stream. In dry season, farmers can irrigate but they have to dig a small pond to keep water. Anyway, some farmers may not dig a pond. They irrigate water directly from the spring because the water is strong enough.

When the water is private water like in my case, I share with my relatives to irrigate every two days. For public water, farmers can irrigate whenever they want. I can irrigate water the whole day if my relatives do not irrigate the water at the same day. If we want to irrigate the same day, we will share the water. We will irrigate each plot, half a day.

Anyway, the farmers who want to use the water from the spring [public ponds at the village] have to pay 2000 baht before using the water. It's the only condition. Before digging the 3 ponds, some farmers bought some piece of land to access to use water. After that, the village committee bought the land to dig the 3 ponds. The new farmers who did not buy the land before have to pay 2000 to access water usage in the ponds.

For water from stream there are no rules except that when the farmers next to the stream [I use] are using water, if the water is not enough to share; then I have to wait [but, if the water is enough, he can irrigate]. The stream is in my father's in law plot so it belongs to him. Other farmers do not have right to use without his permission.

Topic 3: Elements of cropping and water management

Before growing, I need to use pesticide to protect insects. Then, later, when I grow flower [gerbera] I have to spray pesticide; but if I grow corn like this, I will not spray pesticide. If I want to do weeding, I will put a bit of fertilizer and weed the grass to cover the fertilizer. Growing flower is a bit difficult, I have to put Feridung [a kind of pesticide] on the soil to protect mold before the disease eat root [of the flowers]. It's a chemical product which last for 6 month.

I also do weeding often or, if I have fertilizer I will put more fertilizer. For poor farmer like me, actually, the place [soil] is already good here for growing flowers. There is good soil here. Soil is a natural fertilizer by itself. We don't need to put so many things. I just put corn seeds, and then it grows. After I had weeded then corn can be eaten. But if the land [soil] is grown for many times, I have to use fertilizer

I also have a problem because sometimes the plants are dying. I do not know the causes because sometimes it's good. Sometimes, the plant [flowers] dies and I grow the new plant. The new one also dies because there is mold in the soil. It's like when one plant die, then the others will die after it. I can't find solution until now. I plan to make a green house but now most of the plants are dying so I don't know what to do. The plastic sheet is about 2500 baht / 100 meters. So, 2 rolls of the plastic sheet is about 5000 baht [plastic for the green house]. I'm afraid to invest because all the flowers are dying. Flowers from other farmers are also dying, but for mine it's more than them. I don't really know why. The flowers of my brother whose plot is near my plot, are not dying but my flowers are dying. I really don't know why.

Water is not a problem. I irrigate everyday. The water is very very good. It's free too. If I pump the water, I have to pay for electricity bill. This is free water, I can irrigate whenever I want. Sometimes the water will lack when the pipe is full of air. So I fix it, then it can be used.

If I have a green house and use sprinkler then it will compressed the soil and the soil level will reduce. If I use sprinkler it will make the soil compressed because the green house is not so high so that I have to irrigate by hand. I can not use sprinklers anymore because the soil will sink. This is because the green house' roof is not high. So, I have to irrigate by hand. The best thing is to use bamboo because it can protect the soil to slip.

If I grow on this place [plot], it [the soil] will become not good. So, I have to wait 5-6 years to be able to grow flowers again. Or if I want to grow again, I have to use manure (cow), spread it on the soil and make ditches and use bamboo to protect [erosion]. Then I can grow [flowers]. If, I grow as usually, they will die.

Money is the most important thing for cropping. If I don't have money to invest, I can not get seedlings. The seedlings are quite expensive. One seedling is about 15-20baht. Before to start growing flowers, I didn't have any seedlings but my father in law said that I can take his seedlings and water. If I have money, I can grow cabbage or Chinese cabbage or many crops or only one crop depending on us. I and my wife also think what we will grow this rainy season. We may grow corn, if corn can be sold. We can also grow cabbage, only if it can be sold. I look at the market. Sometime, it also depends on luck. The price in the market may be good, but it depends on luck. Sometimes, prices are falling later. It is risky for all type of crops.

