

Habilitation à Diriger les Recherches

présentée par Christophe Le Page,
CIRAD – Unité de Recherche Green

Simulation multi-agent interactive:

engager des populations locales dans la modélisation des socio-écosystèmes
pour stimuler l'apprentissage social



Soutenue le 16 mars 2017 devant le jury composé de :

- M^f Alexis Drogoul, rapporteur
- M^f Jacques Ferber, rapporteur
- M^f Paul Leadley, rapporteur
- M^f Jean-Pierre Briot, examinateur
- M^{me} Françoise Gourmelon, examinatrice
- M^{me} Amal El Fallah-Seghrouchni, présidente
- M^f François Bousquet, invité

Table des matières

1	Introduction.....	4
2	Contexte: modélisation participative des socio-écosystèmes et apprentissage social	5
2.1	Approches des relations Homme-Environnement	5
2.2	Le socio-écosystème : un objet complexe	5
2.3	Apprentissage social	7
2.4	Modéliser et simuler le fonctionnement des socio-écosystèmes.....	7
2.4.1	Usages des modèles et de la modélisation.....	9
2.4.2	Approches et outils.....	9
2.4.3	Dimension participative	11
3	Parcours vers la modélisation d'accompagnement.....	12
3.1	Ouverture aux modèles de simulation informatique et aux systèmes multi-agents	12
3.2	MobidyC : replacer les thématiciens au cœur de la construction des modèles de simulation	14
3.3	Green : une approche interdisciplinaire des relations entre les Hommes à propos des ressources renouvelables	16
3.4	Cormas, une plateforme pour développer des modèles de simulation multi-agents appliqués à la gestion des ressources renouvelables	20
3.4.1	Concepts inhérents à la plateforme Cormas	21
3.4.2	Un module hiérarchique d'entités spatiales génériques.....	21
3.4.3	Premiers modèles développés avec Cormas	22
3.4.4	Evolution de la plateforme Cormas	23
3.5	Sessions de formation « SMA et simulation de systèmes complexes : application à la gestion des ressources renouvelables »	23
3.6	ComMod et les jeux de rôles	24
4	Modèles multi-agents appliqués à la gestion des ressources renouvelables.....	27
4.1	Représentation explicite de l'espace.....	27
4.2	Trois types d'interactions	29
4.3	Processus de décision des agents.....	30
4.4	Applications développées avec Cormas	32
5	Une pratique de la modélisation d'accompagnement centrée sur la simulation multi-agent interactive.....	38
5.1	Positionnement et posture.....	38
5.1.1	Concevoir pour simuler vs simuler pour concevoir.....	39
5.1.2	Endosser les rôles de modélisateur et informaticien pour « concevoir en simulant » de façon collaborative.....	41
5.2	KISS ou KIDS ? KILT !.....	44
5.2.1	KISS => KILT ! Exemple au Bhoutan	46
5.2.2	KIDS => KILT ! Exemple sur le Causse Méjean.....	47
5.3	Simulations multi-agents participatives et interactives.....	48
5.3.1	Simulation multi-agent et jeux de rôles: qui sont les agents ?.....	49
5.3.2	Simulation multi-agent participative et recherche en informatique.....	50
5.3.3	Un domaine d'utilisation dominé par les sciences de l'éducation.....	51
5.4	Simulation multi-agent interactive avec des acteurs locaux : exemple au Zimbabwe	53
5.5	Spécifier des agents informatiques avec les acteurs locaux pour explorer des scénarios	56

5.5.1	Une suite de jeux de rôles spécifiques : exemple de Ban Mak Mai (Nord-Est Thaïlande)	56
5.5.2	Simulation multi-agent interactive hybride: exemple de Nan (Nord-Thaïlande)	58
5.5.3	Zoom-arrière à granularité constante : exemple au Cameroun.....	59
6	Projet de recherche	62
6.1	Analyser l'apprentissage social	62
6.1.1	Sessions de formation ComMod comme cadre d'analyse de l'apprentissage social	63
6.1.2	Dispositifs de simulation multi-agent interactive et apprentissage social	63
6.2	Un point de vue multi-plateforme pour stimuler les réflexions méthodologiques sur la simulation multi-agent	64
6.2.1	Partage et réutilisabilité	65
6.2.2	Tester pour favoriser la répliquabilité.....	66
6.3	Modéliser des socio-écosystèmes: de l'échelle du terroir à l'échelle du territoire	67
7	Conclusion	69
	Références bibliographiques	70
	Annexe 1 : Curriculum Vitae détaillé	85
	Annexe 2 : liste de publications	105

1 INTRODUCTION

Les travaux de recherche que j'ai menés depuis la soutenance de ma thèse en janvier 1996 représentent une tranche de vie ! Même si la plupart de ces années ont été passées au sein d'une même unité de recherche (*Green*) au CIRAD, j'ai vécu différentes périodes du fait des mouvements de mes collègues et de mes propres expatriations (en Thaïlande d'octobre 2005 à juillet 2009 et au Brésil depuis août 2015). Difficile dans ces conditions de trouver un fil conducteur...

Je donne quelques éléments de contexte général sur la modélisation participative appliquée aux socio-écosystèmes dans le chapitre 2, en explicitant l'objectif spécifique de stimulation d'apprentissage social.

Le chapitre 3 présente la première partie de mon parcours, jusqu'au début des années 2000 qui ont marqué l'émergence du collectif de chercheurs qui s'est constitué autour de la modélisation d'accompagnement. Au-delà de la présentation chronologique des éléments structurants de cette période, je discute d'un certain nombre de points de portée générale à la lumière de mon expérience et de mes lectures.

Dans le chapitre 4, je donne un point de vue sur les modèles de simulation multi-agent appliqués à la gestion des ressources renouvelables et propose une classification des applications que j'ai développées avec la plateforme *Cormas*.

Le chapitre 5 tente de préciser les grandes lignes d'une approche de la modélisation d'accompagnement qui s'est construite au travers d'expériences de co-conception dirigée par la manipulation de modèles multi-agent de type « empirique stylisé » réalisées avec des acteurs locaux dans des contextes et des domaines d'application très variés (France, Bhoutan, Thaïlande, Cameroun, Zimbabwe). Je fais l'hypothèse que cette approche stimule l'apprentissage collectif, et en conséquence favorise l'émergence de formes d'interactions coopératives.

Le chapitre 6, enfin, présente les trois directions de recherche vers lesquelles je m'oriente pour les prochaines années.

2 CONTEXTE: MODELISATION PARTICIPATIVE DES SOCIO-ECOSYSTEMES ET APPRENTISSAGE SOCIAL

2.1 Approches des relations Homme-Environnement

Diverses écoles de pensée ont proposé des approches pour étudier les liens entre la société et l'environnement, notamment l'écologie politique (Greenberg et Park, 1994), la vulnérabilité (Turner II et al., 2003), la résilience (Folke, 2006; Folke, 2016) et les communs (Ostrom, 2009; Ostrom et al., 2007). Les cadres d'analyse, auparavant centrés soit sur les systèmes écologiques, soit sur les systèmes sociaux, ont convergé vers des conceptions et des modèles holistiques dénommés socio-écosystèmes (Gallopain et al., 1989), systèmes socio-écologiques (Berkes et al., 1998), systèmes humain et environnemental couplé (Turner II et al., 2003), ou encore systèmes humain et naturel couplés (Liu et al., 2007). Nous retiendrons ici le terme de socio-écosystème (SES).

L'approche proposée par Elinor Ostrom (2007; 2009) pour étudier la forme de gouvernance collective appelée « communs » est ancrée sur une analyse des processus de décision d'acteurs s'organisant localement pour établir un mode de gestion communautaire des ressources. Le socio-écosystème est ici vu comme un ensemble de quatre composants en interaction : un système de ressources (par exemple une aire protégée), des unités de ressources (les espèces animales et végétales, l'eau), un système de gouvernance (le gouvernement et les autres organisations qui gèrent l'aire protégée, la réglementation de l'aire protégée, les procédures d'élaboration de cette réglementation) et enfin des usagers (les individus qui utilisent les ressources à des fins de subsistance, de loisir, de commerce, etc.). Les interactions entre ces 4 sous-systèmes produisent des effets qui rétroagissent sur chacun d'entre eux. Ostrom a identifié et catégorisé un ensemble de facteurs et en a dénombré 10 qui affectent la possibilité de mise en œuvre d'une gestion auto-organisée, dont le partage de valeurs morales et éthiques et l'existence de savoirs partagés sur le SES.

L'apprentissage social, dans ce cadre, revêt une importance particulière. Ma recherche s'est articulée autour de l'idée qu'engager les populations locales dans la modélisation et la simulation du fonctionnement des SES représentait un moyen de le stimuler.

2.2 Le socio-écosystème : un objet complexe

Chercher à comprendre l'action des humains dans leur milieu en plaçant au cœur de l'interrogation les interactions dynamiques entre les éléments et la totalité amène à considérer l'objet d'étude SES comme un système complexe adaptatif. Tels que les a défini John Holland (1995), les systèmes complexes adaptatifs sont composés d'agents en interaction

répondant à des règles. Les agents s'adaptent en ajustant leurs règles en fonction des expériences qu'ils accumulent. L'auto-organisation du système est la résultante de la multitude d'interactions des éléments qui le constituent, produisant des dynamiques non-linéaires difficiles à démêler, et donc à prévoir.

La nature intrinsèquement imprévisible d'un SES constitue une première source d'incertitude, à laquelle s'ajoute une incertitude de type épistémique liée au manque de connaissances sur le système étudié (Walker et al., 2003). On peut préciser la nature de ces incertitudes scientifiques en distinguant les notions de risque (qu'on peut estimer par des probabilités), d'incertitude (les facteurs influents sont identifiés mais on ne connaît pas les lois de distribution de leur grandeur), d'ignorance (par nature impossible à prendre en compte a priori) et d'indétermination (les chaînes causales restant ouvertes, la connaissance peut être remise en cause sous certaines conditions indéterminées). En marge de ces incertitudes scientifiques existe un type d'incertitudes sociétales liées au fait que les différents acteurs du SES auront des points de vue et des opinions spécifiques sur une réalité donnée, exprimant ainsi des interprétations variées mais toutes légitimes (Brugnach et al., 2008; Dewulf et al., 2005). Le problème n'est plus alors l'ignorance mais la confusion, les différentes interprétations apportant de l'ambiguïté.

Beaucoup de travaux s'attachent à essayer de réduire les incertitudes, ce qui correspond à la fonction attendue de la science. Rien n'interdit cependant de se placer dans une perspective visant, au contraire, à les reconnaître, à les partager et à se donner les moyens de prendre des décisions en toute connaissance de cause (Barnaud et al., 2011). Dans des contextes où l'incertitude est élevée, les démarches post-normales (Funtowicz et Ravetz, 1993) proposent ainsi une implication large des acteurs dans les processus de décision (cf. Figure 1) en se donnant les moyens de prendre en charge au mieux les incertitudes de la situation examinée en commun.

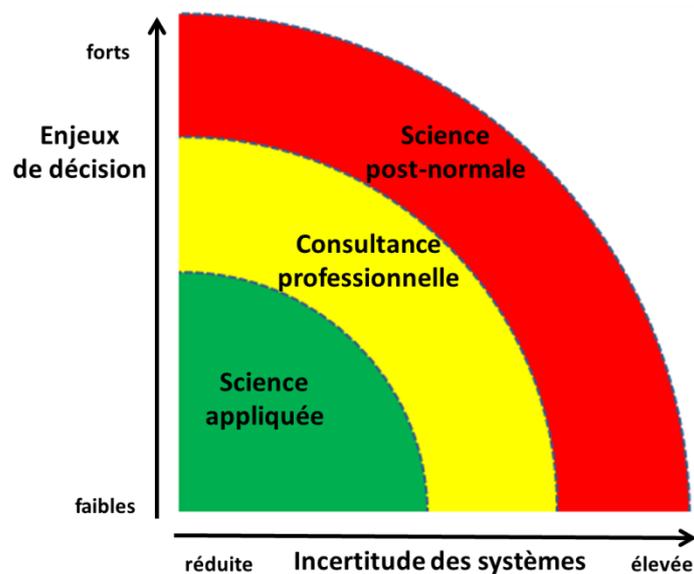


Figure 1 Le diagramme de la science post-normale (d'après Funtowicz et Ravetz, 1993)

Depuis le milieu des années 70, le concept de gestion adaptative (Holling, 1978) a évolué pour faire face aux défis conjoints de l'apprentissage et de la gestion dans les SES (Prell et al., 2007). Les modèles de simulation figurent en bonne place parmi les approches stimulant l'apprentissage dans ce cadre (Armitage et al., 2008; Tàbara et Chabay, 2013). La modélisation d'accompagnement, sur laquelle je reviens largement dans ce mémoire, s'inscrit dans cette perspective (ComMod, 2005).

2.3 Apprentissage social

L'apprentissage social est devenu un concept central dans les discours sur les problèmes de gestion liés à la complexité des socio-écosystèmes. La plupart des publications sur ce concept s'attachent à définir son sens, ou à rendre compte de sa réalisation dans une situation donnée. Utilisé un peu à toutes les sauces, le développement théorique et pratique du concept est problématique (Kilvington, 2010; Reed et al., 2010). Dans le domaine de la gestion des ressources renouvelables, Claudia Pahl-Wostl et Matt Hare (2004) estiment que pour qu'un ensemble d'acteurs soit à même de s'engager dans l'apprentissage social, il faut renforcer leurs capacités individuelles à i) prendre conscience des objectifs et des perspectives parfois différents des uns et des autres; ii) formuler collectivement une question ; iii) comprendre les interdépendances entre acteurs et la complexité du système de gestion; iv) apprendre à travailler ensemble et à faire confiance au groupe; créer des relations informelles et formelles. En s'appuyant sur le concept d'agir communicationnel (Habermas, 1984), les différentes définitions de l'apprentissage social mettent l'accent sur le rôle du dialogue et de l'intercommunication entre les membres d'un groupe pour faciliter la perception des différentes représentations et le développement d'aptitudes collectives de résolution de problèmes (Daré et al., 2010). Dans cette optique, la dimension relationnelle de l'apprentissage est essentielle (Bouwen et Taillieu, 2004).

2.4 Modéliser et simuler le fonctionnement des socio-écosystèmes

La modélisation des SES n'existe pas encore en tant que domaine de recherche structuré avec une approche unifiée, un cadre méthodologique, des théories et des approches bien définies. Il s'agit plutôt d'un domaine transversal qui se développe sur la base d'initiatives pluridisciplinaires où chaque discipline contribue à différents aspects de l'étude de ces systèmes adaptatifs complexes. Les modèles de SES s'appuient sur les cadres classiques de modélisation des ressources naturelles en écologie et en économie de l'environnement, en considérant explicitement les interactions bidirectionnelles entre les systèmes sociaux et écologiques (cf. Figure 2). Considérant la complexité de l'objet d'étude SES, certains modélisateurs considèrent qu'une approche purement analytique à base d'équations est moins

appropriée qu'une approche algorithmique basée sur une combinaison de mécanismes conceptuellement simples (Grimm et al., 2005), préconisant l'usage de modèles de simulation informatique de type multi-agent.

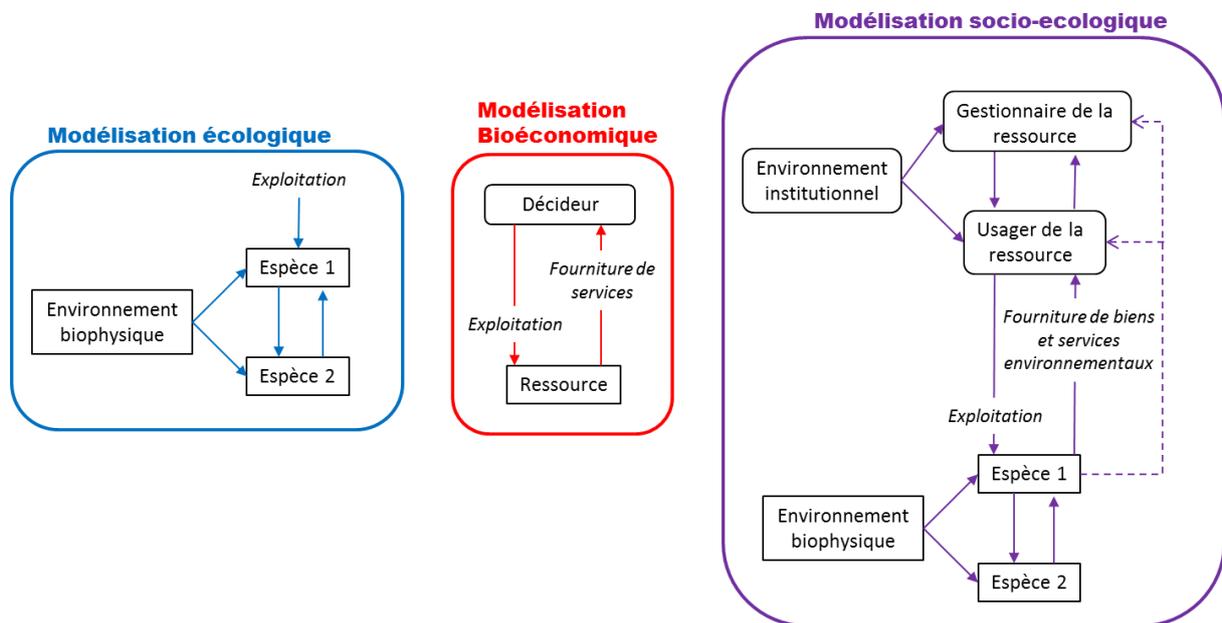


Figure 2. Les cadres conceptuels des communautés travaillant sur la modélisation de la gestion des ressources renouvelables (d'après Schlüter et al., 2012)

Pour dresser un panorama des approches et outils existant dans le domaine, il n'est pas inutile de préciser quelques notions, qui, souvent, sont malencontreusement confondues. La mise en œuvre d'un processus de modélisation d'un SES est fortement dépendante du contexte politique, culturel, écologique, économique et social, susceptible d'évoluer lors de sa réalisation (sous son influence ou pas). Sélectionnée au démarrage d'un processus en regard de son objectif affiché, l'approche s'appuie sur des outils et définit la façon dont sont utilisés ces outils. L'outil, lui, est une technique particulière (un modèle de simulation informatique de type multi-agent, un protocole d'enquête, ...) dont l'usage dans la mise en œuvre du processus est cadré par l'approche sélectionnée. Une même approche (par exemple la modélisation d'accompagnement) ne sera pas mise en œuvre de la même manière selon le contexte dans lequel se déroule le processus. L'usage du type d'outil privilégié par une approche peut donc prendre des formes variées, d'autant que, c'est bien connu, quand on tient en main un marteau, tout ressemble à un clou¹....

Pour mieux s'y retrouver, avant de parler d'approches et d'outils, il conviendrait donc de préciser l'objectif du processus de modélisation, qui souvent se confond avec l'objectif du modèle dans le cadre de ce processus.

¹ « To a man with a hammer, everything looks like a nail » (Mark Twain)

2.4.1 Usages des modèles et de la modélisation

Franck Varenne (2013) propose une classification générale des objectifs pouvant être assignés aux modèles basée sur cinq types : i) faciliter une observation, une expérience ou une expérimentation ; ii) faciliter une présentation intelligible ; iii) faciliter une théorisation ; iv) faciliter la médiation entre discours autour d'un phénomène (faciliter la formulation du questionnement et non celle de la réponse) ; v) faciliter la décision (déterminer un type d'action préétabli). En détaillant les différentes options identifiées à l'intérieur de ces catégories, il aboutit à une vingtaine de formulations différentes. Epstein (2008), outre la prédiction, recense quant à lui 16 raisons distinctes de développer des modèles dans le cadre de l'étude des relations entre une société et son environnement.

Considérant plus spécifiquement la modélisation participative, Matt Hare (2011) identifie les trois catégories suivantes : i) prise de décision directe (une décision de gestion sera prise à la suite du processus ; ii) apprentissage social ; iii) amélioration du modèle (plus précis, mieux accepté par les parties prenantes, intégrant mieux les perspectives intersectorielles).

C'est un objectif d'apprentissage social qui a guidé mes recherches vers la proposition d'une approche basée sur la simulation multi-agent interactive, que je détaille au chapitre 5. Comme on a trop souvent tendance à oublier de mentionner l'objectif recherché quand on présente une approche de modélisation, je propose de lui accoler un acronyme, *KILT* (**K**eep **I**t a **L**earning **T**ool !), qui se réfère à l'usage de l'outil et non pas à une de ses caractéristiques, en l'occurrence le degré de simplification/réalisme comme c'est le cas pour les credo *KISS* (Keep It Simple, Stupid) et *KIDS* (Keep It Descriptive Stupid) qui font l'objet de discussions au sein de la communauté des modélisateurs de SES, sur lesquels je reviendrai pour positionner l'approche *KILT*.

2.4.2 Approches et outils

Kelly et ses collègues (2013) comparent cinq approches de modélisation (en fait des types de modèles) pour la gestion et l'évaluation intégrées de l'environnement : la modélisation systémique dynamique (*system dynamics*), les modèles de simulation multi-agent, les modèles à base de connaissance ou systèmes experts, les réseaux bayésiens, et enfin les systèmes basés sur le couplage de modèles. Ces auteurs proposent un arbre de décision pour sélectionner l'approche la plus appropriée. Le premier critère de sélection est le but recherché : prévision, prédiction, aide à la décision en situation d'incertitude, amélioration de la compréhension du fonctionnement du système, apprentissage social. Les modèles de simulation multi-agent permettent de répondre aux deux derniers, de manière exclusive lorsque le focus est mis sur les interactions entre acteurs et leurs effets sur le SES.

Certaines approches combinent des outils de type différent. Ainsi, récemment, un modèle multi-agent a été associé à un réseau bayésien pour simuler le fonctionnement d'un SES dans le désert de Sonora (Mexique) (Pope et Gimblett, 2017; Pope et Gimblett, 2015). Une autre étude présente un système de simulation hybride associant modèle multi-agent et système

dynamique pour explorer par simulation le processus d'eutrophisation des lacs, travaillant sur un SES archétypique (Martin et Schlüter, 2015).

Dans mon cas, le choix s'est assez naturellement porté sur les modèles de simulation multi-agent, du fait de mes rencontres lors des premières étapes de mon parcours (cf. section 3.1), de la facilité d'appréhension par les acteurs locaux du leur formalisme de représentation des connaissances, et enfin du fait de la facilité à les utiliser de manière participative (en déléguant aux participants les décisions des agents informatiques, cf. section 5.3).

Dans le champ de la recherche en écologie, certains modélisateurs (Railsback et Grimm, 2011) considèrent que les termes « *individual-based modeling* » et « *agent-based modeling* » peuvent être employés indifféremment. Le protocole « *Overview-Design-Details* » (ODD) est ainsi présenté par ses auteurs comme un standard adapté à la description du type de modèles regroupant ces deux appellations (Grimm et al., 2006). Si l'usage du premier terme est particulièrement répandu dans le domaine de l'écologie, le second serait davantage employé en économie et dans les sciences sociales (MacPherson et Gras, 2016). Pour d'autres écologues, le terme *agent* devrait être utilisé de manière plus restrictive pour désigner des entités cherchant spécifiquement à atteindre un but, sélectionnant parmi une palette d'actions possibles celle qui leur permet de s'en rapprocher (Roughgarden, 2012). Cette vision ramène à la définition proposée initialement par les informaticiens (Ferber, 1995). Un agent, au sens entendu ici, peut représenter des entités de nature très diverse, un exemple frappant étant celui du simulateur RIVAGE qui représente le processus de ruissellement et d'infiltration avec des agents « boule d'eau » (Servat et al., 1998).

Dans certaines communautés de recherche, notamment celle qui étudie les dynamiques de changement d'occupation du sol, on met en avant l'intérêt de combiner ces 2 approches au sein d'un même modèle. C'est par exemple le cas de travaux récents portant sur une zone rurale écossaise qui explorent conjointement les impacts de mesures politiques sur les décisions d'agriculteurs et les changements de couvert végétal associés (simulés avec un modèle multi-agent), et les effets de ces changements sur la biodiversité et les services écosystémiques mesurés en utilisant un modèle individus-centré représentant la dynamique d'une population d'alouettes (Guillem et al., 2015). Le modèle qui fait l'objet d'une présentation détaillée à la section 5.5.3 de ce mémoire entre dans cette catégorie, avec un module individus-centré simulant la dynamique d'une espèce d'antilopes chassée par les villageois (les agents du modèle).

De manière plus pragmatique, on peut considérer qu'un acteur d'un système socio-écologique est assez « naturellement » représentable sous la forme d'un agent informatique. Avec le développement récent d'une science socio-écologique, les modèles de simulation informatique les plus utilisés dans ce champ de recherche en émergence sont de type multi-agent. Des réseaux tels que CoMSES (Computational Modeling for SocioEcological Science) se sont constitués. La principale initiative de ce réseau est le portail openABM qui propose une bibliothèque de modèles de ce type. Une version du protocole ODD plus adaptée à la description des décisions humaines a été publiée (Müller et al., 2013).

2.4.3 Dimension participative

La dimension participative est désormais omniprésente dans le domaine de la modélisation des SES. Le cadre législatif évolue, avec notamment des directives européennes qui contraignent gestionnaires et décideurs politiques à davantage impliquer les parties prenantes. Les agences de financement de la recherche emboîtent le pas, et incluent dans la liste des critères de recevabilité des projets aux appels d'offre la présence des « porteurs d'enjeux » dans le consortium. La motivation première est de faire « mieux » dans l'usage des modèles en appui direct à la gouvernance (élaboration de politiques et aide à la décision). L'aide à la décision appelle l'interaction étroite avec les personnes liées –d'une façon ou d'une autre- à cette décision : celles qui la prennent (les « décideurs ») et celles dont l'activité est liée à l'objet de la décision (les « acteurs »).

Olivier Barreteau et ses collègues (Barreteau et al., 2013; Barreteau et al., 2010) proposent de classer les approches de modélisation participative selon le degré d'implication des parties prenantes aux différentes étapes du processus de modélisation, le contrôle du flux d'information entre les participants et le degré d'hétérogénéité dans les interactions entre participants. L'apprentissage social serait stimulé par une implication forte (co-construction du modèle et contrôle de son utilisation) et régulière (aux étapes de diagnostic préliminaire, de design et de discussions des résultats) au sein de groupes regroupant différents types de participants.

Cette dernière dimension est stratégique. Dans des SES au sein desquels les asymétries de pouvoir sont fortes, l'approche que je décris au chapitre 5 consiste dans un premier temps à positionner les acteurs les moins favorisés en co-designers d'un outil de simulation multi agent. Cet outil, qu'ils auront eu le temps de s'approprier, va être introduit dans un deuxième temps auprès des autres types d'acteurs du socio-écosystème étudié, et servir de vecteur de communication destiné à stimuler des co-apprentissages.

3 PARCOURS VERS LA MODELISATION D'ACCOMPAGNEMENT

La simulation informatique est au cœur de mes activités de recherche depuis mon année de spécialisation en halieutique, à l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Rennes, en 1988. Je l'ai tout d'abord abordée en tant que technique permettant de reproduire sur un ordinateur un phénomène physique complexe, à savoir la circulation des masses d'eau de l'Atlantique Tropical. Il s'agissait de récupérer des données simulées de profondeur de la thermocline afin de les croiser avec les niveaux de captures des thoniers senneurs océaniques. Le modèle de circulation générale de l'Atlantique Tropical tournait à l'époque sur un « super-ordinateur », le Cray 2, hébergé dans les locaux du Centre de Calcul Vectoriel pour la Recherche de l'Ecole Polytechnique à Palaiseau. Depuis, pour simuler le fonctionnement de socio-écosystèmes (SES), je manipule des modèles stylisés, ultra-simplifiés, la plupart du temps coconstruits avec les acteurs locaux dont les activités sont représentées dans ces modèles. L'objectif n'est plus de prédire, mais de provoquer des échanges entre participants, de révéler des points de vue, de partager des représentations, et d'explorer ensemble des futurs possibles. Ce grand-écart, accompli au cours d'une trajectoire que je retrace brièvement ici, témoigne de l'évolution au cours de ces 20 dernières années du recours à l'ordinateur dans les pratiques de modélisation, depuis un usage mathématique de l'ordinateur (résolution numérique approchée d'un modèle mathématique analytiquement non soluble) vers un usage computationnel qui fait de l'ordinateur une machine à modéliser au moyen d'opérations pas à pas sur des symboles (Varenne, 2010).

3.1 Ouverture aux modèles de simulation informatique et aux systèmes multi-agents

La thèse que j'ai soutenue en janvier 1996 consistait en une exploration par des simulations informatiques d'une hypothèse d'écologie théorique formulée par mon directeur de thèse, Ph. Cury. A l'instar des tortues, saumons, et autres espèces du monde animal qui se reproduisent sur les lieux de leur propre naissance (stratégie du « retour au bercail »), certaines espèces, et en particulier celles qui doivent faire face à des conditions environnementales fluctuantes - telles que les poissons pélagiques côtiers subissant de temps à autre l'anomalie climatique « el niño » qui annihile temporairement le phénomène d'upwelling (remontée d'eaux froides nourricières)- pourraient rechercher au moment de se reproduire des conditions environnementales similaires à celles qui prévalaient lors de leur propre naissance (hypothèse du retour au bercail généralisé). A cette occasion, j'ai développé en utilisant le langage C++ un « laboratoire virtuel » baptisé *SeaLab* afin de comparer cette hypothèse à l'hypothèse standard de recherche de conditions environnementales optimales (Le Page et Cury, 1996, 1997).

A la même époque, au Laboratoire d'Informatique Appliquée du Centre ORSTOM (pas encore devenu IRD) de Bondy où j'effectuais ma thèse, François Bousquet et Christophe Cambier (1994; 1993) développaient *SimDelta*, un simulateur informatique multi-agent centré sur l'interaction entre une société et une ressource renouvelable (cas de la pêche du Delta Intérieur du fleuve Niger). A Jussieu, Alexis Drogoul développait également un outil pour simuler des sociétés, de fournis dans son cas, baptisé *Manta* (Drogoul et Ferber, 1992).

Si les simulations informatiques sur lesquelles je travaillais à l'époque ne considéraient pas d'interactions directes entre les agents ni de ressources renouvelables utilisées par ces agents, j'ai néanmoins été fortement imprégné de ces travaux pionniers dans le domaine des systèmes multi-agents (SMA), et je me suis très vite intéressé à la communauté de recherche qui était en train de se mettre en place.

Organisé par Nigel Gilbert et Jim Doran, un atelier international intitulé « *Simulating Societies: the computer simulation of social phenomena* » fut organisé en Angleterre dès 1992, premier d'une série qui allait contribuer à la structuration d'une communauté de chercheurs s'intéressant à l'usage des systèmes multi-agents pour simuler des sociétés. Dans les actes publiés en 1994 (Doran et Gilbert), on trouve –outre la présentation des travaux précurseurs associés aux simulateurs *SimDelta* et *Manta* (Bousquet, Cambier, Mullon, et al., 1994; Drogoul et Ferber, 1994)– des travaux portant sur l'organisation des sociétés préhistoriques en lien avec l'usage des ressources naturelles (Doran et al., 1994; Mithen, 1994), un thème pour lequel les simulations multi-agents ont très vite présenté un intérêt qui ne s'est pas démenti depuis (Cegielski et Rogers, 2016).

Ces travaux, qui visent tous à mieux comprendre les liens entre le devenir d'une société et les usages par les individus qui la composent des ressources que leur procure le milieu dans lequel ils évoluent, fondent le développement des modèles de simulation sur des observations et des connaissances produites en étudiant un système cible spécifique. La construction de tels modèles empiriques demande une explicitation et une formalisation des connaissances disponibles. La publication/diffusion de ces modèles et les simulations réalisées en les utilisant permettent de capitaliser ces connaissances et d'améliorer leur intelligibilité. Lorsque le processus de modélisation est réalisé de manière participative, il peut en outre contribuer à l'hybridation des connaissances mobilisées par les différents participants.

Des travaux plus théoriques utilisant les systèmes multi-agents pour simuler des sociétés datent de cette même période. Le laboratoire virtuel *SugarScape* de Joshua Epstein et Robert Axtell (1996a) constitue une référence en la matière. Des agents, dotés de caractéristiques « génétiques » distribuées de manière hétérogène au sein d'une population, sont en concurrence pour deux ressources renouvelables (sucre et épice) inégalement réparties sur une grille spatiale. De nouveaux processus sont progressivement introduits au fil des chapitres (sexe, échanges culturels, commerce, combat, transmission des maladies, etc.) et les conséquences induites au sein de cette société artificielle sont mises en perspective avec des situations observées dans des cas réels. Ces expérimentations sur des mondes virtuels impliquent une pratique de recherche particulière, qu'Epstein (1999) a qualifié de « générative », visant à reproduire des patterns à une échelle globale à partir de règles comportementales appliquées de façon décentralisée à une population d'individus hétérogènes. Issue du champ des sciences sociales, cette pratique a été popularisée en écologie

par Volker Grimm et ses collègues (2005) sous l'appellation de « modélisation orientée-pattern » qui cherche à décoder l'organisation interne d'un système à partir de l'information encodée dans des patterns observables à un niveau macroscopique.

Mes travaux de thèse penchaient clairement du côté théorique, avec un laboratoire virtuel destiné à tester l'efficacité au niveau populationnel de stratégies de reproduction appliquées au niveau individuel. Ils m'ont convaincu que la pratique scientifique générative de l'approche « bottom-up » était pertinente. Imprégné dans le même temps d'applications plus ancrées dans des situations contextualisées/spécifiques/empiriques, j'ai alors perçu qu'on avait généralement tendance à opposer la modélisation empirique à visée descriptive -qui propose une représentation réaliste de SES au travers de modèles complexes- à la modélisation théorique à visée générique qui propose une représentation schématique de situations stylisées. Je défends désormais l'idée qu'une voie intermédiaire rapprochant ces deux approches plutôt que ne les opposant convient parfaitement à la mise en œuvre de processus de modélisation participative destinés à accompagner des groupes d'acteurs locaux pour penser la gestion adaptative des socio-écosystèmes. Dans le 5^{ème} chapitre de ce mémoire, je décris la mise en œuvre des processus de modélisation d'accompagnement à partir desquels cette conviction s'est progressivement forgée.

3.2 Mobidyc : replacer les thématiciens au cœur de la construction des modèles de simulation

Au printemps 1996, je suis arrivé à la station d'hydrobiologie lacustre de l'INRA à Thonon-les-bains, pour épauler Vincent Ginot dans son projet de développer le simulateur **Mobidyc** (**M**odélisation **B**asée sur les **I**ndividus pour la **D**ynamique des **C**ommunautés). L'objectif était de proposer un outil pour créer, manipuler et modifier des modèles dédiés à la dynamique des peuplements piscicoles qui puisse facilement être utilisé par des biologistes non-spécialistes de la modélisation. A ce moment-là, j'avais travaillé depuis une dizaine d'années sur la thématique de l'exploitation des ressources vivantes aquatiques, et j'avais appris la programmation informatique pour les besoins de mes travaux de thèse. Le choix de Vincent de recruter un thématicien qui s'était frotté à la programmation informatique plutôt qu'un informaticien n'était pas neutre. Les principes de fonctionnement de l'outil et les fonctionnalités proposées devaient être en adéquation avec les attentes et la « façon de penser » des utilisateurs potentiels.

L'idée de développer un outil générique était à l'époque novatrice. Tous les simulateurs mentionnés dans la section précédente avaient été codés *from scratch*. Le développement de la première plateforme multi-agent à avoir connu une certaine popularité, **Swarm**, venait à peine de débiter en Californie (Minaer et al., 1996), après que Chris Langton eut lancé un nouveau champs de recherche baptisé « Artificial Life » (Langton, 1989). Au même moment, des travaux commençaient à faire état du développement d'outils génériques à base d'agents applicables au domaine de la gestion des ressources renouvelables (Anderson et Evans, 1994), mais les communautés d'utilisateurs de ces outils n'étaient pas encore structurées.

La plateforme *Mobidyc* a été conçue dans l'idée d'affranchir l'utilisateur de tout codage en langage informatique, en proposant des interfaces de manipulation de « briques » élémentaires (Ginot et Le Page, 1998; Ginot et al., 2002). Un ensemble de primitives comportementales est proposé afin de composer les fonctions biologiques (reproduction, croissance, mortalité naturelle, prédation) ainsi que les règles de déplacements des agents « poisson ».

Mes travaux ont plus particulièrement porté sur l'architecture de la plateforme, sur les fonctionnalités de représentation de l'espace et d'observation des simulations. Ainsi, j'ai implémenté la notion de « point de vue » permettant de spécifier, sauvegarder, modifier -via une interface dédiée- différentes façons d'observer une simulation (cf. Figure 3). Un éditeur d'inégalités sur les attributs d'une classe permet à l'utilisateur de combiner des conditions et d'associer à ces combinaisons une forme et une couleur.

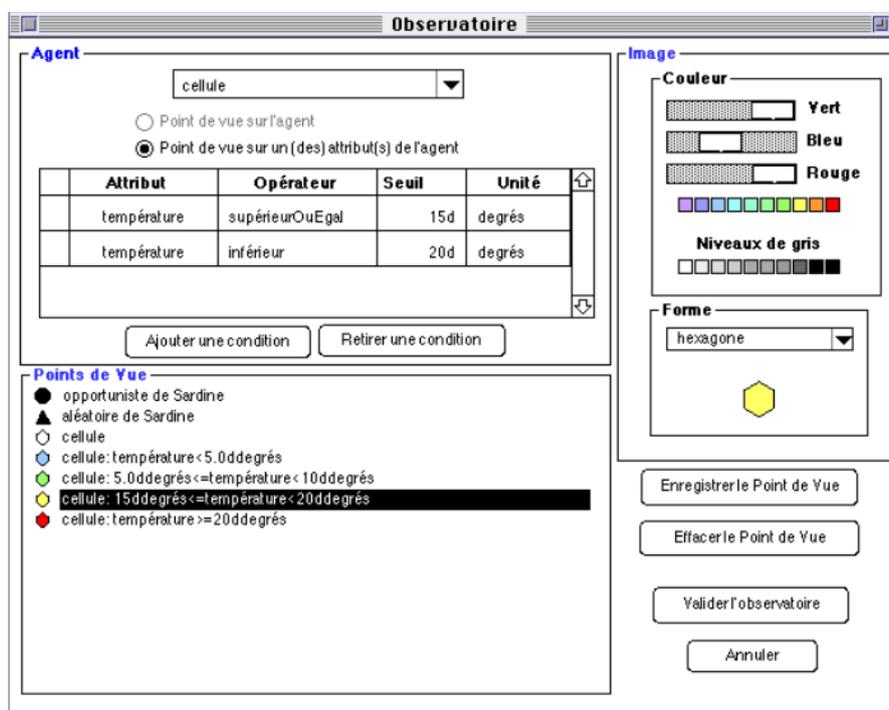


Figure 3 Interface de définition de points de vue de la plateforme *Mobidyc*

Les principes de cet « observatoire » ont été par la suite repris dans la plateforme *Cormas*. Ce fut également le cas du « magnétoscope », basé sur un système d'enregistrement automatique des « états du monde simulés », qui permet de faire avancer le déroulement de la visualisation pas-à-pas, de revenir en arrière, d'aller directement à la fin.

Lorsque la première version de la plateforme *Mobidyc* a été produite, j'ai réalisé un premier test d'opérationnalité en ré-implémentant le modèle que j'avais développé au cours de ma thèse (cf. Figure 4). Lorsqu'à la fin de mon séjour à Thonon-les-Bains j'ai rejoint l'unité de recherche *Green*, une de mes premières activités pour prendre en main la plateforme *Cormas*, dont Innocent Bakam peaufinait la première version, fut de reprogrammer à nouveau *SeaLab*... Quelques années avant que le problème de la répliquabilité des modèles multi-

agents ne prenne une ampleur importante (j’y reviens dans ce mémoire, cf. section 6.2.2), j’ai donc expérimenté la vertu de cet exercice...

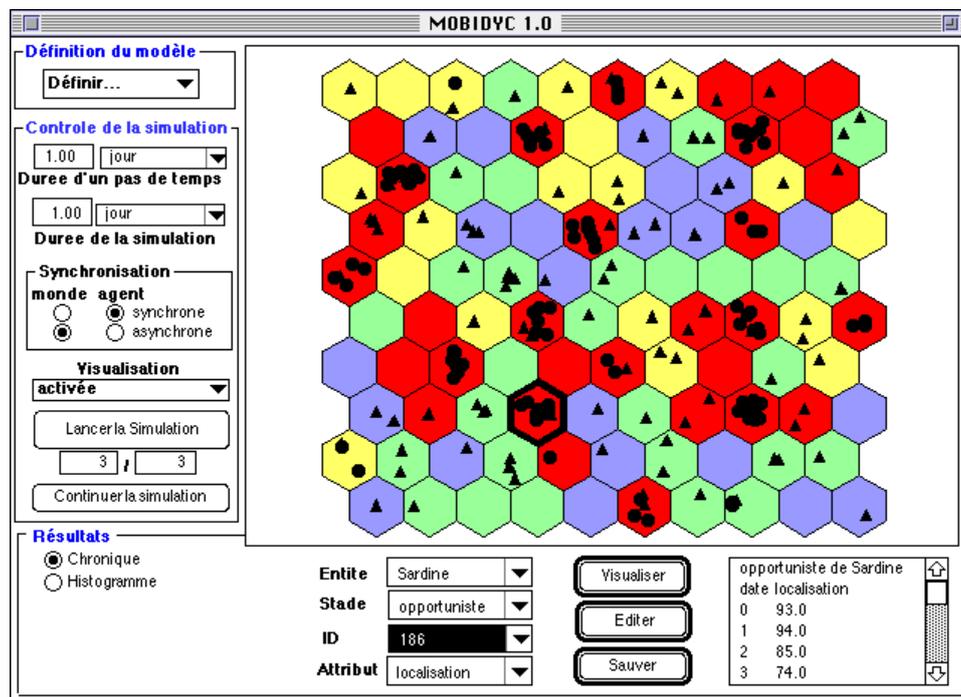


Figure 4 Vue de la réimplémentation de SeaLab avec Movidyc

Movidyc a été conçu pour faciliter la construction de modèles de biologie des populations de poissons sans représentation explicite d’agents « pêcheur » aux comportements plus élaborés que ceux, réactifs, des agents « poisson ». En rejoignant l’unité de recherche *Green* du CIRAD à l’automne 1997, j’allais avoir l’occasion de développer des modèles dans lesquels les agents représentent les acteurs des SES étudiés.

3.3 Green : une approche interdisciplinaire des relations entre les Hommes à propos des ressources renouvelables

Jacques Weber a créé l’unité *Green* au CIRAD en juillet 1993 en proposant une approche interdisciplinaire pour aborder le thème de la gestion des ressources renouvelables. En définissant l’environnement comme *constitué de ce qui n'appartient à personne en particulier* (Weber et Bailly, 1993), l’accent est mis sur *les relations entre les Hommes à propos des ressources renouvelables* (Weber, 1995), formule inspirée par les pensées philosophiques d’Auguste Walras qui jeta les bases de l’économie scientifique au milieu du XIX^{ème} siècle².

² « [la méthode scientifique consiste à] observer la nature et adopter les divisions qui se présentent d’elles-mêmes d’après le caractère des faits [naturels ou physiques ; humains ou libres ; historiques] qui se passent sous nos yeux. [...certains faits humains se rattachent] aux relations qui existent directement de personne libre à

Les ressources renouvelables étant constitutives de l'environnement, l'acronyme de l'unité de recherche relie les deux termes (**g**estion des **r**essources renouvelables, **e**nvironnement) par une virgule. Le temps passant, l'usage de cette virgule inclusive s'est perdu au détriment d'un « et » dissociatif. Sans doute est-ce dû au fait que les virgules et les acronymes entretiennent une relation ambiguë. Ainsi *KISS* (« *Keep It Simple, Stupid* ») est devenue une admonition populaire qui enjoint aux modélisateurs de lutter contre leur propension à raffiner toujours un peu plus leur modèle (Axelrod, 1997; Varian, 1997). Au sein de la communauté scientifique travaillant sur les simulations multi-agents de systèmes complexes, l'acronyme, qui a perdu sa virgule en chemin, est au cœur de vifs débats (Edmonds et Moss, 2004), j'y reviendrai au moment de préciser la spécificité de l'approche que je propose (cf. section 5.2).

Les fondements théoriques du programme de recherche *Green* remettent en cause la pertinence d'une gestion par les stocks basée sur l'hypothèse d'un état d'équilibre des ressources. La question du développement est posée en termes de gestion des interactions entre des variabilités économiques et sociales et des variabilités naturelles, tant dans l'espace que dans le temps. Les écosystèmes sont considérés comme le support de l'économie et de la société, l'économie s'inscrivant dans le champ social. Cette vision du développement qualifiée de « viable » est en décalage avec l'image des trois piliers équivalents et substituables sur lesquels se fonde le concept de développement durable (cf. Figure 5). Dans ce cadre, deux axes de recherche sont proposés: i) les modes d'appropriation, ii) les processus de décision. La notion de « mode d'appropriation » invite à s'intéresser en particulier aux modalités de répartition, de partage ou de transfert des ressources, ainsi qu'aux modalités d'accès et de contrôle de l'accès aux ressources. La décision, quant à elle, est vue comme le résultat d'un processus d'interaction entre des acteurs individuels et/ou collectifs ayant des représentations et des « poids » différents dans la négociation (Weber et Revéret, 1993).

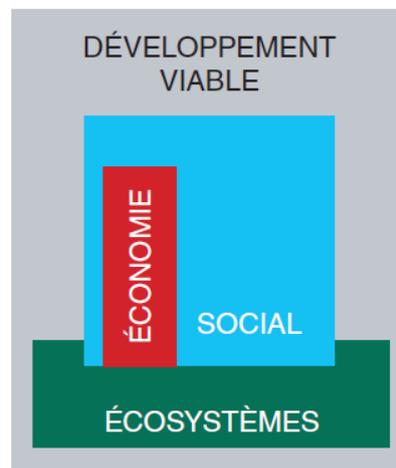


Figure 5 Notion de développement viable et relations entre les dimensions économique, sociale et écosystémique (Weber, 2013)

personne libre, [d'autres] aux relations qui s'établissent entre les personnes à propos des choses » cité dans Diemer A., Lallement J. 2004. De Auguste à Léon Walras : retour sur les origines du marché et de la concurrence walrassiennes, IV colloque de l'AIW, Nice, 22-23 septembre. Réimpression dans *les Cahiers du CERAS*, hors-série n° 4, Avril, p. 99-120.

A l'époque de sa création, *Green* était composée d'économistes, de géographes, d'agronomes, d'anthropologues. L'expérience montre que l'interdisciplinarité se construit dans l'élaboration des questions de telle sorte qu'elles ne soient pas adressables par des disciplines séparées. Les deux axes de recherche proposés constituaient un terrain propice. Au niveau méthodologique, la simulation informatique des interactions sociétés/natures, sous la houlette de François Bousquet, a d'emblée occupé une place essentielle pour formuler et explorer des questions de recherche de cette nature.

La nécessité de mobiliser des objets «passeurs de frontières» entre des mondes disciplinaires peut amener à considérer des types d'objets autres que des modèles. Ainsi Jeanne Riaux (2013) décrit comment un travail en commun sur des documents d'archive s'est révélé précieux pour permettre l'initiation d'un dialogue interpersonnel entre des hydrologues et une anthropologue, à travers une progression de la réflexion par « frottement disciplinaire » autour d'informations contenues dans ces documents.

La modélisation reste cependant le plus souvent considérée comme la démarche interdisciplinaire par excellence pour aborder les questions relatives à l'environnement (Jolivet et Pavé, 1993). La modélisation permet de façonner un artefact qui explicite le point de vue commun en construction, jeu de tensions d'une triple nature dans le cadre des recherches sur l'environnement proposé par Jolivet et Pavé (cf. Figure 6).

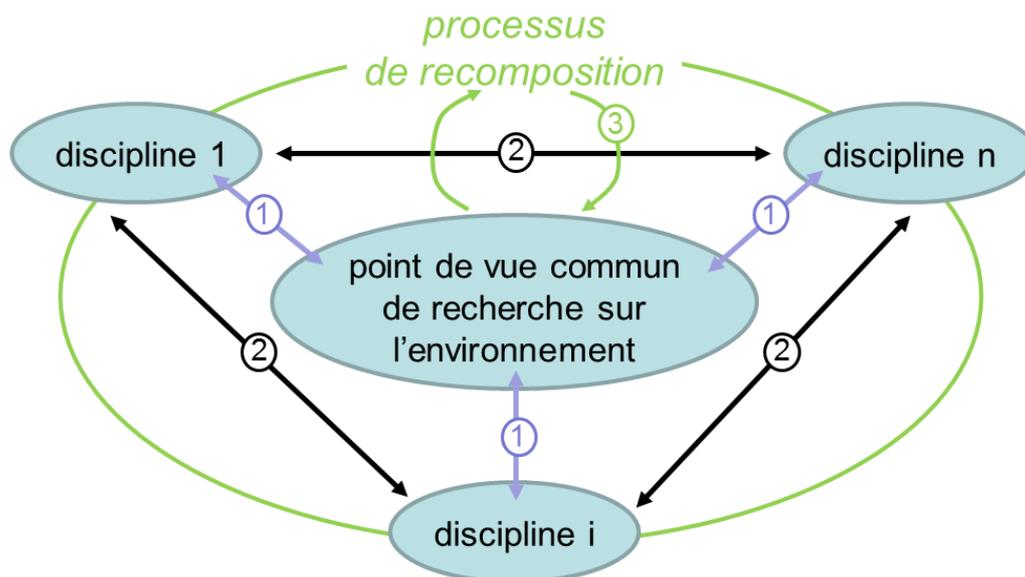


Figure 6 Interdisciplinarité et recherche sur l'environnement : tensions (1) entre disciplines et le point de vue commun, (2) entre les disciplines par rapport au point de vue commun, (3) entre le point de vue commun et les processus qui mènent à son réexamen et sa redéfinition (Jolivet et Pavé, 1993).

Les frottements disciplinaires s'expriment principalement au niveau des tensions de type 1 (entre chacune des disciplines et le point de vue commun) et 2 (entre les différentes disciplines par rapport à ce point de vue commun). Le rôle du modélisateur dans un tel cadre pourrait être alors d'accompagner les processus de recomposition que provoque cette construction d'un point de vue commun, qui conduit en permanence à son examen et à sa redéfinition. Outre ses compétences « techniques » relatives au type de modèle sélectionné, le

modélisateur se retrouve alors également en charge de l'animation du processus de construction du modèle. Pour ce faire, il doit naviguer entre les différentes disciplines en adoptant un positionnement « disciplinairement neutre », recueillant et au besoin explicitant les éléments de recomposition plutôt que ne les apportant lui-même.

La faisabilité d'un positionnement « disciplinairement neutre » pose question. Mon parcours académique fut certes marqué par la pluridisciplinarité, avec une spécialisation en halieutique après deux ans de formation généraliste d'ingénieur agronome à l'Agro de Rennes, suivie d'une formation complémentaire en biomathématiques et biostatistiques à l'Université Paris 6. Cependant, tous les stages et expériences professionnelles m'avaient progressivement inséré dans la recherche en halieutique. Les circonstances ont fait qu'après la thèse, je n'ai pas pu démarrer une carrière de chercheur dans ce domaine. Ayant dû m'éloigner de la communauté au sein de laquelle je m'étais formé à la recherche, je mesure aujourd'hui la chance que j'ai eu d'être recruté « SDF » (sans discipline fixée) au sein de l'unité de recherche **Green** pour promouvoir l'étude interdisciplinaire des socio-écosystèmes en développant des modèles de simulation informatique. Je me suis de fait retrouvé dans une position assez favorable : en début de carrière, paraissant sans idées préconçues et donc relativement neutre aux yeux des représentants des disciplines que j'étais amené à côtoyer quotidiennement, il pouvait sembler assez naturel de viser à faciliter le dialogue entre disciplines au travers du développement de modèles. Avec leur regard neuf et leur enthousiasme, les jeunes chercheurs sont souvent perçus comme les mieux placés pour endosser le rôle de catalyseurs d'une convergence de disciplines (Hervé et Rivière, 2014). Mais dans le contexte actuel de précarisation de la recherche, un affichage interdisciplinaire du contenu d'une thèse reste un pari osé quand il faut publier vite pour être compétitifs sur des postes, qui plus est le plus souvent disciplinaires... A une époque où les excès de vitesse dans la pratique de l'activité scientifique commencent à être dénoncés (Gosselain, 2011; Stengers et Drumm, 2013), cette forme d'urgence liée à une exigence de retour rapide sur investissement est d'autant plus incompatible avec la nature même de l'interdisciplinarité³. Dans ces conditions, la stratégie consistant à recruter de jeunes chercheurs dont le CV témoigne d'une forme de vagabondage disciplinaire associée à un penchant pour la modélisation devrait être davantage considérée par les unités de recherche affichant une ambition interdisciplinaire.

Pour un chercheur, un positionnement « disciplinairement neutre » n'est pas toujours très confortable. On se sent toujours un peu « décalé », au moment de décliner son identité scientifique, quand on ne rentre pas dans une case. Se déclarer simplement « modélisateur » ne lève pas les ambiguïtés. La modélisation n'est pas considérée comme une discipline mais plutôt comme une activité parmi d'autres, pratiquée par tout scientifique. D'ailleurs toute discipline est à même de produire un discours sur l'interrelation entre modélisation et interdisciplinarité. Ainsi, dans l'ouvrage édité par Nicole Mathieu et Anne-Françoise Schmid (2014), six binômes disciplinaires (anthropologie, biologie, géographie, linguistique, philosophie, physique) témoignent de la relation établie dans leur démarche de scientifiques

³ Deux citations pour illustrer ce propos :

L'interdisciplinarité est encore un luxe de chercheur sur la fin de sa carrière (J. Weber, 1995).

L'interdisciplinarité, c'est des histoires d'hommes et de femmes prêts à "perdre" du temps en s'engageant dans un processus long aux résultats incertains ! (F. Gourmelon, 2012, interview « Sciences Ouest » <http://www.espace-sciences.org/sciences-ouest/303/>)

entre modélisation et interdisciplinarité. Revendiquer un statut de « chercheur en modélisation » va à l’encontre de la vision la plus commune d’un modélisateur apportant un appui méthodologique. Au-delà des individus, c’est la nature même de l’unité dans laquelle ils sont insérés qui risque à son tour d’être questionnée. Au cours de son existence, l’unité de recherche *Green* a ainsi plusieurs fois fait l’objet d’options de restructuration la considérant comme une « unité de services ». Le nécessaire équilibre entre « chercheurs-modélisateurs » développant un questionnement scientifique sur leur pratique et « chercheurs-thématiciens » parties prenantes des démarches de modélisation tout en conservant leur ancrage disciplinaire n’est pas toujours facile à maintenir.

3.4 Cormas, une plateforme pour développer des modèles de simulation multi-agents appliqués à la gestion des ressources renouvelables

Pour traiter des interactions entre des acteurs d’un SES ayant des représentations et des poids différents, en conformité avec l’approche interdisciplinaire des relations entre les Hommes à propos de la Nature, il fallait que l’unité de recherche *Green* dispose d’un outil de modélisation permettant de prendre explicitement en compte les asymétries et l’hétérogénéité. Les systèmes multi-agents répondent parfaitement à ce besoin. Au cours de mes trois premières années (1998-2000) passées au CIRAD, j’ai participé au lancement et aux premiers développements de la plateforme *Cormas* (Common-pool Resources and Multi-Agent Systems), implémentée en langage Smalltalk. Une première version de cet outil fut finalisée en 1998 par deux étudiants en informatique, Innocent Bakam et Hubert Proton (cf. Figure 7). En 2000, un site internet⁴ a été mis en place.

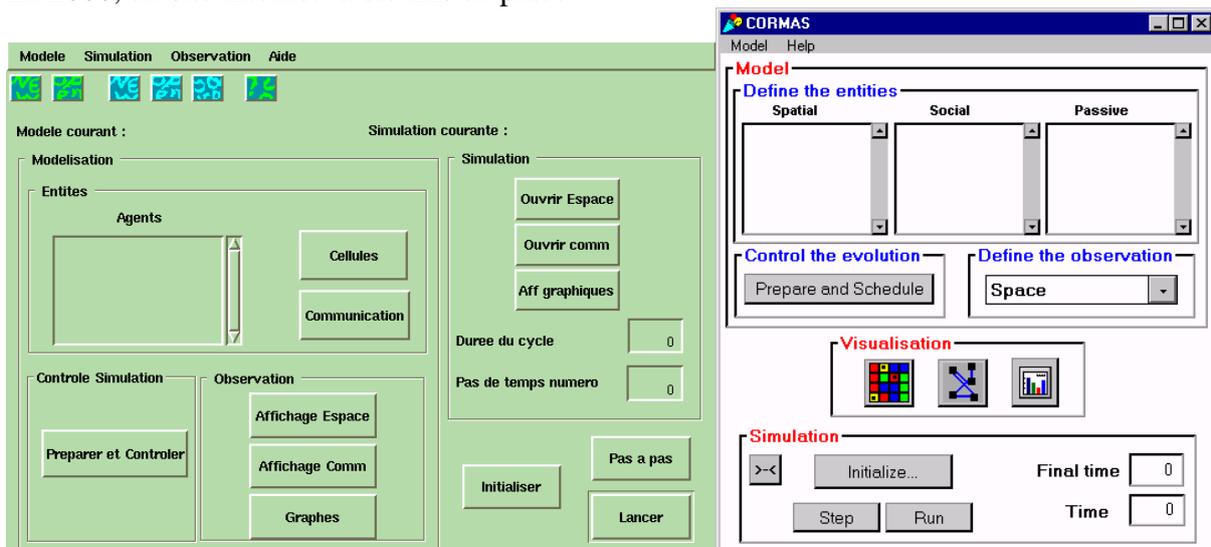


Figure 7. Interface principale de la plateforme *Cormas*, à gauche dans sa version initiale (Bousquet et al., 1998), à droite dans sa première version publique

⁴ <http://cormas.cirad.fr>.

3.4.1 Concepts inhérents à la plateforme *Cormas*

Les principes de base de la plateforme *Cormas* consistent à structurer la construction d'un modèle de simulation multi-agent en trois étapes permettant de spécifier : i) les entités composant le modèle; ii) l'initialisation et l'ordonnancement d'une simulation ; iii) l'observation d'une simulation. Lors d'une première phase, chacune des entités propres à un nouveau modèle est créée par spécialisation de l'entité générique qui s'en rapproche le plus, récupérant ainsi un ensemble de fonctionnalités prédéfinies. La seconde étape consiste à créer les agents et l'environnement (composé d'entités spatiales) au temps zéro d'une simulation, ainsi qu'à préciser la façon dont les entités créées seront activées à chaque tour de simulation, l'ensemble correspondant à un scénario donné. La troisième étape, enfin, permet notamment d'implémenter une multiplicité de points de vue sur une même simulation au travers de la spécification de diverses méthodes d'observation de l'espace.

3.4.2 Un module hiérarchique d'entités spatiales génériques

Un certain nombre de fonctionnalités nouvelles ont ensuite été progressivement ajoutées en réponse à des besoins apparus avec la conception de nouvelles applications, notamment la possibilité de définir des entités spatiales hiérarchiques pour simuler des dynamiques à différents niveaux (Le Page et al., 2000; Le Page et al., 1999), cf. Figure 8.

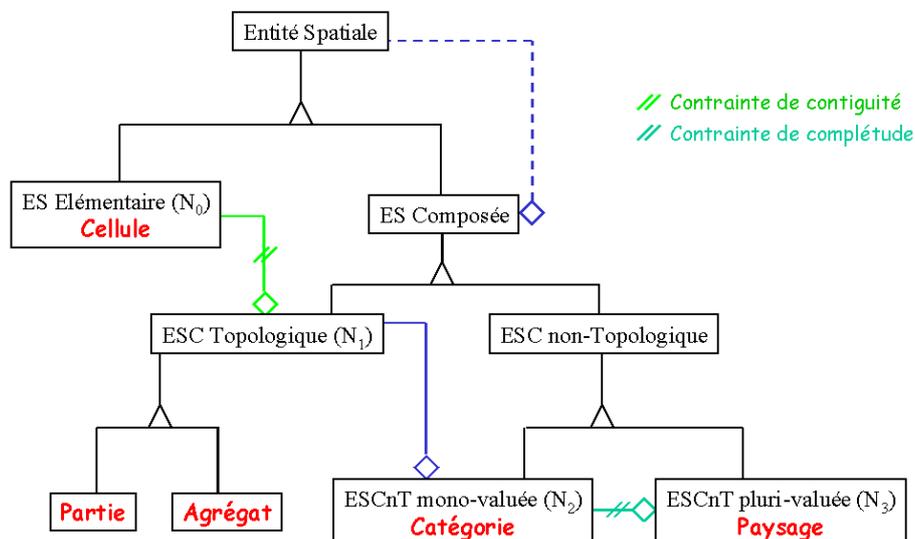


Figure 8. Organisation hiérarchique des entités spatiales génériques de *Cormas*

Cette architecture a été testée en implémentant le modèle ForPast conçu par Sylvie Lardon (Lardon et al., 1998; Lardon et al., 2000).

3.4.3 Premiers modèles développés avec *Cormas*

Sur différents terrains d'étude investis par des chercheurs et étudiants de l'unité de recherche *Green*, des modèles destinés à formaliser un état des connaissances sur le fonctionnement de ces socio-écosystèmes sont élaborés sans que, dans un premier temps, les acteurs locaux soient directement impliqués dans le processus de modélisation. Utilisant les possibilités de couplage avec les SIG qui venaient d'être intégrés à la plateforme, ils proposent alors, la plupart du temps, une représentation réaliste de l'espace (cf. Figure 9).

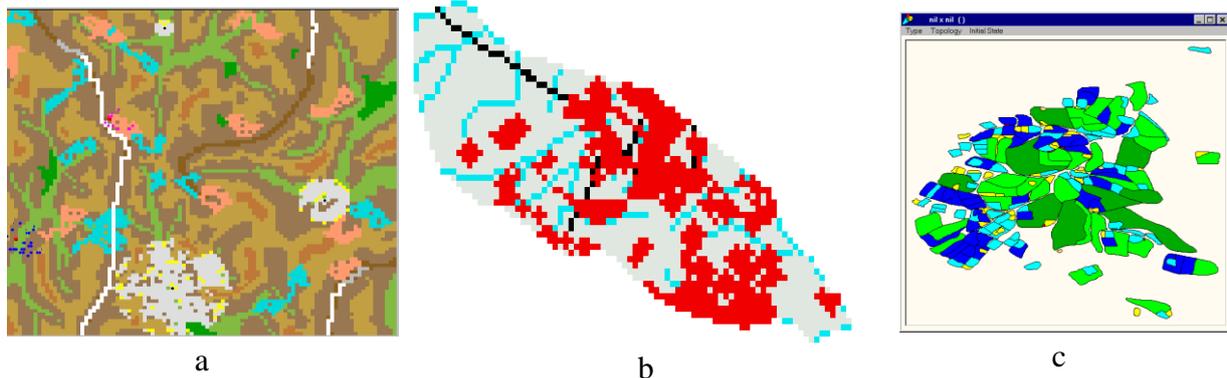


Figure 9. Trois des premiers socio-écosystèmes modélisés avec *Cormas*:
a) Didy (Madagascar) ; b) Djemiong (Cameroun) ; c) Mae Salaep (Thaïlande)

Le modèle étudiant les modes de coordination des chasseurs de céphalopodes bleus autour du village camerounais de Djemiong (Bousquet et al., 2001) représente ainsi l'espace avec une résolution de 3Ha (dimension du territoire d'un céphalopode) en intégrant les informations relatives aux réseaux des chemins et des cours d'eau (respectivement figurés en noir et en bleu sur la Figure 9b), ainsi qu'un zonage délimitant les terrains de chasse traditionnels, utilisé pour déterminer le positionnement des sentiers de pièges (en rouge sur la Figure 9b). Le modèle explorant les liens entre risque de dégradation des terres et la diversification des cultures dans le village Akha de Mae Salaep, au Nord de la Thaïlande (Trébuil et al., 2005), utilise la prise en charge par *Cormas* du format vectoriel pour définir des entités spatiales (les parcelles agricoles) aux contours polygonaux (cf. Figure 9c). Lorsque les données ne sont pas disponibles dans un SIG, la création d'un environnement réaliste reste possible, en proposant des algorithmes établis sur la base de connaissances des relations entre les caractéristiques structurantes d'un paysage. C'est ce type d'approche qui a permis à Géraldine Abrami (1999) d'établir des cartes fictives mais réalistes de la forêt de Didy à Madagascar (cf. Figure 9a) pour explorer des scénarios d'usages multiples de cet écosystème forestier.

Deux autres types de modèles sont également développés avec *Cormas* : des modèles à portée didactique, utilisés lors des sessions de formation aux SMA pour simuler des systèmes complexes, mais aussi des modèles abstraits pour explorer des hypothèses théoriques dans le domaine de la gestion des ressources renouvelables. C'est le cas, dans le domaine de la géographie humaine, du modèle imaginé par Jean-Luc Bonnefoy pour illustrer l'impact que les représentations sous-tendant les décisions (individuelles ou collectives) ont sur la structuration de l'espace, et la transformation de ces représentations en retour (Bonnefoy et al., 2001; Bonnefoy et al., 2000). C'est également le cas, dans le domaine de l'économie des

conventions s'intéressant aux normes implicites qui régissent les comportements humains d'interaction, du modèle représentant la pratique traditionnelle de collecte de bois flotté sur les plages du Sud de l'Angleterre développé par Olivier Thebaut et Bruno Locatelli (2001).

3.4.4 Evolution de la plateforme Cormas

A partir de 2001, le développement de *Cormas*, porté par Pierre Bommel, a conduit à l'intégration de nouveaux modules (Bommel et al., 2015) dont celui facilitant la réalisation d'analyses de sensibilité et de plans d'exploration des sorties de simulation, ou encore un éditeur de diagrammes d'activités UML utilisé pour concevoir/faire évoluer les algorithmes de décision des agents de manière participative (Bommel et al., 2014). Ces dernières années, Nicolas Becu a également contribué à l'évolution de *Cormas*, permettant d'opérationnaliser de nouvelles fonctionnalités spécifiquement dédiées à la simulation interactive. Ainsi il est désormais possible de manipuler directement des entités en cours de simulation, pour les déplacer ou activer une de leurs activités en particulier. Cette possibilité s'avère également très utile dans la phase de vérification d'un SMA. Il serait intéressant d'en faire usage dans les protocoles de réplique des modèles, ainsi que nous le proposons dans la dernière partie de ce mémoire (cf. 6.2.2). Avec le multifenêtrage et la possibilité d'assigner à chaque fenêtre de manière spécifique la façon de visualiser l'environnement et les possibilités d'interagir avec lui, la mise en œuvre de simulations interactives intégrant des asymétries d'information et d'action est facilitée, d'autant qu'il est désormais également possible de distribuer une simulation sur plusieurs machines (Becu, Bommel, et al., 2016; Bécu et al., 2016).

Les évolutions technologiques de la plateforme *Cormas* ont accompagné ma trajectoire: les modèles que j'ai le plus développés sont de type empirique stylisé (cf section 4.4), conçus pour mettre en œuvre la simulation interactive et stimuler des apprentissages entre participants ; j'y reviendrai en détails dans le chapitre 5.

3.5 Sessions de formation « SMA et simulation de systèmes complexes : application à la gestion des ressources renouvelables »

Dans le but de faire découvrir la simulation multi-agent à des chercheurs travaillant dans le domaine de la gestion des ressources renouvelables qui étaient novices en la matière, j'ai co-conçu avec François Bousquet une session de formation, positionnant les SMA par rapport à d'autres approches de modélisation utilisées dans ce domaine. D'une durée de deux semaines, le format privilégiait des présentations basées sur des démonstrations et des manipulations de modèles de simulation multi-agent implémentés avec la plateforme *Cormas*, et invitait les participants à travailler en petits groupes pour développer avec *Cormas* des prototypes appliqués à leur problématique de recherche. Une bibliothèque de modèles didactiques

destinés à illustrer les principaux concepts enseignés a alors été constituée. Partant des automates cellulaires (contrôle distribué au niveau d'entités autonomes, émergence) et passant par la théorie des jeux (processus de décision en interaction), une progression « logique » vers les SMA était ainsi proposée. Certains de ces modèles sont des répliques, comme la comparaison de l'efficacité des comportements de « robots fourrageurs » proposée par A. Drogoul dans sa thèse (1993), ou encore l'influence de la structuration spatiale de l'environnement sur la survie de deux populations d'*animats* exploitant -de manière réfrénée ou non- une ressource renouvelable (Pepper et Smuts, 2000). D'autres modèles ont été spécialement conçus pour servir de tutoriel, comme celui de la diffusion d'un feu de forêt contre lequel lutte une brigade de pompiers.

Entre octobre 1997 et avril 2005, 12 sessions de formation de ce type ont été organisées à Montpellier, avec F. Bousquet jusqu'à son départ en Thaïlande en 2001, puis avec P. Bommel jusqu'à ce que celui-ci parte au Brésil. Un total de 158 personnes ont suivi ces sessions délivrées en français, dont 30 partenaires étrangers francophones. Les institutions de recherche les plus représentées furent le CIRAD (27), l'IRD (11), l'INRA (9) et le CEMAGREF (7), avec également une présence notable (47) de doctorant(e)s. De nombreuses collaborations ont été initiées à la suite de ces sessions (42 parmi les 158 participants figurent dans la liste de mes co-auteurs), ainsi que des partenariats de longue durée, notamment avec M. Etienne (INRA), R. Mathevet et Nicolas Becu (CNRS). A la même période, des chercheurs européens nous ont sollicité pour délivrer en anglais cette session de formation dans leur institution (Manshold Graduate School of Social Sciences, Wageningen University, aux Pays-Bas en 2001 ; Institute of Agricultural Development in Central and Eastern Europe en Allemagne en 2004). Des dynamiques partenariales liées au positionnement de collègues du CIRAD dans d'autres pays nous ont également amené à dispenser cette école-chercheurs en Afrique du Sud (S. Perret avec S. Farolfi), en Australie (P. Perez avec A. Dray), au Brésil (R. Ducrot puis P. Bommel), en Asie du Sud-Est (G. Trébuil avec F. Bousquet puis moi-même).

En insérant régulièrement dans ces sessions de formation la présentation d'applications nouvellement développées par des chercheurs ayant eux-mêmes suivis ces sessions, une dynamique a été impulsée sur la place Montpelliéraine. Dans ces applications, la mise en situation des acteurs représentés par des agents informatiques dans les SMA, désigné sous l'appellation de « jeu de rôles », a progressivement pris une place importante. Un collectif de chercheurs, baptisé *ComMod*⁵, a alors vu le jour pour nourrir une réflexion sur la place et l'usage de ces outils dans les démarches de modélisation d'accompagnement.

3.6 ComMod et les jeux de rôles

Le terme de « modélisation d'accompagnement » est apparu en septembre 1996 dans une communication présentée lors d'un colloque international qui s'interrogeait sur l'avenir de l'Environnement au XXI^{ème} siècle (Bousquet et al., 1996). Le principe de base est que les

⁵ Pour « Companion Modeling », traduction anglaise de « modélisation d'accompagnement »

systèmes multi-agents constituent un paradigme de représentation des connaissances pertinent pour accompagner une recherche interdisciplinaire. Le modèle sert alors principalement d'objet médiateur aux discussions entre différents chercheurs ou acteurs engagés dans la co-construction d'un point de vue commun, conformément au cadre de l'interdisciplinarité proposé par Jolivet et Pavet (cf. Figure 6).

Les jeux de rôles apparaissent dans *ComMod* très rapidement, avec deux applications pionnières portant sur la viabilité des périmètres irrigués dans la région de Podor au Sénégal (Barreteau et Bousquet, 1999) et la viabilité de la filière raphia à Madagascar (Herimandimby et al., 1998). Dans le premier cas, au Sénégal, les travaux de thèse d'Olivier Barreteau (Barreteau, 1998) visent essentiellement à améliorer la compréhension du fonctionnement du système. Dans le second, à Madagascar, l'objectif de la démarche est d'accompagner la mise en place d'une façon concertée et négociée d'outils de gestion économiques, institutionnels, réglementaires et fiscaux visant à assurer la viabilité de la filière. Pour s'engager dans ce type d'objectif propre à la recherche-action, la modélisation d'accompagnement propose d'embrasser également l'objectif de production de connaissances, en conférant aux modèles supportant la démarche une dimension exploratoire et non prédictive.

Dans les deux applications, le modèle de simulation informatique préexiste au jeu -qui lui-même est non informatisé- et permet d'en valider les principes constitutifs. Pour s'affranchir du syndrome de la « boîte noire », une mise en situation, calquée sur la structure du modèle de simulation informatique, est proposée aux acteurs. Des hypothèses sur les processus d'interaction entre les agents, sur leurs comportements, peuvent ainsi être discutées lors du débriefing, en référence à des observations qui auront pu être faites lors de la session de jeu, et en établissant des parallèles avec ce qui se passe dans la vie de tous les jours. Ainsi, au Sénégal, les sessions du jeu (baptisé par les participants *Njoobari*) constituent une étape de restitution d'une première version d'un modèle multi-agent (*Shadoc*) auprès des acteurs représentés dans le modèle selon la vision de son concepteur (Barreteau et al., 2001). A Madagascar, en outre, le jeu (*Raphia*) amène les participants à discuter et à négocier les éventuels outils de gestion de la filière raphia, montrant l'influence de la structuration spatiale sur l'efficacité de ces outils.

A Montpellier, un groupe de chercheurs va alors se constituer pour organiser régulièrement des ateliers de présentation et de discussion de nouvelles expériences d'usage des SMA et des jeux de rôles (ateliers *SMAJ*). Cinq d'entre elles, toutes faisant usage de *Cormas*, occupent une place importante dans la dynamique de création du réseau *ComMod* :

- *SelfCormas*, portée par Patrick d'Aquino, sur la décentralisation des plans d'occupation des sols dans le delta du Sénégal (d'Aquino, Le Page, et al., 2002a, 2002b; d'Aquino et al., 2003),
- *SylvoPast*, initiée par Michel Etienne lors de sa participation à la session de formation de décembre 1999, sur l'anticipation de l'impact d'aménagements sylvopastoraux dans le cadre de plans de prévention des incendies de forêt méditerranéenne (Etienne, 2003),
- *Méjan*, du même Michel Etienne, sur les dynamiques paysagères du Causse Méjan (Etienne et Le Page, 2002; Etienne et al., 2003),
- *STRATAGENES*, développée par Sigrid Aubert, sur la gestion des ressources phytogénétiques à Madagascar (Aubert et al., 2002; Aubert et al., 2003),

- **SAMBA**, menée par Stanislas Boissau et Jean-Christophe Castella, sur les dynamiques de changement d'occupation des terres montagneuses du Nord-Vietnam (Boissau et Castella, 2003; Boissau et al., 2004; Castella et al., 2001).

J'ai eu la chance, à ce moment charnière, d'être impliqué (hormis **SAMBA**) dans le développement des outils utilisés dans la mise en œuvre de ces démarches. Sur la base de ces expériences menées dans des contextes spécifiques et sur des thématiques variées, un certain nombre de publications collectives ont alors été réalisées (Bousquet et al., 2002; d'Aquino, Barreteau, Etienne, Boissau, Aubert, et al., 2002; d'Aquino, Barreteau, Etienne, Boissau, Bousquet, et al., 2002; d'Aquino et al., 2001), faisant avancer la réflexion sur les différentes combinaisons d'usage des simulations informatiques et des jeux de rôles. La polyvalence de l'outil jeu de rôles va alors clairement apparaître.

Au niveau de leur usage, *SylvoPastJeu* et *MejanJeu* se situent dans la lignée de *Raphia*, à savoir un jeu pour promouvoir la concertation entre acteurs sur une problématique que le chercheur a initialement formalisé sous la forme d'un modèle de simulation multi-agent. Mais ici, l'environnement du modèle, soumis à des processus écologiques dont il serait fastidieux de rendre compte manuellement sur un plateau de jeu, est simulé informatiquement (respectivement avec *Excel* et *Cormas*). L'outil peut alors être vu comme le support d'une simulation multi-agent participative projetant des agents humains (responsables des décisions) dans un environnement virtuel.

Samba et *SelfCormas* n'utilisent pas cette technologie, proposant tous deux (comme *Njoobari* et *Raphia*) un environnement physique : un plateau de cubes dont les faces représentent les différents types d'occupation du sol pour le premier, une carte simplifiée du territoire dessinée sur une feuille sur laquelle les participants viennent positionner des vignettes pour le second. C'est au niveau de leur usage qu'ils apportent une innovation : les décisions prises par les participants lors des sessions de jeu sont analysées afin d'aider à spécifier le comportement des agents d'un simulateur informatique. Celui-ci est développé à la suite du jeu, en prenant soin de proposer une représentation similaire afin de faciliter sa compréhension par les participants. L'outil informatique permet alors d'explorer collectivement différents scénarios d'évolution du système.

STRATAGENES est la seule parmi ces expériences à n'être basée que sur un seul outil : un jeu de rôles informatisé.

Dans les années qui vont suivre, ce type d'outil va progressivement prendre une place prépondérante dans la mise en œuvre des démarches de modélisation d'accompagnement. J'y reviens plus en détail au chapitre 5.

4 MODELES MULTI-AGENTS APPLIQUES A LA GESTION DES RESSOURCES RENOUVELABLES

Les SMA ont un spectre d'utilisation très large. Ils ont ainsi récemment été utilisés pour simuler les tactiques d'équipes de rugby professionnelles⁶, les effets collatéraux des forces de l'ordre combattant la criminalité urbaine⁷, le téléchargement illégal de pop-musique des étudiants taiwanais⁸... Appliqués à des problématiques de gestion de l'environnement, les systèmes multi-agents permettent de représenter les interactions entre dynamiques sociales et écologiques (Bousquet et Le Page, 2001, 2004; Le Page et al., 2013; Schlüter et al., 2012). D'un côté, les agents représentent les porteurs d'enjeux sur un territoire donné, depuis le niveau élémentaire des individus jusqu'au niveau plus agrégé de groupes d'individus définissant (*lato sensu*) des institutions, dont le fondement peut être social comme dans le cas des familles, économique comme par exemple une coopérative agricole, ou encore politique (cas des organisations non-gouvernementales). De l'autre, l'environnement représente le support spatial du territoire, porteur de différents types de ressources renouvelables. Ces ressources sont affectées à la fois par les actions directes des agents et par les processus dynamiques intrinsèques qui les caractérisent. L'état des ressources évoluant, les décisions des agents doivent tenir compte de cette nouvelle situation : ils sont susceptibles de changer à leur tour. L'implémentation des dynamiques naturelles est communément réalisée au niveau d'entités spatiales composant l'environnement du système multi-agent (Filatova et al., 2013). Il peut également être intéressant de définir des entités spatiales comme des « unités de gestion », afin de réifier la relation spécifique entre un agent utilisant une ressource et la ressource elle-même.

Je présente quelques éléments sur trois aspects des SMA qui revêtent une importance particulière dans le cadre de leur application à la gestion des ressources renouvelables, puis je dresse un inventaire des modèles que j'ai développés avec la plateforme *Cormas* depuis 1997.

4.1 Représentation explicite de l'espace

La relation entre l'environnement d'un SMA et un paysage réel peut être caractérisée selon trois niveaux de proximité: (i) aucun, dans le cas d'un monde virtuel imaginaire; (ii) intermédiaire, lorsque la référence à un territoire donné est implicite; (iii) fort, lorsque cette référence est explicite.

⁶ Lauren et al. 2013. Insights from the Application of an Agent-Based Computer Simulation as a Coaching Tool for Top-Level Rugby Union. *International Journal of Sports Science and Coaching*, **8**(3), 493-504.

⁷ Devia et al. 2013. Generating crime data using agent-based simulation. *Computers, Environment and Urban Systems*, **42**, 26-41.

⁸ Pai et al. 2017. Illegal downloading of pop music among university students in Taiwan: An agent - based model simulation. *Journal of Consumer Behaviour*.

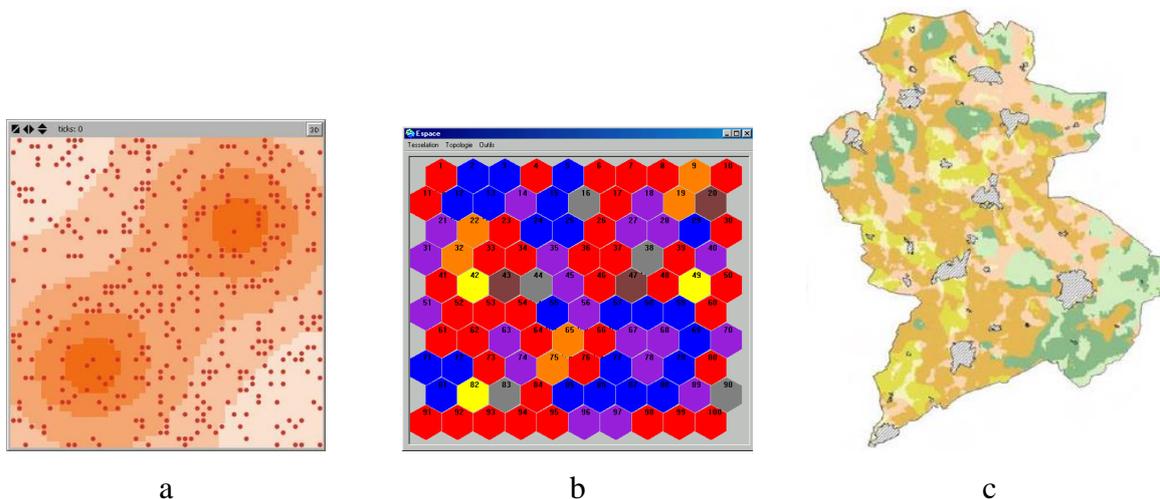


Figure 10. Les trois types d'environnements de SMA appliqués à la gestion des ressources renouvelables : a) abstrait (*SugarScape*, Axtell et al., 1996); b) faisant implicitement référence à un site ou un type d'écosystème donné (*SylvoPast*, Etienne, 2003) et c) représentant explicitement un territoire donné (*Valbuena et al.*, 2010)

Les modèles multi-agents théoriques sont fréquemment basés sur des représentations purement abstraites de l'espace, comme le monde virtuel *SugarScape* (Epstein et Axtell, 1996b) dans lequel des agents collectent du sucre, disposé en amas concentriques (cf. Figure 10a). Dans le cas intermédiaire, la référence implicite à un territoire donné se traduit par des proportions équivalentes dans la composition des différentes modalités caractérisant l'espace (typiquement l'occupation du sol), et éventuellement également par la similarité des patterns de configuration spatiale. Dans le cas du jeu de rôles informatisé *SylvoPast* (Etienne, 2003), les proportions des différents types de couvert végétal de l'environnement du modèle (cf. Figure 10b : en bleu les arbres, en rouge la broussaille, en jaune l'herbe, la présence simultanée de plusieurs de ces strates au même endroit étant figurée par le mélange des couleurs correspondantes) rendent compte de la composition moyenne de l'écosystème « forêt méditerranéenne pâturée », quand bien même c'est une zone Provençale bien précise (le Massif de l'Esterel) qui a inspiré la production de cet environnement stylisé. Lorsque la référence à un espace particulier est explicite, le plus souvent ce lien est établi en intégrant des données spatialisées en provenance d'un système d'information géographique (cf. Figure 10c). Définir un environnement réaliste demande le plus souvent de définir des agents de façon similairement réaliste. Depuis quelques années, des travaux sont menés pour permettre de créer des populations « synthétisées » à partir de bases de données démographiques de manière à les ancrer empiriquement (Harland et al., 2012; Wheaton et al., 2009)⁹. Lorsque la zone représentée est étendue, cela suppose de travailler avec un nombre important d'agents. Certains auteurs utilisent alors plutôt des typologies et rendent compte de la diversité des agents en attribuant aux différentes zones de l'espace différentes distributions des types identifiés (Valbuena et al., 2008).

Les progrès technologiques ont renforcé ces dernières années (Crooks, 2015; Heppenstall et al., 2012) la tendance apparue il y a déjà une quinzaine d'années (Brown et al., 2005;

⁹ Il existe même aujourd'hui une base de données virtuelle de la population humaine dans sa globalité (7,171,922,938 entrées...) : <http://pplapi.com/> !

Gimblett, 2002; Ligtenberg et al., 2001) à aller vers des modèles multi-agents représentant explicitement l'espace de manière réaliste en les associant aux SIG. Des extensions permettant d'intégrer les données spatialisées en provenance de SIG ont été adjointes aux principales plateformes existantes (*NetLogo*¹⁰, *Mason*¹¹, *RePast*¹²). De nouvelles plateformes ont été développées, mettant l'accent, principalement, sur ces aspects: *GAMA* (Drogoul et al., 2013; Grignard et al., 2013; Taillandier et al., 2010), *MAGéo* (Langlois et al., 2015).

Les travaux que j'ai menés n'ont pas suivi la même orientation : j'ai plutôt mis l'accent sur des représentations stylisées de l'espace, cherchant à faire ressortir les éléments structurants de l'environnement du socio-écosystème étudié sous forme schématique, afin de produire des archétypes. Je précise dans le chapitre 5 les raisons qui m'ont poussé dans cette direction.

4.2 Trois types d'interactions

Considérer la nature des interactions explicitement modélisées permet de caractériser les types de modèles multi-agents appliqués à des problématiques de gestion des ressources. Reprenant un schéma proposé par F. Bousquet, trois types d'interactions sont identifiées (cf. Figure 11).

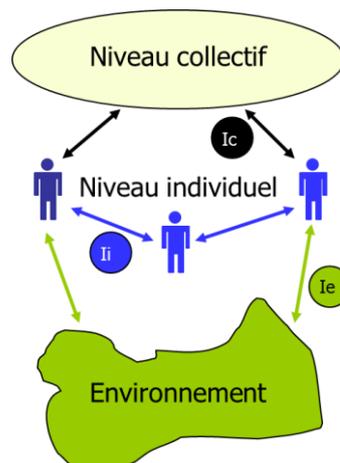


Figure 11. Les trois types d'interaction dans les SMA appliqués à la gestion des ressources renouvelables : via l'environnement commun (*Ie*), au travers d'une communication de gré à gré (*Ii*) et via le niveau collectif (*Ic*) (d'après Bousquet, 2001)

Les interactions médiées par l'environnement (*Ie*) sont constitutives des questions de gestion de ressource commune: quand une certaine quantité de ressource est prélevée par un agent au temps t à un endroit donné, l'abondance en est diminuée d'autant pour un autre agent se présentant au même endroit l'instant d'après. La simple présence dans son voisinage proche d'autres agents peut influencer sur le comportement d'un agent, comme dans le modèle simulant

¹⁰ <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/docs/gis.html>, présenté à *SwarmFest 2008* par Eric Russell

¹¹ <http://cs.gmu.edu/~eclab/projects/mason/extensions/geomason/>

¹² "Repast Symphony uses the open source Java GIS toolkit GeoTools ... and provides support for ESRI shapefiles and a range of raster data files" (North et al., 2013)

l'émergence de conventions de partage des ressources dans le cadre de la coutume de collecte de bois flotté sur les plages du Sud de l'Angleterre (Thebaud et Locatelli, 2001).

Les interactions par envoi de messages (*Ii*) permettent à un agent de cibler les individus avec lesquels il échange de l'information, qui définissent son réseau d'acointances. Les interactions entre individus et niveau collectif (*Ic*) prennent souvent corps dans la notion de groupe. Le méta-modèle *Aalaadin* proposé par Jacques Ferber et Olivier Gutknecht (1998) a inspiré le développement d'applications représentant des organisations d'agents avec les notions de groupes et de rôles endossés par les agents au sein de ces groupes. Dans le domaine de la gestion des ressources renouvelables, on peut citer les travaux de thèse de Géraldine Abrami sur la mise en œuvre de règles collectives de gestion de l'eau agricole dans la basse-vallée de la Drôme (Abrami, 2004) et ceux de Mahamadou Belem sur la simulation des flux de carbone en zones rurales d'Afrique de l'Ouest (Belem et al., 2011; Belem et Müller, 2013). Du côté des géographes, la question de la confrontation des représentations de l'espace, spécifiques à chaque individu et existant également au niveau de la société, a ainsi été explorée au niveau théorique, comme l'illustrent les travaux de Jean-Luc Bonnefoy (Bonnefoy et al., 2001; Bonnefoy et al., 2000). D'un côté, les comportements individuels tiennent compte des normes et des règles établies au niveau de la société, alors que de l'autre, ces normes et ces règles vont évoluer en fonction du résultat des interactions entre les agents.

4.3 Processus de décision des agents

La possibilité de modéliser les processus de prise de décision représente à la fois un des intérêts majeurs d'utiliser le paradigme multi-agent, mais aussi un défi sans cesse renouvelé. En 1969, dans ses réflexions sur la portée scientifique et politique de la théorie de la décision, Horst Rittel écrivait: « *one methodological trick for analyzing decision-making processes consists in pretending that the act of decision would have to be carried out by a machine. In some case, this can even be realized* ».

Pour intégrer dans un modèle multi-agent des processus de prise de décision humaine, la dimension empirique occupe une place relativement importante dans le domaine de la gestion des ressources renouvelables, contrairement à ce que l'on rencontre dans d'autres domaines d'application (par exemple l'économie), où la dimension théorique est prépondérante (Le, 2012).

En 2005 s'est déroulé à Bonn un atelier sur les méthodes empiriques permettant de récolter les données nécessaires au développement de modèles multi-agents. Cinq méthodes ont été comparées, en termes de types de données manipulées, questions susceptibles d'être abordées, points forts et faiblesses, avec présentation pour chacun d'entre elles d'une étude de cas : les enquêtes réalisées sur la base d'un échantillonnage, l'observation participante, les expériences en laboratoire et sur le terrain, la modélisation d'accompagnement, et enfin l'usage des SIG et de la télédétection (Robinson et al., 2007). Une des conclusions de cette étude est que la modélisation d'accompagnement et les jeux de rôles représentent une méthode bien adaptée pour établir des règles heuristiques du type « si-alors-sinon ». Janssen et Ostrom (2006)

identifient quant à eux quatre approches pour alimenter les modèles multi-agents empiriques : les études de cas, les faits stylisés, les jeux de rôles et les expériences au laboratoire (de type économie expérimentale). Dans sa revue de modèles de décisions d'agriculteurs utilisés dans des SMA, Li An (2012) retient 9 types : les modèles micro-économiques (maximisation de fonctions d'utilité ou de profit, avec éventuelles contraintes) ; les modèles basés sur des théories spatiales (par exemple le modèle de von Thünen sur la localisation des terres agricoles en fonction de la distance au marché); les modèles cognitifs et psychosociaux (qui mettent en avant l'influence des normes et des réseaux sociaux) ; les modèles se référant aux institutions ; les modèles basés sur l'expérience ou la préférence (basés sur des interviews type récits de vie) ; les modèles de simulation interactive (la modélisation d'accompagnement et l'usage des jeux de rôles en particulier) ; les modèles à base de règles heuristiques (éventuellement probabilistes, basées ou pas sur des analyses statistiques, faisant souvent recours à des typologies); les modèles à base de programmation évolutionnaire ; et enfin les modèles liés à des hypothèses ou des contraintes de calibration. La diversité des modèles de décision s'étale le long d'un gradient allant des modèles de décision fortement empiriques (par exemple basés sur des régressions statistiques) jusqu'à des modèles mécanistes basés sur des processus théoriques, avec fréquemment des hybridations de plusieurs types de modèle.

Plus récemment, Jürgen Groeneveld et 15 de ses collègues (2017) ont centré leur revue de la littérature sur les fondations théoriques des processus de prise de décision dans les modèles multi-agents d'usage des terres, relevant dans les 134 articles analysés la mention à un modèle théorique particulier, le paradigme comportemental associé (rationalité, rationalité limitée, absence de rationalité), la technique utilisée pour opérer la décision (optimisation, heuristiques, processus stochastiques), ainsi que l'usage ou non de données empiriques qualitatives et/ou quantitatives. Près de 62% des modèles de décision analysés dans cette étude ne relèvent pas explicitement d'une théorie. Parmi ceux qui sont cités, on note une majorité de mentions à la théorie de l'espérance d'utilité, puis à celle du *satisficing*¹³, et en 3^{ème} position une architecture d'agent classique : *Belief-Desire-Intention* (BDI). Popularisé par Rao et Georgeff (1995) comme modèle opérationnel d'agent cognitif, ce modèle théorique a donné lieu à de nombreuses extensions, y compris pour prendre de la distance avec sa dimension initiale purement rationnelle (cf. par exemple Liang et al., 2016). La plateforme GAMA intègre aujourd'hui une architecture d'agent basée sur ce modèle BDI (Caillou et al., 2015).

Le fait que la majorité des modèles multi-agents permettant de simuler le fonctionnement des socio-écosystèmes ne fondent pas les modèles de décision des agents sur des théories existantes mais plutôt sur des hypothèses ad-hoc peut se révéler problématique si on envisage leur usage en aide à la décision, comme support d'information des décideurs politiques. Des initiatives voient actuellement le jour au sein de la communauté scientifique s'intéressant à la gestion des ressources dans les socio-écosystèmes pour proposer un cadre destiné à caractériser, comparer et opérationnaliser l'implémentation de théories de la décision humaine (Schlüter et al., 2017). La trajectoire que j'ai suivie m'a plutôt amené à développer des méthodes d'élicitation des processus de prises de décision des acteurs locaux en combinant

¹³ les agents se fixent un niveau de satisfaction à atteindre, et retiennent la première solution égalisant ou dépassant ce seuil de satisfaction

des exercices de mise en situation (les jeux de rôles) avec des outils de simulation informatique. Ce type de travail peut servir à approfondir la compréhension des processus de décision des acteurs des socio-écosystèmes et ainsi apporter une contribution méthodologique à leur meilleure représentation dans les modèles destinés à éclairer les décisions politiques. Il peut également se justifier pleinement par un usage visant à stimuler les apprentissages mutuels entre les chercheurs et les acteurs locaux, considérant les modèles comme des outils de communication. Avant de développer plus en avant cette posture dans le chapitre 5, je dresse un inventaire des modèles multi-agents que j'ai développés avec *Cormas* depuis 1997.

4.4 Applications développées avec Cormas

J'ai contribué à l'implémentation de modèles multi-agents avec la plateforme *Cormas* qui balayent une vaste gamme de thématiques et de contextes dans le domaine de la gestion des ressources renouvelables. Pour rendre compte de cette diversité, j'en liste ici 60 (cf. Tableau 1), dans lesquelles mon degré d'implication ne fut évidemment pas le même. Dans le cadre d'une pratique de la modélisation d'accompagnement, il est parfois délicat de définir la personne référente d'un modèle: il arrive fréquemment que la construction de la substance d'un modèle se répartisse de manière équilibrée entre les différents contributeurs, au-delà de leur rôle spécifique dans le processus de modélisation. Ainsi, dans le cas du travail sur la chasse villageoise et la gestion locale de la faune sauvage dans une forêt de l'Est-Cameroun (*Djemiong*), le travail de terrain en socio-économie du développement réalisé par Ani Takforyan a permis aux modélisateurs (François Bousquet et moi-même) de conceptualiser un modèle multi-agent qu'Innocent Bakam, informaticien qui finalisait alors la première version de la plateforme de simulation multi-agent *Cormas*, a implémenté sur ce nouvel outil générique (Bousquet et al., 2001). On considèrera ici que la personne « de référence » pour un modèle donné, dont le nom figure dans la 3^{ème} colonne du tableau ci-dessous, est celle qui est à l'origine de la formulation de la question à laquelle ce modèle prétend apporter des éléments de réponse. La 1^{ère} colonne du tableau indique le nom du modèle. Dans certains cas, il s'est agi d'une suite de modèles et non de différentes versions d'un même modèle¹⁴. Il aurait donc fallu en toute rigueur les faire tous figurer. Par souci de simplification, seuls les outils principaux ont ici été mentionnés. Le symbole ® indique qu'il s'agit d'une réplique d'un modèle existant. Le symbole ④ indique qu'il s'agit d'un jeu de rôles informatisé. ④* signale que la possibilité d'exécuter la simulation avec des agents informatiques (le cas de l'application NanGame est détaillé à la section 5.5.2); ④► indique qu'un jeu est à la base du modèle de simulation informatique alors que ►④ indique qu'un jeu a été développé (avec *Cormas* également quand son nom apparaît) à la suite du modèle de simulation informatique. Certains modèles fonctionnent sur la base d'un couplage dynamique entre *Cormas* et un autre logiciel (indiqué par le symbole // placé entre le nom de l'application et le nom du logiciel). Enfin, la couleur indique le type d'application : théorique (bleu), empirique réaliste (vert) ou empirique stylisé (jaune).

¹⁴ Des exemples de processus de ce type sont détaillés dans le chapitre suivant

	Nom	Thématique	Référent	Publications
1997	ForPast	Transformation d'un espace forestier soumis au pâturage	Lardon	CACTN 6,10; CAFF 1
	PlotsRental	Remembrement par marché de gré à gré et système d'enchères centralisées	Bousquet	CO 22
	SeaLab ®	Stratégie de reproduction des espèces de poissons pélagiques côtiers	Le Page	ACL 2,3; CACTI 1 CACTN 1,2,3; CCOM 1
1998	Djemiong	Viabilité de la chasse villageoise dans l'Est du Cameroun	Takforyan Bakam	ACL 6 CCOM 3
	Filière	Coordination par l'échange dans une filière économique	Antona	CACTI 5
	FireAgents	Diffusion d'un feu de forêt et coordination des pompiers	Bousquet	CO 22
	Kayanza	Filière bois-énergie dans la région de Kayanza (Burundi)	Guizol	CO 6 CACTI 11
	SaintGeorges // ArcView	Pâturage et embroussaillage d'une commune de Lozère	Lieurain	
	WSErosion	Risque d'érosion et diversification agricole au Nord de la Thaïlande	Trébuil	CO 8
	Zambèze	Dynamiques foncières de la moyenne Vallée du Zambèze (Zimbabwe)	Zunga	CACTN 07
1999	BrouteLaForet	Représentations spatiales: individus, espace et société	Bonnefoy	CO 7; CACTI 10,12 CCOM 34
	Didy	Usages multiples dans un écosystème forestier à Madagascar	Abrami	
	GEMACE	Aménagement de l'espace en Camargue	Mathevet	ACL 18
	Robots Fourrageurs ®	Les robots extracteurs de minerai	Drogoul	
	SpatioDyn	SMA et chorèmes : application au massif du Tanargue (Cévennes)	Bonin	ACL 5
2000	DriCol	Emergence de conventions sur les ressources communes	Thebaud Locatelli	
	Echos	Gestion territoriale d'effluents d'élevage à l'île de la Réunion	Farolfi	ACL 30; CACTI 18 CACTN 11,13 ; CCOM 10
	Mejan► MejanJeu ①	Dynamique d'enrêsinement sur le Causse Méjan (Cévennes)	Etienne	ACL 17; CACTI 19,20,21 CACTN 16 ; CCOM 7
	Savane Espace/Agents	Dynamique des paysages : agents acteurs versus entités spatiales	Gautier	CACTI 4
	①► SelfCormas	Relations entre agriculture et élevage dans la vallée du fleuve Sénégal	d'Aquino	ACL 7,8,9,10,16; CCOM 6,7; CACTI 9,14,19
	STRATAGENES ①	Gestion in situ des ressources phytogénétiques à Madagascar	Aubert	CO 4; CACTI 19 CACTN 15; CCOM 5,7

	SylvoPast► SylvoPastJeu (J)	Sylvopastoralisme et prévention des incendies en région méditerranéenne	Etienne	CO 3,4 ; CACTI 19 CCOM 07
2001	ECEC (R)	Evolution de la coopération dans un contexte écologique	Pepper Smuts	
	MagmaS // VENSIM	Gestion des effluents d'élevage à La Réunion	Martin	CACTI 15 ; CACTN 14
	Mobe	Régulation de la filière bois-énergie au Niger	Antona	CACTI 17 ; CCOM 13
2002	ButorStar (J)	Gestion concertée des roselières en Camargue	Mathevet	ACL 28,31 CCOM 11,17; CAFF 2,3
	CATCHSCAPE	Gestion de l'eau dans les bassins versants du nord Thaïlande	Becu	ACL 15
	SaoPaulo	Usage de l'eau et dynamiques foncières en périphérie de São Paulo	Ducrot	ACL 20
2003	AtollScape► AtollGame (J)	Gestion des eaux souterraines dans un atoll de basse altitude (Kiribati)	Dray Perez	ACL 24 27; CO 11 CACTI 24,25,26,29
	MIROT // GAMS	Dynamique des ressources en carbone dans un terroir Ouest-Africain	Youl Belem	CACTI 30
	NongSaeng	Transition vers des syst. de production agricole intégrée au NE Thaïlande	Caldwell	CACTI 28
	PhytoBV	Evolution d'un système rural martiniquais et pression polluante	Houdart	ACL 22; CCOM 14
	PolitiqueLU	Politiques publiques multi-niveau et aménagement du territoire	Botta	
	ReedSim	Multi- usage des roselières de la Petite Camargue Gardoise	Mathevet	CCOM 11
2004	(J)► DonHoiLord	Gestion d'une pêcherie de mollusques dans le Golfe de Thaïlande	Worra-pimphong	ACL 39
	Kalimantan // OLYMPE	Diversification des plantations d'hévéa à Bornéo (Indonésie)	Bonté	CO 18
	Lure	Interactions élevage, dynamique de la végétation et biodiversité à Lure	Anselme	ACL 35
	Ouessant► Motte-Piquet (J)	Impacts des activités locales et de la fréquentation touristique à Ouessant	Rouan	ACL 33
	SorghoMali ►(J)	Gestion in situ de la biodiversité des céréales en Afrique de l'Ouest	Bazile	ACL 29 ; CACTI 27 CCOM 15,18,21,22
2005	(J)► BanMakMai	Liens entre migrations de jeunes actifs et pratiques rizicoles (Thaïlande)	Naivinit	ACL 36; CO 25; CACTI 33,37,41 CACTN 18; CCOM 20,25,26
	Thieul	Multi-usage de l'espace et des ressources autour d'un forage au Sahel	Bah	ACL 23 ; CACTI 23 CACTN 12
2006	DoiTiew (J) // Excel	Conflit d'usage des terres entre éleveurs et forestiers (Thaïlande)	Dumrongroj-watthana	ACL 41; CACTI 40 ; CACTN 17 CCOM 27,31,51; CAFF 7
	NanGame (J)*	Conflit entre communautés villageoises et Parc National (Thaïlande)	Barnaud	ACL 37,43; CACTI 39 CCOM 19

	Radi (J)	Conflit d'usage de pâturages entre sédentaires et migrants (Bhoutan)	Raj Gurung	CCOM 35
	(J)► RiceShrimpMD	Concilier riziculture et crevetticulture dans le Delta du Mekong	Le Canh Dung	ACL 32; CACTI 32 CCOM 24,30
	StupidModel (R)	Benchmark pour comparaison de plateformes SMA	Railsback	
2007	Kengkhar (J)	Gestion collective de l'eau en milieu montagnard isolé et sec (Bhoutan)	Raj Gurung	
2008	COSMOS	Dynamique d'une population de charançons du bananier (Antilles)	Vinatier	ACL 34 ; CACTI 38 CCOM 29
	ReHab (J)*	Jeu de rôles Ressources – Habitat	Le Page	ACL 46 ; CO 30
2009	CauxOpération (J)	Gestion du ruissellement érosif dans le Pays de Caux	Souchère	ACL 38 ; CAFF 4
2010	(J)► Bawkudo	Gouvernance de l'eau à l'échelle d'un sous bassin dans le Nord du Ghana	Le Page	CO 29 CCOM 37,39,45
	FarmCamargue // Excel	Scénarios d'évolution des systèmes agricoles camarguais	Delmotte	ACL 45 ; CCOM 36
	KKB (J)	Gestion d'une pêcherie de crabes bleus en Thaïlande	Leteurtre	CAFF 8
2012	Agriculture	Flux de biomasse dans un terroir agropastoral tropical (Burkina-Faso)	Diarisso	
	Frotembo	Chasse villageoise en bordure d'un Parc National (Cameroun)	Le Page	ACL 44 CCOM 42,44,48
2013	Kulayinjana (J)	Coexistence populations locales / faune sauvage au Zimbabwe	Perrotton	CCOM 46,50,55; CAFF 9
	PhDModel	Intensification des pratiques d'élevage en Amazonie Brésilienne	Plassin	
	VarzeaViva (J)	Résilience des communautés locales dans une plaine d'inondation (Brésil)	Bonnet Bommel	CACTI 45
2014	Valensole	Durabilité du système agricole sur le plateau de Valensole	Tardivo	CCOM 57
2015	Palmito	Organisation spatiale des pratiques agricoles/palmier à huile en Indonésie	Moulin	

Tableau 1. Liste des modèles multi-agents développés avec la plateforme **Cormas**

Chercher à distinguer les dimensions théoriques et empiriques de l'activité scientifique est périlleux. Celle-ci se nourrit en effet des relations itératives entre des temps de réflexion intellectuelle pour concevoir des idées, élaborer des hypothèses, formaliser des connaissances, et des temps d'observation et de récoltes de données sur le terrain. En 1993, dans le premier numéro de la revue « Natures Sciences Sociétés », Marcel Jolivet et Alain Pavé définissent le concept de modèle comme « *un objet concret par où passe la confrontation théorie-expérience* ». Un modèle théorique peut s'envisager comme une manière de formuler des observations. On cherche à généraliser pour produire un cadre d'analyse du monde observé. Un modèle empirique serait plutôt une manière de re-présenter des observations dans le but de les partager; dans ce sens, c'est un outil de dialogue sur la représentation des connaissances.