Topic 4: Soils, and relation between soil and water

Some places are clay. When we dig into the soil, we can see clay clearly and very sticky. For sandy-clay, when we dig into the soil, it's not sticky but it's friable. The empty plot there is also sandy-clay, and red color. Over there (on the right side of the empty plot) it's black soil but there are some stones inside too. Sandy-clay and black is good. Perhaps, red soil and clay are also good. But, if soil is red and sandy-clay, it's not quite good. On the hill, mostly it is clay. It's not the same as lower land. This mountain is clay. But, here it's red. At mid-elevation I also think that it's more clay, because higher soils slip down.

To tell you frankly, Hmong farmers do not care about the soil. If they want to plant some crops, they will grow no matter the soil is clay or sandy-clay. Anyway, some Hmong who have more knowledge or are educated, they know how to crop. Such as clay suits for growing flowers or sandy-clay is good for growing vegetables. Some farmers may not know, some may know. Some farmers who are low educated may know where the soil is good or not good. For clay, when growing some crops, mostly, they die. For sandy-clay, the crops do not die but it's not very good. Some farmers who have more money will put a lot of fertilizer so they get good yield. For me, I crop normally. If some plants die, I grow a new one instead. Farmers don't take the type of soils into account for choosing the irrigation system. But in rainy season, the water flow is strong; some farmers can do the same as me (using sprinklers). But if the water is not strong, they will irrigate by hand only. For example, the

water of my father in law, the flow is strong so I can always use sprinklers. For farmers, if they have a lot of water, they will use sprinklers. If they have less water, they will irrigate by hand. But it would be better to use sprinkler, because, irrigation by hand makes the soil hard. And when using dripping system the leaves can not drink water. When using sprinklers the soil is more wet and leaves can drink water too. For example my soil is black. Even if I irrigate a small amount, the soil is still black. So, if I have a lot of water, I can irrigate the quantity of water that I want. Soil type is not a problem. But, there are problems sometimes. I've got clay soil, so sometimes it can not keep much water. Therefore, I have to break the soil into small pieces so that it can drink water well. But for sandy-clay, it can drink water well. But the farmers don't want to irrigate by hand because it will make them tired and so [they use sprinkler] water can not infiltrate well.

Mostly, my flowers can not drink the water well because the soil is hard. I can not break the soil often because it will cause a disease. In rainy season, some farmers make a green house; the soil can keep the water well. My soil can keep water better when it rains.

Topic 5: Improvements

I think the ponds at the village spring should be improved. They should be bigger and deeper because they are shallow. It can not keep a lot of water. Actually, the water coming out from the spring is strong but the pond is too shallow. Therefore, if we pump water in high quantity, they dry fast. If they are deeper, they will be dry slowly.

[Would you like to have erosion control measures?] Actually, I do not want to look down on OHD, but I think doing like that [like what OHD do] will cause more erosion. When the water flows down to that spot, it will become a little pond. If there is lot of rain, it will flood and take the surface of the soil [erode]. Natural way is already good. Yes, in the very strong slopes, the soil surface is flown down [eroded] so it's better to do like that. For little slopes like this [his plot] we do not need to do like that. So the water flow varies depending on the slope of the mountain. What the OHD did is not quite good. Some farmers were not satisfied but they did not want to say. Sometimes, it ruins farmers' crops. For my plot, mostly, I do not get many erosion problems because I grow only flowers. The soil does not flow so much [erode]. But if we do nothing to obstruct the ditch when we irrigate, the soil surface can be flown [eroded]. It's natural. Then it will come back again as usual. In the past, on my plot, the soil surface had flow down [erode] but after I took out the flower plants, the soil became better.

Annexe 8 : Classification des entités pour le village de Sai Mun

General groups	Detailed groups	Element	General groups	Detailed groups	Element	
Cropping	Crops	Cabbage	Social & Natural Environment	Institutions and Partners	Company	
		Corn			Cooperative	
		Crop			District Office	
		Egg Plant			Exchange Labour	
		Garden Pea		Irrigation Department		
		Garlic		One Million Baht Fund		
		Maize		Royal Project		
		Peanut		Village		
		Pigeon Pea		Learning by comparing to others		
		Potato		Learning from external information		
Rice	Learning from own experience					
Soybean	Rain					
Sweet Corn	Weather					
Tobacco	Environment					
Crop Succession Strategy	Crop Rotation	Crop Rotation	Soil	Soil	Soil	
		Grow the same crop every year			Soil Analysis	
		Crop Input		Chemical Fertilizer	Chemical Fertilizer	Soil Input
Fungicide	Compost					
Inputs (others)	Dolomite					
Plot	Seedling	Seedling	Manure	Follow the plot		
		Upland plot		Manure		
Economic	Market	Crop that would give good money	Water	Water	Need of water	
		Dry garlic			Water	
	Crop Investment	Market		Market	Water Management	Water influence soil
				Price		Canal Assistant
				Trader		Canal Manager
	Profit	Capital		Capital	Farmer downstream	Cleaning Canal
				Crop investment		Farmer upstream
Loan	Expenses (family)	Expenses (family)	Rotational Irrigation	Underground Water		
		Profit		Water pump		
Luck	Profit Lost	Profit	Water Structures	Canal		
		Profit Lost		Irrigated Scheme		
Off Farm	Loan	Loan	River	Storage Weir		
		Interests		Stream		
Wage Labour	Luck	Luck	Weir	Weir		
		Off Farm (others)				
		Wage Labour				