Fondé sur l'appréhension d'une situation particulière, un modèle empirique intègre des éléments propres à un contexte spécifique. Ainsi dans le Tableau 1, toutes les thématiques sans mention géographique correspondent à des applications théoriques, et à l'inverse toutes celles classées comme empiriques, qu'elles soient stylisées ou réalistes, font référence à une localisation précise. Ces éléments ne sont pas nécessairement des données chiffrées. Des observations intégrées sous forme de variables qualitatives nominales ou ordinales, des connaissances issues de données ethnographiques et traduites sous formes de règles heuristiques vont contribuer à la représentativité du modèle.

Plus de la moitié (31/60) des applications développées sont de type empirique stylisé, le reste se répartissant à part égale entre les deux autres types (cf Figure 12). Les contextes géographiques les plus fréquemment représentés sont l'Afrique (14), l'Asie (13) et la France métropolitaine (12), les 8 modèles restant se répartissant entre les DOM-TOM (4), l'Amérique du Sud (3) et le Pacifique Sud (1).

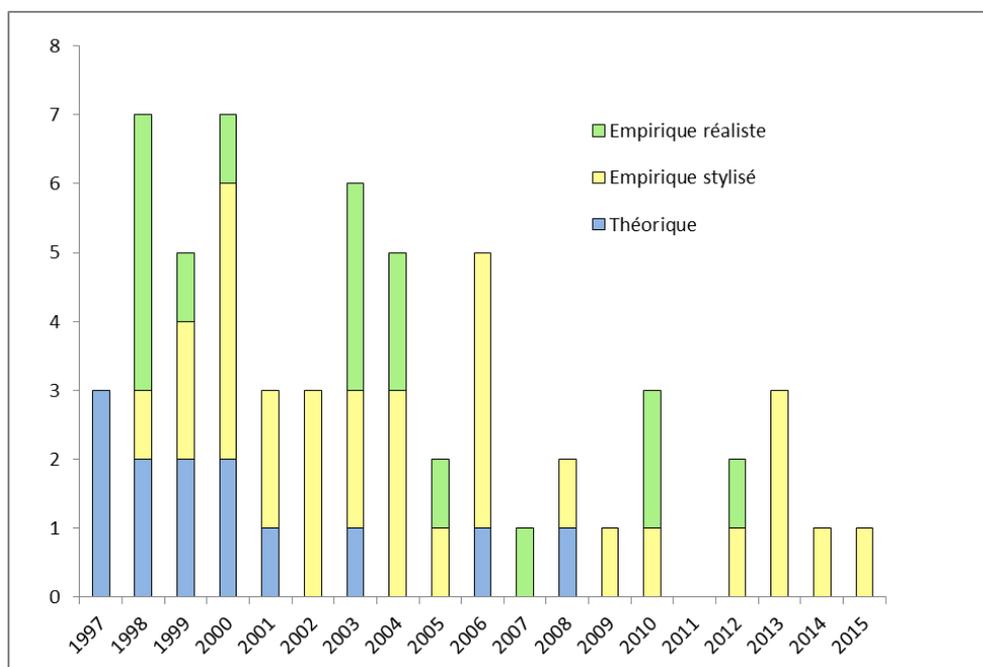


Figure 12. Distribution par type et par année des 60 modèles multi-agents développés avec la plateforme **Cormas**

Ce qui distingue –dans notre catégorisation– un modèle empirique réaliste d'un modèle empirique stylisé, c'est le fait que son environnement ait été directement établi en intégrant des données géo référencées. Une représentation stylisée ne sera pas nécessairement moins inféodée à un système réel qu'un modèle empirique réaliste, mais la façon de représenter schématiquement l'espace fait partie intégrante de la conception du modèle. Dans le cas d'un chargement de données en provenance d'un Système d'Information Géographique, une fois les limites de l'environnement spécifiées, l'opération se limite à une dimension technique.

Selon les cas, la représentation schématique s'attachera à révéler la singularité du lieu d'étude, ou cherchera à produire un environnement fictif mais représentatif de la situation étudiée. Ainsi dans le cas du modèle *SelfCormas*, ce sont en réalité trois modèles, de même nature

mais différents, qui ont été développés au cours des ateliers organisés au Sénégal en avril 2000 par Patrick d'Aquino dans les villages de Mboundoum, Ndiaye et Gnith. Le modèle *ButorStar* (jeu de rôles sur la gestion multi-usage d'une roselière en Camargue développé par Raphaël Mathevet) représente un archétype de roselière et non une roselière particulière, à l'inverse de la roselière du complexe des étangs du Charnier et du Scamandre en Petite Camargue Gardoise qui est représentée dans le modèle *ReedSim*.

J'ai déjà évoqué dans les chapitres précédents les modèles didactiques que j'ai développés ou reprogrammés pour enseigner des concepts sur les systèmes multi-agents et sur la gestion des ressources renouvelables, j'ai donné quelques exemples de modèles de types empiriques réalistes destinés à formaliser et capitaliser les connaissances acquises sur le fonctionnement de socio-écosystèmes. Dans le chapitre qui suit, je décris les principaux modèles empiriques stylisés conçus comme des outils de communication au service du partage de représentations, qui ont été utilisés en aide à la concertation et pour stimuler des co-apprentissages.

5 UNE PRATIQUE DE LA MODELISATION D'ACCOMPAGNEMENT CENTREE SUR LA SIMULATION MULTI-AGENT INTERACTIVE

Après les premières années ayant rassemblé un groupe de chercheurs autour d'une pratique de modélisation associant systèmes multi-agents et jeux de rôles baptisée modélisation d'accompagnement (voir section 3.6), le réseau *ComMod* s'est structuré. Un texte précisant les principes et la posture associée a été publié en anglais (Barreteau, Antona, et al., 2003) puis en français (ComMod, 2005) dans la revue *Natures Sciences Sociétés*¹⁵. J'ai lancé la mise en place d'un site Internet (www.commod.org). Des rencontres annuelles sont organisées depuis 2002, une association a été créée en 2008. Des sessions de formation sont régulièrement organisées par des membres du réseau. Le premier format proposé était spécifiquement dédié aux jeux de rôles. J'ai co-animé les deux premières éditions organisées en France (novembre 2004, janvier 2005). En 2009, le format de cette école-chercheur a évolué pour englober les différentes phases de la mise en œuvre de *ComMod*, depuis l'initialisation du processus jusqu'à son suivi-évaluation. Après la tenue de 5 éditions, en 2015, le groupe de formateurs engagé dans cette aventure a publié un ouvrage pédagogique (Etienne, 2015). En parallèle, j'ai participé au montage aux Pays-Bas (Wageningen University) et en Suisse (ETH Zürich) d'une version anglophone de cette école-chercheurs, qui propose un focus spécial sur la facilitation. Beaucoup de chemin a été parcouru ensemble, et dans le même temps, au gré des diverses expériences menées par les uns et les autres, des chemins méthodologiques spécifiques se sont dessinés.

5.1 Positionnement et posture

La mise en œuvre d'un processus de modélisation d'accompagnement demande un ensemble de compétences et de connaissances qu'une seule et même personne peut difficilement posséder. Regroupé en un « noyau dur », plusieurs personnes fonctionnant en collectif peuvent avantageusement se répartir les tâches. Le « porteur de la démarche » doit apporter la légitimité de l'intervention par sa connaissance du socio-écosystème étudié et des relations déjà existantes avec quelques acteurs locaux. L'idéal est que cette personne puisse séjourner durablement sur le terrain, de manière à pouvoir bien appréhender le contexte local et également suivre et mesurer les effets de la démarche en dehors des seuls « temps forts collectifs » que constituent les ateliers de simulation interactive.

¹⁵ Six articles de commentaires accompagnent cette publication: Alain Pavé: *La modélisation et la simulation des objets et processus complexes. Questions scientifiques, méthodologiques et éthiques*; Christian Mullon: *Vers un usage concerté de la modélisation et de la simulation dans les recherches interdisciplinaires*; Dominique Hervé: *La modélisation d'accompagnement: un débat nécessaire et salutaire*; Sylvie Lardon: *Une charte pour la modélisation d'accompagnement: pour quoi faire ?* Claude Lobry: *La science et l'action* ; Yves Guermond: *La charte: une contribution à l'utilisation de la modélisation en sciences sociales*.

Pour ma part, j'ai essentiellement travaillé en association avec des porteurs des processus *ComMod*, doctorant(e)s le plus souvent, collègues chercheurs le reste du temps. Lorsque le porteur était un(e) doctorant(e), d'autres collègues chercheurs étaient associés au noyau dur, apportant leur connaissance de la thématique quand j'apportais de mon côté des connaissances méthodologiques, sur la modélisation d'une part, et d'autre part sur l'animation et la facilitation du processus. La facilitation du processus se concentre sur le bon usage des méthodes, des outils, des procédures et des règles de fonctionnement, du maintien de bonnes relations entre les participants, de la qualité de la dynamique de groupe, de l'atmosphère générale. Elle est à distinguer de la facilitation du contenu, dévolue au porteur de la démarche, qui accompagne la formulation de la question et le choix des thèmes de discussion, coordonne les activités à réaliser, veillent à ce que des décisions soient prises pour se rapprocher de la réalisation des objectifs fixés collectivement.

5.1.1 Concevoir pour simuler vs simuler pour concevoir

Par nature adaptatif, un processus participatif se revendiquant de la modélisation d'accompagnement est difficile à faire tenir dans un cadre, même si des repères peuvent être donnés (Daré et al., 2009). La co-construction d'un modèle conceptuel sous une forme d'un diagramme d'interactions entre *acteurs* et *ressources*, telle que formalisée par la méthode ARDI proposée par Michel Etienne (2011), ne posera pas de problème à des participants habitués à ce type de gymnastique intellectuelle (gestionnaires, décideurs, chercheurs). Sur la base de ce travail, un modèle de simulation sera implémenté pour nourrir des réflexions collectives sur différents scénarios d'évolution du socio-écosystème étudié. Pour dérouler toutes les étapes de la méthode ARDI, plusieurs ateliers sont souvent nécessaires. Le simulateur informatique n'arrive que plus tard, les participants restant à l'écart des étapes spécifiques à son développement, comme le montre l'exemple de la Figure 13.

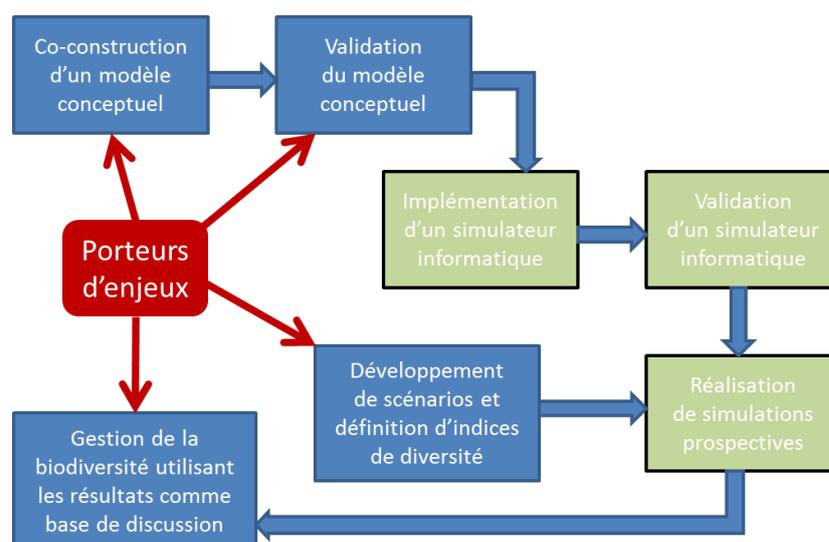


Figure 13. Exemple d'un processus *ComMod* dans lequel les participants n'interagissent qu'indirectement avec le simulateur informatique (Dupont et al., 2016)

Dans le cas de ce processus mis en œuvre sur la presqu'île de Crozon, des savoirs experts scientifiques et locaux ont été combinés pour produire des indicateurs d'état de la biodiversité, contribuant à la gestion conservatoire des habitats et des espèces sur ce site (Dupont et al., 2016). L'implémentation et la mise au point du simulateur informatique, ainsi que son usage pour simuler les scénarios, n'ont pas fait l'objet d'interactions directes avec les participants. Les objets intermédiaires dans ce contexte sont constitués d'artefacts du processus de modélisation liés au simulateur (les diagrammes ARDI, les scénarios, les indicateurs, les sorties de simulation), le simulateur informatique lui-même n'en étant pas un.

Une autre approche consiste à placer le simulateur informatique au cœur des interactions entre les participants à la démarche, et ce le plus rapidement possible. La phase de mise au point du simulateur, en particulier, s'avère très stimulante pour retravailler le modèle conceptuel. Cette stratégie de « simuler pour concevoir » peut être facilitée par le fait que la personne qui implémente le modèle de simulation soit pleinement impliquée dans toutes les étapes du processus de modélisation, comme cela a toujours été mon cas.

Les raisons qui m'ont amené à considérer cette option méthodologique sont de trois ordres. La première raison est d'ordre pragmatique : travailler à un niveau conceptuel, réfléchir en termes d'entités et de relations pour établir des diagrammes peut s'avérer abscons pour les acteurs locaux, particulièrement pour ceux qui n'ont eu qu'un accès rudimentaire à l'éducation, ce qui est souvent le cas dans les zones rurales des pays en voie de développement où le mandat du CIRAD m'amène à intervenir.

La seconde raison tient au fait que dans les étapes d'une séquence A-R-D-I, il y a une progression logique entre les deux premières (Acteurs et Ressources) et la dernière (Interactions). Le tout permet de spécifier la structure du modèle, de donner les grandes lignes de son fonctionnement sans entrer dans les détails. L'étape « D » (dynamiques), qui considère les processus retenus, se situe à un niveau différent, et peut s'avérer perturbante à intercaler entre les deux premières étapes et la dernière. A l'issue d'une séquence A-R-I, une première implémentation peut être réalisée à la condition d'avoir spécifié les dimensionnements du modèle (étendue et résolution spatiale, nombre d'entités considérées) ainsi que la configuration initiale. Disposer rapidement d'une première visualisation de l'espace simulé, même si elle reste figée, permet de bien fixer le niveau de simplification choisi, ce qui va faciliter le travail de spécification des processus.

Enfin, et c'est la raison essentielle, cette option cherche essentiellement à promouvoir des espaces de dialogue dans le but d'améliorer la compréhension mutuelle entre des acteurs qui ont du mal à s'entendre. Dans cette optique, on postule que l'identification et la prise de conscience collective par les acteurs des réseaux d'interdépendances sont des facteurs favorables à la mise en place d'une gestion concertée. Dans le domaine des sciences de l'éducation, la pédagogie active encourage la manipulation d'outils concrets pour faire prendre conscience de phénomènes complexes (cf. section 5.3.3).

Intervenant principalement dans des contextes où les asymétries de pouvoir sont fortes, la posture d'accompagnement critique définie par Cécile Barnaud (Barnaud, 2013; Barnaud et Van Paassen, 2013) constitue pour moi un cadre de référence. Il s'agit de prendre en compte ces asymétries pour penser de manière stratégique les façons d'organiser la communication,

médiée par des outils accessibles à tous et au fort pouvoir suggestif, faisant ressortir la diversité des intérêts de chacun, afin, au final, de favoriser un processus de concertation équitable.

5.1.2 Endosser les rôles de modélisateur et informaticien pour « concevoir en simulant » de façon collaborative

Pour concevoir un simulateur informatique à l'image d'un socio-écosystème, plusieurs étapes sont nécessaires pour simplifier, schématiser, spécifier puis implémenter les éléments constitutifs du modèle. Drogoul et ses collègues (2003) ont proposé un cadre méthodologique qui détaille ces étapes et identifie les rôles (thématicien, modélisateur, informaticien) des différents intervenants dans cette chaîne de production. Le **modèle du domaine** est défini en utilisant un langage spécifique au domaine considéré, avec une sémantique propre aux porteurs de connaissance sur le système cible (chercheurs « thématiques » ou acteurs locaux). Le « modélisateur » intervient pour faciliter la traduction du modèle du domaine en un modèle plus formel, qui spécifie et structure les concepts retenus (**modèle conceptuel**). Il est fréquent que le modélisateur participe aux discussions entre thématiques pour obtenir une première esquisse de modèle du domaine. Sous sa houlette, le processus de formalisation de ce modèle s'enclenche alors assez rapidement. Au cours de cette étape, le modélisateur doit maîtriser la facilitation d'un travail en groupe autant que les outils plus ou moins formels qui serviront de support à l'élaboration du modèle conceptuel. Les méthodologies de construction participative de modèles conceptuels telles que ARDI (Etienne et al., 2011) aboutissent à un objet intermédiaire (carte cognitive, diagramme, schéma) présentant la structure générale (dans le cas de ARDI, un diagramme d'interactions entre les acteurs et les ressources) ainsi qu'un ensemble d'autres objets intermédiaires (diagrammes, pseudocode) spécifiant les éléments moteurs de l'évolution du système simulé. Le **modèle de simulation**¹⁶ résulte de la traduction du modèle conceptuel en un programme informatique codé « from scratch » avec un langage de programmation ou, de plus en plus fréquemment, en utilisant une plateforme générique.

Ayant à sa disposition tous les éléments spécifiant un modèle conceptuel, un informaticien n'ayant pas été impliqué dans les étapes précédentes sera certes en mesure de réaliser une implémentation aboutissant à un modèle de simulation, néanmoins il aura à prendre des initiatives pour traiter un certain nombre d'imprécisions et/ou intégrer à sa façon des éléments implicites non précisés par les modélisateurs. Il se peut également que de mauvaises interprétations de sa part entraînent des erreurs de traduction (Romanowska, 2015). Quoi qu'il en soit, dans cette configuration, il est crucial de fournir des spécifications les plus complètes et les moins ambiguës possibles afin de faire correspondre au mieux modèle conceptuel et modèle de simulation (cf. Figure 14).

¹⁶ Pour simplifier, le seul terme de **modèle de simulation** regroupe ici les notions de « modèle opérationnel » et « système computationnel » qui sont parfois distinguées.

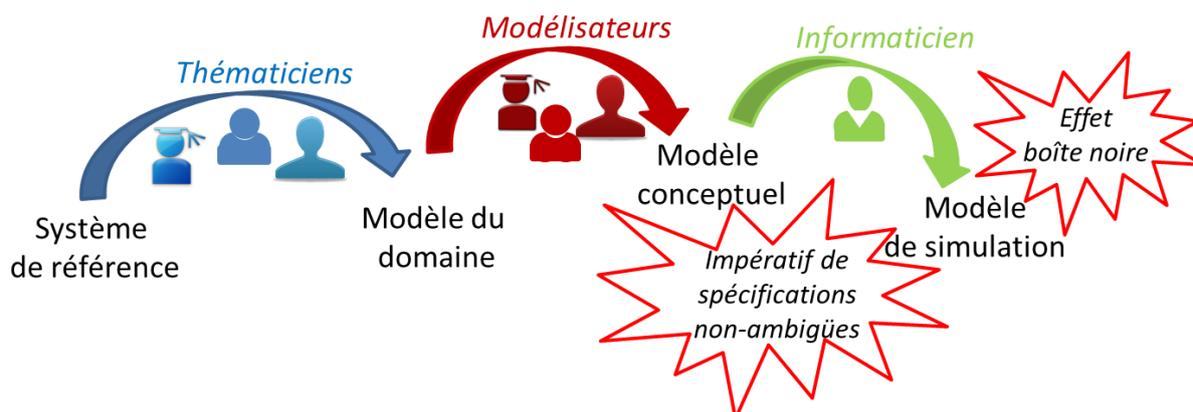


Figure 14 Conséquences de la dissociation des rôles de modélisateur et d'informaticien

Il est bien entendu que l'activité de codage informatique demande des compétences nécessitant un apprentissage spécifique qu'il n'est pas envisageable de proposer à tous les participants du processus de modélisation. On ne peut donc guère envisager de pratiquer cette activité lors de séances collectives. En revanche, dès lors qu'une première version a été implémentée, le modèle de simulation est manipulable, et il redevient possible de capter l'attention des participants en les faisant réagir aux sorties de simulation. Dans la manipulation d'une première version implémentée, plusieurs étapes spécifiques peuvent être distinguées. Il faut d'abord vérifier que ce qui a été codé correspond bien à ce qui était supposé l'être (vérification), puis établir les valeurs des paramètres du modèle qui induise la réalisation des phénomènes attendus (calibration). Pour ce faire, une situation initiale basique (dite « de référence ») est proposée. A ce stade, le modèle s'utilise en mode « exploration interactive » : les différents tests réalisés permettent non seulement de mieux le comprendre, mais ils induisent également souvent des retours critiques et reconstructifs sur les étapes précédentes de conception (Ferrand, 2006). Pour renforcer la conception collaborative du modèle de simulation, il s'avère donc très intéressant de mener la phase d'exploration interactive de manière participative. Or très souvent, l'implémentation marque une pause dans le travail collectif, qui ne reprend qu'une fois le modèle de simulation, vérifié et calibré, ait été déclaré « bon pour » la phase suivante, à savoir l'exploration de scénarios. Non impliqués dans la phase de codage du modèle de simulation, les participants aux étapes préalables de la chaîne de fabrication de l'outil risquent de le percevoir comme une « boîte noire » qui leur échappe, ou même qui les manipule, en imaginant que le commanditaire de la démarche soit intervenu pour s'assurer que les sorties obtenues en simulant aillent dans le sens des messages qu'il souhaite faire passer.

Lorsque les rôles de modélisateur et d'informaticien sont tenus par une seule et même personne (cf. Figure 15), celle-ci est en bonne place pour remettre en discussion le modèle conceptuel à la lumière des éléments qui demandent à être mieux précisés au moment de l'implémentation. J'ai ainsi pu mesurer à maintes reprises l'intérêt de provoquer le plus vite et le plus fréquemment possible ces retours vers le groupe de modélisateurs. Revisiter certaines étapes du processus de conception d'un modèle dès qu'un élément invite à le faire est un principe de modélisation fondamental, largement reconnu (Jakeman et al., 2006). Cet élément déclencheur d'un « retour en arrière » peut surgir à n'importe quelle étape du processus, mais plus particulièrement au moment où l'on manipule pour la première fois, en mode

d'exploration interactive, la version opérationnelle du modèle. Aussi, ne pas attendre d'avoir mis au point une première version du modèle de simulation intégrant l'ensemble des éléments du modèle conceptuel pour revenir provoquer des discussions avec le groupe de co-concepteurs constitue une véritable stratégie de conception. La visualisation des effets obtenus avec une première version « brute de décoffrage » va en effet stimuler la réflexion collective et bien souvent amener à remettre en question certaines options initiales. Le modèle conceptuel évolue et se « consolide » progressivement.

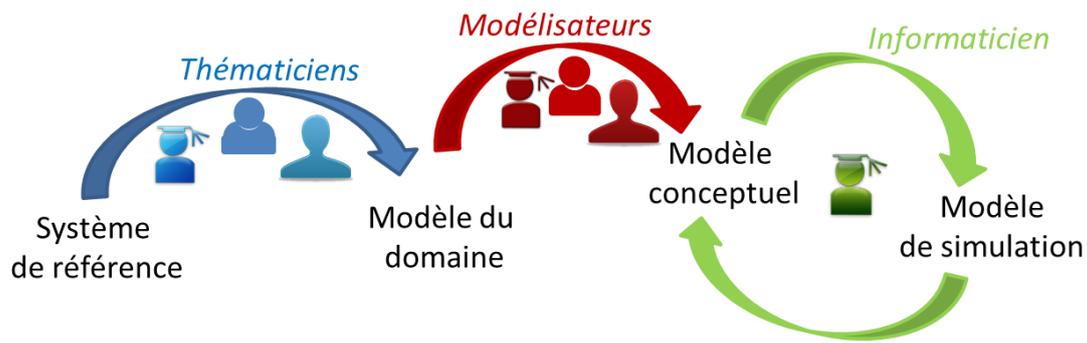


Figure 15 Le rôle de modélisateur-informaticien

Lorsque le rôle d'informaticien n'est pas tenu par la personne qui anime le processus de co-conception collaborative du modèle, ces allers-retours rapides et fréquents sont plus difficiles à mettre en œuvre, surtout si la tâche de l'informaticien est envisagée dans le cadre « classique » de la gestion de projets de développement logiciel qui s'appuie sur la production d'une documentation détaillée et exhaustive, sans donner priorité aux modules essentiels. Notons toutefois qu'en réaction à la rigidité de ce cadre, ont été regroupées sous l'appellation « *Agile*¹⁷ » des méthodologies de développement logiciel basées sur des interactions fréquentes avec les utilisateurs et une production régulière de « prototypes flexibles » répondant au plus près aux suggestions suscitées par les tests des prototypes précédents. Dans le domaine du génie logiciel, les méthodologies de ce type (« *extreme programming* » ou encore « *scrum* ») sont utilisées essentiellement dans le domaine du e-commerce pour répondre à un besoin exprimé (parfois pas très clairement au départ) par un groupe de « consommateurs ». Si ces méthodologies paraissent transposables à la simulation des socio-écosystèmes, substituant aux « consommateurs » les experts du domaine étudié (Ramanath et Gilbert, 2004), les exemples d'application restent à produire.

Dans le cas où l'implémentation du modèle conceptuel est confiée à un informaticien n'ayant pas été impliqué auparavant dans la démarche, il est alors fort probable que le processus de modélisation dans son ensemble suive une progression assez linéaire (Figure 16a). Dans les deux chronogrammes-type présentés à la Figure 16, les durées des phases de conceptualisation comme d'implémentation sont équivalentes, mais en mode linéaire, elles se succèdent, alors qu'en mode « micro-boucles » (Figure 16b), les temps de conceptualisation alternent avec des temps d'implémentation, mise au point, explorations.

¹⁷ <http://agilemanifesto.org/>

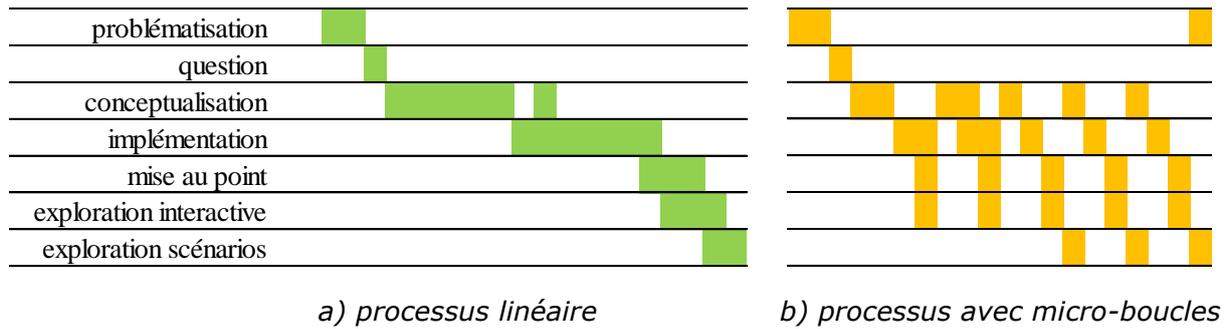


Figure 16. Comparaison de 2 chronogrammes-type de processus de conception de simulateurs multi-agent : a) les étapes s'enchaînent les unes après les autres; b) une série de micro-boucles traduit l'alternance de courtes séquences des différentes étapes

Bien entendu, l'affectation des rôles de modélisateur et d'informaticien à une même personne ne prédétermine pas à lui-seul le mode -linéaire ou en micro-boucles- de conception d'un modèle. Le facteur prépondérant reste l'objectif assigné au modèle. Le mode linéaire correspondra plutôt aux processus destinés à produire des recommandations finales, dans une optique d'aide à la décision, alors que le mode « micro-boucles » est bien adapté à la mise en œuvre de processus de modélisation d'accompagnement visant à stimuler l'apprentissage social au sein des groupes de participants.

Je fais l'hypothèse que l'approche de co-conception dirigée par la manipulation de modèles multi-agent de type « empirique stylisé » (cf. section 4.4) stimule l'apprentissage collectif, et en conséquence favorise l'émergence de formes d'interactions coopératives. Afin de marquer la spécificité de cette approche, je propose de lui accoler l'acronyme **KILT** pour **Keep It a Learning Tool!**

5.2 KISS ou KIDS ? KILT !

Le degré de simplification approprié d'un modèle dépend fortement de l'objectif qui lui est assigné. A l'heure actuelle, dans le domaine de la science socio-écologique, les modèles multi-agents empiriques réalistes prennent de plus en plus d'importance, en raison de l'augmentation de la disponibilité des données, du pouvoir de calcul des ordinateurs et des demandes des parties prenantes pour l'analyse des politiques et des scénarios (Sun et al., 2016). Cette tendance est illustrée par l'apparition de l'approche «*end-to-end modeling*» dans le domaine de la gestion des pêches, qui entend combiner dans un cadre de modélisation unique des descripteurs océanographiques physico-chimiques et des organismes allant des microbes aux organismes de niveau trophique supérieur, y compris les humains (Rose et al., 2010). Modèles simples et abstraits comme modèles compliqués et réalistes basés sur des données empiriques ont une utilité reconnue, qui se définit par rapport à des usages spécifiques. Pour certains auteurs (Sun et al., 2016), la zone d'utilité effective de ces deux principaux types de modèles se situe dans des intervalles de degré de simplicité assez étroits, et il serait judicieux de veiller à s'y positionner (cf. Figure 17).

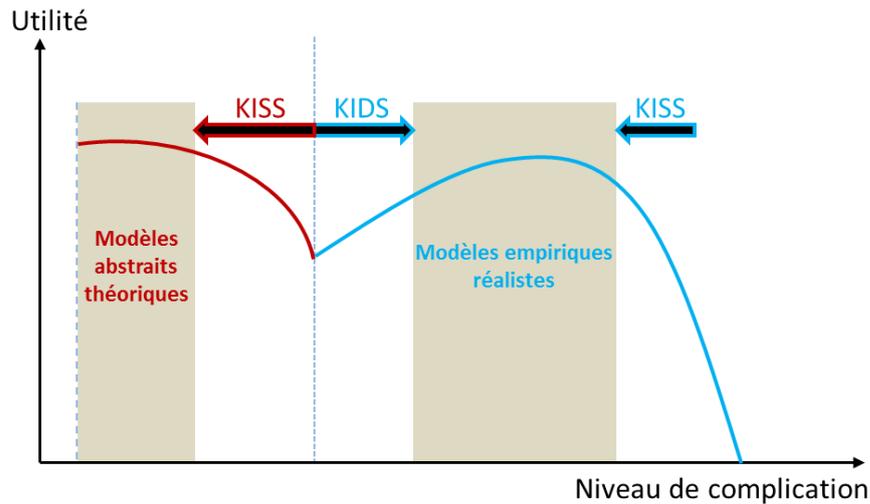


Figure 17. Utilité des modèles multi-agents en fonction de leur degré de complication (d'après Sun et al., 2016)

Dans ce cadre, les principes *KISS* (*Keep It Simple, Stupid*) et *KIDS* (*Keep It Descriptive Stupid*) peuvent tous deux conduire, selon l'orientation donnée au processus de modélisation, au nécessaire ajustement du degré de simplification du modèle. Il existerait ainsi une valeur-seuil de degré de simplification d'un modèle qui marquerait une limite entre deux bassins d'attraction : d'un côté la zone des modèles abstraits théoriques et de l'autre celle des modèles empiriques réalistes.

Cette vision, qui invite à choisir son camp, n'offre pas d'espace aux modèles « empiriques stylisés ». Appelés « typifications » par certains auteurs (Boero et Squazzoni, 2005; Squazzoni et Boero, 2007), leur cible est une classe spécifique de phénomènes empiriques qui partagent certaines propriétés idéalisées. Pour faire de ce type de modèles un vecteur de communication adapté à des processus qui sont le plus souvent initiés avec des acteurs locaux, certaines caractéristiques doivent pouvoir être combinées. Le modèle doit d'abord être suffisamment simple pour éviter l'effet « boîte noire » et permettre son appropriation par les acteurs locaux, placés en position de co-designers avec l'équipe de recherche. Dans le même temps, pour qu'il puisse au mieux remplir son rôle d'objet intermédiaire, le modèle doit être connecté à la réalité de manière stylisée pour que chaque utilisateur puisse y trouver matière à projeter des éléments du socio-écosystème qui font sens pour lui.

Deux exemples parmi les modèles que j'ai développés montrent qu'il est parfois possible de partir d'une modèle soit complètement abstrait, soit au contraire réaliste pour aller vers une version empirique stylisée, répondant aux besoins du processus en cours, ce qui permet de valider l'opérationnalité du principe *KILT* (cf. Figure 18).

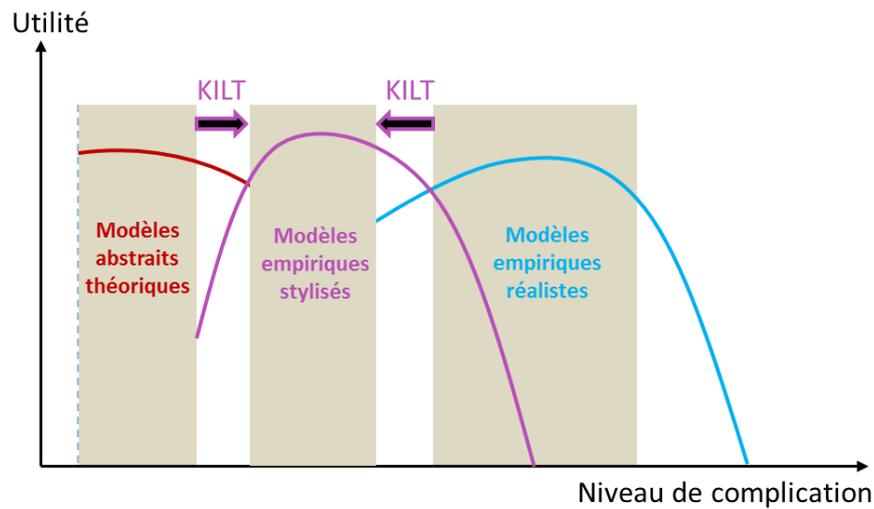


Figure 18. Approche KILT et zone d'utilité effective des modèles empiriques stylisés

5.2.1 KISS => KILT ! Exemple au Bhoutan

Situé dans la partie orientale du Bhoutan, Radi est le théâtre d'un conflit qui perdure depuis une trentaine d'années pour l'accès à une zone de pâturages d'altitude. Ce conflit oppose des cultivateurs – éleveurs sédentaires, localisés à proximité, qui utilisent ces pâturages pendant la période culturelle du riz en été, et des éleveurs migrants de yaks, localisés plus en altitude, et qui descendent en hiver sur ces mêmes pâturages.

Un jeu de rôles générique sur la tragédie des communs a été proposé aux 12 participants (6 de chaque groupe) d'un atelier organisé dans le but de parvenir à une compréhension partagée de la situation pour initier un dialogue sur la gestion du pâturage (Le Page, Raj Gurung, et al., 2015). Le pâturage virtuel du modèle est constitué de 24 quartiers. La quantité de fourrage disponible est donnée par l'état de dégradation de ce quartier (cf. Figure 19a). Lors d'une séance de jeu, les localisations des 5 animaux possédés par chaque joueur sont indiquées sur des fiches cartonnées représentant le plateau de jeu miniaturisé. La dégradation/reconstitution du pâturage est alors calculé par l'ordinateur et le plateau de jeu est manuellement mis à jour.

Après avoir testé le jeu pendant quelques tours, les participants ont été invités à exprimer leurs impressions sur le jeu et à proposer des modifications pour l'améliorer. Le degré d'abstraction et la simplification extrême n'ont pas suscité de rejet. En revanche, la composition du plateau de jeu ainsi que sa structuration ont fait l'objet d'une discussion collective (cf. Figure 19b&c) qui a abouti à un plateau de jeu globalement encore plus dégradé que la proposition initiale. Cette recomposition de l'espace virtuel s'est basée sur une recherche de similitudes avec l'état de la dégradation des pâturages utilisés « dans la vraie vie » par les participants.

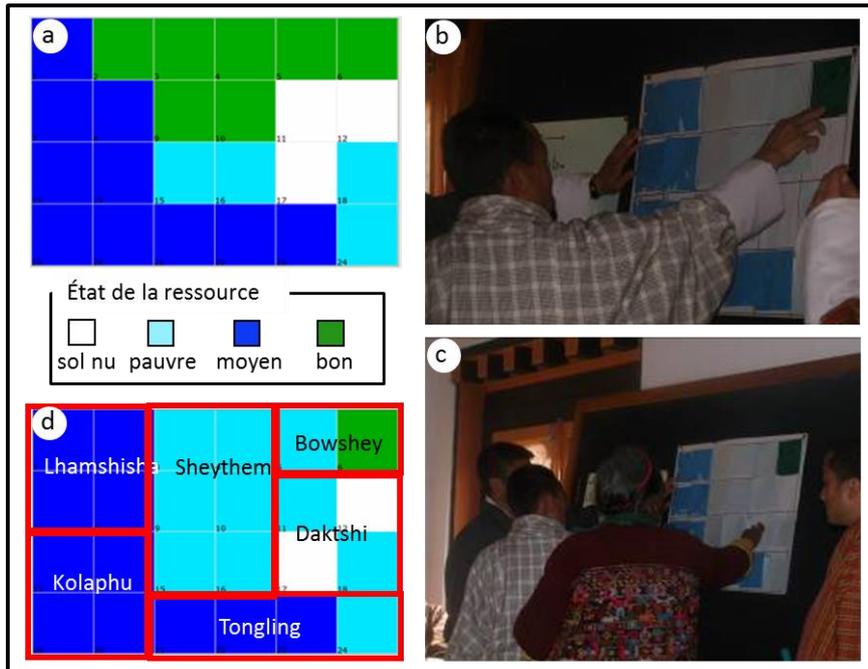


Figure 19. Reconstruction de l'environnement virtuel d'un modèle abstrait par les participants d'un atelier de jeu de rôles à Radi (Est du Bhoutan)

Au final, les différentes parties du plateau de jeu ont pu être mises en correspondance avec certains lieux-dits de la zone d'étude, traduisant le besoin exprimé par les participants d'intégrer des éléments empiriques dans la représentation abstraite du modèle (cf. Figure 19d).

5.2.2 KIDS => KILT ! Exemple sur le Causse Méjean

Sur le Causse Méjean, un modèle multi-agent a été développé pour faire réagir les différents acteurs (forestiers, agriculteurs, agents du Parc National des Cévennes) à la dynamique d'évolution probable de leur territoire sous l'effet du développement des accrus spontanés de pins issus de boisements naturels de pin sylvestre ou de reboisements de pins noirs (Etienne et al., 2003). Des données issues d'un SIG ont été utilisées pour doter cette première version d'une représentation réaliste de l'espace (cf. Figure 20a). Dans un deuxième temps, un jeu de rôles informatisé a été développé et utilisé avec les acteurs locaux pour leur permettre de partager rapidement une représentation du processus d'enrésinement et mettre en scène l'interaction entre forestiers, agriculteurs et naturalistes, laissant libre cours à leur inventivité pour mettre au point une stratégie d'action ou de négociation. Dans le jeu de rôles, l'espace est une représentation stylisée du Causse Méjean (cf. Figure 20b). Cette stylisation facilite la jouabilité tout en reproduisant le processus d'enrésinement sur un espace aux dimensions réduites mais similaire à la version empirique réaliste en termes de composition et de structuration, proposant ainsi un archétype du Causse Méjean. Les types de décisions des agents sont les mêmes que dans le modèle empirique réaliste initial, mais ici, les agents sont les participants à l'atelier qui jouent leur propre rôle.

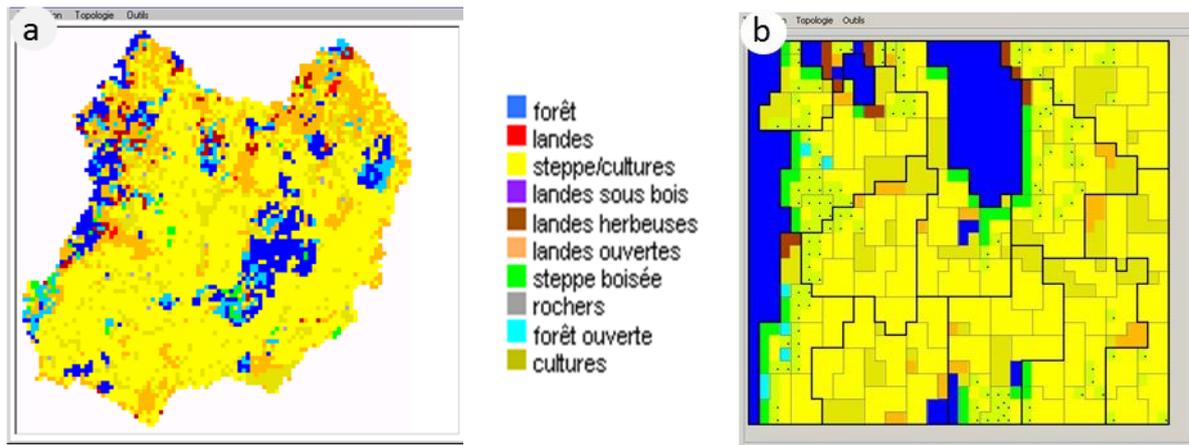


Figure 20. Environnements du modèle empirique réaliste et du modèle empirique stylisé du Causse Méjean (Etienne et Le Page, 2002)

Il y a deux dimensions dans le fait d'utiliser une simulation multi-agent avec des participants. Une simulation multi-agent est qualifiée de « participative » dès lors que certaines décisions des agents sont confiées aux participants. On parlera de simulation « interactive » dans les cas où, avant et après la saisie de leurs décisions, les participants sont invités à se déplacer, discuter et planifier leurs actions avec d'autres participants. Cette dernière configuration correspond parfaitement à nos aspirations.

5.3 Simulations multi-agents participatives et interactives

Une classification basée sur l'importance relative accordée à l'ordinateur ou aux participants au niveau du contrôle de la simulation et des interactions a été proposée par Crookall, Martin, Saunders, et Coote (1986), cf. Figure 21.

Contrôle	Participant	CBS Computer- B ased Simulation	CAS Computer- A ssisted Simulation
	Ordinateur	CDS Computer- D ependent Simulation	CCS Computer- C ontrolled Simulation
		Ordinateur-Participant	Participant-Participant

Interaction

Figure 21. Interactions et contrôle pour qualifier les différents types de simulation informatique (d'après Crookall et al., 1986)

Dans le type *Computer-Dependent*, les participants observent la simulation à la manière d'un public de cinéma ; *Computer-Controlled* : les participants interviennent lors de temps d'interruptions de la simulation, mais la flexibilité de la simulation est restreinte ; le type *Computer-Based* est illustré par un simulateur de vol pour lequel généralement un seul utilisateur interagit de manière continue avec la simulation ; dans le *Computer-Assisted*, les décisions sont le résultat d'interactions inter-participant qui se déroulent à l'écart de l'ordinateur. Cette dernière configuration favorise l'apprentissage expérientiel avec un focus sur les aspects sociaux. Basée sur une véritable mise en situation des participants, elle se rapproche du concept de jeu de rôles tel qu'il a été défini dans le cadre de la modélisation d'accompagnement (Barreteau, Le Page, et al., 2003; Bousquet et al., 2002), même si un jeu de rôles peut très bien se passer de tout support informatique. Je vais maintenant préciser les différents types de relations pouvant exister entre les agents informatiques d'un modèle de simulation multi-agent et les participants à un atelier basé sur cet outil.

5.3.1 Simulation multi-agent et jeux de rôles: qui sont les agents ?

Comme l'a mis en évidence Olivier Barreteau (2003), il existe une correspondance frappante entre les composants d'un SMA et d'un jeu de rôles : agent/joueur, rôle/règle, tour de jeu/pas de temps, plateau de jeu/interface, session de jeu/simulation. Cette similitude est dû au fait que d'un point de vue formel, un jeu de rôles possède la structure d'un SMA : il est composé d'entités en interaction, évoluant dans un environnement commun, cherchant à atteindre un but qui leur est propre. De fait, un jeu de rôles est une sorte de SMA humains. Le type de relations entre agent humain et agent informatique mérite d'être précisé (cf. Tableau 2).

100% humaine		intermédiaire	100% informatique
agent humain	agent composite	agent composite hybride	agent informatique = agent virtuel
			
pas d'avatar	avatar non décisionnel	avatar partiellement décisionnel	avatar autonome

Tableau 2. Types d'agent selon la répartition entre décision humaine et décision spécifiée informatiquement (Le Page et al., 2010)

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

utilisera le terme d'agent informatique (ou virtuel). Le cas intermédiaire d'un agent humain relayé par un avatar partiellement décisionnel sera dénommé agent composite hybride. On peut dès lors distinguer deux grands types de modèles de simulation basés sur des agents. D'un côté, ceux qui sont exclusivement basés sur des agents humains, communément appelés jeux de rôles. De l'autre, ceux qui sont exclusivement basés sur des agents informatiques. Entre les deux, il existe toute une gamme de situations dans lesquelles certaines décisions sont humaines, d'autres sont codées informatiquement.

En marge de la simulation des décisions des agents, l'informatisation constitue un support efficace pour prendre en charge un certain de fonctions d'un jeu de rôles, notamment : (i) la saisie des décisions des agents humains, qui permet non seulement de calculer des indicateurs de performance (résultats de leurs actions), mais aussi en les enregistrant, de « rejouer » la session lors du débriefing ; (ii) la simulation de la dynamique de la ressource ; (iii) la visualisation de l'espace indiquant l'état des ressources et le positionnement des agents, éventuellement selon des points de vue spécifiques à chaque type d'agents.

L'appellation « jeu de rôles assisté par ordinateur » permet de se rapprocher de la nomenclature proposée par David Crookall et ses collègues (1986), cependant je retiens plutôt le terme « simulation multi-agent interactive », à la fois plus générique et qui rend mieux compte de la nature l'outil. En outre, il permet de mettre l'accent sur le caractère social de la démarche en donnant une importance particulière aux échanges inter-participants. Dans la littérature, le terme consacré demeure « simulation multi-agent participative ».

5.3.2 Simulation multi-agent participative et recherche en informatique

La recherche en informatique appliquée à la simulation multi-agent participative s'est intéressée à l'introduction d'agents assistant dotés de capacités d'apprentissage destinés d'une part à aider à l'élicitation du comportement des participants, et d'autre part à apporter un support à ces derniers pour les aider à prendre leurs décisions dans le cadre de la simulation (Guyot et Honiden, 2006). Au cours de sa thèse (2006), Paul Guyot a utilisé le modèle *ReHab*¹⁸ comme cadre expérimental pour mettre au point une technique d'extraction automatique de motifs d'interaction dans les éléments de négociation échangés (par écrit) entre participants à des sessions de simulation participative distribuée. Il a ainsi pu identifier trois propriétés dont il faudrait doter un langage pour permettre de décrire ces interactions (Guyot et al., 2006).

Pour explorer les enjeux de l'insertion d'aide technique dans une modélisation participative, le projet *SimParc* (simulation et gestion participative assistée par informatique d'espaces protégés pour la conservation de la biodiversité et l'inclusion sociale) a testé l'inclusion d'agents artificiels d'aide à la négociation et à la décision collective (Briot et al., 2007; Briot et al., 2010). Quelques années auparavant, Pierre Ruffez (2003), dans le cadre du stage de son

¹⁸ à l'époque baptisé *e-ComMod*

DEA IARFA, avait travaillé à la mise au point d'un langage et d'un protocole de négociation adapté au jeu de rôles *SylvoPast* (Etienne, 2003) dans le but de pouvoir mettre en œuvre des négociations entre joueurs et agents informatiques.

La simulation multi-agent participative est très souvent distribuée. En intégrant à la plateforme *NetLogo* le module *HubNet*, permettant d'interconnecter plusieurs interfaces utilisateurs identiques pour une même simulation, Uri Wilensky (1999) a ouvert le champ à de multiples usages de la simulation participative pour faciliter l'apprentissage des systèmes complexes à des étudiants.

Nicolas Becu a intégré à la plateforme *Cormas* un module de distribution des simulations reposant, comme *HubNet*, sur une technologie client-serveurs. Il a utilisé cette nouvelle fonctionnalité pour développer l'application *NewDistrict* (Becu et al., 2014, 2015), introduisant le concept d'*Habitus* pour mettre en œuvre une simulation multi-agent distribuée, interactive et asymétrique mesurant les impacts du développement périurbain sur la biodiversité dans un environnement stylisé. Trois processus écologiques (colonisation des abeilles, migration des oiseaux et qualité de l'eau) sont simulés, les participants endossant les rôles de maire, entrepreneur en bâtiment, agriculteur, forestier et écologiste, chacun ayant à sa disposition une interface informatique spécifique représentant l'espace commun selon un point de vue propre à son activité.

S'inspirant de ce travail, Nicolas Marilleau (2016) a intégré à la plateforme *GAMA* le plugin « *Network* » qui permet d'interconnecter un modèle de simulation multi-agent représentant le socio-écosystème étudié et des modèles d'interfaces utilisateur qui décrivent des points de vue différents sur cette simulation. Reposant sur des technologies nouvelles (protocole MQTT), cette infrastructure a été utilisée avec succès dans le cadre du projet *LittoSim* lors d'une session de jeux sérieux avec la Communauté de Communes de l'Île d'Oléron sur les mesures de prévention liées aux risques d'inondation (Becu, Amalric, et al., 2016).

La simulation participative est surtout employée dans un contexte éducationnel, où le concept de « jeu sérieux » a vu le jour (Squire et Jenkins, 2003). Elle reste assez marginale au sein de la communauté scientifique s'intéressant à la simulation multi-agent, alors que son usage représente un terrain fertile pour améliorer ce domaine, notamment en utilisant les techniques de l'Intelligence Artificielle relatives à l'apprentissage supervisé comme l'apprentissage par renforcement inverse ou les machines à vecteur de support (Berland et Rand, 2009).

5.3.3 Un domaine d'utilisation dominé par les sciences de l'éducation

Une des premières applications de la fonctionnalité de distribution des simulations offerte par *HubNet* à la plateforme *NetLogo* (cf. ci-dessus), est baptisée *Gridlock*¹⁹. Il s'agit d'une simulation de trafic automobile en temps réel, dans un paysage urbain typiquement américain (les axes de circulation sont parallèles et perpendiculaires...). Chaque étudiant contrôle un feu

¹⁹ <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/HubNetGridlockHubNet>

de circulation tandis que l'enseignant contrôle les variables globales, telles que la limitation de vitesse et le nombre de voitures. Le groupe est mis au défi de développer des stratégies pour améliorer la circulation, et pour évaluer le succès des tentatives, il doit aussi discuter des différentes façons de mesurer la qualité du trafic.

Les travaux de Vanessa Colella (2000) sur la diffusion d'un virus au sein d'une population urbaine constituent un exemple d'exploitation du potentiel éducationnel des simulations multi-agents interactives. Dans cette expérience, les participants (des lycéens américains) accèdent à des informations sur leur état (infecté ou non) et sur celui des participants avec lesquels ils entrent en interaction directe (leur objectif étant de maximiser le nombre de rencontres avec d'autres participants dans le temps de l'expérience) à travers un réseau personnalisé d'ordinateurs miniatures communicants (*Thinking Tags*) que chacun porte comme un bracelet. Les règles (par exemple l'existence d'un temps de latence du virus, ou encore de tags immunisés) ne sont pas initialement connues des participants. Une série de 6 expériences s'étale sur plusieurs jours pour que l'apprentissage bénéficie à la fois des temps de discussion collective qui suivent chacune des expériences et des temps de réflexion individuelle en dehors du contexte de l'expérience.

Dans le domaine de la gestion des socio-écosystèmes, le public cible des simulations multi-agents participatives reste le plus souvent étudiant. C'est ainsi qu'est utilisé le simulateur multi-agent de la baie de Chesapeake²⁰ (le grand estuaire des Etats-Unis), récemment développé par Christopher Rates et ses collègues (2016). De type empirique réaliste, cet outil modélise les relations entre les divers intervenants humains de la baie (agriculteurs, pêcheurs, promoteurs immobiliers) ainsi que certaines variables environnementales (populations de poissons et de crabes, santé globale de la baie). Chaque étudiant joue le rôle d'un acteur individuel et est également intégré à une équipe regroupant les différents acteurs de son bassin-versant. Entre chaque tour de jeu, un temps de discussion collective est ménagé. Des tests ont été réalisés avant et après les sessions auxquelles ont pris part 32 étudiants afin de mesurer leurs apprentissages sur six dimensions des systèmes complexes (Rates et al., 2016).

Ce type de démarche a été entrepris au sein du réseau *ComMod*. Le modèle **BUTORSTAR** développé avec Raphaël Mathevet simule les impacts sur l'avifaune de la gestion des roselières résultant des décisions prises par les agriculteurs, les récolteurs de roseaux, les chasseurs et les naturalistes. Le modèle est basé sur une représentation stylisée d'une zone humide camarguaise typique. Chaque étudiant joue le rôle d'un des acteurs et prend des décisions propres à son activité à l'échelle de sa propriété. Il doit aussi prendre part à une négociation avec les autres joueurs pour décider d'un mode de gestion globale de l'eau. Les sessions de jeu organisées ont permis de mesurer les apprentissages relatifs aux interdépendances biologiques et hydrologiques et à leur dynamique à différentes échelles spatiales et temporelles, aux facteurs techniques et socio-économiques propres aux différents types d'utilisation de la roselière et enfin aux processus de négociation pour l'établissement de règles de gestion collective (Mathevet et al., 2007). Le modèle a également été utilisé lors de deux sessions de jeu impliquant des usagers de l'étang de Vendres (Hérault), dans le but

²⁰ <http://www.virginia.edu/baygame/>

d'augmenter la capacité de ces acteurs à adopter des modes d'interactions favorisant une gestion adaptative de l'étang (Mathevet et al., 2008).

Ce dédoublement du public cible (étudiants mais aussi acteurs locaux) se retrouve dans d'autres applications développées au sein du réseau *ComMod*. Le modèle *SylvoPast* (Etienne, 2003), qui propose une mise en situation des conflits d'intérêt dans la cadre d'aménagements sylvopastoraux à but de prévention des incendies en région méditerranéenne, partage avec *BUTORSTAR* le fait que le modèle utilisé avec les étudiants et les acteurs locaux soit strictement le même. Dans le cas de la *Motte-Piquet*, qui simule les impacts sur la végétation et l'avifaune des activités locales et de la fréquentation touristique à Ouessant, la première version conçue pour être utilisée avec les acteurs a été adaptée pour un usage avec les scolaires dans le cadre du centre de culture scientifique et technique Océanopolis de Brest (Gourmelon et al., 2011; Gourmelon et al., 2010).

Lorsqu'elle est mise en œuvre en impliquant des acteurs locaux, la simulation multi-agent interactive doit être pensée selon le contexte et l'objectif spécifiques de la démarche qu'elle supporte. Cela demande, dans le cas où l'on cherche avant tout à favoriser les échanges inter-participants pour stimuler les apprentissages collectifs, le recours à des dispositifs particuliers.

5.4 Simulation multi-agent interactive avec des acteurs locaux : exemple au Zimbabwe

La distribution d'une simulation multi-agent participative sur plusieurs machines est un moyen efficace de mettre en scène l'asymétrie d'information entre participants. Il est alors intéressant, pour les organisateurs de sessions basées sur ce principe, d'observer si des participants prennent l'initiative de partager certaines informations -au départ privées- avec d'autres. Plus les acteurs représentés dans la simulation sont hétérogènes, plus cette configuration sera appropriée. A l'opposé, lorsque les participants sont de même type, ou encore s'il s'agit de faire se rencontrer deux types d'acteurs dans le but de construire une compréhension partagée d'une situation problématique, il devient essentiel de penser l'organisation de l'espace pour favoriser les interactions directes entre participants et stimuler les échanges.

Représentant à la fois un espace de visualisation commun et un support pour matérialiser les décisions des joueurs (avec des pions ou tout autre objet manipulable), un plateau de jeu de grande dimension (afin que chacun puisse prendre place autour) est une configuration qui répond parfaitement à ce besoin. Avec un mode opératoire qui minimise le temps nécessaire à la réalisation de cette opération, il reste envisageable de mettre à jour manuellement le plateau de jeu. Celui du modèle *SAMBA*, développé au Vietnam par Jean-Christophe Castella et Stanislas Boissau (Boissau et al., 2004; Castella et al., 2005), est ainsi constitué d'un support rectangulaire rempli de cubes dont chacune des six faces représentent une couverture du sol. Les joueurs manipulent alors directement les cubes pour signifier les changements d'occupation du sol correspondant à leurs actions. Lorsque la simulation représente des processus non directement sous le contrôle des joueurs (écologiques et/ou hydro-physiques

notamment), la mise à jour manuelle de l'environnement par un opérateur est une opération fastidieuse qui provoque un temps-mort pour les participants.

La solution consistant à utiliser des projecteurs à ultra-courte focale pour projeter sur une surface plane horizontale la représentation informatisée de l'environnement a récemment été introduite au Zimbabwe dans le cadre de la thèse d'Arthur Perrotton que j'ai co-encadrée (Perrotton, 2015). La démarche de modélisation d'accompagnement a été pensée pour créer une arène de communication équitable et équilibrée au sein de laquelle les communautés locales et les gestionnaires d'aires protégées échangent de manière constructive sur les problèmes liés à la coexistence entre les populations et la faune sauvage. Co-construit avec un groupe de villageois, le modèle simule les interactions entre les activités agricoles, les pratiques d'élevage et la faune dans un paysage virtuel reproduisant la dynamique socio-économique locale. Ce paysage représente deux zones mitoyennes, une zone communale et une forêt, sans intégrer de détails spécifiques à la zone d'étude. La projection de ce paysage sur un support horizontal fait office de support physique sur lequel les joueurs viennent positionner les artefacts permettant de matérialiser leurs actions, dans ce cas, le positionnement de leur troupeau et les semis et récoltes sur les cinq parcelles leur étant attribuées (cf. Figure 22).



Figure 22. Le plateau de jeu virtuel du modèle Kulayinjana (Perrotton et al., 2017)

Pour stimuler la participation des acteurs locaux impliqués dans la co-construction, nous avons fait le choix de leur soumettre initialement une version volontairement simpliste, n'intégrant pas certains facteurs impactant de manière évidente le résultat de leurs activités, en particulier les pertes de récolte dus aux événements climatiques extrêmes (longue période de sécheresse ou fortes pluies emportant les semis) et aux attaques des champs par les éléphants. Lors du premier test du jeu, cette omission a conduit à des résultats exagérément positifs des joueurs, qui s'étaient tous « enrichis » de manière spectaculaire, ce qui n'a pas manqué d'apparaître comme non réaliste aux yeux de tous... Partant de ce constat, les

participants se sont engagés dans un processus d'affinage du jeu pour le rendre plus réaliste tout en restant « jouable ». Ce processus a duré plus d'une année, avec entre chaque atelier de co-conception basé sur le test de la nouvelle version, un travail de développement du simulateur avec la plateforme *Cormas*.

Dans le contexte d'ateliers organisés en zones rurales dans des pays comme le Zimbabwe, le recours à l'informatique n'est pas toujours simple: il faut prévoir le groupe électrogène, le carburant pour le faire fonctionner... En termes de facilité d'usage, un jeu non-informatisé est beaucoup plus intéressant, et en outre, comme on l'a indiqué plus haut, l'usage d'un plateau de jeu physique offre un mode opératoire améliorant grandement la mise en interaction directe des participants. Au cours du processus de co-construction, nous avons donc introduit une version avec plateau de jeu, une première fois sans l'innovation technologique de la projection horizontale permettant de conserver l'informatisation. Dans cette configuration, il fallait réaliser manuellement les mises à jour liées à l'activation des processus de croissance des cultures et du fourrage, de pertes de production culturelle dus aux aléas climatiques et aux attaques des champs par les éléphants, d'attaque des troupeaux par les lions, de remplissage des points d'eau en fonction de la pluviométrie...ce qui a considérablement ralenti le jeu et rendu son usage très fastidieux. Les acteurs locaux eux-mêmes ont estimé que ce mode de fonctionnement n'était pas adapté et ont réclamé le retour du support informatique (cf Figure 22).

En février 2016, la version finale du jeu de rôles ayant été testée et validée auprès d'autres villageois n'ayant pas été impliqués dans sa co-conception, une session de jeu à laquelle ont pris part des gestionnaires d'aires protégées de la zone d'étude a été co-animée par 3 villageois membres de l'équipe de co-design. L'un d'entre eux a exprimé ainsi son sentiment juste avant d'aller faciliter cette session : « *It's our game, we are proud of what we have done. It shows our life, what we need and what we have to live with [wildlife]. I hope they will like the game and see ways we can play together* ». A l'issue de la session, un des gestionnaires a quant à lui déclaré: « *"This game is great, it could be useful for me to understand better the way they [the villagers] use my forest, and if we could play together and discuss, we could produce good management plans* » (Perrotton et al., 2017).

Nous avons pu ainsi démontrer que la projection horizontale de l'environnement du modèle multi-agent sur un support physique faisant office de plateau de jeu est une innovation qui bénéficie grandement à la mise en œuvre de la simulation multi-agent interactive. Déjà utilisé dans des environnements spécialisés où la technologie (tables interactives) est au service de la pédagogie, nous avons adapté ce mode opératoire pour pouvoir l'utiliser avec des acteurs locaux. D'autres applications actuellement en cours de réalisation l'ont repris. Ainsi dans le marais poitevin, la simulation multi-agent interactive est mise en œuvre pour discuter avec les acteurs locaux de la pertinence des politiques publiques agroenvironnementales comme incitation pour les éleveurs à adopter des pratiques favorables à la biodiversité (Hardy et al., 2016). Dans les plaines d'inondation de l'Amazonie brésilienne, il s'agit de mieux comprendre comment les populations locales adaptent leurs pratiques aux changements drastiques du régime hydrographique actuellement observés (Bommel et al., 2016).

5.5 Spécifier des agents informatiques avec les acteurs locaux pour explorer des scénarios

L'analyse de sessions de simulation multi-agent interactive organisées avec des acteurs locaux est une méthode reconnue pour spécifier des agents informatiques et ainsi développer un simulateur multi-agent autonome basé sur des connaissances empiriques (Janssen et Ostrom, 2006). L'outil autonome permet de projeter les acteurs locaux à des horizons temporels de l'ordre de la dizaine d'années en quelques instants seulement (le temps de « faire tourner » la simulation informatique). Il est alors possible d'explorer collectivement divers scénarios, de discuter des indicateurs qui font sens pour eux.

Les acteurs locaux des socio-écosystèmes étudiés, pour la plupart, ne sont pas habitués à interagir avec un ordinateur. Il faut veiller à ce que ces acteurs soient en mesure de bien saisir la nature de l'outil « simulateur informatique », qu'il soit utilisé en mode interactif ou en mode autonome, ainsi que l'objet de la démarche consistant à le concevoir et à l'utiliser collectivement dans le but de partager des connaissances. Cela demande du temps et de la pédagogie (Becu et al., 2008).

5.5.1 Une suite de jeux de rôles spécifiques : exemple de Ban Mak Mai (Nord-Est Thaïlande)

Au cours de sa thèse, Warong Naivinit a développé avec un groupe d'agriculteurs du village Ban Bak Mai dans le nord-est de la Thaïlande un simulateur multi-agent destiné à mieux comprendre comment les migrations de jeunes actifs agricoles affectent les pratiques rizicoles dans un contexte où le risque de sécheresse est élevé (Le Page et al., 2014; Naivinit et al., 2009). Depuis des décennies, les migrations saisonnières de main d'œuvre constituent un mécanisme adaptatif largement utilisé pour faire face au risque climatique et à la faible productivité rizicole. Alors que certaines migrations deviennent définitives et que les autorités veulent améliorer l'accès des riziculteurs à l'irrigation, une meilleure compréhension de l'interaction entre la gestion de la force de travail sur et hors exploitation et l'usage des terres et de l'eau est cruciale pour penser quels aménagements hydrauliques seraient les plus adaptés et qui en bénéficierait. Le processus de modélisation d'accompagnement qui a été implémenté a duré près de cinq ans. Il a démarré par un travail de conceptualisation des interactions entre les composantes du système agricole sous forme de diagrammes UML, correspondant à la compréhension initiale du chercheur. Sur cette base, un premier jeu de rôles basé sur la gestion du travail au repiquage, à la récolte, et en saison sèche pour différents types d'exploitations agricoles et a été conçu et joué une première fois (en juillet 2005) avec les agriculteurs résidant de manière permanente dans le village, puis une seconde fois avec les migrants. Lors d'une seconde étape, le jeu a été affiné au niveau du calendrier cultural. Des scénarios (survenue d'une sévère sécheresse, arrivée de l'irrigation) ont été introduits et discutés. Une version informatisée du jeu a été produite, permettant de « rejouer » les sessions

de jeu lors du débriefing. Une vingtaine de villageois ont participé de manière régulière aux ateliers de ces deux premières phases.

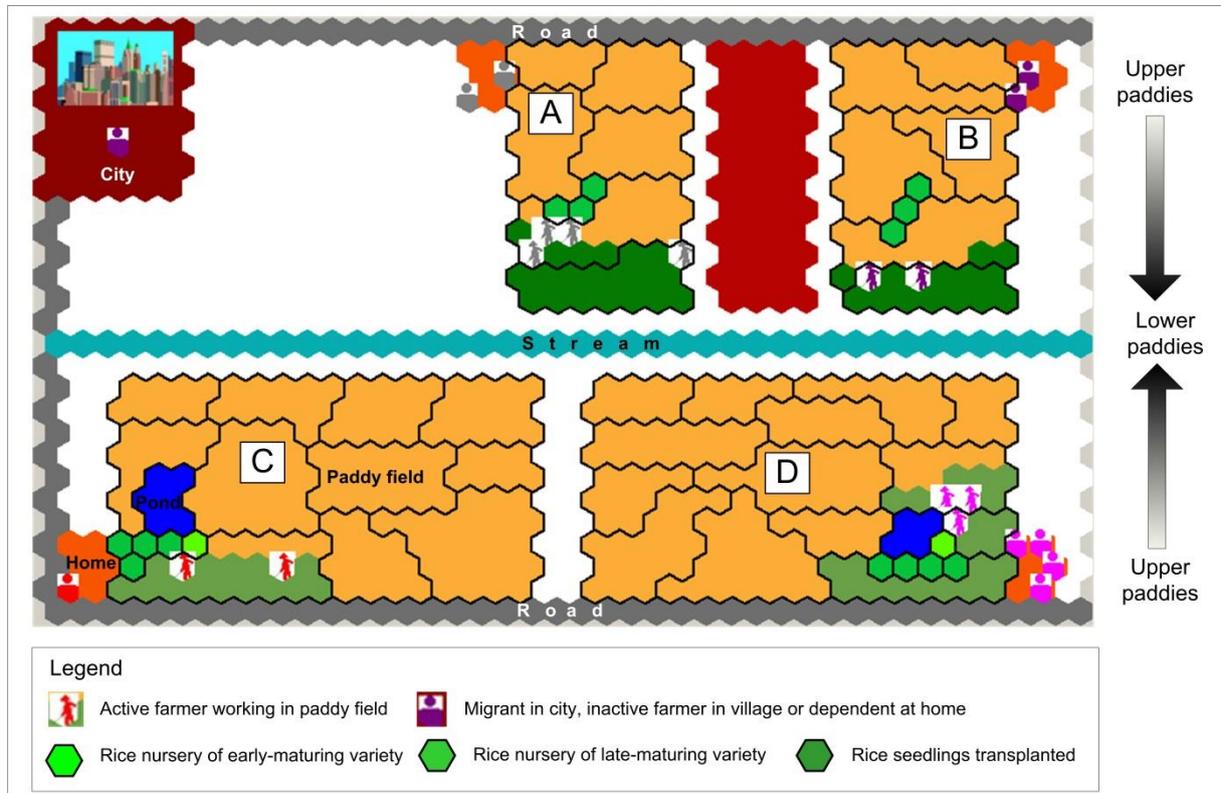


Figure 23 Environnement stylisé du simulateur multi-agent Ban Mak Mai

La troisième phase, menée avec un groupe réduit de participants (6-8)²¹, a consisté à développer un simulateur multi-agent autonome, représentant de manière stylisée 4 exploitations-type du village (avec leurs rizières et éventuellement un bassin) ainsi que le positionnement et les activités des membres de la famille (cf. Figure 23). Une série d'ateliers d'exploration interactive a permis la mise au point progressive du simulateur, certaines séances étant spécifiquement consacrées à préciser certaines décisions (par exemple celles qui concernent le déclenchement des migrations). A partir d'une version jugée satisfaisante par les participants, des scénarios (notamment un afflux important de main d'œuvre saisonnière en provenance du Laos) ont été définis suite à des discussions collectives, puis simulés et discutés. En fin de processus (octobre 2008), un séminaire a été organisé à l'université d'Ubon Ratchathani: 4 villageois ont présenté le modèle de simulation et les résultats des scénarios devant un parterre d'étudiants et d'enseignants-chercheurs de la faculté d'agriculture (cf. Figure 24).

²¹ Leur sélection s'est faite sur la base du degré de motivation à participer et de la représentativité des 3 types d'exploitations du modèle



Figure 24 Le séminaire de démonstration du modèle Ban Mak Mai à la faculté d'agriculture de l'université d'Ubon Ratchathani par 4 agriculteurs du village

La tenue de cet événement témoigne d'une part de la qualité de la relation qui s'est progressivement tissée entre les villageois et l'équipe de recherche, devenus « partenaires co-designers » d'un outil utilisé comme vecteur de communication au service du partage de connaissances et de représentations. Elle démontre également l'appropriation du modèle par les participants à la démarche.

5.5.2 Simulation multi-agent interactive hybride: exemple de Nan (Nord-Thaïlande)

Cécile Barnaud a réalisé une partie de sa thèse (2008) dans la province de Nan, au Nord de la Thaïlande, dans une zone où le gouvernement, souhaitant conserver les ressources forestières dans les hauts de bassin versant, avait le projet d'établir un Parc National. La délimitation des frontières du Parc provoquaient de vives tensions entre les officiers des agences gouvernementales thaïes (Département des Forêts et Parc National) et deux communautés villageoises d'origine Mien qui craignaient de se voir interdire l'accès aux terres et aux ressources forestières de cette zone. Les divers points de vue en présence ont été intégrés dans cinq versions d'une même représentation stylisée du système étudié, dérivées les unes des autres (voir Figure 25), dont l'usage enchaîné aura permis de sceller une plateforme de communication pour explorer et évaluer collectivement des scénarios pour le futur.

A la troisième étape de ce processus, une version informatisée du jeu de rôles a été conçue pour permettre l'usage de l'outil en présence d'un grand nombre de participants. L'objectif était de présenter la démarche aux villageois qui n'avaient pas participé à l'une des deux sessions initiales du jeu de rôles et de leur permettre de comprendre le fonctionnement du modèle afin qu'ils puissent participer aux discussions. Conçu pour être utilisé avec 10 agents agriculteurs, le mode 100 % participatif aurait présenté le double inconvénient de n'impliquer activement qu'une petite proportion de participants et de prendre beaucoup de temps à mettre

en œuvre. Nous avons alors utilisé un mode hybride : les décisions de 7 des 10 agents étaient établies par l'ordinateur, les 3 agents restant étant chacun piloté de manière interactive par un participant déjà familier du modèle pour avoir participé à la session précédente.

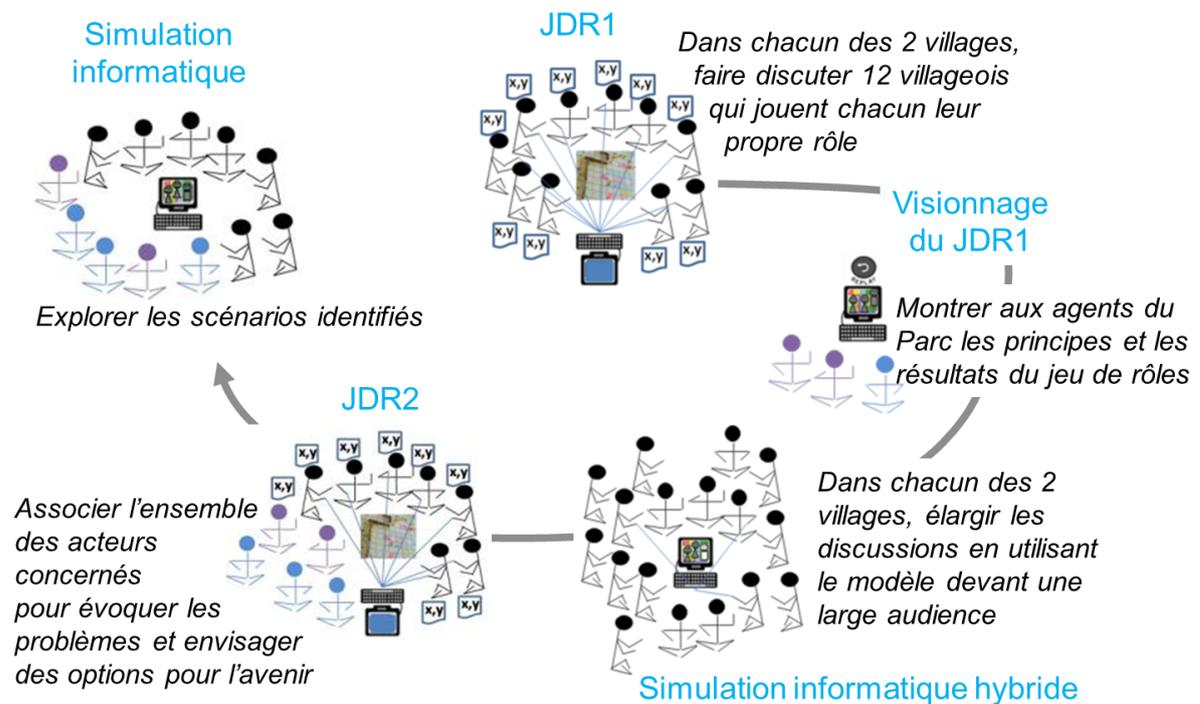


Figure 25. Les différentes versions du modèle utilisé lors du processus ComMod mis en œuvre à Nan, Nord-Thaïlande

Lors de la dernière réunion de ce processus, regroupant les participants des 2 villages et les officiers du département des forêts et du Parc National, nous avons utilisé le mode 100% autonome pour discuter les résultats de trois scénarios combinant le respect ou non de l'interdiction d'ouvrir de nouvelles parcelles agricoles dans la zone forestière et des règles communautaires pour une récolte raisonnée des produits forestiers non ligneux (Barnaud et al., 2013).

5.5.3 Zoom-arrière à granularité constante : exemple au Cameroun

A mon retour à Montpellier, après quatre années (2005-2009) passées en Asie du Sud-Est à encadrer des doctorants ayant tous mis en œuvre des démarches de modélisation d'accompagnement, j'ai été sollicité par Kadiri S. Bobo, de l'Université de Dschang au Cameroun, pour intervenir dans les villages situés en périphérie du Parc National de Korup. Des travaux de suivi de la faune sauvage sont régulièrement menés dans cette zone depuis une dizaine d'années par la petite équipe de recherche dirigée par Bobo. L'idée était de développer un modèle de simulation multi-agent pour animer des ateliers de réflexion collective sur la durabilité de la chasse de viande de brousse pratiquée par les villageois. A cette occasion, j'ai mis en œuvre un processus de conception participative du modèle de simulation (baptisé *Frotembo*, le nom local du céphalophe bleu, espèce d'antilope très

répandue dans les forêts tropicales africaines) basé sur un « zoom-arrière à granularité constante » (Bobo et al., 2013; Le Page, Bobo, et al., 2015).

Un premier module individus-centré sur la dynamique d'une population de céphalophes ayant été initialement développé avec Bobo sur la base de ses connaissances ainsi que des données de la littérature sur la biologie et le comportement de cet animal, la première phase des ateliers de simulation participative organisés dans 3 villages en juillet 2012 a consisté à introduire ce module et à le valider auprès des participants. Pour ce faire, le point de départ était une grille spatiale de 15*15 cellules représentant chacune 1 Ha de forêt primaire dans laquelle un village avec des champs et une route ont été « dessinés » par les participants (cf. Figure 26a).

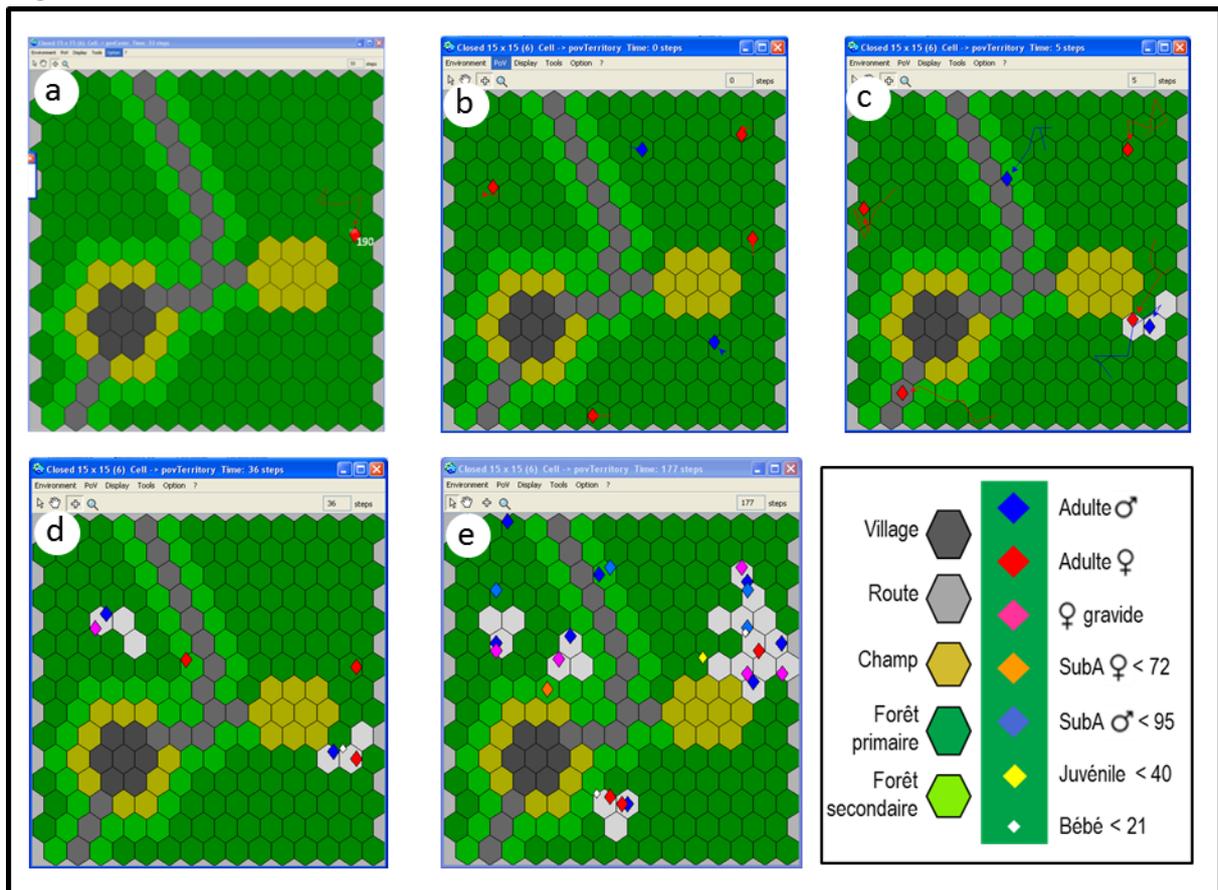


Figure 26. a) un village, ses champs et une route figurés dans une portion de forêt, où un agent céphalophe (une femelle adulte âgée de 190 semaines) a été introduit; b) introduction de 3 autres femelles et 2 mâles; c) 5 pas-de-temps plus tard, un premier territoire (3 cellules gris clair) a été établi par un couple de céphalophes; d) à t=36, apparition d'un nouveau-né (en blanc), alors que dans un autre territoire, la femelle (en rose) est gestante; e) à t=177, une petite population s'est mise en place

Dans cet espace stylisé, un premier agent céphalophe a été introduit. A chaque pas de temps, on observe simplement que l'âge est incrémenté d'une semaine et que le céphalophe bouge vers une cellule voisine. Les règles de déplacement (la route peut être traversée mais le village et les champs ne sont jamais visités) et la longévité de l'animal sont discutées. Lorsque d'autres agents sont introduits, des territoires sont établis par des couples d'animaux adultes et la reproduction s'opère, une dynamique de population se met progressivement en place (cf. Figure 26). Le principe de présentation et de validation du module « céphalophe » est de

donner à voir par la simulation les règles et les paramètres du cycle de vie. Dès qu'un fait nouveau survient dans la fenêtre de visualisation, les réactions de l'audience sont recueillies pour construire une compréhension partagée de sa signification, puis la règle et/ou les paramètres du cycle de vie associés sont introduits et discutés. Cette procédure a permis de confronter la connaissance scientifique sur laquelle repose la première version du modèle aux observations directes et aux représentations des acteurs locaux. L'analyse des questionnaires utilisés auprès d'un échantillon de participants avant et après les ateliers a montré que les apprentissages avaient porté sur quelques aspects de la biologie du céphalophe (longévité, territorialité), alors que la proportion de villageois sceptiques sur le risque d'extinction de la population de céphalophes avait diminué de moitié, passant de 20 à 9 sur un total de 42 (Le Page, Bobo, et al., 2015). Dans une deuxième étape, pour aborder l'activité de chasse pratiquée en posant des sentiers de pièges dans la forêt, une portion d'espace un peu plus étendue a été introduite, tout en gardant le même module individus-centré pour représenter la population de céphalophes (cf. Figure 27a).

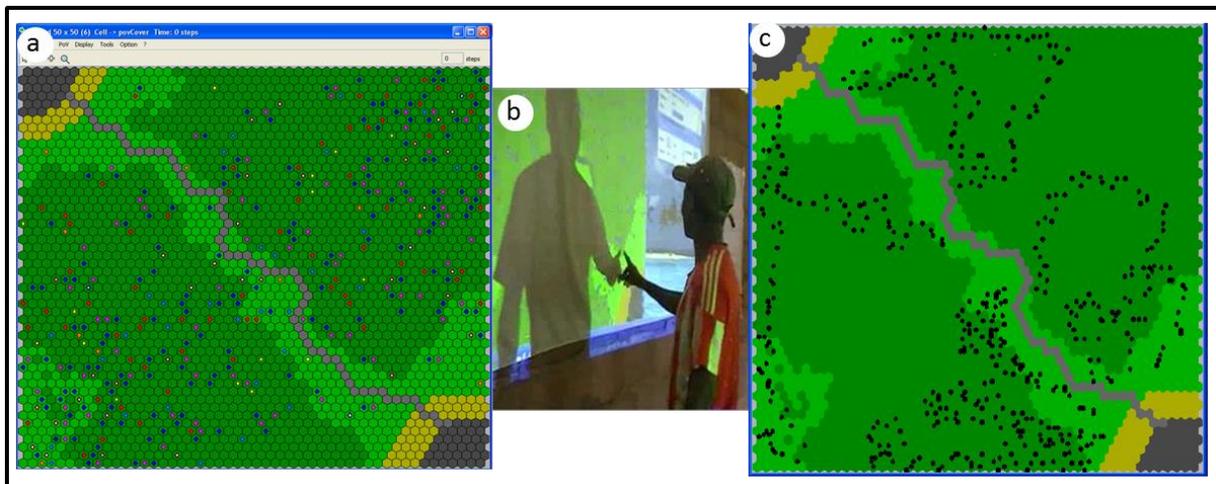


Figure 27. a) espace étendu à 50*50 cellules de 1 Ha représentant une population de céphalophes dans une zone forestière entre 2 villages ; b) un participant indiquant le positionnement d'un sentier de pièges ; c) répartition des pièges selon les suggestions des participants

Pour spécifier la façon dont les villageois positionneraient leurs sentiers de pièges dans cet espace fictif, nous leur avons demandé de venir les pointer sur l'écran projeté (cf Figure 27b), en commentant la façon dont ils procédaient (nombre total de pièges ; lieu de démarrage, forme, longueur et lieu de terminaison du parcours). Utilisant les possibilités offertes par *Cormas* pour manipuler directement les entités du modèle sur l'interface de visualisation de l'espace, ces sentiers ont été immédiatement intégrés à la simulation (cf Figure 27c). Les résultats ont été l'occasion de discuter de la valeur du paramètre de capturabilité d'un piège. C'est sur la base de ces éléments qu'un module « chasse » a été ajouté au modèle de simulation dont la version finale, représentant un espace étendu à 160*180 cellules de 1 Ha pour couvrir le territoire des 7 villages de la zone d'étude, a été utilisée pour comparer différents scénarios de gestion lors d'une seconde série d'ateliers réalisés en avril 2013.

6 PROJET DE RECHERCHE

En France, les sociologues s'intéressant aux SMA utilisent principalement cet outil pour simuler des phénomènes sociaux (Manzo, 2014). Dans cette optique, les relations sociales entre agents sont modélisées dans le SMA. L'apprentissage social est un exemple de phénomène social qui peut être modélisé avec un SMA : une étude récente compare l'apprentissage asocial et social d'une population d'agents soumis à des changements environnementaux (Romero-Mujalli et al., 2016). Une autre perspective consiste à faire de la mise en œuvre d'une approche basée sur la simulation multi-agent interactive un phénomène social qu'on peut prendre comme objet d'étude, plaçant le focus sur les relations sociales entre participants interagissant autour de la construction et de l'usage du modèle, et non sur celles des agents intégrés dans le modèle. Dans leur récente analyse de la diversité et de la complémentarité des modèles multi-agents en sciences sociales, Pierre Livet, Denis Phan et Lena Sanders (2014) ne mentionnent pas cette direction de recherche, pas plus que Franck Varenne lorsqu'il décrit l'usage des simulations computationnelles dans les sciences sociales (2010).

Au sein du réseau *ComMod*, des études ont été menées par des sociologues pour suivre et tenter de mesurer les effets de la mise en œuvre des démarches sur les participants (Charles et al., 2008; Chlous-Ducharme et Gourmelon, 2011; Chlous-Ducharme et al., 2009), d'identifier les types d'apprentissage à l'œuvre (Daré et al., 2010; Ducrot et al., 2014). Ces études se placent principalement au niveau global du processus de mise en œuvre de la démarche. J'espère pouvoir, dans les années à venir, contribuer à faire avancer ces réflexions plus spécifiquement en matière d'apprentissage social.

6.1 Analyser l'apprentissage social

Les travaux qui proposent des cadres d'analyse et de mesure de l'apprentissage social reposent souvent sur des définitions spécifiques du concept. Envisageant l'apprentissage social comme un processus de convergence de perspectives individuelles positionnées par rapport à des perspectives archétypiques (vision du monde hiérarchique, individualiste, égalitariste et fataliste), van der Wal et ses collègues (2014) proposent une méthode de mesure de l'apprentissage social relativement facile à mettre en œuvre mais très orientée. Le cadre analytique de Scholz et de ses collègues (2013) correspond davantage au contexte de notre recherche : les perspectives individuelles et collectives sont spécifiées par des modèles mentaux qui permettent d'explorer si et quand les opinions personnelles sur un problème convergent vers une compréhension commune.

6.1.1 Sessions de formation ComMod comme cadre d'analyse de l'apprentissage social

Nous avons eu une première réflexion sur l'utilisation de ce cadre, lui-même enseigné pendant la session, pour mesurer l'apprentissage social des participants lors de la session de formation à la modélisation d'accompagnement organisée en septembre 2014 à Wageningen (Pays-Bas). On peut en effet considérer que la session de formation, faisant la part belle aux mises en situation et aux activités favorisant les interactions interpersonnelles entre participants et formateurs, est elle-même à la fois un processus d'accompagnement et un phénomène social observable, de type multi-agent interactif. Le focus sur la facilitation qui a été récemment introduit renforce les capacités d'analyse réflexive chemin-faisant des participants. L'idée serait de demander à chaque participant, avant le démarrage de la session, d'établir (via une carte conceptuelle ou autre) sa compréhension de la modélisation d'accompagnement (ou d'un des aspects de la modélisation d'accompagnement), et de proposer en fin de session le même exercice, puis de regarder si des similitudes apparaissent entre les membres de chacun des trois groupes mis en place pendant toute la semaine.

6.1.2 Dispositifs de simulation multi-agent interactive et apprentissage social

L'intégration d'un support informatique à un dispositif de mise en situation change complètement la façon dont les participants vont interagir. Une étude a récemment comparé deux configurations d'un même jeu de simulation de négociations environnementales basé sur un contexte réel : l'implantation de carrières d'alluvions fluviales (gravières) dans la Plaine du Forez (Paran et al., 2010). La version que les auteurs appellent « jeu de papier » se joue sur un coin de table et est facile à mettre en œuvre ; la version basée sur une plate-forme informatisée offre la possibilité aux participants de manipuler un ensemble d'outils d'aide à la négociation, censés favoriser la production d'argumentaires spatiaux.

La façon de mobiliser l'outil informatique va également influencer les relations entre participants et *in fine* l'apprentissage social. Deux aspects ressortent dans la littérature: un couplage plus fort entre le modèle conceptuel et le modèle de simulation avec des outils permettant de manipuler les deux en leur sein, et les moyens de recueillir plus facilement les réactions des participants face aux sorties de simulation pour nourrir le développement incrémental du modèle avec des outils de visualisation interactive (de Kraker et al., 2011; de Kraker et van der Wal, 2012; Voinov et al., 2016).

Au niveau du réseau *ComMod*, une réflexion a été récemment initiée pour scruter plus finement l'effet des dispositifs et des technologies mobilisés dans la pratique de la simulation multi-agent interactive sur l'apprentissage des participants (Becu, Bommel, et al., 2016). Pour poursuivre dans cette voie, j'envisage d'utiliser le jeu de rôles *ReHab* (Le Page et al., 2016) pour comparer un dispositif qui tient les deux types de joueurs (gestionnaires d'un Parc National dont l'enjeu est la conservation d'une espèce d'oiseaux d'une part et les familles de

récoltants de l'autre) à l'écart les uns des autres (cf. Figure 28a) avec un dispositif qui les réunit tous autour d'un plateau de jeu commun (cf. Figure 28b).

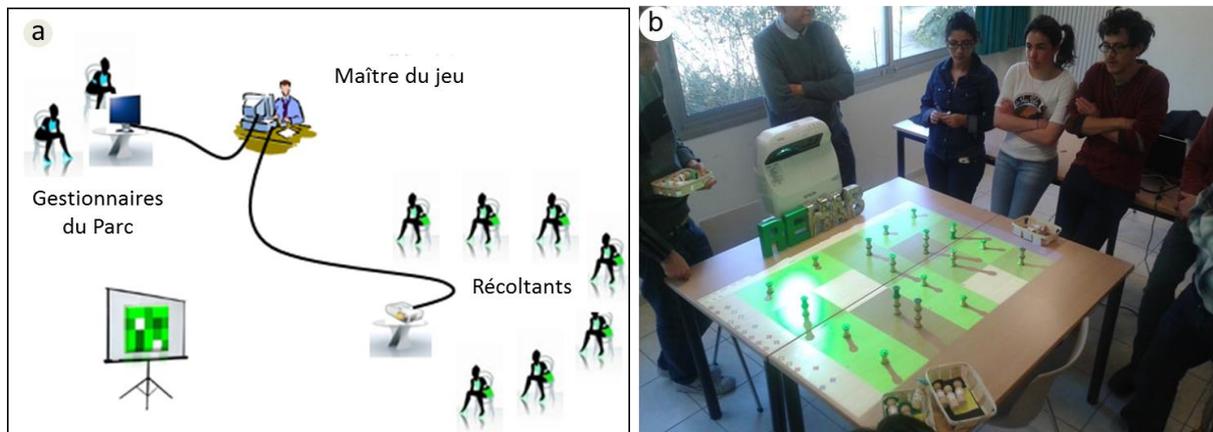


Figure 28. Deux modes opératoires de la simulation multi-agent interactive **ReHab** (Dray et al., 2015)

Lors des sessions de **ReHab**, il arrive fréquemment que les participants construisent des narrations lors des temps de négociation, pour tenter de partager un cadre de compréhension commun du fonctionnement du système (le détail des processus étant volontairement dissimulé aux joueurs). Il serait intéressant de rechercher une éventuelle influence du mode opératoire sur le processus de co-construction de connaissances en situation d'incertitudes, sur la façon dont un groupe parvient –ou non– à apporter collectivement un sens à la situation qu'ils vivent ensemble. On pourra aussi s'interroger sur l'existence d'un niveau minimum de compréhension partagée du fonctionnement d'un système nécessaire à la collaboration des membres d'un collectif. Le défi est de se doter de méthodes et de techniques permettant de recueillir l'information relatives aux échanges entre participants sous une forme analysable.

6.2 Un point de vue multi-plateforme pour stimuler les réflexions méthodologiques sur la simulation multi-agent

Au cours des années 2000 sont apparues de nouvelles plateformes génériques, portées par des chercheurs intéressés par des applications dans le domaine de la gestion de l'environnement et participants aux réflexions sur l'approche de modélisation d'accompagnement. Chacune de ces plateformes proposaient d'aborder l'activité de développement de modèles de simulation multi-agent selon des angles spécifiques. Ainsi la plateforme **Mimosa**, développée par Jean-Pierre Müller (2004, 2007), intègre à la fois la phase de modélisation conceptuelle vue comme un processus d'ingénierie des connaissances, la phase de modélisation formelle utilisant des formalismes multiples (des équations différentielles aux systèmes multi-agents), et la phase d'implémentation utilisant l'ingénierie dirigée par les modèles. **GAMA**, créée en 2007 à

l'initiative d'Alexis Drogoul, met l'accent sur le couplage avec les Systèmes d'Information Géographiques et repose sur une architecture permettant de prendre explicitement en charge le multi-niveau (Amouroux et al., 2009; Drogoul et al., 2013; Grignard et al., 2013; Taillandier et al., 2010). Dans le même temps, la plateforme *NetLogo* s'était installée internationalement comme la plateforme de référence, et avait été adoptée par divers membres du réseau *ComMod*.

L'idée d'une session de formation proposant plusieurs plateformes²² s'est alors imposée. Les plateformes *Cormas*, *Netlogo* et *Mimosa* ont été enseignées lors des deux premières éditions (2011 et 2012). A partir de 2013, *GAMA* a remplacé *Mimosa*, Patrick Taillandier et Benoît Gaudou, deux des principaux développeurs de la plateforme, ayant alors rejoint l'équipe des formateurs. Un groupe de formateurs impliqués dans l'animation de cette session de formation délivrée tous les ans à Montpellier s'est constitué. Des réflexions méthodologiques sur la simulation multi-agent ont été lancées. Dans les années à venir, je souhaite contribuer à les faire avancer et à les valoriser.

6.2.1 Partage et réutilisabilité

Le dépôt du code et des descriptions standardisées (ODD, diagrammes UML) des modèles multi-agents sur des sites Internet, qu'ils soient dédiés à une plateforme²³ ou non²⁴, est une pratique à encourager. Cependant, réutiliser des parties de modèles existants n'est jamais aisé, encore moins quand le code est enchevêtré –via l'usage de fonctionnalités natives– à la plateforme utilisée pour son implémentation. Un certain nombre de briques élémentaires de modèles multi-agents dédiés à la gestion des ressources renouvelables pourraient être identifiées, spécifiées et partagées afin de décloisonner la communauté des modélisateurs-informaticiens qui développent des outils de simulation dans ce domaine (Bell et al., 2015). La question du format approprié pour décrire ces briques ramène aux travaux de thèse de Paolo Pimenta (2017) sur l'intérêt de recourir à un langage spécifique au domaine de la simulation multi-agent appliquée à la gestion des ressources renouvelables plutôt que, par exemple, à un langage générique comme UML. En associant à un tel langage des générateurs de code à destination des plateformes existantes, on ouvrirait de réels espaces de collaboration entre les communautés d'utilisateurs propres à chaque plateforme. Le fait est que la diversité des plateformes existantes ne se dément pas, alors qu'un processus de « sélection naturelle » aurait pu conduire à l'émergence hégémonique d'une ou deux d'entre elles seulement. Cela démontre qu'il reste (et restera ?) intéressant de pouvoir choisir la plateforme et son méta-modèle qui convienne le mieux à la thématique/problématique et/ou aux caractéristiques du modèle à développer. Si les spécifications complètes de modèles multi-agents destinés à simuler le fonctionnement des socio-écosystèmes sur la base d'un langage spécifique du

²² Session baptisée *MISS-ABMS* pour **M**ultiplatform **I**nternational **S**ummer **S**chool on **A**gent-**B**ased **M**odeling & **S**imulation for **R**enewable **R**esources **M**anagement

²³ <http://cormas.cirad.fr/fr/applica/applica.htm>;
<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/>
<http://gama-platform.org/references#ModelLibrary>

²⁴ <http://www.openabm.org/models>

domaine ne sont sans doute pas pour demain, l'intérêt d'aller dans cette direction pour partager des modules génériques est indéniable.

6.2.2 Tester pour favoriser la répliquabilité

La communauté des chercheurs intéressée par l'usage des modèles de simulation multi-agent est confrontée depuis des années au défi de démontrer la reproductibilité des résultats produits par ces outils (Axtell et al., 1996; Edmonds et Hales, 2003; Rouchier et al., 2008; Thiele et Grimm, 2015; Wilensky et Rand, 2007).

Dans les faits, il s'avère que la démonstration de la crédibilité d'un modèle multi-agent par sa répliquabilité, qui suppose un travail conséquent, n'offre ni une incitation suffisante pour que les scientifiques investissent du temps et de l'énergie dans cette activité (Thiele et Grimm, 2015), ni une garantie de résultat : il est souvent nécessaire que les auteurs et les «répliqueurs» échangent pour lever les ambiguïtés se révélant en cours d'opération.