Annexe 9 : Implémentation du réseau social du village de Sai Mun

L'enquête ethnographique a permis d'identifier dans le village de Sai Mun quatre réseaux sociaux auxquels les agriculteurs enquêtés appartiennent. Nous avons caractérisé chaque agriculteur par le (ou les) réseau(x) social(aux) dans lequel il évolue et par son niveau d'interaction avec le réseau (Figure 90). Le niveau d'interaction décrit jusqu'à quel point l'agriculteur est actif dans le réseau. Un niveau d'interaction élevé indique que l'agriculteur influence fortement les échanges d'idées à l'intérieur du réseau social et est également fortement influencé par ce réseau social. A l'inverse, un niveau d'interaction faible indique une faible participation et influence par rapport au réseau social.

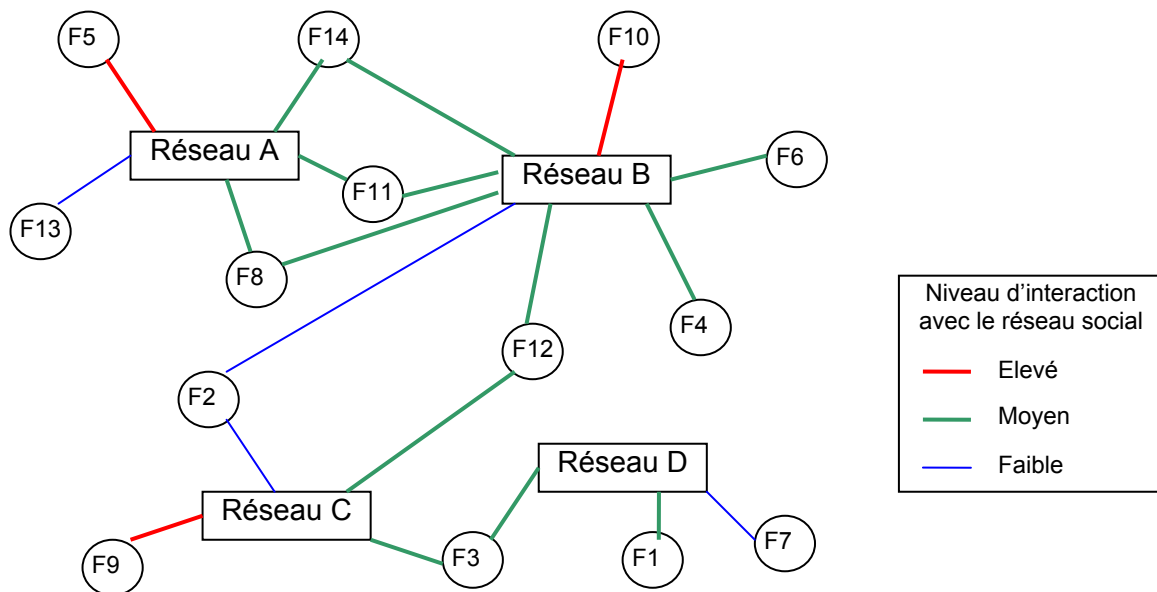


Figure 90 : Réseaux sociaux dans le village de Sai Mun

Du point de vue de la modélisation, les réseaux sociaux ont été implémentés sous la forme de « tableaux noirs » auxquels les agent-agriculteurs vont fournir de l'information et récupérer des informations. Ainsi, chaque agent-agriculteur a accès à l'ensemble des informations ayant été fourni à son réseau social. Le niveau d'interaction avec le réseau social est modélisé par un attribut qui caractérise la quantité d'informations que l'agent-agriculteur fournit et peut récupérer à chaque pas de temps.