Pour vérifier si l'implémentation est correcte, il est intéressant de chercher à reproduire des situations qui ont fait l'objet de recherches préalables, avec des résultats établis. Ainsi, dans le cas du modèle benchmark *FireAgents* qui simule la diffusion d'un feu de forêt et différents modes d'organisation d'un groupe de pompiers pour éteindre l'incendie, la version sans pompier représente un processus de diffusion par automate cellulaire avec 2 états possibles : inflammabilité (présence de végétation) ou non (sol nu). En considérant un voisinage de type Von Neumann (4 voisins), la valeur du seuil de percolation d'un tel système a pu être estimée à 0.592746. Dans le cadre de notre modèle de diffusion du feu, cela signifie concrètement que lorsque la probabilité qu'une cellule porte de la végétation est inférieure à cette valeur-seuil, de « petits » incendies se produiront, alors que lorsqu'elle est supérieure, l'incendie aura toutes les chances de dévaster l'ensemble de l'espace.

En utilisant chacune des trois plateformes, on peut, avant même d'introduire le module « pompiers », mettre en œuvre un plan d'expérience spécifique pour vérifier si cette propriété particulière du phénomène environnemental simulé se retrouve de manière similaire. Même dans ce type de situation très simple (si on fixe la taille de la grille, un seul paramètre est à considérer) peuvent se dissimuler des hypothèses implicites qui, si elles ne sont pas mises sur la table, peuvent être la cause de différences dans les résultats de simulation. Ainsi, pour se rapprocher des conditions d'un réseau infini (dans le cadre duquel le concept de percolation est établi) sur un ordinateur et éviter les indésirables effets de bord, on doit considérer une grille spatiale de dimension respectable et des conditions de frontière périodiques²⁵. En outre, dans un système d'extension finie, la probabilité individuelle p que chaque cellule soit inflammable n'est pas statistiquement équivalente à un taux global de présence de végétation de p sur l'ensemble des cellules (ce qui est en revanche le cas dans un espace de taille infinie). Dans une simulation, il est par conséquent techniquement préférable de ne pas décider

²⁵ c'est à dire qu'on recolle virtuellement le bord gauche et le bord droit, et idem pour les bords haut et bas, ce qui revient à travailler sur un espace toroïdal

individuellement de l'état de chaque cellule, mais plutôt de considérer que p % de l'ensemble des cellules sont inflammables, puis de distribuer ces cellules de façon aléatoire sur la grille.

L'intérêt de travailler sur le développement des modèles de simulation multi-agents dirigé par les tests (Collier et Ozik, 2013) en parallèle avec trois plateformes est de permettre de débusquer plus efficacement les potentielles zones d'ambiguïté dans des expériences très cadrées. En passer par des tests est une pratique à encourager, même si cela alourdit encore le travail de documentation. En effet, le cadre général de bonnes pratiques de modélisation TRACE recommande d'y consigner la spécification des tests ainsi que les résultats obtenus (Grimm et al., 2014).

En complément à ces tests réalisés sur des composants du modèle de simulation pris isolément, il serait intéressant de réfléchir à la spécification de configurations particulières de la simulation qui permettraient de la suivre visuellement pas à pas (sur l'interface représentant l'environnement et les agents) le temps que le phénomène sensé se produire se réalise. Dans le cas de modèles stochastiques, la démonstration pourrait cependant souffrir de différences liées à l'activation des fonctions aléatoires, ce qui demandera de porter une attention particulière à la définition de la configuration-test. Les fonctionnalités de manipulation directe des agents sur l'interface de visualisation montreront ici toute leur utilité. A ce niveau également, la documentation et le partage des éléments permettant de reproduire ce type de tests sont à encourager.

6.3 Modéliser des socio-écosystèmes: de l'échelle du terroir à l'échelle du territoire

Au cours de mes recherches, j'ai contribué au développement de l'approche de modélisation d'accompagnement en travaillant la plupart du temps avec une communauté d'acteurs locaux pratiquant l'agriculture et/ou l'élevage et parfois d'autres activités (la chasse notamment) à l'échelle d'un village ou quelques villages voisins. Ainsi, nombre des modèles sur lesquels j'ai travaillé (cf. Tableau 1 page 35) portent des noms de localités exotiques (*Djemiong* au Cameroun, *Boundoum* au Sénégal, *Ban Mak Mai* ou encore *Don Hoi Lord* en Thaïlande, *Kengkhar* au Bhoutan, *Bac Lieu* au Vietnam,...). En somme, j'ai surtout travaillé à l'échelle du terroir, au sens d'un système productif et culturel local, portion élémentaire de territoire marqué par une identité sociale (Prévost et al., 2014). Je souhaite orienter mes recherches vers l'application de la modélisation d'accompagnement à une échelle spatiale plus large. Lorsque sur un même territoire coexistent des acteurs économiquement puissants contrôlant les secteurs de production intensive (agriculture, exploitation forestière, élevage) et des acteurs marginalisés inféodés à des espaces restreints, l'implication effective de ces derniers dans les projets de développement territorial est problématique. Elle est pourtant essentielle pour espérer faire émerger un sentiment collectif d'appartenance à une même entité, élément fondateur de la notion même de territoire (Boiffin et al., 2014).

Le changement d'échelle de l'approche que j'ai pratiquée pendant des années amènera à considérer les trois méthodes suivantes (cf. Figure 29): i) expansion (*out-scaling*): application du même modèle sur une plus grande étendue spatiale en augmentant l'étendue des données d'entrée; ii) montée en niveau (*up-scaling*): agrégation du comportement du modèle à un niveau de représentation plus élevé, de telle sorte que les anciennes entités soient intégrées dans des entités englobantes; iii) imbrication (*nesting*): option intégrative des deux précédentes.

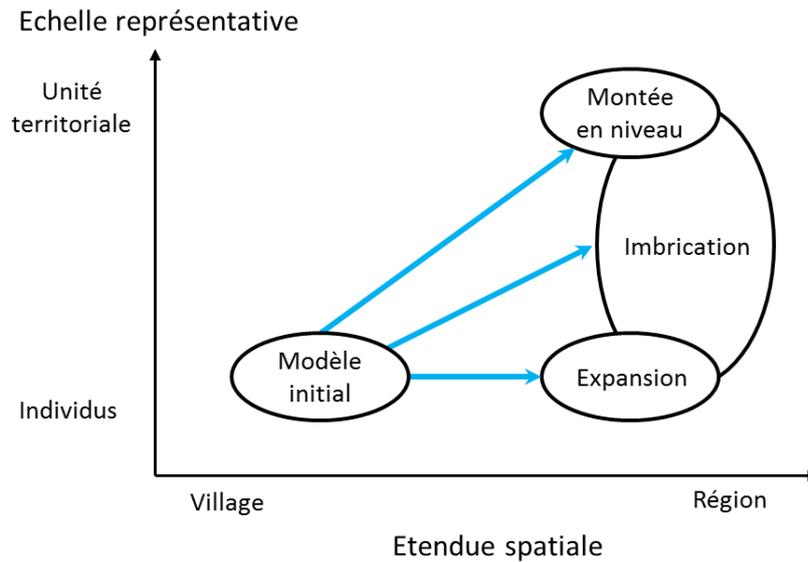


Figure 29. Trois méthodes pour passer d'une échelle locale à une échelle régionale dans les modèles de socio-écosystèmes (d'après Rounsevell et al., 2012)

Le travail en cours au Brésil dans le Municip de Paragominas offre un terrain idéal pour réfléchir à la conception de processus participatifs multi-niveau adaptés à des types de participants très différents. Pour accompagner efficacement ces processus et mettre en œuvre des démarches de prospective territoriale participative, la simulation des évolutions possibles de l'usage des terres devra être multiforme afin d'être adaptée à chacun des types de participants, tout en les réunissant autour d'un même objet intermédiaire.

7 CONCLUSION

Mes travaux sont engagés : ils ont pour but de renforcer les capacités des acteurs les moins favorisés des socio-écosystèmes à prendre part à des ateliers de concertation multi-acteurs. Ils reposent sur le postulat qu'une concertation effective demande un partage équilibré des différents points de vue des protagonistes. Pour partager des points de vue, il faut que chacun puisse exprimer le sien de manière intelligible pour les autres. En employant une démarche inductive, j'ai progressivement dessiné les contours d'une approche de modélisation participative qui positionne la simulation multi-agent interactive en vecteur de communication adapté au partage de points de vue sur le fonctionnement des socio-écosystèmes. Cette approche repose sur les principes méthodologiques suivants :

- i constituer un groupe composé de 2-3 chercheurs pour élaborer une *ébauche* d'un modèle de simulation multi-agent proposant une représentation du système-cible stylisée, volontairement simpliste, et manipulable en mode interactif (les actions des agents sont décidées par les participants),
- ii inviter un petit groupe d'acteurs locaux (une quinzaine de personnes) à un premier atelier pour « tester » cette première version et identifier tous les aspects nécessitant à leurs yeux d'être repris ou intégrés dans le modèle pour que celui-ci constitue une représentation du système-cible permettant de mettre en discussion une problématique formulée collectivement,
- iii organiser une série d'ateliers de co-construction basés sur le test de la version actualisée du simulateur impliquant le groupe de co-designers composé des chercheurs et des acteurs locaux,
- iv utiliser la version finalisée du simulateur au cours d'ateliers co-animés par un groupe réduit de co-designers auxquels sont conviés d'autres types d'acteurs pour « tester » (selon les principes énoncés au point ii) cette version.

Initier le processus avec un objet intermédiaire de type empirique-stylisé prenant la forme d'une ébauche présente des avantages : on simule une complexité manipulable dont la forme générale est esquissée. On peut y trouver les grands traits de l'objet futur. L'objet est cependant clairement inachevé : il reste un important travail de façonnage et de perfectionnement progressif pour que l'objet acquière sa forme finale et devienne fonctionnel (Bousset, 2012). Le flou et les imprécisions, propres à une ébauche (comme à certains concepts scientifiques contestés comme les services écosystémiques) sont susceptibles de stimuler la collaboration transdisciplinaire (Schröter et al., 2014).

Lorsqu'un petit collectif de chercheurs de différents horizons disciplinaires s'engagent avec des acteurs locaux dans un processus de construction de sens collectif sur la base d'un tel type d'objet, on se rapproche d'une pratique transdisciplinaire, au sens où les sociétés ne connaissent pas les frontières que la science leur impose (de Sartre et Petit, 2016).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abrami, G. (1999). *Modélisation multi-agents pour l'aménagement forestier : Usages multiples dans l'écosystème forestier de Didy*. (DEA, Ecole Nationale Supérieure de Physique de Strasbourg - Université Louis Pasteur de Strasbourg, Strasbourg).
- Abrami, G. (2004). *Niveaux d'organisation dans la modélisation multi-agent pour la gestion de ressources renouvelables. Application à la mise en oeuvre de règles collectives de gestion de l'eau agricole dans la basse-vallée de la Drôme*. (Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et Forêts Montpellier, France).
- Amouroux, E., Chu, T. Q., Boucher, A. et Drogoul, A. (2009). GAMA: An Environment for Implementing and Running Spatially Explicit Multi-agent Simulations. Dans A. Ghose, G. Governatori & R. Sadananda (dir.), *Agent Computing and Multi-Agent Systems* (Vol. 5044, p. 359-371).
- An, L. (2012). Modeling human decisions in coupled human and natural systems: Review of agent-based models. *Ecological Modelling*, 229, 25-36.
- Anderson, J. et Evans, M. (1994). Intelligent agent modelling for natural resource management. *Mathematical and Computer Modelling*, 20(8), 109-119.
- Armitage, D., Marschke, M. et Plummer, R. (2008). Adaptive co-management and the paradox of learning. *Global Environmental Change*, 18(1), 86-98.
- Aubert, S., Le Page, C., Joly, H., Razafindraibe, R., Ranaivoson, J., Ralalaoherivony, S. B., . . . Babin, D. (2002, 6-9 mars 2002). *Conception, adaptation and diffusion of a computer-assisted role game about phytogenetic resources management at a rural level in Madagascar*. Communication présentée Environment and Development — Globalisation and the Challenges for Local and International Governance. 7th Biennial Conference of the International Society for Ecological Economics, Sousse (Tunisie).
- Aubert, S., Ralalaoherivony, S. B., Le Page, C., Razafindraibe, R., Ranaivoson, J., N'Daye, I. C., . . . Le Roy, E. (2003, 14-16 octobre 2002). *Un jeu de rôles pour la gestion des ressources phytogénétiques à Madagascar*. Communication présentée Le patrimoine génétique: la diversité et la ressource. 4eme colloque national Bureau des Ressources Génétiques, La Châtre (France).
- Axelrod, R. (1997). Advancing the art of simulation in the social sciences (*Simulating social phenomena* (p. 21-40): Springer.
- Axtell, R., Axelrod, R., Epstein, J. M. et Cohen, M. D. (1996). Aligning simulation models: A case study and results. *Computational & Mathematical Organization Theory*, 1(2), 123-141.
- Barnaud, C. (2008). *Equité, jeux de pouvoir et légitimité: les dilemmes d'une gestion concertée des ressources renouvelables. Mise à l'épreuve d'une posture d'accompagnement critique dans deux systèmes agraires des hautes terres du Nord de la Thaïlande*. (Paris X Nanterre).
- Barnaud, C. (2013). La participation, une légitimité en question. *Natures Sciences Sociétés*.
- Barnaud, C., Antona, M. et Marzin, J. (2011). Vers une mise en débat des incertitudes associées à la notion de service écosystémique. *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement*, 11(1).
- Barnaud, C., Le Page, C., Dumrongrojwathana, P. et Trébuil, G. (2013). Spatial representations are not neutral: Lessons from a participatory agent-based modelling process in a land-use conflict. *Environmental Modelling & Software*, 45, 150-159.
- Barnaud, C. et Van Paassen, A. (2013). Equity, Power Games, and Legitimacy: Dilemmas of Participatory Natural Resource Management. *Ecology and Society*, 18(2).

- Barreteau, O. (1998). *Un système multi-agent pour explorer la viabilité des systèmes irrigués : dynamique des interactions et modes d'organisation*. (Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts).
- Barreteau, O. (2003). The joint use of role-playing games and models regarding negotiation processes: characterization of associations. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 6(2), 3.
- Barreteau, O., Antona, M., D'Aquino, P., Aubert, S., Boissau, S., Bousquet, F., . . . Weber, J. (2003). Our Companion Modelling Approach. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 6(2), 1.
- Barreteau, O., Bots, P., Daniell, K., Etienne, M., Perez, P., Barnaud, C., . . . Trébuil, G. (2013). Participatory approaches. Dans B. Edmonds & R. Meyer (dir.), *Simulating Social Complexity: A Handbook* (p. 197-234): Springer.
- Barreteau, O., Bots, P. W. G. et Daniell, K. A. (2010). A Framework for Clarifying “Participation” in Participatory Research to Prevent its Rejection for the Wrong Reasons. *Ecology and Society*, 15(2), 1.
- Barreteau, O. et Bousquet, F. (1999). *Jeux de rôles et validation de systèmes multi-agents*. Communication présentée Ingénierie des systèmes multi-agents, actes des 7èmes JFIADSMA, La Réunion.
- Barreteau, O., Bousquet, F. et Attonaty, J.-M. (2001). Role-playing games for opening the black box of multi-agent systems: method and lessons of its application to Senegal River Valley irrigated systems. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 4(2), 5.
- Barreteau, O., Le Page, C. et D'Aquino, P. (2003). Role-playing games, models and negotiation processes. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 6(2).
- Becu, N., Amalric, M., Anselme, B., Beck, E., Bertin, X., Delay, E., . . . Rousseaux, F. (2016, 10-14 July 2016). *Participatory simulation of coastal flooding : building social learning on prevention measures with decision-makers*. Communication présentée 8th International Congress on Environmental Modelling and Software, Toulouse, France.
- Becu, N., Bommel, P., Le Page, C. et Bousquet, F. (2016, 10-14 July 2016). *Participatory simulation and learning process: technology matters!* Communication présentée 8th International Congress on Environmental Modelling and Software, Toulouse, France.
- Bécu, N., Bommel, P., Le Page, C. et Bousquet, F. (2016, 5-7 octobre 2016). *Cormas, une plate-forme multi-agent pour concevoir collectivement des modèles et interagir avec les simulations*. Communication présentée JFSMA 2016. Systèmes multi-agents et simulation, Rouen.
- Becu, N., Frascaria-Lacoste, N. et Latune, J. (2014, 7-11 July 2014). *Distributed Asymmetric Simulation—Enhancing Participatory Simulation Using the Concept of Habitus*. Communication présentée The Shift from Teaching to Learning: Individual, Collective and Organizational Learning Through Gaming Simulation, Dornbirn, Austria.
- Becu, N., Frascaria-Lacoste, N. et Latune, J. (2015, 17-21 July 2015). *Experiential learning based on the newdistrict asymmetric simulation game: results of a dozen gameplay sessions*. Communication présentée Hybrid Simulation & Gaming in the Networked Society: The 46th ISAGA Annual Conference, Kyoto, Japan.
- Becu, N., Neef, A., Schreinemachers, P. et Sangkapitux, C. (2008). Participatory computer simulation to support collective decision-making: Potential and limits of stakeholder involvement. *Land Use Policy*, 25(4), 498-509.
- Belem, M., Manlay, R. J., Müller, J.-P. et Chotte, J.-L. (2011). CaTMAS: A multi-agent model for simulating the dynamics of carbon resources of West African villages. *Ecological Modelling*, 222(20–22), 3651-3661.

- Belem, M. et Müller, J. P. (2013). An organizational model for multi-scale and multi-formalism simulation: Application in carbon dynamics simulation in West-African Savanna. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 32, 83-98.
- Bell, A. R., Robinson, D. T., Malik, A. et Dewal, S. (2015). Modular ABM development for improved dissemination and training. *Environmental Modelling & Software*, 73, 189-200.
- Berkes, F., Folke, C. et Colding, J. (1998). *Linking social and ecological systems: management practices and social mechanisms for building resilience*. Cambridge University Press.
- Berland, M. et Rand, W. (2009). *Participatory simulation as a tool for agent-based simulation*. Communication présentée Icaart 2009: Proceedings of the International Conference on Agents and Artificial Intelligence. Repéré à <Go to ISI>://WOS:000267058000084
- Bobo, K. S., Le Page, C., Kamgaing, O. W. T., Ngahane, F. B. et Waltert, M. (2013, September 16-20, 2013). *Raising the awareness of local populations about the sustainability of bushmeat hunting through the incremental introduction of an agent-based model. A case study in the region of Korup National Park (Cameroon)* Communication présentée ESSA 2013: 9th Conference of the European Social Simulation Association, Warsaw, Poland.
- Boero, R. et Squazzoni, F. (2005). Does empirical embeddedness matter? Methodological issues on agent-based models for analytical social science. *Jasss-the Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 8(4).
- Boiffin, J., Benoît, M., Le Bail, M., Papy, F. et Stengel, P. (2014). Agronomie, espace, territoire : travailler « pour et sur » le développement territorial, un enjeu pour l'agronomie *Cahiers Agricultures*, 23(2), 72-83.
- Boissau, S. et Castella, J. C. (2003). Constructing a common representation of local institutions and land use systems through simulation-gaming and multiagent modeling in rural areas of Northern Vietnam: The SAMBA-Week methodology. *Simulation & Gaming*, 34(3), 342-357.
- Boissau, S., Lan Anh, H. et Castella, J. C. (2004). The SAMBA Role Play Game in Northern Vietnam. *Mountain Research and Development*, 24(2), 101-105.
- Bommel, P., Becu, N., Le Page, C. et Bousquet, F. (2015, 15-20 July 2015). *Cormas, an agent-based simulation platform for coupling human decisions with computerized dynamics*. Communication présentée 46th ISAGA conference, Hybrid Simulation & Gaming in the Networked Society, Kyoto, Japan.
- Bommel, P., Bonnet, M.-P., Coudel, E., Haentjens, E., Kraus, C. N., Melo, G., . . . Le Page, C. (2016, 10-14 July 2016). *Livelihoods of local communities in an Amazonian floodplain coping with global changes. From role-playing games to hybrid simulations to involve local stakeholders in participatory foresight study at territorial level*. Communication présentée 8th International Congress on Environmental Modelling and Software, Toulouse, France.
- Bommel, P., Dieguez, F., Morales, H., Bartaburu, D., Duarte, E., Montes, E., . . . Lucena, C. (2014). A further step towards participatory modeling. Fostering stakeholder involvement in designing models by using Executable UML. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 17(1), 6.
- Bonnefoy, J.-L., Bousquet, F. et Rouchier, J. (2001). Modélisation d'une interaction individus, espace et société par les systèmes multi-agents: pâture en forêt virtuelle. *L'Espace géographique*(1), 13-25.

- Bonnefoy, J.-L., Le Page, C., Rouchier, J. et Bousquet, F. (2000). Modelling spatial practices and social representations of space using multi-agents. Dans G. Ballot & G. Weisbuch (dir.), *Application of simulation to social science* (p. 155-168). Paris: Hermès.
- Bousquet, F. (2001). *Modélisation d'accompagnement, simulations multi-agents et gestion des ressources naturelles et renouvelables*. (Université de Lyon 1, Lyon).
- Bousquet, F., Bakam, I., Proton, H. et Le Page, C. (1998, June 1-4, 1998). *Cormas: Common-pool Resources and Multi-Agent Systems*.
- Bousquet, F., Barreteau, O., D'Aquino, P., Etienne, M., Boissau, S., Aubert, S., . . . Castella, J.-C. (2002). Multi-agent systems and role games: collective learning processes for ecosystem management. Dans M. A. Janssen (dir.), *Complexity and ecosystem management. The theory and practice of multi-agent systems* (p. 248-285). Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
- Bousquet, F., Barreteau, O., Mullon, C. et Weber, J. (1996, 8-11 septembre 1996). *Modélisation d'Accompagnement : Systèmes Multi-Agents et Gestion des Ressources Renouvelables*. Communication présentée Quel environnement au XXIème siècle ? Environnement, maîtrise du long terme et démocratie, Abbaye de Fontevraud.
- Bousquet, F., Cambier, C. et Morand, P. (1994). Distributed artificial intelligence and object-oriented modelling of a fishery. *Mathematical and Computer Modelling*, 20(8), 97-107.
- Bousquet, F., Cambier, C., Mullon, C., Morand, P. et Quensiere, J. (1994). Simulating fishermen society. Dans N. Gilbert & J. Doran (dir.), *Simulating societies : the computer simulation of social phenomena* (p. 143-164). London: UCL Press.
- Bousquet, F., Cambier, C., Mullon, C., Morand, P., Quensière, J. et Pavé, A. (1993). Simulating the interaction between a society and a renewable resource. *Journal of Biological Systems*, 1(2), 199-214.
- Bousquet, F. et Le Page, C. (2001). Systèmes multi-agents et écosystèmes. Dans J.-P. Briot & Y. Demazeau (dir.), *Principes et architecture des systèmes multi-agents* (p. 235-266). Paris: Hermès Science Publications.
- Bousquet, F. et Le Page, C. (2004). Multi-agent simulations and ecosystem management: a review. *Ecological Modelling*, 176, 313-332.
- Bousquet, F., Le Page, C., Bakam, I. et Takforyan, A. (2001). Multiagent simulations of hunting wild meat in a village in eastern Cameroon. *Ecological Modelling*, 138, 331-346.
- Bousset, L. (2012). Travail d'ébauche interdisciplinaire : peut-on parler simplement d'un processus complexe ? *Nat. Sci. Soc.*, 20(4), 448-454.
- Bouwen, R. et Taillieu, T. (2004). Multi-party Collaboration as Social Learning for Interdependence: Developing Relational Knowing for Sustainable Natural Resource Management. *Journal of Community & Applied Social Psychology*, 14, 137-153.
- Briot, J.-P., Guyot, P. et Irving, M. (2007). Participatory simulation for collective management of protected areas for biodiversity conservation and social inclusion. *AIS-CMS*, 7, 183-188.
- Briot, J.-P., Sordoni, A., Vasconcelos, E., Patto, V. S., Adamatti, D., Irving, M., . . . Lucena, C. (2010). Design of an artificial decision maker for a human-based social simulation- Experience of the SimParc project. *Activity-based modeling and simulation*, 17-35.
- Brown, D. G., Riolo, R., Robinson, D. T., North, M. et Rand, W. (2005). Spatial process and data models: Toward integration of agent-based models and GIS. *Journal of Geographical Systems*, 7(1), 25-47.
- Brugnach, M., Dewulf, A., Pahl-Wostl, C. et Taillieu, T. (2008). Toward a relational concept of uncertainty: about knowing too little, knowing too differently, and accepting not to know. *Ecology and Society*, 13(2), 30.

- Caillou, P., Gaudou, B., Grignard, A., Truong, C. Q. et Taillandier, P. (2015, Sept 2015). *A Simple-to-use BDI architecture for Agent-based Modeling and Simulation*. Communication présentée The Eleventh Conference of the European Social Simulation Association (ESSA 2015), Groningen, The Netherlands.
- Castella, J. C., Boissau, S., Lan Anh, H. et Husson, O. (2001, 28-30 May 2001). *Enhancing communities' adaptability to a rapidly changing environment in Vietnam uplands: the SAMBA role-play*. Communication présentée International Conference "Sustaining upland development in Southeast Asia: Issues, tools & institutions for local natural resource management", Makati, Metro Manila, Philippines.
- Castella, J. C., Trung, T. N. 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), 27.
- Cegielski, W. H. et Rogers, J. D. (2016). Rethinking the role of Agent-Based Modeling in archaeology. *Journal of Anthropological Archaeology*, 41, 283-298.
- Charles, M., Chlous-Ducharme, F., Faugère, E. et Wintz, M. (2008). Science et démocratie dans la gestion de la nature. Des ethno-sociologues pris dans la modélisation d'accompagnement. *VertigO*, 8(2), 1-17.
- Chlous-Ducharme, F. et Gourmelon, F. (2011). Modélisation d'accompagnement : appropriation de la démarche par différents partenaires et conséquences. *VertigO*, 11(3).
- Chlous-Ducharme, F., Gourmelon, F. et Rouan, M. (2009). Modélisation et jeu de rôles sur l'île d'Ouessant : questions de sociologie. *Socio-logos*, 3.
- Colella, V. (2000). Participatory simulations: Building collaborative understanding through immersive dynamic modeling. *The Journal of the Learning sciences*, 9(4), 471-500.
- Collier, N. et Ozik, J. (2013). *Test-driven agent-based simulation development*. Communication présentée Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference: Simulation: Making Decisions in a Complex World.
- ComMod. (2005). La modélisation comme outil d'accompagnement. *Natures Sciences Sociétés*, 13, 165-168.
- Crookall, D., Martin, A., Saunders, D. et Coote, A. (1986). Human and computer involvement in simulation. *Simulation and Gaming*, 17(3), 345-375.
- Crooks, A. (2015). Agent-based Models and Geographical Information Systems. Dans C. Brunsdon & A. Singleton (dir.), *Geocomputation: A Practical Primer* (p. 63-77). London, UK: SAGE.
- d'Aquino, P., Barreteau, O., Etienne, M., Boissau, S., Aubert, S., Bousquet, F., . . . Daré, W. s. (2002, June 24-27, 2002). *The role playing games in an ABM participatory modeling process: outcomes from five different experiments carried out in the last five years*. Communication présentée Proceedings of the 1st Biennial Meeting of the International Environmental Modelling & Software Society (iEMSs 2002). Integrated Assessment and Decision Support, Lugano (Switzerland).
- d'Aquino, P., Barreteau, O., Etienne, M., Boissau, S., Bousquet, F., Le Page, C., . . . Daré, W. s. (2002, 6-9 mars 2002). *Participatory modelling: methodological appraisal of five forms and uses of role-playing games and multi-agent systems*. Communication présentée Environment and Development — Globalisation and the Challenges for Local and International Governance. 7th Biennial Conference of the International Society for Ecological Economics, Sousse (Tunisie).
- d'Aquino, P., Etienne, M., Barreteau, O., Le Page, C. et Bousquet, F. (2001). Jeux de rôle et simulations multi-agents. Dans E. Malézieux, G. Trébuil & M. Jaeger (dir.), *Modélisation des agroécosystèmes et aide à la décision* (p. 373-390): Cirad - Inra.

- d'Aquino, P., Le Page, C., Bousquet, F. et Bah, A. (2002a). Du jeu de rôle à la simulation: pour des systèmes d'information à référence spatiale conçus directement par les acteurs. *L'information géographique*, 66(4), 310-324.
- d'Aquino, P., Le Page, C., Bousquet, F. et Bah, A. (2002b). Une expérience de conception directe de SIG et de SMA par les acteurs dans la vallée du Sénégal. *Revue Internationale de Géomatique*, 12(4), 517-542.
- 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., Ducrot, R., Botta, A. et Etienne, M. (2009). Repères méthodologiques pour la mise en œuvre d'une démarche de modélisation d'accompagnement (p. 127). Laudun.
- Daré, W. s., Van Paassen, A., Ducrot, R., Mathevet, R., Queste, J., Trébuil, G., . . . Lagabrielle, E. (2010). Apprentissage des interdépendances et des dynamiques. Dans M. Etienne (dir.), *La modélisation d'accompagnement. Une démarche participative en appui au développement durable* (p. 223-250): Quæ.
- de Kraker, J., Kroeze, C. et Kirschner, P. (2011). Computer models as social learning tools in participatory integrated assessment. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 9(2), 297-309.
- de Kraker, J. et van der Wal, M. (2012). *How to make environmental models better in supporting social learning? A critical review of promising tools*. Communication présentée Sixth Biennial Meeting of the International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs). Managing Resources of a Limited Planet: Pathways and Visions under Uncertainty. , Leipzig, Germany.
- de Sartre, X. A. et Petit, O. (2016). L'interdisciplinarité comme méthode de compréhension des interactions entre natures et sociétés. Dans B. Hubert & N. Mathieu (dir.), *Interdisciplinarités entre Natures et Sociétés* (p. 367-386). Bruxelles: P.I.E. Peter Lang.
- Dewulf, A., Craps, M., Bouwen, R., Taillieu, T. et Pahl-Wostl, C. (2005). Integrated management of natural resources: dealing with ambiguous issues, multiple actors and diverging frames. *Water science and technology*, 52(6), 115-124.
- Doran, J. et Gilbert, N. (1994). Simulating societies: an introduction. Dans N. Gilbert & J. Doran (dir.), *Simulating Societies: the computer simulation of social phenomena* (p. 1-18): UCL Press.
- Doran, J., Palmer, M., Gilbert, N. et Mellars, P. (1994). The EOS project: modelling Upper Palaeolithic social change. Dans N. Gilbert & J. Doran (dir.), *Simulating societies : the computer simulation of social phenomena* (p. 195-222). London: UCL Press.
- Dray, A., Le Page, C. et Etienne, M. (2015). Briser la glace: de CherIng à ReHab. Dans M. Etienne (dir.), *La modélisation d'accompagnement: partager des représentations, simuler des dynamiques* (p. 134-139): INRA - FormaSciences.
- Drogoul, A. (1993). *De la simulation multi-agent à la résolution collective de problèmes. Une étude de l'émergence de structures d'organisation dans les systèmes multi-agents*. (Université Paris 6).
- Drogoul, A., Amouroux, E., Caillou, P., Gaudou, B., Grignard, A., Marilleau, N., . . . Zucker, J.-D. (2013). *Gama: multi-level and complex environment for agent-based models and simulations*. Communication présentée Proceedings of the 2013 international conference on Autonomous agents and multi-agent systems.
- Drogoul, A. et Ferber, J. (1992). *Multi-agent simulation as a tool for modeling societies: Application to social differentiation in ant colonies*. Communication présentée European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World.

- Drogoul, A. et Ferber, J. (1994). Multi-agent simulation as a tool for studying emergent processes in societies. Dans N. Gilbert & J. Doran (dir.), *Simulating societies : the computer simulation of social phenomena* (p. 127-142). London: UCL Press.
- Drogoul, A., Vanbergue, D. et Meurisse, T. (2003). *Simulation orientée agent: où sont les agents?* Communication présentée Le statut épistémologique de la simulation. 10èmes journées de Rochebrune: rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels, Rochebrune, France.
- Ducrot, R., van Paassen, A., Barban, V., Daré, W. s. et Gramaglia, C. (2014). Learning integrative negotiation to manage complex environmental issues: example of a gaming approach in the peri-urban catchment of São Paulo, Brazil. *Regional Environmental Change*, 1-12.
- Dupont, H., Gourmelon, F., Rouan, M., Le Viol, I. et Kerbirou, C. (2016). The contribution of agent-based simulations to conservation management on a Natura 2000 site. *Journal of Environmental Management*, 168, 27-35.
- Edmonds, B. et Hales, D. (2003). Replication, replication and replication: some hard lessons from model alignment. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 6(4), 11.
- Edmonds, B. et Moss, S. (2004). From KISS to KIDS – an ‘anti-simplistic’ modelling approach. *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, 3415, 130-144.
- Epstein, J. (1999). Agent-based computational models and generative social science. *Complexity*, 4(5), 41-60.
- Epstein, J. M. (2008). Why Model? *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 11(4).
- Epstein, J. M. et Axtell, R. (1996a). *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*. The MIT Press.
- Epstein, J. M. et Axtell, R. L. (1996b). *Growing artificial societies. Social science from the bottom up*. Brookings Institution Press.
- Etienne, M. (2003). SYLVOPAST a multiple target role-playing game to assess negotiation processes in silvopastoral management planning. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 6(2).
- Etienne, M. (dir.). (2015). *La modélisation d'accompagnement: partager des représentations, simuler des dynamiques*. INRA - FormaSciences.
- Etienne, M., Du Toit, D. R. et Pollard, S. (2011). ARDI: a co-construction method for participatory modeling in natural resources management. *Ecology and Society*, 16(1), 44.
- Etienne, M. et Le Page, C. (2002, 5-6 novembre 2002). *Modéliser les dynamiques paysagères pour accompagner un projet d'aménagement du territoire : le cas du Causse Méjean*. Communication présentée Colloque "Gerer les paysages de montagne pour un développement concerté et durable", Florac.
- 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).
- Ferber, J. (1995). *Les systemes multi-agents: vers une intelligence collective*. Paris, France: InterEditions.
- Ferber, J. et Gutknecht, O. (1998). *Analysis and design of organizations in multi-agent systems*. Communication présentée Proc. 3rd Int. Conf. on Multi-Agent Systems (ICMAS '98), Los Alamos, USA.
- Ferrand, N. (2006). Modéliser avec et pour les acteurs de terrain. Dans F. Amblard & D. Phan (dir.), *Modelisation et simulation multi-agents, applications pour les Sciences de l'Homme et de la Société* (p. 219-239). Paris: Hermès.

- Filatova, T., Verburg, P. H., Parker, D. C. et Stannard, C. A. (2013). Spatial agent-based models for socio-ecological systems: Challenges and prospects. *Environmental Modelling & Software*, 45, 1-7.
- Folke, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, 16(3), 253-267.
- Folke, C. (2016). Resilience (Republished). *Ecology and Society*, 21(4).
- Funtowicz, S. O. et Ravetz, J. R. (1993). Science for the post-normal age. *Futures*, 25(7), 739-755.
- Gallopín, G. C., Gutman, P. et Maletta, H. (1989). Global impoverishment, sustainable development and the environment: a conceptual approach. *International Social Science Journal*.
- Gimblett, H. R. (2002). *Integrating geographic information systems and agent-based modeling techniques for simulating social and ecological processes*. Oxford University Press.
- Ginot, V. et Le Page, C. (1998, 1-4 June 1998). *Mobidyc, a generic multi-agents simulator for modelling populations dynamics*. Communication présentée Tasks and Methods in Applied Artificial Intelligence. 11th International Conference on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems IEA-98-AIE, Benicàssim, Castellón, Spain.
- Ginot, V., Le Page, C. et Souissi, S. (2002). A multi-agents architecture to enhance end-user individual-based modelling. *Ecological Modelling*, 157, 23-41.
- Gosselain, O. P. (2011). Slow Science—La désexcellence. *Uzance*, 1, 128-140.
- Gourmelon, F., Rouan, M., Lefevre, J.-F. et Rognant, A. (2011). Role-Playing Game and Learning for Young People About Sustainable Development Stakes: An Experiment in Transferring and Adapting Interdisciplinary Scientific Knowledge. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 14(4), 21.
- Gourmelon, F., Rouan, M. et Rognant, A. (2010, 4-6 mai 2010). *Du SIG au jeu de rôle, histoire d'un transfert de connaissances des scientifiques aux scolaires*. Communication présentée Les rencontres de SIG-la-Lettre, Marne la Vallée, France.
- Greenberg, J. B. et Park, T. K. (1994). Political ecology. *Political Ecology*, 1(1), 1-12.
- Grignard, A., Taillandier, P., Gaudou, B., Vo, D. A., Huynh, N. Q. et Drogoul, A. (2013). GAMA 1.6: Advancing the Art of Complex Agent-Based Modeling and Simulation. Dans G. Boella, E. Elkind, B. T. R. Savarimuthu, F. Dignum & M. K. Purvis (dir.), *PRIMA 2013: Principles and Practice of Multi-Agent Systems: 16th International Conference, Dunedin, New Zealand, December 1-6, 2013. Proceedings* (p. 117-131). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Grimm, V., Augusiak, J., Focks, A., Frank, B. M., Gabsi, F., Johnston, A. S. A., . . . Railsback, S. F. (2014). Towards better modelling and decision support: Documenting model development, testing, and analysis using TRACE. *Ecological Modelling*, 280, 129-139.
- Grimm, V., Berger, U., Bastiansen, F., Eliassen, S., Ginot, V., Giske, J., . . . DeAngelis, D. L. (2006). A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. *Ecological Modelling*, 198, 115-126.
- Grimm, V., Revilla, E., Berger, U., Jeltsch, F., Mooij, W. M., Railsback, S. F., . . . DeAngelis, D. L. (2005). Pattern-oriented modeling of agent-based complex systems: lessons from ecology. *Science*, 310(987-991).
- Groeneveld, J., Müller, B., Buchmann, C. M., Dressler, G., Guo, C., Hase, N., . . . Schwarz, N. (2017). Theoretical foundations of human decision-making in agent-based land use models – A review. *Environmental Modelling & Software*, 87, 39-48.

- Guillem, E. E., Murray-Rust, D., Robinson, D. T., Barnes, A. et Rounsevell, M. D. A. (2015). Modelling farmer decision-making to anticipate tradeoffs between provisioning ecosystem services and biodiversity. *Agricultural Systems*, 137, 12-23.
- Guyot, P. (2006). *Simulations multi-agents participatives: faire interagir agents et humains pour explorer, modéliser et reproduire les comportements collectifs*. (Université Pierre et Marie Curie - Paris VI).
- Guyot, P., Drogoul, A. et Honiden, S. (2006, 8 - 12 May 2006). *Power and negotiation: lessons from agent-based participatory simulations*. Communication présentée Fifth International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS-06), Hakodate, Japan.
- Guyot, P. et Honiden, S. (2006). Agent-based participatory simulations: merging multi-agent systems and role-playing games. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 9(4), 8.
- Habermas, J. (1984). The theory of communicative action, volume I. *Boston: Beacon*.
- Hardy, P.-Y., Souchère, V., Dray, A., David, M., Sabatier, R. et Kernéis, E. (2016, 10-14 July 2016). *Individual vs collective in public policy design, a cooperation example in the Marais Poitevin region*. Communication présentée 8th International Congress on Environmental Modelling and Software, Toulouse, France.
- Hare, M. (2011). Forms of Participatory Modelling and its Potential for Widespread Adoption in the Water Sector. *Environmental Policy and Governance*, 21(6), 386-402.
- Harland, K., Heppenstall, A., Smith, D. et Birkin, M. (2012). Creating Realistic Synthetic Populations at Varying Spatial Scales: A Comparative Critique of Population Synthesis Techniques. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 15(1), 1.
- Heppenstall, A., Crooks, A., See, L. M. et Batty, M. (dir.). (2012). *Agent-Based Models of Geographical Systems*: Springer.
- Herimandimby, V., Randriarijaona, E., Barreteau, O., Bousquet, F. et Weber, J. (1998, 5-8 octobre 1998). *Systèmes Multi-Agents et démarche patrimoniale: utilisation de jeux de rôles*. Communication présentée Modèles et systèmes multi-agents pour la gestion de l'environnement et des territoires, Clermont-Ferrand.
- Hervé, D. et Rivière, M. (2014). Résilience, adaptation, changement : l'interdisciplinarité questionnée. *Nat. Sci. Soc.*, 22(3), 247-253.
- Holland, J. H. (1995). *Hidden order: how adaptation builds complexity*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Holling, C. S. (1978). *Adaptive Environmental Assessment and Management*. Chichester, UK: John Wiley and Sons.
- Jakeman, A. J., Letcher, R. A. et Norton, J. P. (2006). Ten iterative steps in development and evaluation of environmental models. *Environmental Modelling & Software*, 21, 602-614.
- Janssen, M. A. et Ostrom, E. (2006). Empirically based, agent-based models. *Ecology and Society*, 11(2), 37.
- Jolivet, M. et Pavé, A. (1993). L'environnement: un champ de recherche en formation. *Natures Sciences Sociétés*, 1(1), 6-20.
- Kelly, R. A., Jakeman, A. J., Barreteau, O., Borsuk, M. E., ElSawah, S., Hamilton, S. H., . . . van Delden, H. (2013). Selecting among five common modelling approaches for integrated environmental assessment and management. *Environmental Modelling & Software*, 47, 159-181.
- Kilvington, M. J. (2010). *Building Capacity for Social Learning in Environmental Management*. (Lincoln University, Canterbury, New Zealand).

- Langlois, P., Blanpain, B. et Daudé, E. (2015). MAGéo, une plateforme de modélisation et de simulation multi-agent pour les sciences humaines. *Cybergeog: European Journal of Geography*.
- Langton, C. G. (1989). *Artificial life*. Addison-Wesley Publishing Company Redwood City, CA.
- Lardon, S., Baron, C., Bommel, P., Bousquet, F., Le Page, C., Lifran, R., . . . Reitz, P. (1998, 5-8 octobre 1998). *Modéliser les configurations et les stratégies spatiales dans un système multi-agent pour la maîtrise de dynamiques d'embroussaillement*. Communication présentée Modèles et systèmes multi-agents pour la gestion de l'environnement et des territoires, Clermont-Ferrand.
- Lardon, S., Bommel, P., Bousquet, F., Le Page, C., Libourel, T., Lifran, R. et Osty, P.-L. (2000, 2-4 octobre 2000). *De la simulation d'une dynamique d'embroussaillement à un outil d'aide à la gestion de l'espace pastoral. Un modèle de conception des transformations de l'espace*. Communication présentée Systèmes multi-agents. Méthodologie, technologie et expériences. JFIADSMA'00, Saint-Jean-la-Vêtre, Loire, France.
- Le Page, C., Abrami, G., Barreteau, O., Becu, N., Bommel, P., Botta, A., . . . Souchère, V. (2010). Des modèles pour partager des représentations. Dans M. Etienne (dir.), *La modélisation d'accompagnement. Une démarche participative en appui au développement durable* (p. 71-101): Quæ.
- Le Page, C., Bazile, D., Becu, N., Bommel, P., Bousquet, F., Etienne, M., . . . Weber, J. (2013). Agent-based modelling and simulation applied to environmental management: a review. Dans B. Edmonds & R. Meyer (dir.), *Simulating Social Complexity: A Handbook* (p. 499-540): Springer.
- Le Page, C., Bobo, K. S., Kamgaing, O. W. T., Ngahane, F. B. et Waltert, M. (2015). Interactive simulations with a stylized scale model to codesign with villagers an agent-based model of bushmeat hunting in the periphery of Korup National Park (Cameroon) *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 18(1), 8.
- Le Page, C., Bousquet, F., Bakam, I., Bah, A. et Baron, C. (2000, June 26-30, 2000). *A multi-agent simulation toolkit to model natural resources management based on dynamics at multiple scales*. Communication présentée Annual meeting of the Resource Modeling Association - The ecology of scales, Wageningen (Nederlands).
- Le Page, C. et Cury, P. (1996). How spatial heterogeneity influences population dynamics: Simulations in SeaLab. *Adaptive Behavior*, 4(3/4), 255-281.
- Le Page, C. et Cury, P. (1997). Population viability and spatial fish reproductive strategies in constant and changing environments: an individual-based modelling approach. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54(10), 2235-2246.
- Le Page, C., Dray, A., Perez, P. et Garcia, C. (2016). Exploring how knowledge and communication influence natural resources management with REHAB. *Simulation & Gaming*, 47(2), 257-284.
- Le Page, C., Lardon, S., Bommel, P., Baron, C. et Bousquet, F. (1999, 8-10 novembre 1999). *Entités spatiales génériques et modèles de simulation Multi-Agent*. Communication présentée JFIADSMA'99. Ingénierie des Systèmes Multi-Agents, St-Gilles (La Réunion).
- Le Page, C., Naivinit, W., Trébuil, G. et Gajaseni, N. (2014). Companion Modelling with rice farmers to characterise and parameterise an agent-based model on the land/water use and labour migration in Northeast Thailand. Dans A. Smajgl & O. Barreteau (dir.), *Empirical agent-based modelling - challenges and solutions* (p. 207-221). New York: Springer.

- Le Page, C., Raj Gurung, T. et Trébuil, G. (2015). Améliorer la compréhension d'un conflit d'accès aux pâturages naturels à Radi, est du Bhoutan. Dans M. Etienne (dir.), *La modélisation d'accompagnement: partager des représentations, simuler des dynamiques* (p. 253-268): INRA - FormaSciences.
- Le, Q. B. (2012). *Relevant Theoretical and Empirical Aspects for Considering Human Decision-Making Represented in Agent-Based Models for Natural Resource Management*. Communication présentée Sixth Biennial Meeting of the International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs). Managing Resources of a Limited Planet: Pathways and Visions under Uncertainty. , Leipzig, Germany.
- Liang, X., Chen, H., Wang, Y. et Song, S. (2016). Design and application of a CA-BDI model to determine farmers' land-use behavior. *SpringerPlus*, 5(1), 1581.
- Ligtenberg, A., Bregt, A. K. et Van Lammeren, R. (2001). Multi-actor-based land use modelling: spatial planning using agents. *Landscape and Urban Planning*, 56(1), 21-33.
- Liu, J., Dietz, T., Carpenter, S. R., Alberti, M., Folke, C., Moran, E., . . . Lubchenco, J. (2007). Complexity of coupled human and natural systems. *Science*, 317(5844), 1513-1516.
- Livet, P., Phan, D. et Sanders, L. (2014). Diversité et complémentarité des modèles multi-agents en sciences sociales. *Revue française de sociologie*, 55(4), 689-729.
- MacPherson, B. et Gras, R. (2016). Individual-based ecological models: Adjunctive tools or experimental systems? *Ecological Modelling*, 323, 106-114.
- Manzo, G. (2014). La simulation multi-agents : principes et applications aux phénomènes sociaux. *Revue française de sociologie*, 55(4), 649-652.
- Marilleau, N. (2016). *Approches distribuées à base d'agents pour modéliser et simuler les systèmes complexes spatialisés*. (Université Pierre & Marie Curie - Paris 6).
- Martin, R. et Schlüter, M. (2015). Combining system dynamics and agent-based modeling to analyze social-ecological interactions – an example from modeling restoration of a shallow lake. *Frontiers in Environmental Science*, 3.
- Mathevet, R., Le Page, C., Etienne, M., Lefebvre, G., Poulin, B., Gigot, G., . . . Mauchamp, A. (2007). ButorStar: a Role-Playing Game for Collective Awareness of Reedbed Wise Use. *Simulation and Gaming*, 38(2), 233-262.
- Mathevet, R., Le Page, C., Etienne, M., Poulin, B., Lefebvre, G., Cazin, F. et Ruffray, X. (2008). Des roselières et des hommes. ButorStar : un jeu de rôles pour l'aide à la gestion collective. *Revue Internationale de Géomatique*, 18(3), 375-395.
- Mathieu, N. et Schmid, A.-F. (2014). *Modélisation et interdisciplinarité: six disciplines en quête d'épistémologie*. Editions Quae.
- Minar, N., Burkhart, R., Langton, C. et Askenazi, M. (1996). The SWARM simulation system: a toolkit for building multi-agent simulations: Santa Fe Institute.
- Mithen, S. (1994). Simulating prehistoric hunter-gatherer societies. Dans N. Gilbert & J. Doran (dir.), *Simulating societies : the computer simulation of social phenomena* (p. 165-194). London: UCL Press.
- Müller, B., Bohn, F., Dreßler, G., Groeneveld, J., Klassert, C., Martin, R., . . . Schwarz, N. (2013). Describing human decisions in agent-based models – ODD + D, an extension of the ODD protocol. *Environmental Modelling & Software*, 48, 37-48.
- Müller, J.-P. (2004, 3-5 May 2004). *The mimosa generic modelling and simulation platform: The case of multi-agent systems*. Communication présentée 5th Workshop on Agent-Based Simulation, Lisbon, Portugal.
- Müller, J.-P. (2007, 25 September 2007). *Mimosa: Using Ontologies for Modelling and Simulation*. Communication présentée Informatik 2007, Bremen, Germany.
- Naivinit, W., Le Page, C., Thongnoi, M. et Trébuil, G. (2009, Juillet 2009). *Construction and use of the Ban Mak Mai model with farmers to integrate local and theoretical*

- knowledge on the interaction between rainfed lowland rice production and labour migrations in the Lam Dome Yai watershed, Ubon Ratchathani.* Communication présentée 5ème conférence nationale sur les systèmes agricoles, Ubon Ratchathani, Thaïlande.
- North, M. J., Collier, N. T., Ozik, J., Tataru, E. R., Macal, C. M., Bragen, M. et Sydelko, P. (2013). Complex adaptive systems modeling with Repast Simphony. *Complex Adaptive Systems Modeling*, 1(3).
- Ostrom, E. (2007). A diagnostic approach for going beyond panaceas. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(39), 15181-15187.
- Ostrom, E. (2009). A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, 325(5939), 419.
- Ostrom, E., Janssen, M. A. et Anderies, J. M. (2007). Going beyond panaceas. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(39), 15176-15178.
- Pahl-Wostl, C. et Hare, M. (2004). Processes of Social Learning in Integrated Resources Management. *Journal of Community & Applied Social Psychology*, 14, 193-206.
- Paran, F., Sébastien, L. et Graillot, D. (2010). Simulation pédagogique pour l'aide à la négociation environnementale: d'un jeu de rôle de papier à une plate-forme informatisée. Dans S. La Branche & N. Milot (dir.), *Enseigner les sciences sociales de l'environnement: Un manuel multidisciplinaire* (Vol. 1217, p. 127-162): Presses Universitaires du Septentrion.
- Pepper, J. W. et Smuts, B. B. (2000). The evolution of cooperation in an ecological context: an agent-based model. Dans T. A. Kohler & G. J. Gumerman (dir.), *Dynamics in human and primate societies* (p. 45-76). New York: Oxford University Press / Sante Fe Institute.
- Perrotton, A. (2015). *Conduite du bétail et coexistence entre les aires protégées et leurs périphéries : Une approche participative.* (Montpellier).
- Perrotton, A., de Garine Wichtitsky, M., Valls-Fox, H. et Le Page, C. (2017). My cattle and your park: Co-designing a role-playing game with rural communities to promote multi-stakeholder dialogue at the edge of protected areas. *Ecology and Society*, in press.
- Pimenta, P. (2017). *Application of model-driven engineering to multi-agent systems: a language to model behaviors of reactive agents* (Université de Montpellier).
- Pope, A. et Gimblett, R. (2017). Linking Participatory, Bayesian, and Agent-Based Modeling Techniques to Simulate Coupled Natural-Human System: A Case Study with Ranchers in Sonora, Mexico. Dans S. Gray, M. Paolisso, R. Jordan & S. Gray (dir.), *Environmental Modeling with Stakeholders: Theory, Methods, and Applications* (p. 345-359). Cham: Springer International Publishing.
- Pope, A. J. et Gimblett, R. (2015). Linking Bayesian and agent-based models to simulate complex social-ecological systems in semi-arid regions. *Frontiers in Environmental Science*, 3.
- Prell, C., Hubacek, K., Reed, M. S., Quinn, C. H., Nanlin, J., Holden, J., . . . Sendzimir, J. (2007). If you have a hammer everything looks like a nail: 'traditional' versus participatory model building. *Interdisciplinary Science Reviews*, 32(3), 1-20.
- Prévoist, P., Capitaine, M., Gautier-Pelissier, F., Michelin, Y., Jeanneaux, P., Fort, F., . . . Brunshwig, G. (2014). Le terroir, un concept pour l'action dans le développement des territoires. *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement*, 14(1).
- Railsback, S. et Grimm, V. (2011). *Agent-based and Individual-based Modeling: A Practical Introduction.* Princeton, USA: Princeton University Press.
- Ramanath, A. M. et Gilbert, N. (2004). The Design of Participatory Agent-Based Social Simulations. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 7(4).

- Rao, A. S. et Georgeff, M. P. (1995). *BDI agents: From theory to practice*. Communication présentée ICMAS.
- Rates, C. A., Mulvey, B. K. et Feldon, D. F. (2016). Promoting Conceptual Change for Complex Systems Understanding: Outcomes of an Agent-Based Participatory Simulation. *Journal of Science Education and Technology*, 1-18.
- Reed, M., Evely, A., Cundill, G., Fazey, I., Glass, J., Laing, A., . . . Raymond, C. (2010). What is social learning? *Ecology and Society*, 20.
- Riaux, J. (2013). Engager la construction d'un regard sociohydrologique : des archives catalyseurs de l'interdisciplinarité. *Nat. Sci. Soc.*, 21(1), 15-23.
- Robinson, D. T., Brown, D. G., Parker, D. C., Schreinemachers, P., Janssen, M. A., Huigen, M. G. A., . . . Barnaud, C. (2007). Comparison of empirical methods for building agent-based models in land use science. *Journal of Land Use Science*, 2(1), 31-55.
- Romanowska, I. (2015). So You Think You Can Model? A Guide to Building and Evaluating Archaeological Simulation Models of Dispersals. *Human biology*, 87(3), 169-192.
- Romero-Mujalli, D., Cappelletto, J., Herrera, E. A. et Tárano, Z. (2016). The effect of social learning in a small population facing environmental change: an agent-based simulation. *Journal of Ethology*, 1-13.
- Rose, K. A., Allen, J. I., Artioli, Y., Barange, M., Blackford, J., Carlotti, F., . . . Zhou, M. (2010). End-to-end models for the analysis of marine ecosystems: challenges, issues, and next steps. *Marine and Coastal Fisheries*, 2(1), 115-130.
- Rouchier, J., Cioffi-Revilla, C., Polhill, J. G. et Takadama, K. (2008). Progress in model-to-model analysis. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 11(2), 8.
- Roughgarden, J. (2012). *Individual Based Models in Ecology: An Evaluation, or How Not to Ruin a Good Thing*. Communication présentée Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association, San Diego, USA.
- Rounsevell, M. D. A., Robinson, D. T. et Murray-Rust, D. (2012). From actors to agents in socio-ecological systems models. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367(1586), 259-269.
- Ruffez, P. (2003). *Etude de la négociation dans le cadre d'un jeu de rôle sur le sylvopastoralisme*. (Université Pierre et Marie Curie).
- Schlüter, M., Baeza, A., Dressler, G., Frank, K., Groeneveld, J., Jager, W., . . . Wijermans, N. (2017). A framework for mapping and comparing behavioural theories in models of social-ecological systems. *Ecological Economics*, 131, 21-35.
- Schlüter, M., McAllister, R. R. J., Arlinghaus, R., Bunnefeld, N., Eisenack, K., Hölker, F., . . . Stöven, M. (2012). New horizons for managing the environment: a review of coupled social-ecological systems modeling. *Natural Resource Modeling*, 25(1), 219-272.
- Scholz, G., Dewulf, A. et Pahl-Wostl, C. (2013). An Analytical Framework of Social Learning Facilitated by Participatory Methods. *Systemic Practice and Action Research*.
- Schröter, M., Zanden, E. H., Oudenhoven, A. P., Remme, R. P., Serna-Chavez, H. M., Groot, R. S. et Opdam, P. (2014). Ecosystem services as a contested concept: a synthesis of critique and counter - arguments. *Conservation Letters*, 7(6), 514-523.
- Servat, D., Perrier, E., Treuil, J. P. et Drogoul, A. (1998). *When agents emerge from agents: Introducing multi-scale viewpoints in multi-agent simulations*. Communication présentée Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation. Repéré à <Go to ISI>://WOS:000083636800013
- Squazzoni, F. et Boero, R. (2007, 17-19 May 2007). *The relevance of empirical foundations of agent-based simulations in the social sciences*. Communication présentée Fifth International EMAEE Conference on Innovation, Manchester, UK.
- Squire, K. et Jenkins, H. (2003). Harnessing the power of games in education. *Insight*, 3(1), 5-33.

- Stengers, I. et Drumm, T. (2013). *Une autre science est possible! Manifeste pour un ralentissement des sciences*. La Découverte.
- Sun, Z., Lorscheid, I., Millington, J. D., Lauf, S., Magliocca, N. R., Groeneveld, J., . . . Buchmann, C. M. (2016). Simple or complicated agent-based models? A complicated issue. *Environmental Modelling & Software*, 86, 56-67.
- Tàbara, J. D. et Chabay, I. (2013). Coupling Human Information and Knowledge Systems with social–ecological systems change: Reframing research, education, and policy for sustainability. *Environmental Science & Policy*, 28, 71-81.
- Taillandier, P., Vo, D.-A., Amouroux, E. et Drogoul, A. (2010, November 12-15, 2010). *GAMA: A Simulation Platform That Integrates Geographical Information Data, Agent-Based Modeling and Multi-scale Control*. Communication présentée PRIMA 2010, Kolkata, India.
- Thebaud, O. et Locatelli, B. (2001). Modelling the emergence of resource-sharing conventions: an agent-based approach. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 4(2), 3.
- Thiele, J. C. et Grimm, V. (2015). Replicating and breaking models: good for you and good for ecology. *Oikos*, 124, 691-696.
- Trébuil, G., Bousquet, F., Ekasingh, B., Baron, C. et Le Page, C. (2005). A multi-agent model linked to a GIS to explore the relationship between crop diversification and the risk of land degradation in northern Thailand highlands. Dans F. Bousquet, G. Trébuil & B. Hardy (dir.), *Companion modeling and multi-agent systems for integrated natural resources management in Asia* (p. 167-190). Los Baños, Philippines: International Rice Research Institute.
- Turner II, B. L., Kasperson, R. E., Matson, P. A., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensen, L., . . . Martello, M. L. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(14), 8074-8079.
- Valbuena, D., Verburg, P. H. et Bregt, A. K. (2008). A method to define a typology for agent-based analysis in regional land-use research. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 128, 27-36.
- Valbuena, D., Verburg, P. H., Veldkamp, A., Bregt, A. K. et Ligtenberg, A. (2010). Effects of farmers' decisions on the landscape structure of a Dutch rural region: An agent-based approach. *Landscape and Urban Planning*, 97, 98-110.
- van der Wal, M., De Kraker, J., Offermans, A., Kroeze, C., Kirschner, P. A. et van Ittersum, M. (2014). Measuring Social Learning in Participatory Approaches to Natural Resource Management. *Environmental Policy and Governance*, 24(1), 1-15.
- Varenne, F. (2010). Les simulations computationnelles dans les sciences sociales. *Nouvelles Perspectives en Sciences Sociales*, 5(2), 17-49.
- Varenne, F. et Silberstein, M. (dir.). (2013). *Modéliser & simuler - Epistémologies et pratiques de la modélisation et de la simulation* (Vol. Tome 1). Paris: Editions Matériologiques.
- Varian, H. R. (1997). How to build an economic model in your spare time. *The American Economist*, 41(2), 3-10.
- Voinov, A., Kolagani, N., McCall, M. K., Glynn, P. D., Kragt, M. E., Ostermann, F. O., . . . Ramu, P. (2016). Modelling with stakeholders - Next generation. *Environmental Modelling & Software*, 77, 196-220.
- Walker, W. E., Harremoës, P., Rotmans, J., van der Sluijs, J. P., van Asselt, M. B., Janssen, P. et Kreyer von Krauss, M. P. (2003). Defining uncertainty: a conceptual basis for uncertainty management in model-based decision support. *Integrated Assessment*, 4(1), 5-17.

- Weber, J. (1995). Gestion des ressources renouvelables: fondements théoriques d'un programme de recherche. Montpellier: CIRAD.
- Weber, J. et Bailly, D. (1993). Prévoir, c'est gouverner. *Natures Sciences Sociétés*, 1(1), 59-64.
- Weber, J. et Revéret, J.-P. (1993). Biens communs: les leures de la privatisation. *Le Monde Diplomatique*, 2, 71-73.
- Wheaton, W. D., Cajka, J. C., Chasteen, B. M., Wagener, D. K., Cooley, P. C., Ganapathi, L., . . . Allpress, J. L. (2009). Synthesized population databases: A US geospatial database for agent-based models. *Methods report (RTI Press)*, 2009(10), 905.
- Wilensky, U. et Rand, W. (2007). Making Models Match: Replicating an Agent-Based Model. *Jasss-the Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 10(4).
- Wilensky, U. et Stroup, W. (1999). *Learning through participatory simulations: Network-based design for systems learning in classrooms*. Communication présentée Proceedings of the 1999 conference on Computer support for collaborative learning.

ANNEXE 1 : CURRICULUM VITAE DETAILLE

Christophe **LE PAGE**

Né le 5 avril 1966 à Lannion (22)

Marié, 2 enfants

CIRAD – UPR Green

Email : christophe.le_page@cirad.fr

DIPLOMES

- ✚ **Janvier 1996** – Thèse de Doctorat en Biomathématiques de l'Université Pierre et Marie Curie, Paris 6. Directeur : Ph. Cury. Sujet : « *Biologie des populations et simulations individus-centrées* ».
- ✚ **Octobre 1990** – DEA (Diplôme d'Etude Approfondie) en Biomathématiques de l'Université Paris 7. Sujet : « *Simulations de la dynamique instable des stocks de petits poissons pélagiques côtiers : bifurcations et chaos liés à la forme de la relation stock parental / progéniture* ».
- ✚ **Octobre 1989** – Ingénieur agro-halieupe de l'ENSAR (Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Rennes).
- ✚ **Juin 1984** – Baccalauréat série C (Lycée Félix Le Dantec, Lannion)

POSTES

- ✚ **Septembre 2009 – Présent** : Chercheur au CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) à Montpellier au sein de l'unité de recherche Green (Gestion des Ressources Renouvelables et Environnement) dirigée par M. Antona.
- ✚ **Novembre 2005 – Août 2009** : Chercheur au CIRAD affecté à l'université de Chulalongkorn, à Bangkok (Thaïlande). Collaboration avec l'équipe « écologie tropicale » du département de biologie de la faculté des sciences, dirigée par N. Gajaseeni.
- ✚ **Octobre 1997 – Octobre 2005** : Chercheur au CIRAD à Montpellier au sein de l'unité de recherche Green, créée par J. Weber.
- ✚ **Mars 1996 – Août 1997** : Ingénieur de recherche contractuel INRA (Institut national de la recherche agronomique), station d'hydrobiologie lacustre de Thonon-les-Bains. Travail en collaboration avec V. Ginot (INRA) pour développer une plateforme de création de **modèles basés sur les individus pour la dynamique des communautés (Mobidyc)** destinée à générer des modèles du peuplement piscicole des grands lacs sub-alpins.
- ✚ **Décembre 1992 – Janvier 1996** : Laboratoire d'Informatique Appliquée (LIA), Centre Orstom (Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer) d'Ile de France, Bondy. Allocataire de recherche du rectorat de Paris (bourse du Ministère de la Recherche et Technologie). Thèse de doctorat en biomathématiques de l'Université Paris 6 encadrée par Ph. Cury (Orstom). Travail de modélisation en écologie théorique (évaluation de stratégies de recherche d'un site reproductif en milieu hétérogène et fluctuant).
- ✚ **Avril 1991 – Juillet 1992** : Département des pêches de la république du Vanuatu (Pacifique Sud). Volontaire du Service National au titre de la coopération, en

collaboration avec l'Orstom. Conception, gestion et analyse d'une base de données sur la pêche des poissons de la pente récifale externe.

- ✚ **Novembre 1990 – Mars 1991** : LODYC (Laboratoire d'Océanographie Dynamique et de Climatologie), Université Paris 6. Vacances de recherche pour le CNRS (Centre national de la recherche scientifique). Conception de programmes informatiques pour validation d'un modèle numérique de circulation générale de l'Atlantique Tropical.
- ✚ **Mai – Septembre 1990** : Centre de Recherche Océanographique de Dakar Thiaroye (CRODT), Sénégal. Stage de DEA dirigé par Ph. Cury (Orstom). Simulations numériques de la dynamique des stocks de poissons pélagiques côtiers.
- ✚ **Avril – Septembre 1989** : CRODT et LODYC. Stage ingénieur dirigé par A. Morlière et A. Fonteneau (Orstom). Etude des relations entre les thons tropicaux et l'environnement.

COLLABORATIONS ET ACTIVITES DE RECHERCHE

Participation à 16 projets nationaux (dont 2 comme responsable), 14 projets internationaux (dont 1 comme responsable).

Projets de recherche nationaux

- ✚ Participant au projet « *De l'individu à la population : Mobidyc* » coordonné par V. Ginot (INRA). Dates: 1996 à 1998. Financement: programme « *Environnement, Vie et Sociétés* » du CNRS, dans le cadre de l'action « *Le poisson dans son milieu* » du GIP (Groupement d'Intérêt Public) HydrOsystèmes ».
- ✚ Participant au projet « *Modélisation et simulation des interactions spatialisées entre sociétés et ressources : couplage des Systèmes d'Information Géographique et des Systèmes Multi-Agents* » coordonné par F. Bousquet (CIRAD). Dates: 1998-2000. Financement: action thématique programmée n° 98/60, direction scientifique du CIRAD.
- ✚ Participant au projet « *Modélisation de la dynamique d'entités géographiques transformables, dans un environnement multi-agents* » coordonné par S. Lardon (INRA). Dates: 1998-2000. Financement: programme systèmes d'informations géographiques (PSIG- Cassini), CNRS.
- ✚ Responsable du projet « *Validité des systèmes multi-agents, aide à la décision* ». Dates: 1999-2000. Financement: action incitative ciblée « *Représentation des connaissances, outils pour l'action, aide à la décision* », direction scientifique du CIRAD.
- ✚ Participant au projet « *Modélisation des flux de biomasse et des transferts de fertilité : cas de la gestion des effluents d'élevage à l'île de la Réunion* » coordonné par F. Guerrin (INRA) et J.-M. Paillat (CIRAD). Dates: 1999-2001. Financement: action thématique programmée n° 99/60, direction scientifique du Cirad.
- ✚ Participant au projet « *Droit de propriété intellectuelle pour la gestion des ressources phylogénétiques d'un terroire malgache* » coordonné par S. Aubert (CIRAD). Date : 2000-2001. Financement : BRG (Bureau des Ressources Génétiques).
- ✚ Participant au projet « *Analyse et modélisation des impacts et des pratiques coutumières sur divers milieux naturels sahéliens et sahélo-soudaniens au Niger et au Mali* » coordonné par A. Bertrand (CIRAD). Dates: 2000-2003. Financement: Comité Scientifique Français de la Désertification (CSFD).
- ✚ Responsable du projet « *Systèmes multi-agents et simulation de scénarios d'aménagement d'espaces à usages multiples* ». Date : 2002-2004. Financement: action coordonnée

incitative « Ecologie quantitative » de l'appel d'offre « Sciences pour l'ingénierie des systèmes écologiques » du Ministère de la Recherche.

- ✚ Participant au projet « *Un outil d'aide à la décision et d'accompagnement de projets d'aménagements de prévention des incendies de forêt, basé sur des systèmes multi-agents* » coordonné par M. Etienne (INRA). Dates : 2003-2004. Financement : Direction de l'Espace Rural et de la Forêt du Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation.
- ✚ Participant au projet « *Organisation de l'accès aux ressources et biodiversité : application aux Réserves de Biosphère françaises* », coordonné par M. Etienne (INRA). Date : 2003-2005. Financement : Institut Français de la Biodiversité (IFB).
- ✚ Participation au projet « *La modélisation d'accompagnement : une pratique de recherche en appui au développement durable* » coordonné par M. Etienne (INRA). Dates : 2006-2009. Financement : programme fédérateur « Agriculture et Développement Durable » de l'ANR (Agence Nationale de la Recherche).
- ✚ Participation au projet « *Outils de modélisation spatialisée de l'épidémiologie des bioagresseurs appliqués à la conception des systèmes de culture. Analyse comparée du cas des systèmes bananiers et des vergers* » coordonné par Ph. Tixier (CIRAD). Dates : 2007-2009. Financement : soutien d'actions structurantes INRA-CIRAD.
- ✚ Participation au projet « *CamAdapt - Adaptation aux changements globaux dans la Réserve de Biosphère Camargue Grand Delta* » coordonné par P. Allard (CNRS). Dates : 2009-2012. Financement : programme LITEAU du ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire.
- ✚ Participation au projet « *MOUVE - Les interactions Elevage et Territoire dans la mise en mouvement de l'intensification écologique* » coordonné par B. Dedieu (INRA). Dates : 2011-2014. Financement : Programme SYSTERRA (Ecosystèmes, territoires, ressources vivantes et agricultures de l'ANR).
- ✚ Participation au projet « *SAVARID - Effet de l'augmentation de l'aridité et de la fréquence des sécheresses sur les systèmes socio-écologiques de savane dépendant de la biodiversité: scénarios exploratoires pour une aire protégée contrainte par l'eau de surface* » coordonné par H. Fritz (CNRS). Dates : 2012-2015. Financement : Programme CEP&S (Changements Environnementaux Planétaires et Sociétés) de l'ANR.
- ✚ Participation au projet « *CLIMATAC - ACompagnement des acteurs de Territoires agricoles pour l'atténuation du changement CLIMAtique* » coordonné par J.-M. Barbier (INRA, UMR Innovation). Dates : 2012-2015. Financement : Programme REACCTIF (REcherche sur l'Atténuation du Changement ClimaTique par l'agriculture et la Forêt) de l'ADEME.

Projets de recherche internationaux

- ✚ Participant au projet « *Development of different production systems for the sustainable exploitation of the collared peccary (Tayassu tajacu) in Latin America* » coordonné par F. Jori (CIRAD). Dates: 2001-2005. Financement: Commission Européenne, programme INCO-DEV (International Cooperation with Developing Countries).
- ✚ Participant au projet « *Agro-biodiversité du sorgho au Mali et au Burkina Faso* » coordonné par D. Bazile (CIRAD). Dates : 2002-2006. Financement : FFEM (Fond Français pour l'Environnement Mondial).
- ✚ Participant au projet « *MAGIC – Multi-Agent Geographic simulations based on Interoperable Components* » coordonné par C. Grueau (Lisbon Technical University,

Portugal). Date : 2003-2005. Financement : Fondation Portugaise pour la Science et la Technologie.

- ✚ Participant au projet « *Tarawa – Equitable management of groundwater in small islands* » coordonné par P. Perez (CIRAD). Dates : 2003-2005. Financement : AFD (Agence Française de Développement) et BAD (Banque Asiatique de Développement).
- ✚ Participation au projet « *Negowat – Negotiating peri-urban water conflicts* » coordonné par R. Ducrot (CIRAD). Dates: 2003-2005. Financement: Union Européenne.
- ✚ Participation au projet « *AquaStress - Mitigation of Water Stress through new Approaches to Integrating Management, Technical, Economic and Institutional Instruments* » coordonné par A. Puddu (Water Research Institute, Italie). Dates: 2005-2009. Financement: Union Européenne, 6th Framework Programme.
- ✚ Participation au projet « *Ecole-ComMod – E-collective learning processes on companion modelling for natural resources management and the environment* » coordonné par F. Bousquet (CIRAD). Dates: 2005-2008. Financement : Programme ASIA IT&C de l'Union Européenne.
- ✚ Participation au projet « *Companion modelling for resilient water management: Stakeholders' perceptions of water dynamics and collective learning at the catchment scale* » coordonné par G. Trébuil (CIRAD). Dates: 2005-2009. Financement: CGIAR (Consultative Group on International Agricultural Research), CPWF (Challenge Program on Water & Food).
- ✚ Responsable du volet Mékong du projet « *Echel-Eau – Outils de gestion intégrée des ressources en eau : applications aux bassins du Limpopo, du Mékong et du Niger* ». Dates : 2006-2009. Financement : Fonds de Solidarité Prioritaire du Ministère français des Affaires Etrangères et Européennes.
- ✚ Participation au projet « *V4 Sub-basin management and governance of rainwater and small reservoirs* » coordonné par J.-P. Venot, IWMI (International Water Management Institute). Dates : 2010-2013. Financement: CGIAR-CPWF.
- ✚ Participation au projet « *DREAM Delivering Innovation and technology through the REinforcement of Agricultural and Multidisciplinary research capacity for the benefits of small-scale farmers in transfrontalier conservation areas* » coordonné par M. Bourgarel, CIRAD. Dates : 2014-2017. Financement: Union Européenne (EuropeAid bilatéral France- Zimbabwe).
- ✚ Participation au projet « *ECOTERA - ECOefficiences et développement TERritorial en Amazonie Brésilienne* » coordonné par M.-G. Picketty (CIRAD, UPR Green). Dates : 2014-2017. Financement : Programme AgroBiosphère de l'ANR.
- ✚ Participation au projet « *STRADIV - System approach for the TRAnSition to bio-DIVersified agroecosystems, from process analysis to multi-scale co-conception with actors* » coordonné par E. Scopel (CIRAD, UPR Aïda) et P. Tixier (CIRAD – UPR GECO). Dates : 2015-2018. Financement : Projet Etendard de la Fondation Agropolis.
- ✚ Participation au projet « *ODYSSEA Observatoire des dynamiques des interactions entre sociétés et environnements en Amazonie* » coordonné par M.-P. Bonnet (IRD) et E. Coudel (CIRAD). Dates : 2016-2019. Financement: Commission Européenne (H2020 - RISE).

ENCADREMENT DE TRAVAUX DE RECHERCHE

Encadrement de 13 étudiants d'IUT, master ou école d'ingénieur, co-direction de 3 thèses, co-encadrement de 3 thèses, participation à 18 comités de thèse et à 16 jurys de soutenance de thèse (dont 1 en tant que rapporteur).

Encadrement IUT, masters et ingénieurs

- ✚ Avril-juin 1999. **Hervé Maurer**, IUT d'Informatique de l'Université de Montpellier 2. Sujet : « *Internationalisation de l'interface de la plateforme de simulation Cormas* ».
- ✚ Avril-juin 1999. **J.-P. Buret**, IUT d'Informatique de l'Université de Montpellier 2. Sujet : « *Conception du site Internet cormas.cirad.fr* ».
- ✚ Avril-juin 1999. **A. Ralaison** et **M. Gougeon**, IUT d'Informatique de l'Université de Montpellier 2. Sujet : « *Usage de UML pour décrire des modèles multi-agents développés avec la plateforme CORMAS* ».
- ✚ Avril-septembre 1999. Co-encadrement (80%) avec D. Babin (CIRAD) de **Géraldine Abrami**, DEA Mécanique et Ingénierie (Ecole Nationale Supérieure de Physique de Strasbourg - Université Louis Pasteur de Strasbourg). Sujet : « *Modélisation multi-agents pour l'aménagement forestier : Usages multiples dans l'écosystème forestier de Didy* ».
- ✚ Mars 2000. Co-encadrement (50%) avec F. Bousquet (CIRAD) de **Marion Valeix**, de l'INA-Paris Grignon. Sujet : « *Comparaison de l'approche mathématique (MatLab) et de l'approche multi-agent (Cormas) pour la dynamique des populations* ».
- ✚ Mars-septembre 2000. Co-encadrement (50%) avec D. Babin (CIRAD) de **Philippe Raherisoanjato**, de l'Ecole Nationale des Arts et Métiers de Paris. Sujet : « *Développement d'un jeu de rôles pour la gestion des ressources phytogénétiques à Madagascar* ».
- ✚ Mars-septembre 2002. Co-encadrement (50%) avec R. Mathevet (Tour du Valat) de **Guillaume Gigot**, ingénieur « Agronomie et Environnement » de l'INA-PG. Sujet : « *Contribution au développement d'un jeu de rôle, basé sur un modèle de Simulation Multi-Agents, appliqué à la gestion des roselières et à la conservation du Butor étoilé* ».
- ✚ Mars-septembre 2002. Co-encadrement (30%) avec P. Perez (CIRAD) de **Anne Dray**, ingénieur « Physique des Surfaces Naturelles et Génie Hydrologique » de l'ENSAR. Sujet : « *Modélisation de la gestion des lentilles d'eau douces sur South Tarawa à l'aide des Systèmes Multi-Agents* ».
- ✚ Mars-septembre 2003. Co-encadrement (80%) avec M. Etienne (INRA) de **Pierre Ruffez**, DEA IARFA (Intelligence Artificielle et Reconnaissance des Formes et Applications) de l'Université Paris 6. Sujet : « *Etude de la négociation dans le cadre d'un jeu de rôles sur le sylvopastoralisme* ».
- ✚ Avril-septembre 2004. Co-encadrement (50%) avec P. Auger (IRD) de **Alassane Bah**, thèse de 3^{ème} cycle de la faculté des sciences de l'Université Cheick-Anta Diop de Dakar (Sénégal). Sujet : « *Confrontation d'un modèle mathématique et d'un modèle multi-agent dédiés à l'étude de la problématique de la gestion de ressources naturelles renouvelables: le cas de la filière bois énergie au Niger* ».
- ✚ Avril-août 2004. Co-encadrement (30%) avec E. Penot (CIRAD) de **Bruno Bonté**, ingénieur de l'école des Mines de Douai. Sujet : « *Réunion de deux types de représentation de l'exploitation agricole (la représentation systémique et la modélisation multi-agents) à travers une liaison entre les logiciels « Olympe » et « CORMAS »* ».

- ✚ Avril-septembre 2005. Co-encadrement (50%) avec D. Bazile (CIRAD) de **Mathieu Tryphon-Dionnet**, DESS "Espace et Milieux" de l'Université Paris 7 - Denis Diderot. Sujet : « *Pour une gestion paysanne de l'agrobiodiversité : le cas du sorgho au Mali* ».
- ✚ Mars-septembre 2010. Encadrement d'**Elsa Leteurtre**, Master de sciences, mention Environnement, Spécialité: EBE (Ecologie, Biodiversité, Evolution) de l'Université Paris Sud 11. Sujet : « *Simulation & Gaming to promote communication between researchers, managers and blue swimming crab fishery communities in Kung Krabaen Bay, Chanthaburi Province, Thailand* ».

Encadrement de doctorant(e)s

De façon informelle, j'ai également apporté un appui à de nombreux doctorants ayant développé un modèle de simulation multi-agent dans le cadre de leurs travaux de thèse, notamment : José Carlos Chaves dos Santos (Embrapa, Brésil), Tidiane Diarisso (Univ. Montpellier 2), Louise Erasmus (Univ. de Pretoria), Widad Guechtouli (Univ. Paul Cézanne, Aix-Marseille III), Marie Houdart (Univ. des Antilles et de la Guyane), Raphaël Mathevet (Tour du Valat, Univ. Jean Moulin Lyon 3), Medhi Saqalli (Univ. Catholique de Louvain).

- ✚ 2005-2010. Co-direction avec N. Gajasen (Univ. Chulalongkorn, Thaïlande) de la thèse de **Kobchai Worrapiumphong**. PhD in Agricultural Technology, Univ. Chulalongkorn. Sujet : « *Integrated and collaborative ecological and socio-economic modelling for sustainable razor clam management at Don Hoi Lord Ramsar site, Thailand* ».
- ✚ 2006-2009. Co-direction avec N. Gajasen (Univ. Chulalongkorn, Thaïlande) de la thèse de **Le Canh Dung**. PhD in Agricultural Technology, Université Chulalongkorn (Thaïlande). Sujet : « *Environmental and socio-economic impacts of rice-shrimp farming: companion modelling case study in Bac Lieu Province, Mekong Delta, Vietnam* ».
- ✚ 2012-2016. Co-direction avec J.-M. Barbier et S. Delmotte (UMR Innovation) de la thèse de **Caroline Tardivo**. ABIES, AgroParisTech. Sujet : « *La modélisation collaborative pour stimuler l'émergence d'un système agricole plus durable. Conception et mise en oeuvre d'une démarche sur le plateau de Valensole* ».
- ✚ 2003-2009. Co-encadrement (50%) avec G. Trébuil de la thèse de **Warong Naivinit**. Co-tutelle de l'Univ. Paris Ouest Nanterre-La Défense (géographie humaine, économique et régionale, Prof. J. Marie) et PhD in Agricultural Technology, Univ. Chulalongkorn (Thaïlande). Sujet : « *Companion Modelling to analyze the land/water use and labour migration interactions in Lam Dome Yai Watershed, Lower Northeast Thailand* ».
- ✚ 2006-2010. Co-encadrement (30%) avec G. Trébuil de la thèse de **Pongchai Dumrongrojwatthana**. Co-tutelle de l'Université Paris Ouest Nanterre-La Défense (géographie humaine, économique et régionale, Prof. J. Marie) et PhD in Agricultural Technology, Université Chulalongkorn (Thaïlande). Sujet : « *Interactions between cattle raising and deforestation in the highland socio-ecosystem of Nan Province, Northern Thailand: a companion modelling process to improve landscape management* ».
- ✚ 2012-2015. Co-encadrement (25%) avec D. McKey, H. Fritz (CNRS) et M. de Garine-Wichatitsky (CIRAD) de la thèse d'**Arthur Perrotton**. Ecole Doctorale SIBAGHE, Univ. Montpellier 2. Sujet : « *Conduite du bétail et coexistence entre les aires protégées et leurs périphéries : une approche participative* ».
- ✚ 2002-2003. Participation au comité de thèse de **Géraldine Abrami** (Engref, S. Lardon). Sujet : « *Niveaux d'organisation dans la modélisation multi-agent pour la gestion de ressources renouvelables. Application à la mise en oeuvre de règles collectives de gestion de l'eau agricole dans la basse-vallée de la Drôme* ».

- ✚ 2003-2009. Participation au comité de thèse de **Panomsak Promburom** (Univ. Lyon 1, F. Bousquet). Sujet : « *Companion modeling & watershed management in Northern Thailand: The importance of local networks* ».
- ✚ 2003-2004. Participation au comité de thèse de **Sansan Youl** (Univ. Montpellier 2, R. Manlay). Sujet : « *Dynamique du carbone d'un terroir de savane d'Afrique de l'Ouest: approche par modélisation multi-agents* ».
- ✚ 2004-2006. Participation au comité de thèse de **Florent Arignon** (INP-ENSAT, G. Balent). Sujet : « *HOVER-WINTER : un modèle multi-agent pour simuler la dynamique hivernale d'un insecte auxiliaire des cultures (Episyrphus balteatus, Diptera: Syrphidae) dans un paysage hétérogène* ».
- ✚ 2005-2008. Participation au comité de thèse de **Cécile Barnaud** (Université Paris Ouest Nanterre-La Défense, G. Trébuil). Sujet : « *Équité, jeux de pouvoir et légitimité: les dilemmes d'une gestion concertée des ressources renouvelables. Mise à l'épreuve d'une posture d'accompagnement critique dans deux systèmes agraires des hautes terres du Nord de la Thaïlande* ».
- ✚ 2005-2008. Participation au comité de thèse de **Arnaud Lyet** (Université Montpellier 2, M. Cheylan). Sujet : « *Conservation de la vipère d'Orsini dans les Pré-Alpes françaises. Approche intégrative et opérationnelle* ».
- ✚ 2008-2010. Participation au comité de thèse de **Fabrice Vinatier** (AgroParisTech, F. Lescourret). Sujet : « *Etude de la dynamique spatiale du charançon du bananier en interaction avec le système de culture et l'organisation paysagère* ».
- ✚ 2008-2011. Participation au comité de thèse de **Paolo Campo** (Université Paris Ouest Nanterre-La Défense, F. Bousquet). Sujet : « *Companion modelling implementation and institutional analysis framework: a case study in Palawan, Philippines* ».
- ✚ 2009-2011. Participation au comité de thèse de **Sylvestre Delmotte** (SupAgro Montpellier, S. Lopez-Ridaura). Sujet : « *Évaluation participative de scénarios : quelles perspectives pour les systèmes agricoles camarguais?* ».
- ✚ 2009-2012. Participation au comité de thèse de **François Rebaudo** (Université Pierre et Marie Curie, O. Dangles). Sujet : « *Modélisation multi-agents de la dynamique d'insectes dans des systèmes socio-écologiques complexes* ».
- ✚ 2010-2012. Participation au comité de thèse de **Pierre-Yves Hardy** (Muséum National d'Histoire Naturel, L. Doyen). Sujet : « *Utilisation d'un modèle bio-économique pour la gestion viable et l'étude de la résilience des écosystèmes marins: Le cas des Iles Salomon* ».
- ✚ 2013-2015. Participation au comité de thèse de **Hugo Thierry** (Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse, C. Monteil). Sujet : « *Elaboration d'un modèle multi-agent pour favoriser le contrôle biologique des ravageurs de cultures par leurs ennemis naturels par gestion du paysage agri-forestier* ».
- ✚ 2013-2015. Participation au comité de thèse de **Margot Moulin** (Ecole Doctorale « Ressources, Procédés, Produits, Environnement », M. Benoît). Sujet : « *Proposing the possible futures of oil palm cropping systems spatial organization at a regional scale. Case study Riau and Jambi provinces, Sumatera, Indonesia* ».
- ✚ 2013-2015. Participation au comité de thèse de **Vincent Porphyre** (Ecole Doctorale « Sciences et Technologies » Université de La Réunion, Eric Cardinale). Sujet : « *Modélisation multi-agents appliquée au secteur de l'élevage porcin à Madagascar pour la conception et l'évaluation de scénarii de lutte contre la cysticerose* ».

- ✚ 2013-2015. Participation au comité de thèse de **Nicolas Paget** (LAMSADE, Université Paris Dauphine, A. Tsoukiàs). Sujet : « *Partage de l'information pour la gestion de ressources naturelles renouvelables* ».
- ✚ 2014-2017. Participation au comité de thèse de **Charles Gonson** (Ecole Doctorale des Sciences de l'Environnement d'Ile de France, D. Pelletier). Sujet : « *Modélisation des relations complexes entre biodiversité côtière, usages et réponses de gestion : application au lagon de Nouvelle- Calédonie* ».
- ✚ 2014-2017. Participation au comité de thèse de **Lauric Thiault** (Programme Doctoral International de l'Université Paris 6, F. Chlous). Sujet : « *Optimiser la gestion des ressources marines côtières au travers d'une meilleure intégration des relations Homme-Environnement* ».
- ✚ 2014-2017. Participation au comité de thèse de **Mabelle Chedid** (American University of Beirut, Liban, J.-F. Tourrand). Sujet : « *Determining the resilience indicators of the small holder integrated crop-livestock systems facing global change in the Mediterranean region* ».

Jurys de thèse de doctorat

- ✚ 1^{er} février 2001. Thèse de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales (Prof. J. Weber) d'**Ani Takforyan**: « *Chasse villageoise et gestion locale de la faune sauvage en Afrique. Une étude de cas dans une forêt de l'est-Cameroun* ».
- ✚ 3 décembre 2001. Thèse en informatique (Univ. La Réunion, Prof. P. Marcenac) de **Jean-Christophe Soulié** : « *Vers une approche multi-environnements pour les agents : application à la simulation du comportement des grands pélagiques dans la zone Sud de l'Océan Indien* ».
- ✚ 28 mars 2003. Thèse en informatique (Univ. Yaoundé I, Prof. M. Tchuenté) d'**Innocent Bakam Tchiakam** : « *Des systèmes multi-agents aux réseaux de Petri pour la gestion des ressources naturelles : le cas de la faune à l'Est-Cameroun* ».
- ✚ 28 avril 2009. Thèse en « Agricultural Technology » (Univ. Chulalongkorn, Thaïlande, N. Gajaseni) de **Le Canh Dung** : « *Environmental and socio-economic impacts of rice-shrimp farming: companion modelling case study in Bac Lieu Province, Mekong Delta, Vietnam* ».
- ✚ 30 avril 2009. Thèse (co-tutelle) en géographie humaine, économique et régionale (Univ. Paris Ouest Nanterre-La Défense, G. Trébuil) et en « Agricultural Technology » (Univ. Chulalongkorn, Thaïlande, N. Gajaseni) de **Warong Naivinit** : « *Modélisation d'accompagnement pour l'analyse des interactions entre usages des terres et de l'eau et migrations dans le bassin versant de la Lam Dom Yai au Nord-Est de la Thaïlande* ».
- ✚ 9 avril 2010. Thèse (co-tutelle) en géographie humaine, économique et régionale (Univ. Paris Ouest Nanterre-La Défense, G. Trébuil) et en « Agricultural Technology » (Univ. Chulalongkorn, Thaïlande, N. Gajaseni) de **Pongchai Dumrongrojwatthana** : « *Interactions entre élevage bovin et reboisement dans le socio-écosystème des hautes terres de la province de Nan au Nord de la Thaïlande : un processus de modélisation d'accompagnement pour améliorer la gestion du paysage* ».
- ✚ 1er octobre 2010. Thèse en « Agricultural Technology » (Univ. Chulalongkorn, Thaïlande, N. Gajaseni) de **Kobchai Worrappimpong** : « *Integrated and collaborative ecological and socio-economic modelling for sustainable razor clam management at Don Hoi Lord Ramsar site, Thailand* ».
- ✚ 8 avril 2011. Thèse en géographie humaine, économique et régionale (Univ. Paris Ouest Nanterre-La Défense, Prof. F. Landy) de **Tayan Raj Gurung** : « *Analyse comparée de* ».

l'usage de la modélisation d'accompagnement pour faciliter la gestion adaptative de l'eau agricole au Bhoutan ».

- ✚ 29 avril 2011. Thèse de l'École Normale Supérieure (Prof. F. Sarrazin) de **Hélène Dupont**. Sujet: «*Modélisation multi-agents d'un service écosystémique, scénarios de systèmes d'équarrissage par des rapaces nécrophages*».
- ✚ 6 juillet 2011. Thèse en Sciences (Univ. Catholique de Louvain, Belgique, Prof. E. Lambin) de **Elise Dion**: «*The landscape epidemiology of foot-and-mouth disease in South Africa by a spatially-explicit multi-agent simulation* ».
- ✚ 21 octobre 2011. Thèse en géographie humaine, économique et régionale (Univ. Paris Ouest Nanterre-La Défense, Prof. F. Landy) de **Paolo Campo**: «*Companion modelling implementation and institutional analysis framework: a case study in Palawan, Philippines* ».
- ✚ 17 juillet 2012. Thèse en Sciences de la vie (Ecole doctorale Diversité du Vivant, Univ. Pierre et Marie Curie, sous la direction de O. Dangles) de **François Rebaudo**: «*Modélisation de la dynamique spatio-temporelle d'insectes ravageurs des cultures dans des systèmes socio-écologiques* ».
- ✚ 30 novembre 2012. Rapporteur de la thèse en Informatique (Ecole doctorale Informatique Télécommunication et Électronique, Univ. Pierre et Marie Curie, sous la direction de A. Drogoul) de **Vo Duc An**: «*An operational architecture to handle multiple levels of representation in agent-based models*».
- ✚ 14 mai 2014. Thèse de Wageningen University (Farming Systems Ecology, sous la direction de P. TITTONELL) de **Erika Speelman**: «*Gaming and simulation to explore stakeholder's adaptive capacity to social-institutional change; a case study of agricultural in contested areas*».
- ✚ 17 décembre 2015. Thèse en Écologie, Evolution, Ressources Génétiques, Paléobiologie (Ecole doctorale GAIA, Univ. de Montpellier, sous la direction de D. McKey) de **Arthur Perrotton**: «*Conduite du bétail et coexistence entre les aires protégées et leurs périphéries : une approche participative* ».
- ✚ 30 juin 2016. Thèse en Sciences agronomiques et Ecologiques (Ecole doctorale ABIÉS, AgroParisTech, sous la direction de F. Bousquet) de **Caroline Tardivo**: «*La modélisation collaborative pour stimuler l'émergence d'un système agricole plus durable. Conception et mise en oeuvre d'une démarche sur le plateau de Valensole* ».

ENSEIGNEMENT ET FORMATION

Total d'environ 300h d'interventions dans des cursus académiques; co-conception et co-animation de 48 sessions de formation professionnelle de type école-chercheur, dont 18 dispensées en anglais à une audience internationale.

Formation initiale académique

- ✚ **12 janvier 1998 ; 4 janvier 1999**, DESS « Gestion des systèmes agro-sylvo-pastoraux en zones tropicales », Université Paris 12. Animation d'une session de jeu de rôles « FishBanks » (3h); introduction aux modèles mathématiques de gestion des ressources (3h).
- ✚ **21 janvier 1998**, DEA « Ecologie des populations et communautés », P^r Arditi, INA-PG. Présentation (avec J. Weber) des travaux de modélisation de la gestion des ressources renouvelables de l'équipe Green (3h).

- ✚ **11 février 1998 ; 8 février 1999**, mastère spécialisé SILAT (Systèmes d'Information Localisés pour l'Aménagement des Territoires), AgroParisTech-Engref et Montpellier SupAgro. Introduction aux systèmes multi-agents (3h).
- ✚ **mars 1998**, INA-PG 3^{ème} année option informatique (C. Christophe). Modèles multi-agents pour la gestion des ressources (3h).
- ✚ **17 février 1999**, DEA d'informatique du LIRMM (Université Montpellier 2). Présentation de la plateforme CORMAS et des modèles de simulation multi-agents pour la gestion des ressources (3h).
- ✚ **Janvier 2002**, ENGREF (Montpellier), M. Leroy. L'expérience SelfCormas dans la vallée du fleuve Sénégal (1h30).
- ✚ **Janvier 2002**, DESS « Biodiversité » de l'Université Paris 6 (A. Sarr). Modèles de simulation multi-agents pour la gestion des ressources renouvelables (6h).
- ✚ **Février 2002**, CEFE (Montpellier), Ecole Doctorale « Biologie Intégrative » dirigée par E. Dounias. Modèles de simulation multi-agents pour la gestion des ressources renouvelables (3h).
- ✚ **4-8 mars 2002**, Université de la Francophonie, Alexandrie (Egypte). Département « Environnement » dirigé par R. Marin. Modélisation des interactions entre dynamiques écologiques et sociales par les systèmes multi-agents (15h).
- ✚ **Février 2002 et février 2003**, ICRA (International Centre for development oriented Research in Agriculture). Formation professionnelle à la recherche agricole en équipe interdisciplinaire, Montpellier (N. Sellamna). Jeux de rôles et gestion des ressources renouvelables (12h).
- ✚ **Mars 2002**, Université Montpellier 2, maîtrise « biologie des populations » (C. Aliaume). Modèles de simulation multi-agents pour la gestion des ressources renouvelables (1h30).
- ✚ **7-11 avril 2003**, Ecole Polytechnique d'Antananarivo (Madagascar). DESS « Sécurisation foncière et Aménagement des Espaces Urbains et Ruraux » (A. Houssein). Co-animation avec S. Aubert (CIRAD) d'un module sur les outils d'aide à la médiation (30h).
- ✚ **19 janvier 2005**, Université Montpellier I, faculté d'économie. Troisième année de l'IUP « Agro-alimentaire et développement rural » dirigé par J.M. Boisson, H. Rey et L. Temri. Co-animation avec R. Mathevet (CNRS) d'une intervention sur l'usage des jeux de rôles pour faciliter la concertation entre usagers de l'espace dans le domaine de l'aménagement du territoire (6h).
- ✚ **février 2005 ; janvier 2010, 2011, 2012** Université Paris 6, Master « Ecologie, Biologie, Evolution », unité d'enseignement "Biodiversité et Sociétés". Modélisation et accompagnement des processus de décision collective dans le domaine de la gestion des ressources naturelles renouvelables (12h).
- ✚ **16 février 2005**, Université Montpellier 2, CIRAD. DESS « Productions animales en régions chaudes ». Co-animation avec M. Etienne (INRA) d'une session de jeu de rôles SylvoPast (6h).
- ✚ **22-29 juillet 2005**, Université Nouvelle-Calédonie, Nouméa. Master Pro « Développement territorial et Aménagement du territoire » (responsable : P. D'Aquino). Module sur les jeux de rôles et les modélisations participatives (24h).
- ✚ **29 septembre – 3 octobre 2008**, Australian National University, Canberra (Australie). « Master of Applied Anthropology and Participatory Development ». Co-animation avec P. Perez (CIRAD°) et A. Dray (HEMA Consulting) d'un module intitulé "Modelling Human Ecosystems with Agents" organisé par P. Perez (30h).

- ✚ **2006-2009**, Université Chulalongkorn, Bangkok (Thaïlande). Master Zoologie. Principles of natural resource management. Role-playing games and agent-based simulation as a platform for communication among stakeholders (4x3h).
- ✚ **2009-2011 ; 2013**, Université Paris Ouest Nanterre La Défense & AgroParisTech, Master 2 DycoDev (Dynamiques comparées des développements). Intervention intitulée « Modélisation pour la gestion des territoires et de l'environnement » co-animée avec G. Trébuil (4x9h).
- ✚ **2009 et 2010**, Université Montpellier 3 & SupAgro. Master Recherche « Territoires et sociétés, aménagements et développement », spécialité IDTR (Innovation et Développement des Territoires Ruraux), parcours « Environnement, agriculture et développement ». Intervention intitulée « Modélisation, simulation avec les acteurs du territoire : principes enjeux de la démarche de modélisation d'accompagnement » (2x6h).
- ✚ **21 janvier 2010**, AgroParisTech-ENGREF, Montpellier. Co-animation avec M. Etienne (INRA) d'une session de jeu de rôles SylvoPast (6h).
- ✚ **12 octobre 2010**, Université Montpellier 2, Master 2 « Système d'information et informations géographiques pour la gestion et la gouvernance des territoires », module « ressources naturelles et territoires » (A. Begué, CIRAD). Intervention intitulée « Systèmes multi-agents et simulation de dynamiques spatiales » (5h).
- ✚ **26 novembre 2010**, AgroParisTech, dominante d'approfondissement « Production et innovation dans les systèmes techniques végétaux », module « de la mise au point de programmes de protection intégrée des cultures à la conception et l'évaluation de systèmes de culture » (resp. T. Doré, C. Neema et C. Loyce). Co-animation avec G. Trébuil et V. Souchère d'un module intitulé « La modélisation d'accompagnement pour concevoir et simuler de nouvelles organisations territoriales des systèmes de culture et des activités agricoles » (6h).
- ✚ **décembre 2011 ; janvier 2013**, Université Montpellier 3, SupAgro, IAMM. Master 2 Recherche « Territorialités et Développements », module « Modélisation et démarche systémique » (resp. P. Gasselin). Intervention intitulée « Notion de modèle, méthodologies de modélisation, applications disciplinaires, les usages du modèle, modélisation d'accompagnement et modélisation multi-agent » (5h).
- ✚ **décembre 2012 ; décembre 2013; décembre 2014; décembre 2015**, Université P. Sabatier Toulouse. Master « Gestion de la Biodiversité », parcours MAB (programme UNESCO Man and Biosphere). Conception et co-animation avec M. Etienne, N. Becu, V. Souchère puis William's Daré et Elsa Leteurtre d'un module de 10 jours intitulé « Co-construire un projet territorial durable avec les acteurs locaux ».

Formation professionnelle continue

Conception et animation d'écoles chercheurs

- ✚ **1997-2005, Montpellier**. Sessions de formation de 2 semaines « *Simulation des systèmes complexes. Modèles multi-agents pour la gestion des ressources renouvelables* » organisées par le CIRAD et co-animées avec F. Bousquet (octobre 1997, mars et décembre 1998, avril et décembre 1999, mai 2000, février 2001) puis avec P. Bommel (février 2002, décembre 2002, septembre 2003, mars 2004, avril 2005) ; 161 participants.
- ✚ **18-26 octobre 1999, Antananarivo (Madagascar)**. Atelier « *Economie et politiques de gestion des ressources naturelles renouvelables* » co-animé avec M. Antona, D. Babin et A. Bertrand (CIRAD) ; 16 participants.