La circulation de l'information d'un réseau social à l'autre passe par les agents-agriculteurs appartenant à deux réseaux sociaux différents. Ils vont récupérer des informations d'un réseau social A et les fournir à un réseau social B.

Annexe 10 : Liste des sondes utilisées dans l'analyse des résultats de simulation

Sondes globales

L'ensemble de ces sondes sont définies afin de donner un résultat moyen sur l'ensemble de la population ainsi qu'un résultat moyen pour chacune des sous-populations d'agents (c'est-à-dire les agents ayant des stratégies différentes).

- average farmer cash
- average farmer debt
- number of contract done (contract with private company, with Royal Project)

- cropping pattern
- crop preferences
- input pattern
- actual soil fertility
- perceived soil fertility
- actual soil organic matter
- perceived soil organic matter
- actual soil pH
- perceived soil pH

- knowledge base (crop, input, price, soil) size

- crop yields
- node discharge (Pang Da outlet, Samoeng outlet,...)

Sondes locales

- DemandArea inlet discharge
- SupplyArea outlet discharge
- IrrigatedScheme percentage of plots with water stress
- IrrigatedScheme percentage of plots with irrigation alert
- CanalManager irrigation rotation starting date

RESUME

Le bassin versant est un lieu de rencontre privilégié entre des acteurs et des ressources naturelles qu'ils utilisent et gèrent localement. Ces acteurs possèdent chacun leur propre façon d'appréhender la gestion des ressources et ce en fonction de la représentation qu'ils ont de l'état et du fonctionnement de leur système.

La modélisation d'accompagnement – une forme de modélisation participative privilégiant la co-construction de modèles avec les acteurs impliqués – se propose d'utiliser le modèle pour transcrire et faire partager le point de vue de chacun dans un objectif d'aide à la décision collective. Cette démarche passe par l'identification des représentations des acteurs impliqués et leur intégration dans un Système Multi-Agents. Cette thèse propose et teste, via son application dans un bassin versant du Nord Thaïlande, une méthodologie formelle permettant de réaliser ce transfert de la réalité observée au modèle informatique. Celle-ci s'appuie autant sur les techniques d'élicitation de l'ingénierie des connaissances, que sur les outils de la modélisation multi-agents ainsi que sur une démarche de co-construction du modèle. L'enjeu de la thèse réside dans la façon de combiner ces différents outils et approches dans une méthodologie d'ensemble cohérente capable d'appréhender la complexité des interactions en jeu et l'hétérogénéité des représentations des acteurs locaux. Les résultats obtenus montrent que si le cadre méthodologique retenu parvient à formaliser et à modéliser les représentations d'acteurs, il n'en reste pas moins que certains choix liés à la microstructure du modèle doivent être laissés à la subjectivité de l'analyste.

TITLE: Identification and modelling of local stakeholders' representations for catchment management

SUMMARY

In a catchment, various stakeholders exploit natural resources which they use and have to manage locally. Each of them has his own perception and way to manage the resources depending on his representation of the situation and functioning of their common system.

Companion Modelling – a participatory modelling approach focusing on co-development of models with local stakeholders – use models to integrate and share among participants the point of view of each stakeholder with the aim to support collective decision-making. For this purpose, stakeholders' representations are first identified and integrated in a Multi-Agent System. This research puts forward and tests, through its application in a Northern Thailand catchment, a methodology for formally transferring observed stakeholders' representations into a computer model. The methodology embeds elicitation techniques from knowledge engineering, and concepts from Multi-Agent Systems and situated cognition theory, while following a Companion Modelling approach. The research question is on how to combine these different tools and approaches in a consistent methodology able to grasp the complexity of the system's interactions and the heterogeneity of local stakeholders' representations.

Results show that although stakeholders' representations can be elicited, formalised and modelled through the proposed methodology, the subjective intervention of the modeller is required when it comes to define the micro-structure of the model.

DISCIPLINE : Sciences de l'Eau

MOTS-CLES : Bassin versant, Modélisation, Systèmes Multi-Agents, Représentations, Acteurs locaux, Ingénierie des connaissances, Nord Thaïlande

LABORATOIRE :
Cemagref-Irrigation
361 rue J.F. Breton, BP. 5035,
34033 Montpellier Cedex 1, France