- ✚ **22 novembre-3 décembre 1999, Chiang Mai (Thaïlande).** « *International training programme on multi-agents systems for natural resources management* ». Co-animation avec F. Bousquet, G. Trébuil et C. Baron (CIRAD) ; 18 participants.
- ✚ **21 août – 1er septembre 2000, Pretoria (Afrique du Sud).** « *International training session on multi-agents systems modelling for natural resources management* ». Co-animation avec F. Bousquet; 14 participants.
- ✚ **18-29 novembre 2000, Los Baños (Philippines).** « *International training on multi-agents systems for natural resources management* ». Co-animation avec F. Bousquet, G. Trébuil (CIRAD) et S. Boissau (Université de Wageningen) ; 18 participants.
- ✚ **17-28 septembre 2001, Wageningen (Pays-Bas).** « *International training programme on multi-agents systems for natural resources management* ». Co-animation avec P. Bommel et J.-P. Müller (CIRAD) ; 18 participants.
- ✚ **8-19 octobre 2001, Khon Kaen (Thaïlande).** « *International training on multi-agents systems for natural resources management* ». Co-animation avec F. Bousquet, G. Trébuil (CIRAD), N. Becu (Cemagref) et S. Boissau (Université de Wageningen); 16 participants.
- ✚ **2002-2005, Montpellier.** Sessions de formation d'une semaine « *Conception avec UML (Unified Modelling Language), implémentation, mise au point et exploitation avec CORMAS de modèles multi-agents pour la gestion des ressources naturelles* » co-animées avec P. Bommel (juillet 2002, avril 2003, juin 2004, mai 2005) ; 39 participants.
- ✚ **14-25 octobre 2002, Chiang Mai (Thaïlande).** « *International training on multi-agents systems, geographic information systems and integrated watershed management* ». Co-animation avec F. Bousquet, G. Trébuil (CIRAD), O. Barreteau (Cemagref) et Suan Pheng Kam (IRRI) ; 19 participants.
- ✚ **20-31 janvier 2003, São Paulo (Brésil).** « *International training on simulation of complex systems, agent-based modeling and natural resources management* ». Co-animation avec P. Bommel; 23 participants.
- ✚ **13-24 octobre 2003, Pretoria (Afrique du Sud).** « *International training on multi-agents systems for integrated natural resources management* ». Co-animation avec P. Bommel et L. Erasmus (Université de Stellenboch, Afrique du Sud) ; 16 participants.
- ✚ **15-19 novembre 2004, Lourmarin.** Ecole – chercheurs « *Usage des jeux de rôles en modélisation d'accompagnement : mettre des acteurs en situation pour partager des représentations et simuler des dynamiques* » organisée par FormaSciences (INRA). Co-animation avec M. Etienne (INRA), O. Barreteau (Cemagref), R. Mathevet (CNRS), W. Daré et J. Weber (CIRAD) ; 15 participants.
- ✚ **29 novembre – 3 décembre 2004, Halle (Allemagne).** « *International training programme on multi-agents systems for natural resources management* ». Co-animation avec P. Bommel et N. Becu (Cemagref) ; 21 participants.
- ✚ **13-22 décembre 2004, Bangkok (Thaïlande).** Atelier international « *Companion modelling and resilience of ecosystems in Southeast Asia* » co-animé avec M. Antona, F. Bousquet, G. Trébuil (CIRAD), L. Lebel (Université de Chiang Mai, Thaïlande); 21 participants.
- ✚ **24-28 janvier 2005, Chateaufort de Gadagne.** Ecole – chercheurs « *Usage des jeux de rôles en modélisation d'accompagnement : mettre des acteurs en situation pour partager des représentations et simuler des dynamiques* » co-animée avec M. Etienne (INRA), O. Barreteau (Cemagref), R. Mathevet (CNRS), P. d'Aquino (CIRAD) ; 18 participants.

- ✚ **22-27 janvier 2006, Lobeysa (Bhoutan).** « *In-country training on use of companion modelling for natural resource management* ». Co-animation avec G. Trébuil (CIRAD) et T. Raj Gurung (Ministère de l'Agriculture, Bhoutan); 17 participants.
- ✚ **11-15 septembre 2006, Bangkok (Thaïlande).** « *Advanced course in agent-based simulation with the CORMAS platform* ». 6 participants.
- ✚ **6-11 décembre 2007, Lobeysa (Bhoutan).** « *In-country training on companion modeling for natural resource management: modeling tools and monitoring & evaluation* ». Co-animation avec J. Queste (CIRAD) et T. Raj Gurung (Ministère de l'Agriculture, Bhoutan) ; 14 participants.
- ✚ **11-22 mai 2009, Bangkok (Thaïlande).** Atelier international « *Companion Modelling for Integrated Renewable Resource Management* » co-animé avec G. Trébuil (CIRAD), P. Promburom (Université de Chiang Mai, Thaïlande), P. Dumrongrojwattana, K. Worrapiumphong (Université de Chulalongkorn, Thaïlande), W. Naivinit (Université Ubon Ratchathani, Thaïlande), Le Canh Dung (Université Can Tho, Vietnam), T. Raj Gurung (Ministère de l'Agriculture, Bhoutan) ; 20 participants.
- ✚ **1-5 juin 2009, Brisbane (Australie).** Ecole – chercheurs « *Agent-based programming and participatory modelling* » co-animée avec P. Perez et A. Dray (HEMA Consulting) ; 13 participants du CSIRO.
- ✚ **23-27 novembre 2009, Balaruc-les-Bains** Ecole – chercheurs « *La modélisation d'accompagnement : mettre des acteurs en situation pour partager des représentations et simuler des dynamiques* ». Co-animation avec R. Mathevet (CNRS), M. Etienne, V. Souchère (INRA), G. Abrami, O. Barreteau (Cemagref), C. Monteil (INP-ENSAT), C. Barnaud, W. Daré et G. Trébuil (CIRAD) ; 18 participants.
- ✚ **8-12 février 2010, Saint Gilles (La Réunion).** Atelier « *Usage des jeux de rôles en modélisation d'accompagnement : mettre des acteurs en situation pour partager des représentations et simuler des dynamiques* » organisé par l'IRD dans le cadre d'un projet de recherche sur les aires marines protégées. Co-animation avec W. Daré et J. Queste (CIRAD) ; 18 participants.
- ✚ **31 mai – 4 juin 2010, Chateauneuf de Gadagne.** Ecole – chercheurs « *La modélisation d'accompagnement : mettre des acteurs en situation pour partager des représentations et simuler des dynamiques* ». Co-animation avec N. Becu, R. Mathevet (CNRS), M. Etienne, V. Souchère (INRA), O. Barreteau (Cemagref), C. Monteil (INP-ENSAT), A. Botta, W. Daré et G. Trébuil (CIRAD) ; 18 participants.
- ✚ **12-21 juillet 2010, Montpellier.** « *Implementation of agent-based models for renewable resources management with CORMAS* »; 4 participants.
- ✚ **23-27 mai 2011, Chateauneuf de Gadagne.** Ecole – chercheurs « *La modélisation d'accompagnement : mettre des acteurs en situation pour partager des représentations et simuler des dynamiques* ». Co-animation avec N. Becu (CNRS), C. Barnaud, M. Etienne, V. Souchère (INRA), O. Barreteau (Cemagref), W. Daré et G. Trébuil (CIRAD) ; 15 participants.
- ✚ **5-16 septembre 2011, Montpellier.** Ecole d'été « *Designing, implementing and running agent-based models for renewable resources management* » co-animée avec P. Bommel, F. Bousquet, J.-P. Müller, C. Piou (CIRAD), N. Becu (CNRS), N. Ferrand (Cemagref), A. Bah (Ecole Supérieure Polytechnique, Dakar) ; 12 participants.
- ✚ **17-28 septembre 2012, Montpellier.** Ecole d'été « *Designing, implementing and running agent-based models for renewable resources management* » co-animée avec P. Bommel, F. Bousquet, J.-P. Müller, C. Piou (CIRAD), N. Becu (CNRS), G. Abrami (IRSTEA) ; 19 participants.

- ✚ **15-21 février 2013, Mbour (Sénégal).** Ecole – chercheurs « *La modélisation d'accompagnement : mettre des acteurs en situation pour partager des représentations et simuler des dynamiques* ». Co-animation avec A. Bah (Univ. Cheikh Anta Diop, Dakar), W. Daré, P. d'Aquino, I. Touré (CIRAD) ; 15 participants.
- ✚ **23 septembre – 4 octobre 2013, Montpellier.** Ecole d'été « *Multiplatform, International Summer School on Agent-Based Modelling & Simulation* » co-animée avec P. Bommel, F. Bousquet (CIRAD), G. Abrami, B. Bonté (IRSTEA), B. Gaudou (Univ. Toulouse), P. Taillandier (Univ. Rouen) ; 23 participants.
- ✚ **9-11 octobre 2013, Montpellier.** Session de formation « *La modélisation d'accompagnement appliquée à la gestion des Aires Marines Protégées* » co-animée avec M. Dionnet, E. Leteurtre, J.-E. Rougier (Lisode) ; 7 participants.
- ✚ **4-8 novembre 2013, Chateauneuf de Gadagne.** Ecole – chercheurs « *La modélisation d'accompagnement : mettre des acteurs en situation pour partager des représentations et simuler des dynamiques* ». Co-animation avec A. Dray, C. Garcia (ETH Zürich, Suisse), M. Etienne, V. Souchère (INRA), E. Leteurtre (Lisode), G. Abrami, O. Barreteau (Cemagref), W. Daré (CIRAD) ; 21 participants.
- ✚ **24-28 mars 2014, Zürich (Suisse).** Ecole – chercheurs “Companion Modelling Principles and applications with a special focus on facilitation”. Co-conception et co-animation avec A. Dray, C. Garcia (ETH Zürich, Suisse), L. García-Barrios (El Collegio de la Frontera Sur, Mexique), Y. Von-Korff (Lisode), 18 participants.
- ✚ **8-19 septembre 2014, Montpellier.** Ecole d'été « *Multiplatform, International Summer School on Agent-Based Modelling & Simulation* » co-animée avec P. Bommel, F. Bousquet (CIRAD), G. Abrami, B. Bonté (IRSTEA), N. Becu (CNRS), B. Gaudou (Univ. Toulouse), P. Taillandier (Univ. Rouen) ; 19 participants.
- ✚ **21-26 septembre 2014, Wageningen (Pays-Bas).** Postgraduate course « *Companion Modelling Principles and applications with a special focus on facilitation* » co-animée avec E. Speelman (Wageningen Univ., Pays-Bas), Y. von Korff (LISODE), A. Dray, C. Garcia (ETH Zürich, Suisse) ; 16 participants.
- ✚ **16-20 mars 2015, Chateauneuf de Gadagne.** Ecole – chercheurs « *La modélisation d'accompagnement : mettre des acteurs en situation pour partager des représentations et simuler des dynamiques* ». Co-animation avec C. Barnaud, M. Etienne, V. Souchère (INRA), E. Leteurtre (Lisode), W. Daré, G. Trébuil (CIRAD) ; 21 participants.

Interventions dans des sessions de formation continue

- ✚ **4-15 septembre 2000, Martina Franca (Italie).** 1^{ère} école d'été européenne de l'ESMTB (European Society for Mathematical and Theoretical Biology) intitulée « *Spatial structures in biology and ecology: models and methods* ». Coordination et co-animation d'un module intitulé « Computer simulation of populations » (3h).
- ✚ **10-14 mars 2003 & 15-19 mars 2004, Montpellier.** Session de formation « *Statistiques spatiales* » organisée par M. Arnaud (CIRAD). Animation d'un module intitulé « Systèmes multi-agents et dynamiques spatiales » (3h).
- ✚ **17-21 septembre 2007, Vung Tau (Vietnam).** Ecole d'été régionale en informatique de l'Institut de la Francophonie pour l'Informatique (IFI). Animation d'un module de 12h intitulé « *Modélisation et simulation multi-agents* ».
- ✚ **11-30 mai 2008, Bangkok (Thaïlande).** Companion modelling & wetland management (6h), dans le cadre de la 6^{ème} édition d'une formation régionale intitulée « *Wetland ecology and management in the Lower Mekong Basin* » organisée par l'Université Chulalongkorn.

- ✚ **1^{er} décembre 2009, Niamey (Niger).** Intervention sur les SMA et jeux de rôles appliqués à la gestion des ressources renouvelables dans le cadre de la session « gestion intégrée des ressources en eau et de l'environnement » de l'Agence du Bassin du Niger (6h).
- ✚ **2-4 septembre 2010, Montpellier.** Formation « Integrated Assessment of Agricultural Systems at regional level » organisée par SupAgro et IAMM (H. Belhouchette). Co-animation avec G. Trébuil d'un module intitulé "Multi-agent systems in companion modelling for integrated watershed management" (5h).
- ✚ **6-10 juin 2011, Sète.** Ecole chercheurs INRA-CIRAD « Elevage et Environnement en Régions Chaudes ». Intervention intitulée « Modèles de simulation multi-agent. Panorama des applications relatives à l'élevage » (1h).

SEMINAIRES ET ATELIERS SCIENTIFIQUES

Participation à 22 séminaires internationaux dont 5 comme co-organisateur.

Séminaires et ateliers internationaux

- ✚ **8-9 décembre 1997, Rome (Italie).** Co-animation avec D. Babin d'une session de jeu de rôles FishBanks lors d'un atelier organisé par la FAO sur le thème : « *Managing Pluralism for Sustainable Forestry and Rural Development* ».
- ✚ **12-19 octobre 2000, Antananarivo (Madagascar).** Co-animation du tutoriel organisé par Edem Fianyo (IRD) « *Simulation multi-agents pour l'étude des systèmes naturels : théories, plates-formes et exemples d'application* » (6h), dans le cadre de la 5^{ème} édition du Colloque Africain sur la Recherche en Informatique (CARI).
- ✚ **24 mai 2001, São José (Brésil).** Séminaire à l'INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) : « *Using multi-agent systems to simulate the interactions between social and ecological dynamics* ».
- ✚ **3 décembre 2002, Hohenheim (Allemagne).** Participation à un workshop intitulé « *Usefulness of MAS in Agricultural Economics* » Présentation de la mise en œuvre de l'approche ComMod dans la Vallée du fleuve Sénégal (expérience « SelfCormas »).
- ✚ **18 avril 2003, Lisbonne (Portugal).** Séminaire à la Faculté des Sciences et Technologies de l'Université Nouvelle de Lisbonne (UNL) : « *Multi-level spatial entities in agent-based simulations. Computational implementations and field experiments* ».
- ✚ **28 novembre 2003, Kyoto (Japon).** Présentation lors d'un séminaire au « Center for Southeast Asian Studies » (Kyoto University) : « *Role games and Agent-Based Simulations. Collective Learning Processes for Ecosystem Management* ».
- ✚ **5 décembre 2003, Tsukuba (Japon).** Présentation lors d'un séminaire au Japan International Research Center for Agricultural Sciences (JIRCAS) : « *Design and purpose of an ABM of farming activities in Ban Nong Saeng (Khon Kaen, Thailand)* ».
- ✚ **13-15 février 2006, Vientiane (Laos).** Participation à l'atelier régional (bassin du Mékong) du Challenge Programme « Water and Food » intitulé « *Impact Pathways and Most Significant Change* ».
- ✚ **13-17 novembre 2006, Vientiane (Laos).** Participation au forum international du Challenge Programme « Water and Food » intitulé « *Synthesising knowledge on livelihoods, water, food and the environment* ».
- ✚ **10 septembre 2007, Toulouse.** Co-animation (avec F. Bousquet, CIRAD) d'un tutoriel sur la plateforme de simulation multi-agent Cormas lors de la 4^{ème} Conférence de l'Association Européenne de Simulation Sociale (ESSA).

- ✚ **15-16 février 2011, Waterloo (Canada).** Participation à un workshop intitulé « *Methodologies for studying complex systems* » organisé par le « Waterloo Institute for Social Innovation and Resilience » dirigé par Frances Westley.
- ✚ **16 février 2011, Waterloo (Canada).** Présentation de la mise en œuvre d'une modélisation d'accompagnement à Doi Tiew (province de Nan, Thaïlande) dans le cadre d'un séminaire « Land-Change Science » organisé par D. Parker au « Waterloo Institute for Complexity and Innovation » (WICI). 🖨
- ✚ **8 mars 2012, Stockholm (Suède).** Présentation (avec R. Mathevet, CNRS) lors d'un séminaire au Stockholm Resilience Centre : « *Companion Modelling for resilient natural resources management* ».
- ✚ **25-27 mars 2013, Libreville (Gabon).** Membre du comité d'organisation de l'atelier régional « *Scénarios de la biodiversité Africaine* » organisé par la FRB.
- ✚ **18-21 novembre 2013, Las Crusces (Chili).** Participation à un workshop intitulé « *Bridging Scales and Complexities for Conservation: integrating bottom-up social processes into science-based conservation strategies* » organisé par D. Biggs (Univ. Queensland, Australie). Co-animation avec M. Etienne (INRA) d'une session de jeu de rôles FishBanks.
- ✚ **10-11 juillet 2014, Manchester (Angleterre).** Participation à un workshop intitulé « *Validation of agent based/ simulation models in the social sciences* » organisé par B. Edmonds (Manchester Metropolitan University Business School).

Séminaires et ateliers nationaux

- ✚ **25 février 1998, Paris.** Participation au groupe de travail de l'Institut Français de l'Environnement (IFEN) sur la définition d'indicateurs du développement durable.
- ✚ **1^{er} avril 1999, Pau.** Présentation lors d'un séminaire du département de Géographie de l'Université de Pau intitulée « *Modèles de simulation multi-agents pour la gestion des ressources* »
- ✚ **Septembre 2002, Montpellier.** Organisation de la 1^{ère} édition des rencontres annuelles du réseau ComMod.
- ✚ **9-13 septembre 2002, Ouessant.** Participation aux journées scientifiques des réserves de biosphères françaises. Présentation intitulée « *Introduction à l'approche de modélisation d'accompagnement* ».
- ✚ **5 septembre 2007, Montpellier.** Participation à l'atelier sur la modélisation en épidémiologie et économie de la santé animale organisé par le CIRAD. Présentation d'une communication intitulée « *Introduction générale aux modèles individu centrés et aux automates cellulaires - Présentation d'un prototype sur la rage et le contrôle des populations de chiens en Thaïlande* ».
- ✚ **3-4 octobre 2011, Paris.** Invitation à participer au séminaire du groupe Modelisad (animation scientifique sur la modélisation au sein du département SAD de l'INRA) sur le thème « *Quels outils pour la simulation des décisions d'acteurs, en particulier d'agriculteurs* ». Présentation de la plateforme Cormas, co-conception d'un prototype multi-agent d'un modèle « benchmark » de décisions agricoles.
- ✚ **29 mai 2013, Lyon.** Invitation à participer au séminaire « *Les démarches participatives en recherche : une autre façon de communiquer ?* » organisé par le laboratoire junior Com'Eau Labo de l'ENS Lyon. Présentation intitulée « *Les systèmes multi-agents : est-ce la modélisation ou son résultat qui induit une réflexion collective ?* ».

- ✚ **16 décembre 2013, Paris.** Invitation à donner une conférence introductive sur la modélisation d'accompagnement lors de la journée annuelle du réseau ModStatSP (Modélisation et Statistique en Santé des Plantes).
- ✚ **15 octobre 2014, Paris.** Conférencier invité lors de CoMMISCO 2014 (Conférence sur la Modélisation Mathématique et Informatique des Systèmes Complexes. Présentation intitulée : « *Simulation multi-agent interactive : engager des populations locales dans des processus participatifs pour penser la gestion adaptative des systèmes socio-écologiques* »).

AUTRES ACTIVITES LIEES A LA RECHERCHE

Productions audio-visuelles

- ✚ **2006, Université Chulalongkorn - CIRAD.** Conception de modules e-Learning sur la modélisation d'accompagnement « ComMod in a nutshell ». <http://www.ecole-commod.sc.chula.ac.th/speechi/introductionToComMod/speechi.html>
- ✚ **2007-2008, CIRAD.** Conception de tutoriels pour l'apprentissage de la plateforme de simulation multi-agents CORMAS. <http://cormas.cirad.fr/en/outil/classroom/>
- ✚ **2008, UVED (Université Virtuelle Environnement et Développement Durable).** Co-conception d'un module intitulé « Les nouvelles approches pour l'accompagnement des acteurs à la gestion des ressources renouvelables et des territoires ». <http://www.uved.fr/ressources-pedagogiques-numeriques/accompagnement.html>
- ✚ **2009, projet ECHEL-Eau.** Enregistrement et mise en ligne de la formation intitulée « Companion Modelling for Integrated Renewable Resource Management ». [CPWF PN25 website](#)
- ✚ **2012, Comité MAB France.** Vidéo « *Les réserves de biosphère sont-elles propices au développement durable ?* » 

Comités de programme de conférences

- ✚ Conférence **ABS** (Agent-Based Simulation), organisée par SCS (Society for Modeling and Simulation International). Edition de 2003 à Montpellier.
- ✚ Conférence de l'**ESSA** (European Social Simulation Association). Editions de 2003 à Groningen (Pays-Bas), 2004 à Valladolid, 2007 à Toulouse et 2009 à Guildford.
- ✚ Workshop **MABS** (Multi-Agent-Based Simulation). Editions de 2002 (Bologne, Italie), 2003 (Melbourne, Australie)
- ✚ Workshop **Model-2-Model** (Exploration des relations entre modèles de simulation multi-agents). Edition de 2003 à Marseille.
- ✚ Workshop **MAMABS'04** (Joint Workshop on Multi-Agent and Multi-Agent-Based Simulation), New York, juillet 2004.
- ✚ Conférence **CABM-HEMA-SMAGET** (joint conference on Multi-Agent Modelling for Environmental Management), Les Arcs, 21-25 mars 2005.
- ✚ Conférence **MODSIM** (Congress on Modelling and Simulation organized by the Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand). Melbourne, 2005.
- ✚ Conférence **JFSMA** (Journées Francophones sur les Systèmes Multi-Agents). Editions de 2006 à Annecy, 2007 à Carcassonne, 2008 à Brest.
- ✚ Colloque Africain sur la Recherche en Informatique, Cotonou (Benin), novembre 2006.

- ✚ Atelier Aide à la Décision à tous les Etages **AIDE@EGC2012**, Bordeaux, janvier 2012.
- ✚ Workshop on Agent-Based modeling and Simulation of complex systems: Engineering and Applications (**ABSEA**), Salamanque (Espagne), juin 2014.
- ✚ Conférence **Resilience 2014**, Montpellier, mai 2014.

Organisation de sessions dans des conférences

- ✚ **8-9 mars 2002, Sousse (Tunisie)**, conférence de l'**ISEE** (International Society for Ecological Economics). Co-organisateur avec O. Barreteau (Cemagref) et P. d'Aquino (CIRAD) d'une session thématique intitulée « *Role games, models and negotiation* ».
- ✚ **29 juin – 3 juillet 2009, Singapour**. Organisateur d'une session thématique « *Ressources renouvelables* » dans le cadre de la conférence internationale **ISAGA** (International Simulation and Gaming Association).
- ✚ **4 mai 2014, Montpellier**. Co-organisateur avec R. Mathevet (CNRS) et D. Bings (Univ. Of Queensland, Australie) d'une session thématique intitulée « *Resilience and Conservation* » dans le cadre de la conférence internationale **Resilience 2014**.
- ✚ **7 mai 2014, Montpellier**. Organisateur d'un atelier de démonstration de 8 jeux de rôles appliqués à la thématique de la gestion des ressources renouvelables dans le cadre de la conférence internationale **Resilience 2014**.

Relecture d'articles

- ✚ Agronomy for Sustainable Development. 2007 [1].
- ✚ Animal Research. 2003 [1].
- ✚ Current Anthropology. 2007 [1].
- ✚ Ecological Modelling. 2001 [2].
- ✚ Environmental Modelling & Software. 2008 [1]; 2009 [2]; 2011 [1]; 2013 [1]; 2014 [1].
- ✚ Geomatica. 2012 [1].
- ✚ Journal of Applied Ecology. 2011 [1].
- ✚ Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2007 [1]; 2009 [1]; 2010 [1]; 2012 [1]; 2013 [1]; 2014 [1].
- ✚ Journal of Environmental Management. 2003 [1].
- ✚ Journal of Land Use Science. 2009 [1].
- ✚ Land Use Policy. 2007 [1]; 2014 [1].
- ✚ Natures Sciences Sociétés. 2002 [1].
- ✚ Simulation & Gaming. 2009 [1]; 2010 [1]; 2012 [1]; 2013 [1].
- ✚ Studia Informatica Universalis. 2011 [2].
- ✚ World Development. 2013 [1].

Co-édition de numéros spéciaux

- ✚ **2003. Journal of Artificial Societies and Social Simulation**. Co-éditeur avec O. Barreteau et P. d'Aquino d'un numéro spécial « *Role-playing games, models and negotiation processes* ».
- ✚ **2007. Simulation & Gaming**. Co-éditeur avec O. Barreteau et P. Perez d'un numéro spécial « *Simulation and gaming in natural resource management* ».

Expertise de projets scientifiques

- ✚ **Décembre 2006**, évaluateur d'un projet pour le réseau GEOIDE (GÉOmatique pour des Interventions et des Décisions Éclairées) du programme « Réseaux de Centres d'Excellence » du gouvernement du Canada.
- ✚ **Avril 2010**, évaluateur d'un projet de recherche (volet « émergence collective ») du CRRDT (Comité Consultatif Régional de la Recherche et du Développement Technologique) de la Région Pays de la Loire.
- ✚ **Avril 2011**, évaluateur de l'appel à projets 2011 du programme phare « modélisation et scénarios de la biodiversité » de la FRB.
- ✚ **Septembre 2011**, évaluateur d'un projet du programme ANR Blanc International II - SVSE 7 - Biodiversité, évolution, écologie et agronomie.
- ✚ **Janvier 2012**, évaluateur du second appel à projets 2011 de l'UVED (Université Virtuelle Environnement & Développement Durable).
- ✚ **Août 2012**, évaluateur d'un projet du méta programme ACCAF « Adaptation au Changement Climatique de l'Agriculture et de la Forêt » de l'INRA.
- ✚ **Janvier 2013**, évaluateur de l'appel à projets 2012 de l'UVED.
- ✚ **Mai 2013**, évaluateur d'un projet du programme ANR SOCENV « Sociétés, Changements Climatiques et Environnementaux ».
- ✚ **Juin 2013**, évaluateur de l'appel à projets 2013 de l'UVED.
- ✚ **Octobre 2013**, évaluateur de l'appel à projets 2013 du programme phare « modélisation et scénarios de la biodiversité » de la FRB (Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité). Financement Fonds Français pour l'Environnement Mondial (FFEM) sur le thème « *Scénarios de la biodiversité en Afrique subsaharienne* ».
- ✚ **Août 2014**, évaluateur d'un projet du programme de recherche et d'innovation « Food & Business Global Challenges Programme » (GCP) de l'Organisation pour la Recherche Scientifique (NWO) et du Ministère des Affaires Etrangères des Pays-Bas.

Participation à des jurys de recrutement

- ✚ **2002**. Poste de chercheur au CIRAD, équipe « pôle Pastoral Zone Sèche » au Sénégal. Profil : modélisateur des interactions entre dynamiques écologiques et sociales.
- ✚ **27 janvier 2014**. Poste de chercheur à l'IFREMER, Unité d'Economie Maritime au sein de l'Unité Mixte de Recherche AMURE. Profil : modélisateur écologie-économie.

Participation à des comités scientifiques

- ✚ **Depuis 2011**. Membre du comité de programme phare « scénarios de la biodiversité » de la Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité
- ✚ **Depuis 2012**. Membre du bureau du comité français du programme l'homme et la biosphère (MAB) de l'UNESCO.
- ✚ **Depuis 2012**. Membre du conseil scientifique de l'Université Virtuelle Environnement et Développement Durable (UVED).
- ✚ **Depuis 2013**. Membre élu du bureau exécutif du réseau international « Computational Modeling for SocioEcological Science » (CoMSES).
- ✚ **Depuis 2015**. Membre du conseil scientifique du Parc Amazonien de Guyane.

Gestion de la recherche

- ✚ **Juin 2001 - septembre 2002, Montpellier.** Responsable de l'équipe Green au sein du programme « Espaces et Ressources » du département TERA (12 permanents).
- ✚ **Juin 2006 – octobre 2007, Bangkok (Thaïlande).** Coordinateur français du projet de collaboration CU-CIRAD (« *Collective learning processes for integrated renewable resource management in Southeast Asia : companion modelling for resilient ecological and social systems* ») associant l'équipe d'écologie tropicale du département de biologie de l'Université Chulalongkorn et l'unité de recherche Green du CIRAD.

ANNEXE 2 : LISTE DE PUBLICATIONS

- 46 articles dans des revues à comité de lecture dont **29 dans des revues à facteur d'impact** (5 en 1^{er} auteur et 10 en 2^{ème} auteur)
- **38 chapitres d'ouvrage** (dont 9 en 1^{er} auteur)
- **3 conférences invitées** (dont 2 dans des congrès internationaux);
- 45 communications dans des conférences internationales avec actes.

ARTICLES DANS DES REVUES INTERNATIONALES OU NATIONALES AVEC COMITE DE LECTURE

Nom de la revue	IF 2012	Nb	1 ^{er} auteur	2 ^{ème} auteur
<i>Adaptive Behavior</i>	1,113	1	1	
<i>African journal of agricultural research</i>		1		
<i>Agricultural Systems</i>	2.504	1		
<i>Annales des Mines. Responsabilité & Environnement</i>		1		1
<i>Aquatic Living Resources</i>	1,071	1		
<i>Cahiers Agricultures</i>	0,597	1		
<i>Can. J. Fish. Aquat. Sc.</i>	2,323	1	1	
<i>Computers, Environment and Urban Systems</i>		1		1
<i>Conservation Ecology</i>		1		
<i>Ecological Modelling</i>	2,069	6		3
<i>Environmental Modelling & Software</i>	3,476	5		2
<i>Int. J. of Agricultural Resources, Governance and Ecology</i>		1		1
<i>Int. J. of sustainable development and world ecology</i>	1,213	1		1
<i>Journal of Artificial Societies and Social Simulation</i>	0,713	8	2	4
<i>Journal of Land Use Science</i>		1		1
<i>L'information géographique</i>		1		1
<i>Mathematical and Computer Modelling</i>	1,42	2	1	
<i>Natures Sciences Sociétés</i>		1		
<i>Revue Internationale de Géomatique</i>		4		3
<i>Simulation & Gaming</i>		5	1	3
<i>Society & Natural Resources</i>	1,034	1		
<i>Water Policy</i>	1,603	1		

Table 1. Distribution des publications dans des revues à comité de lecture

- ✚ [ACL01] Le Page C., Cury P. 1995. Age-dependent fecundity and the dynamics of a density-dependent population model. *Mathematical and Computer Modelling* **6** : 13-26. [doi:10.1016/0895-7177\(95\)00020-3](https://doi.org/10.1016/0895-7177(95)00020-3)
- ✚ [ACL02] Le Page C., Cury P. 1996. How spatial heterogeneity influences population dynamics : simulations in SeaLab. *Adaptive Behavior* **4**(3/4) : 255-281. [doi:10.1177/105971239600400303](https://doi.org/10.1177/105971239600400303)
- ✚ [ACL03] Le Page C., Cury P. 1997. Population viability and spatial fish reproductive strategies in constant and changing environments: an individual-based modelling approach. *Can. J. Fish. Aquat. Sc.* **54**(10) : 2235-2246. [doi:10.1139/f97-132](https://doi.org/10.1139/f97-132)

- ✦ [ACL04] Anneville O., Cury P., Le Page C., Treuil J.-P. 1998. Modelling fish spatial dynamics and local density-dependence relationships: detection of patterns at a global scale. *Aquatic Living Resources* **11**(5): 305-314.
[doi:10.1016/S0990-7440\(98\)80001-6](https://doi.org/10.1016/S0990-7440(98)80001-6)
- ✦ [ACL05] Bonin M., Le Page C. 2000. SIG, SMA, connaissances et gestion de l'espace : le cas du Massif de Tanargue. *Revue Internationale de Géomatique* **10**: 131-155.
- ✦ [ACL06] Bousquet F., Le Page C., Bakam I., Takforyan, A. 2001. Multiagent simulations of hunting wild meat in a village in eastern Cameroon. *Ecological Modelling* **138**: 331-346. [doi:10.1016/S0304-3800\(00\)00412-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00412-9)
- ✦ [ACL07] d'Aquino P., Le Page C., Bousquet F., Bah A. 2002. Jeux de rôles, SIG et SMA pour la gestion territoriale... Et si les acteurs-décideurs construisaient leurs propres outils? *Annales des Mines. Responsabilité & Environnement* **27**: 67-82.
<http://www.annales.org/re/2002/re27/aquino067-082.pdf>
- ✦ [ACL08] d'Aquino P., Le Page C., Bousquet F., 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* **2**(1): 59-74.
[doi:10.1504/IJARGE.2002.000022](https://doi.org/10.1504/IJARGE.2002.000022)
- ✦ [ACL09] d'Aquino P., Le Page C., Bousquet F., Bah A. 2002. Une expérience de conception directe de SIG et de SMA par les acteurs dans la vallée du Sénégal. *Revue Internationale de Géomatique* **12**(4): 517-542.
[doi:10.3166/ri.12.517-542](https://doi.org/10.3166/ri.12.517-542)
- ✦ [ACL10] d'Aquino P., Le Page C., Bousquet F., Bah A. 2002. Du jeu de rôle à la simulation: pour des systèmes d'information à référence spatiale conçus directement par les acteurs. *L'information géographique* **66**(4): 310-324.
http://www.armand-colin.com/download_pdf.php?idd=0&cr=34&idr=6&idart=2527
- ✦ [ACL11] Ginot V., Le Page C., Souissi S. 2002. A multi-agents architecture to enhance end-user individual-based modelling. *Ecological Modelling* **157**: 23-41.
[doi:10.1016/S0304-3800\(02\)00211-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00211-9)
- ✦ [ACL12] Lynam T., Bousquet F., d'Aquino P., Barreteau O., Le Page C., Chinembiri F., Mombeshora B. 2002. Adapting science to adaptive managers: Spidergrams, belief models, and multi-agent systems modeling. *Conservation Ecology* **5**(2): 24.
<http://www.consecol.org/vol5/iss2/art24/>
- ✦ [ACL13] Barreteau O., Le Page C., d'Aquino P. 2003. Role-playing games, models and negotiation processes. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* **6**(2) : 10.
<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/2/10.html>
- ✦ [ACL14] Collectif ComMod. 2003. Our companion modelling approach. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* **6**(2) : 1.
<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/2/1.html>
- ✦ [ACL15] Becu N., Perez P., Walker A., Barreteau O., Le Page C. 2003. Agent based simulation of a small catchment water management in northern Thailand. Description of the CATCHSCAPE model. *Ecological Modelling* **170**(2-3) : 319-331.
[doi:10.1016/S0304-3800\(03\)00236-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(03)00236-9)
- ✦ [ACL16] d'Aquino P., Le Page C., Bousquet F., Bah A. 2003. Using self-designed role-playing games and a multi-agent system to empower a local decision-making process for land use management: The SelfCormas experiment in Senegal. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* **6**(3): 5
<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/3/5.html>

- ✚ [ACL17] Etienne M., Le Page C., 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): 2
<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/2/2.html>
- ✚ [ACL18] Mathevet R., Bousquet F., Le Page C., 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**(2/3): 107-126.
[doi:10.1016/S0304-3800\(03\)00098-X](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(03)00098-X)
- ✚ [ACL19] Bousquet F., Le Page C. 2004. Multi-agent simulations and ecosystem management : A review. *Ecological Modelling* **176** : 313-332.
[doi:10.1016/j.ecolmodel.2004.01.011](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.01.011)
- ✚ [ACL20] Ducrot R., Le Page C., Bommel P., 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**(1-2) : 85-106.
[doi:10.1016/S0198-9715\(02\)00066-2](https://doi.org/10.1016/S0198-9715(02)00066-2)
- ✚ [ACL21] Collectif ComMod. 2005. La modélisation comme outil d'accompagnement. *Natures Sciences Sociétés* **13** : 165-168.
[doi:10.1051/nss:2005023](https://doi.org/10.1051/nss:2005023)
- ✚ [ACL22] Houdart M., Bonin M., Le Page C., Fort M., Saudubray F. 2005. SIG, chorèmes et systèmes multi-agent. Evolution d'un système rural martiniquais et pression polluante. *Revue Internationale de Géomatique* **15**(3) : 339-356.
[doi:10.3166/ri.15.339-356](https://doi.org/10.3166/ri.15.339-356)
- ✚ [ACL23] Bah A., Touré I., Le Page C., Ickowicz A., Diop A.T. 2006. An agent-based model to understand the multiple uses of land and resources around drillings in Sahel. *Mathematical and Computer Modelling* **44**(5-6) : 513-534.
[doi:10.1016/j.mcm.2005.02.014](https://doi.org/10.1016/j.mcm.2005.02.014)
- ✚ [ACL24] Dray A., Perez P., Iones N., Le Page C., D'Aquino P., 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) : 6.
<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/9/1/6.html>
- ✚ [ACL25] Barreteau O., Le Page C., Perez P. 2007. Simulation and gaming in natural resource management. *Simulation & Gaming* **38**(2) : 181-184.
[doi:10.1177/1046878107300657](https://doi.org/10.1177/1046878107300657)
- ✚ [ACL26] Barreteau O., Le Page C., Perez P. 2007. Contribution of simulation and gaming to natural resource management issues: an introduction. *Simulation & Gaming* **38**(2) : 185-194.
[doi:10.1177/1046878107300660](https://doi.org/10.1177/1046878107300660)
- ✚ [ACL27] Dray A., Perez P., Le Page C., d'Aquino P., White I.M. 2007. Who wants to terminate the game? The role of vested interests and metaplayers in the AtollGame experience. *Simulation & Gaming* **38**(4) : 494-511.
[doi:10.1177/1046878107300673](https://doi.org/10.1177/1046878107300673)
- ✚ [ACL28] Mathevet R., Le Page C., Etienne M., Lefebvre G., Poulin B., Gigot G., Proréol S., Mauchamp A. 2007. ButorStar: a Role-Playing Game for Collective Awareness of Reedbed Wise Use. *Simulation and Gaming* **38**(2) : 233-262.
[doi:10.1177/1046878107300665](https://doi.org/10.1177/1046878107300665)
- ✚ [ACL29] Abrami G., Bazile D., Trébuil G., Le Page C., Bousquet F., Dionnet M., Vejpas C. 2008. Accompagner l'évolution des systèmes semenciers céréaliers au Mali et en Thaïlande. *Cahiers Agricultures* **17**(2) : 210-215.
http://www.jle.com/fr/revues/agro_biotech/agr/e-docs/00/04/3C/AA/article.phtml

- ✚ [ACL30] Farolfi S., Erasmus L., Le Page C., Bommel P. 2008. Combining multi-agent simulations and cost-benefit analysis to evaluate policy options for the management of livestock effluents in Réunion Island. *African journal of agricultural research* **3**(10) : 650-666.
<http://www.academicjournals.org/ajar/PDF/pdf%202008/Oct/Farolfi%20et%20al.pdf>
- ✚ [ACL31] Mathevet R., Le Page C., Etienne M., Poulin B., Lefebvre G., Cazin F., Ruffray X. 2008. Des roselières et des hommes. ButorStar: un jeu de rôles pour l'aide à la gestion collective. *Revue Internationale de Géomatique* **18**(3) : 375-395.
[doi:10.3166/geo.18.375-395](https://doi.org/10.3166/geo.18.375-395)
- ✚ [ACL32] Dung L.C., Hoanh C.T., Le Page C., Bousquet F., Gajaseni N. 2009. Facilitating dialogue between aquaculture and agriculture: Lessons from role-playing games with farmers in the Mekong Delta, Vietnam. *Water Policy* **11**(S1) : 80-93.
[doi:10.2166/wp.2009.105](https://doi.org/10.2166/wp.2009.105)
- ✚ [ACL33] Levrel H., Etienne M., Kerbirou C., Le Page C., Rouan M., 2009. Co-modeling process, negotiations and power relationships: some outputs from a MAB project on the island of Ouessant. *Society & Natural Resources* **22**(2) : 172-188.
[doi:10.1080/08941920801985817](https://doi.org/10.1080/08941920801985817)
- ✚ [ACL34] Vinatier F., Tixier P., Le Page C., Duyck P.F., Lescourret F. 2009. COSMOS, a spatially explicit model to simulate the epidemiology of *Cosmopolites sordidus* in banana fields. *Ecological Modelling* **220**(18) : 2244-2254.
[doi:10.1016/j.ecolmodel.2009.06.023](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.06.023)
- ✚ [ACL35] Anselme B., Bousquet F., Lyet A., Etienne M., Fady B., Le Page C. 2010. Modelling of spatial dynamics and biodiversity conservation on Lure mountain (France). *Environmental Modelling & Software* **25**(11) : 1385-1398.
[doi:10.1016/j.envsoft.2009.09.001](https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.09.001)
- ✚ [ACL36] Naivinit W., Le Page C., Trébuil G., Gajaseni N. 2010. Participatory agent-based modeling and simulation of rice production and labor migrations in Northeast Thailand. *Environmental Modelling & Software* **25** (11) : 1345-1358.
[doi:10.1016/j.envsoft.2010.01.012](https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.01.012)
- ✚ [ACL37] Ruankaew N., Le Page C., Dumrongrojwathana P., Barnaud C., Gajaseni N., Van Paassen A., Trébuil G. 2010. Companion modeling for integrated renewable resource management: a new collaborative approach to create common values for sustainable development. *International journal of sustainable development and world ecology* **17**(1) : 15-23. [doi:10.1080/13504500903481474](https://doi.org/10.1080/13504500903481474)
- ✚ [ACL38] Souchère V., Millair L., Echeverria J., Bousquet F., Le Page C., Etienne M. 2010. Co-constructing with stakeholders a role-playing game to initiate collective management of erosive runoff risks at the watershed scale. *Environmental Modelling & Software* **25**(11) : 1359-1370.
[doi:10.1016/j.envsoft.2009.03.002](https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.03.002)
- ✚ [ACL39] Worrappimphong K., Gajaseni N., Le Page C., Bousquet F. 2010. A companion modeling approach applied to fishery management. *Environmental Modelling & Software* **25**(11) : 1334-1344.
[doi:10.1016/j.envsoft.2010.03.012](https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.03.012)
- ✚ [ACL40] Barreteau O., Le Page C. 2011. Using social simulation to explore the dynamics at stake in participatory research. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* **14**(4) : 12.
<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/14/4/12.html>
- ✚ [ACL41] Dumrongrojwathana P., Le Page C., Gajaseni N., Trébuil G. 2011. Co-constructing an agent-based model to mediate land use conflict between herders and

foresters in northern Thailand. *Journal of Land Use Science* 6(2-3): 101-120.
[doi:10.1080/1747423X.2011.558596](https://doi.org/10.1080/1747423X.2011.558596)

- ✚ [ACL42] Le Page C., Becu N., Bommel P., Bousquet F. 2012. Participatory agent-based simulation for renewable resource management: the role of the Cormas simulation platform to **nurture** a community of practice. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 15(1): 10.
<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/15/1/10.html>
- ✚ [ACL43] Barnaud C., Le Page C., Dumrongrojwattana P., Trébuil G. 2013. Spatial representations are not neutral: Lessons from a participatory agent-based modelling process in a land-use conflict. *Environmental Modelling & Software* 45: 150-159.
[doi:10.1016/j.envsoft.2011.11.016](https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.11.016)
- ✚ [ACL44] Le Page C., Bobo Kadiri S., Kamgaing Towa O.W., Ngahane Bobo F., Waltert M. 2015. Interactive simulations with a stylized scale model to codesign with villagers an agent-based model of bushmeat hunting in the periphery of Korup National Park (Cameroon). *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 18(1): 8.
<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/18/1/8.html>
- ✚ [ACL45] Delmotte S., Barbier J.-M., Mouret J.C., Le Page C., Wery J., Chauvelon P., Sandoz A., Lopez-Ridaura S. 2016. Participatory integrated assessment of scenarios for organic farming at different scales in Camargue, France. *Agricultural Systems* 143: 147-158.
- ✚ [ACL46] Le Page C., Dray A., Garcia C., Perez P. 2016. Exploring how knowledge and communication influence natural resources management with REHAB. *Simulation & Gaming* 47(2): 257-284.
<http://dx.doi.org/10.1177/1046878116632900>

CHAPITRES D'OUVRAGE

- ✚ [CO-01] Bousquet F., Barreteau O., Le Page C., Mullon C., Weber J. 1999. An environmental modelling approach. The use of multi-agents simulations. In F. Blasco, A. Weill (Eds), *Advances in Environmental and Ecological Modelling* (pp. 113-122). Paris : Elsevier.
- ✚ [CO-02] Bousquet F., Le Page C. 2001. Systèmes multi-agents et écosystèmes. In J.-P. Briot, Y. Demazeau (Eds), *Principes et architecture des systèmes multi-agents* (pp 235-266). Paris : Hermès.
- ✚ [CO-03] d'Aquino P., Etienne M., Barreteau O., Le Page C., Bousquet F. 2001. Jeux de rôle et simulations multi-agents. In E. Malézieux, G. Trébuil, M. Jaeger (Eds), *Modélisation des agroécosystèmes et aide à la décision* (pp. 373-390). Paris : INRA – CIRAD Editions.
- ✚ [CO-04] Bousquet F., Barreteau O., d'Aquino P., Etienne M., Boissau S., Aubert S., Le Page C., Babin D., Castella J.-C. 2002. Multi-agent systems and role games: collective learning processes for ecosystem management. In M. Janssen (Ed), *Complexity and ecosystem management: The theory and practice of multi-agent approaches* (pp. 248-285). Cheltenham : Edward Elgar Publishing.
- ✚ [CO-05] Lynam T., Bousquet F., d'Aquino P., Barreteau O., Le Page C., Chinembiri F., Mombeshora B. 2003. Adapting science to adaptive managers: Spidergrams, belief models, and multi-agent systems modeling. In B.M. Campbell, J.A. Sayer (Eds), *Integrated natural resources management: linking productivity, the environment and development* (pp. 157-174). Wallingford: CABI Publishing.

- ✚ [CO-06] Bousquet F., Le Page C., Antona M., Guizol P. 2004. Ecological scales and use rights: the use of multi-agent systems. In D. Babin (Ed), *Beyond tropical deforestation. From tropical deforestation to forest cover dynamics and forest development* (pp. 379-394). Paris : UNESCO-CIRAD.
- ✚ [CO-07] Le Page C., Bommel P. 2005. A methodology for building agent-base simulations of common-pool resources management: from a conceptual model designed with UML to its implementation in CORMAS. In F. Bousquet, G. Trébuil, B. Hardy (Eds), *Companion modeling and multi-agent systems for integrated natural resource management in Asia* (pp. 327-349). Metro Manila : IRRI.
- ✚ [CO-08] Trébuil G., Bousquet F., Ekasingh B., Baron C., Le Page C. 2005. A multi-agent model linked to a GIS to explore the relationship between crop diversification and the risk of land degradation in northern Thailand highlands. In F. Bousquet, G. Trébuil, B. Hardy (Eds), *Companion modeling and multi-agent systems for integrated natural resource management in Asia* (pp. 167-190). Metro Manila : IRRI.
- ✚ [CO-09] Bousquet F., Barnaud C., Barreteau O., Cernesson F., Dumrongrojwatthana P., Le Canh Dung, Ekasingh B., Gajaseeni N., Chu Thai Hoanh, Le Page C., Naivinit W., Promburom P., Raj Gurung T., Ruankaew N., Trébuil G. 2006. Companion modelling for resilient water management. In D. Despréaux, E. Frison, B. Hubert, M. Lantin, D. Rocchi D. (Eds), *France and the CGIAR: delivering scientific results for agricultural development* (pp. 98-101). Washington : CGIAR.
- ✚ [CO-10] Collectif ComMod. 2006. Modélisation d'accompagnement. In F. Amblard, D. Phan (Eds), *Modélisation et simulation multi-agents. Applications pour les sciences de l'homme et la société* (pp. 217-228). Paris : Hermes & Lavoisier.
- ✚ [CO-11] Dray A., Perez P., Le Page C., d'Aquino P., White I.M. 2006. AtollGame: a companion modelling experience in the Pacific. In P. Perez, D. Batten (Eds), *Complex science for a complex world: exploring human ecosystems with agents* (pp. 255-280). Canberra : ANU Press.
- ✚ [CO-12] Collectif ComMod. 2009. La posture d'accompagnement des processus de prise de décision : les références et les questions transdisciplinaires. In D. Hervé, F. Laloë (Eds), *Modélisation de l'environnement : entre natures et sociétés* (pp. 71-89). Versailles : Editions Quæ.
- ✚ [CO-13] Becu N., Bommel P., Botta A., Le Page C., Perez P. 2010. Les technologies mobilisées pour l'accompagnement. In M. Etienne (Ed), *La modélisation d'accompagnement. Une démarche participative en appui au développement durable* (pp. 183-201). Versailles : Editions Quæ.
- ✚ [CO-14] Ducrot R., Botta A., d'Aquino P., Antona M., Abrami G., Farolfi S., Müller J.-P., Lagarielle E., Le Page C. 2010. Changement d'échelle et niveaux d'organisation multiples. In M. Etienne (Ed), *La modélisation d'accompagnement. Une démarche participative en appui au développement durable* (pp. 251-275). Editions Quæ.
- ✚ [CO-15] Etienne M., Bousquet F., Le Page C., Trébuil G. 2010. Transférer la démarche de modélisation d'accompagnement. In M. Etienne (Ed), *La modélisation d'accompagnement. Une démarche participative en appui au développement durable* (pp. 277-293). Versailles : Editions Quæ.
- ✚ [CO-16] Le Page C., Abrami G., Barreteau O., Becu N., Bommel P., Botta A., Dray A., Monteil C., Souchère V. 2010. Des modèles pour partager des représentations. In M. Etienne (Ed), *La modélisation d'accompagnement. Une démarche participative en appui au développement durable* (pp. 71-101). Versailles : Editions Quæ.

- ✚ [CO-17] Becu N., Bommel P., Botta A., Le Page C., Perez P. 2011. How do participants view the technologies used in companion modelling? In M. Etienne (Ed), *Companion modelling. A participatory approach to support sustainable development* (pp. 169-186). Versailles : Editions Quæ.
- ✚ [CO-18] Bonté B., Penot E., Le Page C., Tourrand J.-F. 2011. Liaison d'un outil de modélisation d'exploitations agricoles (Olympe) avec une plateforme de modélisation multi-agents (Cormas). In E. Penot (Ed), *Exploitations agricoles, stratégies paysannes et politiques publiques. Les apports du modèle Olympe* (pp. 287-298). Versailles : Editions Quæ.
- ✚ [CO-19] Ducrot R., Botta A., d'Aquino P., Antona M., Abrami G., Farolfi S., Müller J.-P., Lagarielle E., Le Page C. 2011. The companion modelling approach: dealing with multiple scales and multiple levels of organization. In M. Etienne (Ed), *Companion modelling. A participatory approach to support sustainable development* (pp. 231-253). Versailles : Editions Quæ.
- ✚ [CO-20] Etienne M., Bousquet F., Le Page C., Trébuil G. 2011. Transferring the ComMod approach. In M. Etienne (Ed), *Companion modelling. A participatory approach to support sustainable development* (pp. 255-270). Versailles : Editions Quæ.
- ✚ [CO-21] Le Page C., Abrami G., Barreteau O., Becu N., Bommel P., Botta A., Dray A., Monteil C., Souchère V. 2011. Models for sharing representations. In M. Etienne (Ed), *Companion modelling. A participatory approach to support sustainable development* (pp. 69-96). Versailles : Editions Quæ.
- ✚ [CO-22] Le Page C., Barreteau O. 2013. Quelques élucubrations sur Jacques Weber et la modélisation. In: M. Bouamrane, M. Antona, R. Barbault, M.-C. Cormier-Salem (Eds), *Rendre possible. Jacques Weber, itinéraire d'un économiste passe-frontières* (pp. 167-177). Versailles : Editions Quæ.
- ✚ [CO-23] Le Page C., Bazile D., Becu N., Bommel P., Bousquet F., Etienne M., Mathevet R., Souchère V., Trébuil G., Weber J. 2013. Agent-based modelling and simulation applied to environmental management. In: B. Edmonds, R. Meyer (Eds), *Simulating Social Complexity: A Handbook* (pp. 499-540). New York : Springer.
- ✚ [CO-24] Bousquet F., Mathevet R., Le Page C. 2014. Modélisation d'accompagnement et modèles multi-agents appliqués à la conservation de la biodiversité. In : M. Gauthier-Clerc, F. Mesléard, J. Blondel (eds), *Ecologie de la conservation* (pp. 231-236). Louvain-la-Neuve : DeBoek Editions.
- ✚ [CO-25] Le Page C., Naivinit W., Trébuil G., Gajaseni N. 2014. Companion Modelling with rice farmers to characterize and parameterise an agent-based model on the land/water use and labour migration in Northeast Thailand. In: A. Smajgl, O. Barreteau (Eds), *Empirical agent-based modelling - challenges and solutions* (pp. 207-221). New York : Springer.
- ✚ [CO-26] Lopez-Ridaura S., Delmotte S., Le Page C., Le Quéré L., Goulevant G., Chauvelon P., Sandoz A., Mouret J.C. 2014. Multi-scale integrated assessment of regional conversion to Organic Farming. In: S. Bellon, S. Penvern (Eds), *Organic farming, prototype for sustainable agricultures* (pp. 453-466). Dordrecht : Springer.
- ✚ [CO-27] Barnaud C., Dumrongrojwattana P., Le Page C., Gajaseni N., Trébuil G. 2015. Conflit entre deux communautés montagnardes et un parc national au nord de la Thaïlande. In: M. Etienne (Ed), *La modélisation d'accompagnement: partager des représentations, simuler des dynamiques*, (pp. 237-252). INRA – FormaSciences.
- ✚ [CO-28] Barreteau O., Daré W., Dray A., Etienne M., Le Page C., Leteurtre E., Souchère V., Trébuil G. 2015. De multiples ajustements. In: M. Etienne (Ed), *La modélisation*

d'accompagnement: partager des représentations, simuler des dynamiques, (pp. 25-30). INRA – FormaSciences.

- ✚ [CO-29] Daré W., Venot J.P., Le Page C. 2015. Favoriser un dialogue multi-niveaux pour limiter l'impact des inondations dans un sous-bassin de la Volta. In: M. Etienne (Ed), *La modélisation d'accompagnement: partager des représentations, simuler des dynamiques*, (pp. 187-204). INRA – FormaSciences.
- ✚ [CO-30] Dray A., Le Page C., Etienne M. 2015. Briser la glace: de CherIng à ReHab. In: M. Etienne (Ed), *La modélisation d'accompagnement: partager des représentations, simuler des dynamiques*, (pp. 134-139). INRA – FormaSciences.
- ✚ [CO-31] Etienne M., Le Page C., Bousquet F. 2015. Le collectif ComMod: modélisation et accompagnement. In: M. Etienne (Ed), *La modélisation d'accompagnement: partager des représentations, simuler des dynamiques*, (pp. 13-23). INRA – FormaSciences.
- ✚ [CO-32] Le Page C., Abrami G., Barreteau O., Becu N., Bommel P., Bonte B., Monteil C. 2015. Concevoir et développer un modèle informatique. In: M. Etienne (Ed), *La modélisation d'accompagnement: partager des représentations, simuler des dynamiques*, (pp. 95-112). INRA – FormaSciences.
- ✚ [CO-33] Le Page C., Barreteau O. 2015. Simuler des dynamiques. In: M. Etienne (Ed), *La modélisation d'accompagnement: partager des représentations, simuler des dynamiques*, (pp. 164-168). INRA – FormaSciences.
- ✚ [CO-34] Le Page C., Raj Gurung T., Trébuil G. 2015. Améliorer la compréhension d'un conflit d'accès aux pâturages naturels à Radi, est du Bhoutan. In: M. Etienne (Ed), *La modélisation d'accompagnement: partager des représentations, simuler des dynamiques*, (pp. 253-268). INRA – FormaSciences.
- ✚ [CO-35] Leteurtre E., Dray A., Le Page C., Souchère V., Daré W. 2015. Accompagner, c'est aussi faciliter. In: M. Etienne (Ed), *La modélisation d'accompagnement: partager des représentations, simuler des dynamiques*, (pp. 31-40). INRA – FormaSciences.
- ✚ [CO-36] Souchère V., Daré W., Le Page C. 2015. Co-concevoir un jeu de rôles. In: M. Etienne (Ed), *La modélisation d'accompagnement: partager des représentations, simuler des dynamiques*, (pp. 152-157). INRA – FormaSciences.
- ✚ [CO-37] Trébuil G., Barnaud C., Daré W., Le Page C., Mathevet R. 2015. Identifier et formuler une question clé initiale partagée. In: M. Etienne (Ed), *La modélisation d'accompagnement: partager des représentations, simuler des dynamiques*, (pp. 43-60). INRA – FormaSciences.
- ✚ [CO-38] Trébuil G., Le Page C., Etienne M. 2015. Pratiquer un jeu de rôles: Wadiga. In: M. Etienne (Ed), *La modélisation d'accompagnement: partager des représentations, simuler des dynamiques*, (pp. 158-163). INRA – FormaSciences.

CONFERENCES INVITEES DANS UN CONGRES

- ✚ [C-INV01] **24-26 novembre 2004, Paris**. Le Page C., d'Aquino P., Etienne M., Bousquet F. 2004. Processus participatifs de conception et d'usage de simulations multi-agents. Application à la gestion des ressources renouvelables. In O. Boissier O., Z. Guessoum (Eds), *Systèmes multi-agents défis scientifiques et nouveaux usages. JFSMA'04 : actes de la 12^{ème} édition des Journées Francophones sur les Systèmes Multi-Agents* (pp. 33-46). Paris : Hermès.

- ✚ [C-INV02] **25-27 mars 2010, Trang (Thaïlande)**. Le Page C. 2010. Participatory simulation and gaming for natural resources management: state of the art. *2nd ThaiSim Conference. Learning from experience through games and simulations*.
- ✚ [C-INV03] **8-9 avril 2010, Paris**. Le Page C. 2010. Teaching agent-based simulation for renewable resource management with Cormas. *Multi-Agent modelling applied to Spatial Phenomena (MABS) second conference. Teaching of/with Agent-Based Models in the Social Sciences*.

COMMUNICATIONS AVEC ACTES DANS UN CONGRES INTERNATIONAL

- ✚ [C-ACTI01] **12-18 octobre 1994, Ouagadougou (Burkina Faso)**. Le Page C. et Mullon C. 1994. Simuler un environnement spatialement complexe: un enjeu pour mieux appréhender la dynamique des populations qui y vivent. In J. Tankoano (Ed.), *Colloque Africain sur la Recherche en Informatique* (pp: 45-59). Paris : ORSTOM Editions.
- ✚ [C-ACTI02] **1-4 juin 1998, Benicàssim (Espagne)**. Ginot V., Le Page C. 1998. Mobidyc, a generic multi-agents simulator for modelling populations dynamics. In A.P. del Pobil, J. Mira, M. Ali (Eds), "Tasks and Methods in Applied Artificial Intelligence. 11th International Conference on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems". *Lecture Notes in Computer Science* **1416** : 805-814. [doi:10.1007/3-540-64574-8_467](https://doi.org/10.1007/3-540-64574-8_467)
- ✚ [C-ACTI03] **1-4 juin 1998, Benicàssim (Espagne)**. Bousquet F., Bakam I., Proton H., Le Page C. 1998. Cormas: Common-pool Resources and Multi-Agent Systems. In A.P. del Pobil, J. Mira, M. Ali (Eds), "Tasks and Methods in Applied Artificial Intelligence. 11th International Conference on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems". *Lecture Notes in Computer Science* **1416** : .826-837. [doi:10.1007/3-540-64574-8_469](https://doi.org/10.1007/3-540-64574-8_469)
- ✚ [C-ACTI04] **22-24 juin 1998, Ho Chi Minh Ville (Vietnam)**. Bousquet F., Gautier D., Le Page C. 1999. Resource management and scale transfer: the contribution of multiagent systems. In Suan Pheng Kam, Hoanh Chu Thai (Eds), "Scaling Methodologies in Eco-regional Approaches for Natural Resource Management" (pp 61-67). Los Baños (Philippines) : IRRI. [doi:10.1007/3-540-64574-8_469](https://doi.org/10.1007/3-540-64574-8_469)
- ✚ [C-ACTI05] **4-6 juillet 1998, Paris**. Antona M., Bousquet F., Le Page C., Weber J., Karsenty A., Guizol P. 1998. Economic theory of renewable resource management: a multi-agent system approach. In J. Sichman, R. Conte, N. Gilbert (Eds), "Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation 98". *Lecture Notes in Artificial Intelligence* **1534** : 61-78. [doi:10.1007/10692956_5](https://doi.org/10.1007/10692956_5)
- ✚ [C-ACTI06] **14-18 mars 1999, Chambéry**. Le Page C., Bousquet F., Takforyan A., Bakam I. 1999. Simulations on virtual worlds: understanding the interactions between ecological and social dynamics. In *Proceedings of the first international symposium on sustainable ecosystem management. Planetary Garden'99* (pp. 286-90).
- ✚ [C-ACTI07] **19-23 juillet 1999, Townsville (Australie)**. Bousquet F., d'Aquino P., Rouchier J., Réquier-Desjardins M., Bah A., Canal R., Le Page C. 1999. Rangeland herd and herder mobility in dry intertropical zones: multi-agent systems and adaptation. In D. Eldridge, D. Freudenberger (Eds), *People and rangelands. Building the future* (pp. 831-36, vol. 2).

- ✚ [C-ACTI08] **5-7 avril 2000, Greenbelt (USA)**. Bakam I., Kordon F., Le Page C., Bousquet F. 2001. Formalization of a spatialized multi-agent system using coloured Petri nets for the study of a hunting management system. In J.-L. Rash, C. Rouff, W. Truszkowski, D.F. Gordon, M.G. Hinchey (Eds), "Formal approaches to multi-agent systems, first international workshop, FAABS 2000". *Lecture Notes in Computer Science* **1871** : 123-132.
[doi:10.1007/3-540-45484-5_10](https://doi.org/10.1007/3-540-45484-5_10)
- ✚ [C-ACTI09] **20-23 juin 2000, Bamako (Mali)**. Barreteau O., d'Aquino P., Bousquet F., Le Page C. 2002. Le jeu de rôles à l'interface entre systèmes réel et virtuel pour la gestion des ressources renouvelables. Exemples d'application au Sénégal. In D. Orange, R. Arfi, M. Kuper, P. Morand, Y. Poncet (Eds), *Gestion intégrée des ressources naturelles en zone inondable tropicale* (pp. 799-814). IRD Editions.
- ✚ [C-ACTI10] **8-9 juillet 2000, Boston (USA)**. Rouchier J., Bousquet F., Barreteau O., Le Page C., Bonnefoy J.-L. 2001. Multi-agent modelling and renewable resources issues: the relevance of shared representation for interacting agents. In S. Moss, P. Davidsson (Eds), "Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation 2000". *Lecture Notes in Artificial Intelligence* **1979** : 181-197.
[doi:10.1007/3-540-44561-7_14](https://doi.org/10.1007/3-540-44561-7_14)
- ✚ [C-ACTI11] **7-12 août 2000, Kuala Lumpur (Malaisie)**. Bousquet F., Le Page C., Antona M., Guizol P. 2004. Ecological scales and use rights: the use of multi-agent systems. In Baskaran Krishnapillay et al. (Eds), *Forests and society: the role of research. XXI IUFRO World Congress* (pp. 730-42).
- ✚ [C-ACTI12] **18-20 septembre 2000, Paris**. Bonnefoy J.-L., Le Page C., Rouchier J., Bousquet F. 2000. Modelling spatial practices and social representations of space using multi-agents. In: G. Ballot, G. Weisbuch (Eds), *Application of simulation to social Science* (pp. 155-168). Paris : Hermès.
- ✚ [C-ACTI13] **16-19 octobre 2000, Antananarivo (Madagascar)**. Bakam I., Kordon F., Le Page C., Bousquet F. 2000. Formalisation de modèles multi-agents par les réseaux de Petri: application à l'étude d'un système de gestion de la chasse à l'Est-Cameroun. In A. Corenthin, B. Philippe (Eds), *5e Colloque Africain sur la Recherche en Informatique* (pp. 265-272). Paris : INRIA Editions.
- ✚ [C-ACTI14] **4-7 octobre 2001, Irvine (USA)**. d'Aquino P., Le Page C., Bousquet F. 2002. The selfCormas experiment: aiding policy and land-use management by linking role-playing games, GIS and ABM in the Senegal River Valley. In Parker D.C., T. Berger, S.M. Manson (Eds), *Agent-based models of land-use and land-cover change. Report and review of an international workshop* (pp. 70-72). Lucc Report Series N°6. Bloomington (USA) : Lucc Focus 1 Office.
- ✚ [C-ACTI15] **18-20 octobre 2001, Marseille**. Martin M., Piquet E., Le Page C., Guerrin F. 2001. MagmaS: a multi-agents system based on dynamical models coupling; application to animal wastes management. In N. Giambiasi, C. Frydman (Eds), *ESS'01, 13th European Simulation Symposium, Simulation in Industry* (pp. 881-884).
- ✚ [C-ACTI16] **10-13 décembre 2001, Canberra (Australie)**. Le Page C., Etienne M., Bousquet F. 2001. Using dynamics spatial entities in agent-based simulations. In F. Ghassemi, M. McAleer, L. Oxley, M. Scoccimaro (Eds), *ModSim 2001. Integrating models for natural resources management across disciplines, issues and scales* (pp. 1129-1134).
- ✚ [C-ACTI17] **7-9 avril 2002, Passau (Allemagne)**. Antona M., Bommel P., Bousquet F., Le Page C. 2002. Interactions and organisation in ecosystem management: the use of

- multi-agent systems to simulate incentive environmental policies. In C. Urban (Ed), *Agent-Based Simulation 3* (pp. 85-92).
- ✚ [C-ACTI18] **7-9 avril 2002, Passau (Allemagne)**. Farolfi S., Le Page C., Tidball M., Bommel P. 2002. Management of livestock effluents in Reunion. Use of a multi-agent system to analyse the economic behaviour of players. In C. Urban (Ed), *Agent-Based Simulation 3* (pp. 111-119).
 - ✚ [C-ACTI19] **24-27 juin 2002, Lugano (Suisse)**. d'Aquino P., Barreteau O., Etienne M., Boissau S., Aubert S., Bousquet F., Le Page C., Daré W. 2002. The role playing games in an ABM participatory modeling process: outcomes from five different experiments carried out in the last five years. In A.E. Rissoli, A.J. Jakeman (Eds), *Proceedings of the 1st Biennial Meeting of the International Environmental Modelling & Software Society (iEMSs 2002). Integrated Assessment and Decision Support* (pp. 275-280).
 - ✚ [C-ACTI20] **24-27 juin 2002, Lugano (Suisse)**. Etienne M., Le Page C. 2002. Modelling contrasted management behaviours of stakeholders facing a pine encroachment process: an agent-based simulation approach. In A.E. Rissoli, A.J. Jakeman (Eds), *Proceedings of the 1st Biennial Meeting of the International Environmental Modelling & Software Society (iEMSs 2002). Integrated Assessment and Decision Support* (pp. 208-213).
 - ✚ [C-ACTI21] **24-27 juin 2002, Lugano (Suisse)**. Etienne M., Cohen M., Le Page C. 2002. A step-by step approach to build-up land management scenarios based on multiple viewpoints on multi-agent system simulations. In A.E. Rissoli, A.J. Jakeman (Eds), *Proceedings of the 1st Biennial Meeting of the International Environmental Modelling & Software Society (iEMSs 2002). Integrated Assessment and Decision Support* (pp. 257-262).
 - ✚ [C-ACTI22] **24-27 juin 2002, Lugano (Suisse)**. Lardon L., Steyer J.-P., Bernet N., Le Page C. 2002. Modeling and analysis of biofilms formation and evolution in wastewater treatment processes using multi-agent systems. In A.E. Rissoli, A.J. Jakeman (Eds), *Proceedings of the 1st Biennial Meeting of the International Environmental Modelling & Software Society (iEMSs 2002). Integrated Assessment and Decision Support* (pp. 226-231).
 - ✚ [C-ACTI23] **14-17 juillet 2003, Townsville (Australie)**. Bah A., Touré I., Le Page C. 2003. An agent-based model for understanding the multiple uses of land and resources around drilling sites in Sahel. In D.A. Post (Ed), *MODSIM 2003: International Congress on Modelling and Simulation. Integrative Modelling of Biophysical, Social and Economic Systems for Resource Management Solutions* (pp. 1060-1065).
 - ✚ [C-ACTI24] **14-17 juillet 2003, Townsville (Australie)**. Perez P., Dray A., White I., Le Page C. 2003. Atollscape: simulating freshwater management in Pacific Atolls. Spatial processes and time dependence issues. In D.A. Post (Ed), *MODSIM 2003: International Congress on Modelling and Simulation. Integrative Modelling of Biophysical, Social and Economic Systems for Resource Management Solutions* (pp. 514-518).
 - ✚ [C-ACTI25] **17-20 août 2004, Amsterdam (Pays-Bas)**. Perez P., Dray A., Le Page C., D'Aquino P., White I. 2004. Lagoon, agents and kava: a companion modelling experience in the Pacific. In C. van Dijkum, J. van Blasius, H. Kleijer, B. van Hilten (Eds). *6th International Conference on Logic and Methodology "Recent Developments and Applications in Social Research Methodology"*. http://konference.fdvinfo.net/rc33/2004/Data/PDF/stream_06-23.pdf
 - ✚ [C-ACTI26] **8-11 novembre 2004, Loskop Dam (Afrique du Sud)**. Perez P., Dray A., Le Page C., D'Aquino P., White I. 2004. Lagoon, agents and kava: a companion modelling experience in the Pacific. In R. Hassan, G. Backeberg, S. Farolfi, E. Karar, S.

- Perret, K. Pietersen, A. Turton (Eds). *International Workshop on Water Resource Management for Local Development “Water resource management for local development: governance, institutions and policies”* (pp. 285-300).
- ✚ [C-ACTI27] **25-28 juillet 2005, Vila Real (Portugal)**. Bazile D., Le Page C., Dembele S., Abrami G. 2005. Perspectives of modelling the farmers’ seed system for in situ conservation of sorghum varieties in Mali. *EFITA/WCCA2005: 5th Conference of the European Federation for Information Technology in Agriculture, Food and Environment and 3rd World Congress on Computers in Agriculture and Natural Resources* (pp. 39-46). [pdf](#)
 - ✚ [C-ACTI28] **31 octobre-4 novembre 2005, Rome (Italie)**. Caldwell J.S., Sukchan U., Bousquet F., Le Page C., Suzuki K., Suphanchaimat N., Sukchanet S. 2005. Aiding decision making in transition to integrated farming systems in small watersheds in Northeast Thailand through a multi-agent systems model. In J. Dixon, C. Neely, C. Lightfoot, M. Avila, D. Baker, C. Holding, C. King (Eds), *Farming systems and poverty: making a difference. Proceedings of the 18th International Symposium of the International Farming Systems Association: a global learning opportunity. Theme 4: Development Strategies, Pathways and Synergies* (pp. 52-60). Rome : IFSA.
 - ✚ [C-ACTI29] **12-15 décembre 2005, Melbourne (Australie)**. Dray A., Perez P., Le Page C., d’Aquino P., White I. 2005. Companion modelling approach: the AtollGame experience in Tarawa atoll (Republic of Kiribati). In A. Zenger, R.M. Argent (Eds), *MODSIM 2005: International Congress on Modelling and Simulation. Advances and applications for management and decision making* (pp. 1601-1609).
 - ✚ [C-ACTI30] **1-2 juin 2006, Bruxelles (Belgique)**. Belem M., Youl S., Chotte J.-L., Barbier B., Le Page C., Manlay R. 2006. MIROT: A multi-agent system model for the simulation of the dynamics of carbon resources of a West-African village territory. *Proceedings of the International Conference on Regional and Urban Modeling*. <http://ecomod.net/sites/default/files/document-conference/ecomod2006-rum/1389.pdf>
 - ✚ [C-ACTI31] **12-15 décembre 2006, Luang Prabang (Laos)**. Barnaud C., Dumrongrojwathana P., Marie J., Le Page C., Trébuil G. 2006. Initial diagnostic analysis for companion modelling to accommodate multiple interests in upper watershed management. *SSWM 2006: 2nd Conference on Sustainable Sloping Lands and Watershed Management* (pp.317-335). Vientiane : NAFRI. http://www.nafri.org.la/document/SSLWM/ch4_01_Bernaud.pdf
 - ✚ [C-ACTI32] **9-11 janvier 2007, Chiang Mai (Thaïlande)**. Le Canh Dung, Le Page C., Chu Thai Hoanh. 2007. Participatory simulations of competing aquacultural and agricultural land uses in Bac Lieu Province, Mekong Delta, Vietnam. In B. Ekasingh, A. Jintrawet, S. Pratummintra (Eds), *ASIMMOD 2007: International Conference Asian Simulation and Modelling* (pp. 313-318).
 - ✚ [C-ACTI33] **9-11 janvier 2007, Chiang Mai (Thaïlande)**. Naivinit W., Le Page C., Thongnoi M., Trébuil G., Srisombat N. 2007. Use participatory modeling to validate and build multi-agent system model regarding rainfed lowland rice and labour management in lower northeast Thailand. In B. Ekasingh, A. Jintrawet, S. Pratummintra (Eds), *ASIMMOD 2007: International Conference Asian Simulation and Modelling* (pp. 306-312).
 - ✚ [C-ACTI34] **17-18 janvier 2007, Berlin (Allemagne)**. Abrami G., Bazile D., Dionnet M., Dembele S., Le Page C., Coulibaly H. 2007. Accompanying farmers in the building of collective rules for agrobiodiversity management. In A. Knierim, U.J. Nagel, C. Schäfer (Eds) *Managing Economic, Social and Biological Transformations. Proceedings*

- of the First Green Week Scientific Conference (pp. 265-272). Weikersheim : Margraf Publishers.
- ✚ [C-ACTI35] **15-18 mai 2007, Bamako (Mali)**. Abrami G., Bazile D., Trébuil G., Le Page C., Bousquet F., Dionnet M. 2007. Accompagner les décisions collectives pour la gestion des systèmes semenciers : bilan de deux expériences. In D. Bazile, E. Weltzien (Eds), *Agrobiodiversités, colloque international sur la gestion des ressources génétiques en zone de savanes d'Afrique de l'Ouest*. Cédérom CIRAD.
 - ✚ [C-ACTI36] **2-5 juillet 2007, Glasgow (Ecosse)**. Abrami G., Bazile D., Dionnet M., Dembele S., Le Page C., Coulibaly H. 2007. Accompanying farmers in the building of collective rules for agrobiodiversity management. *6th Conference of the European Federation for Information in Agriculture, Food and Environment (EFITA 2007) and 4rd World Congress on Computers in Agriculture and Natural Resources (WCCA): Environmental and rural sustainability through ICT*.
[pdf](#)
 - ✚ [C-ACTI37] **27-28 mai 2008, Chiang Mai (Thaïlande)**. Naivinit W., Le Page C., Thongnoi M., Trébuil G. 2008. The process of modelling the rainfed lowland rice system of lower northeast Thailand with farmer participation. *Proceedings of the fourth National Agricultural Systems Conference Agriculture for Community and Environment Ready to Handle Climate Change* (pp. 161-170).
 - ✚ [C-ACTI38] **27-30 octobre 2008, Avignon**. Vinatier F., Tixier P., Le Page C., Bruchou C., Duyck P.F., Lescourret F. 2008. COSMOS, a spatially explicit model to simulate the epidemiology of *Cosmopolites sordidus* in banana fields. In J. Cross, M. Brown, J. Fitzgerald, M. Fountain, D. Yohalem (Eds) *Proceedings of the 7th International Conference on Integrated Fruit Production* (pp. 637-641). IOBC/WPRS Bulletin, Vol. 54, 2010.
 - ✚ [C-ACTI39] **28 juin-1^{er} juillet 2010, Montpellier**. Barnaud C., Le Page C., Dumrongrojwathana P., Trébuil G. 2010. Exploring synergies between farmers' livelihoods, forest conservation and social equity. Participatory simulations for creative negotiation in Thailand Highlands. In E. Coudel, H. Devautour, C.-T. Soulard (Eds), *ISDA 2010: Innovation and Sustainable Development in Agriculture and Food*.
http://hal.cirad.fr/docs/00/50/98/47/PDF/barnaud-Exploring_synergies.pdf
 - ✚ [C-ACTI40] **21-23 juillet 2010, Hanoi (Vietnam)**. Dumrongrojwathana P., Le Page C., Gajaseni N., Trébuil G. 2010. Gaming and simulation to mitigate land use conflict between herders and foresters in Northern Thailand Highlands. *Sustainable Land Use and Rural Development in Mountainous Regions of Southeast Asia*.
<https://www.uni-hohenheim.de/sfb564/uplands2010/papers/235.pdf>
 - ✚ [C-ACTI41] **29 août-3 septembre 2010, Montpellier**. Naivinit W., Trébuil G., Le Page C. 2010. An agent-based simulator co-designed with farmers for sharing knowledge about land-water use and labour migrations in rainfed lowland rice. In J. Wery, I. Shili-Touzi, A. Perrin (Eds), *Proceedings of Agro 2010 : the XIth ESA Congress* (pp. 991-992).
 - ✚ [C-ACTI42] **1-4 avril 2014, Berlin, Allemagne**. Tardivo C., Delmotte S., Le Page C., Barbier J.-M., Cittadini R. 2014. Initial diagnosis of local context for agricultural development projects: cognitive maps to conceptualize socio-ecological systems and elicit stakeholders' viewpoints. *Farming systems facing global challenges: Capacities and strategies*. http://ifsa.boku.ac.at/cms/fileadmin/Proceeding2014/WS_1_7_Tardivo.pdf
 - ✚ [C-ACTI43] **7-11 juillet 2014, Dornbin, Autriche**. Le Page C., Dray A., Perez P., Garcia C. 2014. Can Communication Save The Commons ? Lessons From Repeated Role-Playing Game Sessions. *ISAGA conference: "The shift from teaching to learning:*

individual, collective and organizational learning through gaming & simulation". Papier à paraître sur le site Internet de la conférence <http://www.isaga2014.com/isaga2014/>

- ✚ [C-ACTI44] **15-20 juillet 2015, Kyoto, Japon.** Bommel P., Becu N., Le Page C., Bousquet F. 2015. Cormas, an agent-based simulation platform for coupling human decisions with computerized dynamics. In: T. Kaneda, H. Kanegae, Y. Toyoda and P. Rizzi (Eds), *46th ISAGA conference, Hybrid Simulation & Gaming in the Networked Society*. Springer.
- ✚ [C-ACTI45] **10-14 July 2016, Toulouse.** Bommel P., Bonnet M.-P., Coudel E., Haentjens E., Kraus C.N., Melo G., Nasuti S., Le Page C. 2016. Livelihoods of local communities in an Amazonian floodplain coping with global changes. From role-playing games to hybrid simulations to involve local stakeholders in participatory foresight study at territorial level In: S. Sauvage, J.M. Sánchez-Pérez, A.E. Rizzoli (Eds), *8th International Congress on Environmental Modelling and Software* (pp. 1140-1147).

COMMUNICATIONS AVEC ACTES DANS UN CONGRES NATIONAL

- ✚ [C-ACTN01] **29 juin-1er juillet 1993, Rennes.** Le Page C. 1995. Variabilité environnementale et structuration spatiale de la reproduction. Application aux espèces de poissons pélagiques des zones d'upwelling. In D. Gascuel, J.-L. Durand, A. Fonteneau (Eds), *Les recherches françaises en évaluation quantitative et modélisation des ressources et des systèmes halieutiques* (pp. 127-139). Paris : ORSTOM Editions.
- ✚ [C-ACTN02] **26-28 juin 1995, Nantes.** Le Page C. 1995. Dynamique des populations et vie artificielle. In J. Ferraris, D. Pelletier, M.-J. Rochet (Eds), *Méthodes d'études des systèmes halieutiques et aquacoles* (pp. 205-209). Paris : ORSTOM Editions.
- ✚ [C-ACTN03] **6-8 décembre 1995, La Rochelle.** Le Page C., Cury P. 1996. Structuration spatiale de l'environnement et comportements de recherche d'un site de reproduction. In C. Christophe, S. Lardon, P. Monestiez (Eds), *Etude des phénomènes spatiaux en agriculture* (pp. 227-238). Paris : INRA Editions.
- ✚ [C-ACTN04] **13-15 novembre 1996, Thonon-les-Bains.** Ginot V., Le Page C. 2001. Gestion piscicole: générer des modèles d'accompagnement. In D. Gerdeaux (Ed.), *Gestion piscicole des grands plans d'eau* (pp. 435-455). Paris : INRA Editions.
- ✚ [C-ACTN05] **2-4 avril 1997, La Colle sur Loup.** Le Page C., Ginot V. 1997. Vers un simulateur générique de la dynamique des peuplements piscicoles. In J. Quinqueton, M.-C. Thomas, B. Trousse (Eds), *JFIADSMA'97. Intelligence Artificielle et Systèmes Multi-Agents* (pp. 189-209). Paris : Hermès.
- ✚ [C-ACTN06] **5-8 octobre 1998, Clermont-Ferrand.** Lardon S., Baron C., Bommel P., Bousquet F., Le Page C., Lifran R., Monestiez P., Reitz P. 1998. Modéliser les configurations et les stratégies spatiales dans un système multi-agent pour la maîtrise de dynamiques d'embroussaillage. In N. Ferrand (Ed), *Modèles et systèmes multi-agents pour la gestion de l'environnement et des territoires* (pp. 169-185). Longjumeau : Cemagref Editions.
- ✚ [C-ACTN07] **5-8 octobre 1998, Clermont-Ferrand.** Zunga Q., Vagnini A., Le Page C., Touré I., Lieurain E., Bousquet F. 1998. Coupler Systèmes d'Information Géographiques et Systèmes Multi-Agents pour modéliser les dynamiques de transformation des paysages. Le cas des dynamiques foncières de la Moyenne Vallée du Zambèze (Zimbabwe). In N. Ferrand (Ed), *Modèles et systèmes multi-agents pour la gestion de l'environnement et des territoires* (pp. 193-206). Longjumeau : Cemagref Editions.

- ✚ [C-ACTN08] **5-8 octobre 1998, Clermont-Ferrand.** Lifran R., Le Page C., Bakam I., Bousquet F. 1998. Externalités de voisinage, communication entre agents et pareto optimalités. Etude théorique et par un SMA. In N. Ferrand (Ed), *Modèles et systèmes multi-agents pour la gestion de l'environnement et des territoires* (pp. 407-415). Longjumeau : Cemagref Editions.
- ✚ [C-ACTN09] **5-8 octobre 1998, Clermont-Ferrand.** Rinaudo J.-D., Morardet S., Le Page C. 1998. Un modèle multi-agents pour analyser le partage de la ressource en eau dans les périmètres irrigués au Pakistan. In N. Ferrand (Ed), *Modèles et systèmes multi-agents pour la gestion de l'environnement et des territoires* (pp. 293-310). Longjumeau : Cemagref Editions.
- ✚ [C-ACTN10] **2-4 octobre 2000, Saint-Jean-la-Vêtre.** Lardon S., Bommel P., Bousquet F., Le Page C., Libourel T., Lifran R., Osty P.-L. 2000. De la simulation de l'embroussaillage à un outil d'aide à la gestion de l'espace. In S. Pesty, C. Sayettat-Fau (Eds), *JFIADSMA'00. Systèmes multi-agents. Méthodologie, technologie et expériences* (pp. 357-374). Paris : Hermès.
- ✚ [C-ACTN11] **15 juin 2001, Saint-Denis (La Réunion).** Farolfi S., Le Page C., Tidball M., Bommel P. 2003. Gestion des effluents d'élevage à l'île de La Réunion: analyse du comportement économique des acteurs selon une approche standard et par un système multi-agent. In Ferrari S., Point P. (Eds), *Eau et littoral. Préservation et valorisation de la ressource dans les espaces insulaires* (pp. 179-201). Paris : Karthala & Saint-Denis : Université de La Réunion.
- ✚ [C-ACTN12] **26-28 septembre 2001, Montpellier.** Bah A., Touré I., Le Page C., Bousquet F., Diouf A. 2001. Un outil de simulation multi-agents pour comprendre le multi usage de l'espace et des ressources autour d'un forage au Sahel : Le Cas de Thieul au Sénégal. In Libourel T. (Ed), *Journées Cassini « Géomatique et espace rural »* (pp. 105-117).
- ✚ [C-ACTN13] **19-20 juin 2002, Montpellier.** Farolfi S., Le Page C., Tidball M., Bommel P. 2003. Gestion territoriale d'effluents d'élevage à l'île de la Réunion : analyse du comportement économique des acteurs par un système multi-agents. In F. Guerrin, J.-M. Paillat (Eds), *Modélisation des flux de biomasse et des transferts de fertilité - cas de la gestion des effluents d'élevage à l'île de la Réunion. Restitution des travaux de l'Atp 99/60.* Cédérom CIRAD.
- ✚ [C-ACTN14] **19-20 juin 2002, Montpellier.** Le Page C., Martin M. 2003. MagmaS : plate-forme de simulation couplant les niveaux individuel et collectif de gestion des effluents d'élevage. In F. Guerrin, J.-M. Paillat (Eds), *Modélisation des flux de biomasse et des transferts de fertilité - cas de la gestion des effluents d'élevage à l'île de la Réunion. Restitution des travaux de l'Atp 99/60.* Cédérom CIRAD.
- ✚ [C-ACTN15] **14-16 octobre 2002, La Châtre.** Aubert S., Ralalaoherivony S.B., Le Page C., Razafindraibe R., Ranaivoson J., N'Daye I.C., Joly H., Babin D., Le Roy E. 2003. Un jeu de rôles pour la gestion des ressources phytogénétiques à Madagascar. 4^{ème} colloque national du Bureau des Ressources Génétiques « Le patrimoine génétique: la diversité et la ressource ». *Les actes du BRG 4* : 269-290.
http://www.brg.prd.fr/brg/pdf/LaChatre_Aubert.pdf
- ✚ [C-ACTN16] **5-6 novembre 2002, Florac.** Etienne M., Le Page C. 2002. Modéliser les dynamiques paysagères pour accompagner un projet d'aménagement du territoire : le cas du Causse Méjean. *Colloque "Gérer les paysages de montagne pour un développement concerté et durable"*. Cédérom
<http://cormas.cirad.fr/pdf/florac2002.pdf>

- ✚ [C-ACTN17] **Juillet 2009, Ubon Ratchathani (Thaïlande)**. [en Thaï]. Dumrongrojwatthana P., Trébuil G., Gajaseni N., Le Page C. 2009. Construction of participatory management process between herders and foresters in the highlands of Nan province : use of a game to test hypotheses. *5ème Conférence sur les systèmes agricoles* (pp. 417-427).
- ✚ [C-ACTN18] **Juillet 2009, Ubon Ratchathani (Thaïlande)**. [en Thaï]. Naivinit W., Le Page C., Thongnoi M., Trébuil G., 2009. Construction and use of the Ban Mak Mai model with farmers to integrate local and theoretical knowledge on the interaction between rainfed lowland rice production and labour migrations in the Lam Dome Yai watershed, Ubon Ratchathani. *5ème conférence sur les systèmes agricoles* (pp. 365-376).

COMMUNICATIONS SANS ACTES DANS UN CONGRES

- ✚ [C-COM01] **13-15 septembre 1995, Toulouse**. Le Page C. 1995. Dynamique des populations et vie artificielle. *La modélisation de systèmes dynamiques biologiques*.
- ✚ [C-COM02] **23-25 mai 1996, Saint-Quentin en Yvelines**. Bousquet F., Duthoit Y., Proton H., Le Page C., Weber J. 1996. Tragedy of the commons, game theory and spatial simulation of complex systems. *Ecologie, société, économie : quels enjeux pour le développement durable ? Colloque d'inauguration de la Section Européenne de la Société Internationale pour l'Economie Ecologique*.
- ✚ [C-COM03] **20-24 septembre 1999, Pula (Croatie)**. Bousquet F., Le Page C., Bakam I., Takforyan A. 1999. A spatially-explicit individual-based model of blue duikers population dynamics. Multi-agent simulations of bushmeat hunting in an eastern Cameroonian village. *Second European Ecological Modelling Conference*.
- ✚ [C-COM04] **26-30 juin 2000, Wageningen (Pays-Bas)**. Le Page C., Bousquet F., Bakam I., Bah A., Baron C. 2000. CORMAS : a multi-agent simulation toolkit to model natural resources management based on dynamics at multiple scales. *The ecology of scales - Annual meeting of the Resource Modeling Association*.
- ✚ [C-COM05] **6-9 mars 2002, Sousse (Tunisie)**. Aubert S., Le Page C., Joly H., Razafindraibe R., Ranaivoson J., Ralalaoherivony S.B., N'Daye I.C., Babin D. 2002. Conception, adaptation and diffusion of a computer-assisted role game about phylogenetic resources management at a rural level in Madagascar. *7th Biennial Conference of the International Society for Ecological Economics (ISEE'2002)*.
- ✚ [C-COM06] **6-9 mars 2002, Sousse (Tunisie)**. d'Aquino P., Le Page C., Bousquet F., Bah A. 2002. Self-designed role-playing game and multi-agent system to empower a local decision-making process on land use management: the SelfCormas experiment in Senegal. *7th Biennial Conference of the International Society for Ecological Economics (ISEE'2002)*.
- ✚ [C-COM07] **6-9 mars 2002, Sousse (Tunisie)**. d'Aquino P., Barreteau O., Etienne M., Boissau S., Bousquet F., Le Page C., Aubert S., Daré W. 2002. Participatory modelling: methodological appraisal of five forms and uses of role-playing games and multi-agent systems. *7th Biennial Conference of the International Society for Ecological Economics (ISEE'2002)*.
- ✚ [C-COM08] **19-23 mars 2002, Los Angeles (USA)**. Le Page C., Bousquet F. 2002. Multi-agent simulations and multiple scales: computational implementation and field experiments. *98th Annual Meeting of the Association of American Geographers*.

- ✚ [C-COM09] **4-6 décembre 2002, Nancy.** Bousquet F., Le Page C., Müller J.-P. 2002. Modélisation et simulation multi-agent. *Deuxièmes assises nationales du GDR I3 (Information - Interaction - Intelligence)*.
- ✚ [C-COM10] **16-22 août 2003, Durban (Afrique du Sud).** Farolfi S., Le Page C., Bommel P., Erasmus L. 2003. Evaluating policy options for management of livestock effluents in the Reunion Island using a multi-agent system. *25th International Conference of Agricultural Economists "Reshaping Agriculture's Contribution to Society"*.
- ✚ [C-COM11] **5-7 mai 2004, Marseille.** Mathevet R., Mauchamp A., Lifran R., Le Page C., Lefebvre G., Poulin B., Etienne M. 2004. Le modèle multi-agent ReedSim et le jeu de rôles ButorStar comme outils de réflexion collective dans l'aménagement et la gestion des zones humides camarguaises. *Colloque de Synthèse « Rhône-Méditerranée »*.
- ✚ [C-COM12] **25-28 mai 2004, Marseille.** Bommel P., Le Page C. 2004. Modélisation multi-agents pour l'aide à la gestion des ressources renouvelables. *Actes des deuxièmes journées de l'Institut Français de la Biodiversité "Biodiversité et changement global, dynamique des interactions"*.
- ✚ [C-COM13] **21-25 mars 2005, Bourg Saint Maurice.** Antona M., Bah A., Le Page C., Mahamane A., Aboubacar I. 2005. Using multi-agent modeling for policy research: The case of fuelwood policy in Niger. *Colloque CABM-HEMA-SMAGET 2005*.
- ✚ [C-COM14] **25-27 avril 2005, Iasi (Roumanie).** Houdart M., Bonin M., Le Page C., Fort M., Saudubray F. 2005. SIG, chorèmes et SMA, evolution d'un système rural Martiniquais et pression polluante. *Atelier méthodologique sur l'observation et l'analyse de la transformation des territoires ruraux en Europe de l'est et de l'ouest*.
- ✚ [C-COM15] **5-9 septembre 2005, Coblenz (Allemagne).** Abrami G., Bazile D., Le Page C., Dembele S., Dionnet M. 2005. Preparing a framework for participatory modelling of farmers seed systems in Mali: varieties selection and exchange. *ESSA2005: 3rd annual conference of the European Social Simulation Association*.
- ✚ [C-COM16] **7-9 mars 2006, Chiang Mai (Thaïlande).** Barnaud C., Promburom P., Raj Gurung T., Le Page C., Trébuil G. 2006. Companion modelling for collective learning and action in water management: lessons learnt from three case studies in northern Thailand and Bhutan. *International Symposium "Towards Sustainable Livelihoods and Ecosystems in Mountainous Regions"*.
- ✚ [C-COM17] **3-6 mai 2006, La Baule.** Mathevet R., Le Page C., Etienne M., Lefebvre G., Poulin B. 2006. ButorStar : un jeu de rôles assisté par ordinateur pour l'étude et l'aide à la gestion durable des marais roséliers. *Colloque international « Interactions Nature / Société : analyses et modèles »*.
- ✚ [C-COM18] **26-28 juin 2006, Saint-Quentin-en-Yvelines.** Bazile D., Abrami G., Dembele S., Le Page C., Dionnet M., Coulibaly H. 2006. Les paysans au cœur de la construction de règles collectives de gestion de l'agrobiodiversité. *Colloque international sur la gestion concertée des ressources naturelles et de l'environnement - du local au mondial: pour un dialogue entre chercheurs, société civile et décideurs*.
- ✚ [C-COM19] **21-22 août 2008, Bâle (Suisse).** Ruankaew N., Le Page C., Gajaseni N., Barnaud C., van Paassen A., Dumrongrojwattana P., Trébuil G. 2008. Companion modelling for integrated renewable resource management: a new collaborative research approach to create common values for sustainable development. *2nd International Sustainability Conference. Creating values for sustainable development*.
- ✚ [C-COM20] **1-4 septembre 2008, Montpellier.** Naivinit W., Trébuil G., Thongnoi M., Le Page C. 2008. Collaborative multi-agent modelling to improve farmers' adaptive capacity to manage water and migrations dynamics in Northeast Thailand. *XIIIth World*

Water Congress 2008 - Global changes and water resources: Confronting the expanding and diversifying pressures.

- ✚ [C-COM21] **13-15 octobre 2008, Strasbourg.** Bazile D., Abrami G., Dembélé S., Coulibaly H., Le Page C., Dionnet M., Chantreau J., Orsini M., Bousquet F., Pham J.L., Sangare K., Bezançon G. 2008. Modélisation multi-agents des réseaux d'échanges de semences pour la conservation de la biodiversité agricole. *7ème Colloque national du BRG "Les ressources génétiques à l'heure des génomes"*.
- ✚ [C-COM22] **4-5 novembre 2008, Montpellier.** Bazile D., Bousquet F., Abrami G., Coulibaly H., Le Page C., Dionnet M., Hocdé H. 2008. Concilier conservation : valorisation de la biodiversité des plantes cultivées. Modéliser pour partager une vision de la biodiversité. *Conférence internationale « Biodiversité et Agricultures » dans le cadre de la Présidence Française du Conseil de l'Union Européenne.*
- ✚ [C-COM23] **16-18 novembre 2008, Addis Abeba (Ethiopie).** Chu Thai Hoanh, Le Page C., Barreteau O., Trébuil G., Bousquet F., Cernesson F., Barnaud C., Raj Gurung T., Promburom P., Naivinit W., Dumrongrojwathana P., Thongnoi M. 2008. Agent-based modeling to facilitate resilient water management in Southeast and South Asia. *IFWF2: 2nd International Forum on Water and Food.* CPWF-CGRAI.
- ✚ [C-COM24] **16-18 novembre 2008, Addis Abeba (Ethiopie).** Le Canh Dung, Chu Thai Hoanh, Le Page C., Gajaseni N. 2008. Agent-based modeling and simulation of integrated rice-shrimp farming in Bac Lieu province, Mekong delta, Vietnam. *IFWF2: 2nd International Forum on Water and Food.* CPWF-CGRAI.
- ✚ [C-COM25] **16-18 novembre 2008, Addis Abeba (Ethiopie).** Naivinit W., Le Page C., Thongnoi M., Trébuil G. 2008. Agent-based modeling of the interaction between water and labor availability in rainfed rice ecosystem, northeast Thailand. *IFWF2: 2nd International Forum on Water and Food.* CPWF-CGRAI.
- ✚ [C-COM26] **22-23 janvier 2009, Bangkok (Thaïlande).** Naivinit W., Le Page C., Thongnoi M., Trébuil G., 2009. Participatory agent-based modeling and simulation of rice farming in the rainfed lowlands of Northeast Thailand. *ASIMMOD : Proceedings of the third Asian Simulation and Modeling Conference*
- ✚ [C-COM27] **12-16 avril 2009, Snowbird (USA).** Dumrongrojwathana P., Le Page C., Gajaseni N., Trébuil G. 2009. Co-constructing an agent-based model to mediate land use conflict between herders and foresters in northern Thailand. *US-IALE 2009 Symposium "Coupling Humans and Complex Ecological Landscapes"*.
- ✚ [C-COM28] **29 juin-3 juillet 2009, Singapour.** Le Page C. 2009. Blending role-playing games and computer agent-based simulation to design shared representations of complex socio-ecosystems with local stakeholders. *ISAGA '09: 40th annual conference of the International Simulation And Gaming Association. Learn to game, Game to learn.*
- ✚ [C-COM29] **23-26 août 2009, Monterey (USA).** Vinatier F., Tixier P., Le Page C., Duyck P.-F., Lescourret F. 2009. Cosmos, a spatially explicit model to simulate the epidemiology of *Cosmopolites sordidus* in banana fields. *Farming Systems Design 2009. International symposium on Methodologies for Integrated Analysis of Farm Production Systems.*
- ✚ [C-COM30] **24 septembre 2009, Soc Trang (Vietnam).** [en Vietnamien]. Le Canh Dung, Chu Thai Hoanh, Le Page C., Gajaseni N. 2009. Environmental and socio-economic impacts of integrated rice shrimp farming: Companion modelling case study in Bac Lieu Province, Vietnam. *Sustainability of Rice-shrimp Systems in the Coastal Mekong River Delta.*

- ✚ [C-COM31] **23-25 novembre 2009, Paris.** Dumrongrojwatthana P., Trébuil G., Le Page C., Gajaseni N. 2009. Participatory design and use of a simplified landscape in a simulation model for mitigating land use conflict in Northern Thailand highlands. *Emergence in Geographical Space: Concepts, Methods and Models*.
- ✚ [C-COM32] **26-29 avril 2010, Montpellier.** Bisson P., Amani A., Dessouassi R., Le Page C., Mahamat B. 2010. The SIST-GIRE Plate-form, an example of link between research and communication for the development. *IAALD XIIIth World Congress. Scientific and technical information and rural development*.
- ✚ [C-COM33] **9 septembre 2010, Stockholm (Suède).** Trébuil G., Barnaud C., Le Page C., Bousquet F. 2010. Companion modelling for resilient soil and water management in Northern Thailand: gaming and simulation to integrate stakeholders perceptions for collective learning and action. *Stockholm World Water Week 2010 : Atelier 7 Resilience, uncertainty and tipping points*.
- ✚ [C-COM34] **19-23 septembre 2011, Montpellier.** Le Page C., Bousquet F. 2011. Multi-level spatial simulation. *ESSA'11, 7th Conference of the European Social Simulation Association*.
- ✚ [C-COM35] **19-23 septembre 2011, Montpellier.** Le Page C., Raj Gurung T., Dorji L., Trébuil G. 2011. Use of an abstract agent-based model to establish a communication channel between two parties in conflict Eastern Bhutan. *ESSA'11, 7th Conference of the European Social Simulation Association*.
- ✚ [C-COM36] **26-29 septembre 2011, Brisbane (Australie).** Delmotte S., Lopez-Ridaura S., Goulevant G., Mouret J.-C., Le Page C., Chauvelon P., Sandoz A., Barbier J.-M., Wery J. 2011. Combining different modelling approaches for a participative assessment of alternative agricultural systems at different scales. *3rd World Congress of Conservation Agriculture & Farming System Design*.
- ✚ [C-COM37] **14-17 novembre 2011, Tshwane (Afrique du Sud).** Daré W., Venot J.-P., Aduna A., Zoungrana P., d'Aquino P., Le Page C., Kizito F., Antona M. 2011. Enhancing linkages: contribution of the companion modeling approach to practical IWRM. *CGIAR-CPWF. 3rd International Forum on Water and Food (IFWF3)*.
- ✚ [C-COM38] **14-17 novembre 2011, Tshwane (Afrique du Sud).** Ducrot R., Daré W., Venot J.-P., d'Aquino P., Le Page C., Kizito F., Antona M. 2011. Companion modeling for multi-level water management. *CGIAR-CPWF. 3rd International Forum on Water and Food (IFWF3)*.
- ✚ [C-COM39] **14-17 novembre 2011, Tshwane (Afrique du Sud).** Kizito F., Obuobie E., Le Page C., Bah A., Venot J.-P. 2011. Water yield estimation and sedimentation control in two Volta sub-basins: tools towards integrated water resources management. *CGIAR-CPWF. 3rd International Forum on Water and Food (IFWF3)*.
- ✚ [C-COM40] **23-27 juin 2013, San José (Costa Rica).** Delay M., Dray A., Waeber P.O., Nath C.D., Konerira N.M., Kushalappa C.G., Raghuramulu Y., Vaast P., Le Page C., Sunderland T., Garcia C. 2013. New technologies to old problems: Online role playing games and policy making in the coffee agroforestry systems of the Western Ghats (India). *Association for Tropical and Biology and Conservation (ATBC) and Organization for Tropical Studies (OTS) 50th Anniversary Meeting. New Frontiers in Tropical Biology: The Next 50 Years*.
- ✚ [C-COM41] **23-27 juin 2013, San José (Costa Rica).** Garcia C., Vende J., Konerira N.M., Kalla J., Dray A., Waeber P.O., Delay M., Le Page C., Raghuramulu Y., Kushalappa C.G., Vaast P. 2013. Understanding farmers: Using role playing games to explore futures of landscape management in the Western Ghats (India). *Association for*

- Tropical and Biology and Conservation (ATBC) and Organization for Tropical Studies (OTS) 50th Anniversary Meeting. New Frontiers in Tropical Biology: The Next 50 Years.*
- ✚ [C-COM42] **16-20 septembre 2013, Varsovie (Pologne).** Bobo Kadiri S., Le Page C., Kamgaing Towa O.W., Ngahane Bobo F., Waltert M. 2013. Raising the awareness of local populations about the sustainability of bushmeat hunting through the incremental introduction of an agent-based model. A case study in the region of Korup National Park (Cameroon) *ESSA 2013: 9th Conference of the European Social Simulation Association.*
 - ✚ [C-COM43] **4-8 mai 2014, Montpellier.** Barbier J.M., Delmotte S., Couderc V., Tardivo C., Le Page C., Lopez-Ridaura S. 2014. Trade-offs and synergies in changing farming systems: a methodological framework at the frontier between socialtechnical and social-ecological systems. *Resilience 2014: Resilience and Development: Mobilizing for Transformation.*
 - ✚ [C-COM44] **4-8 mai 2014, Montpellier.** Le Page C., Bobo Kadiri S., 2014. Interactive agent-based simulation to chart the winding way from sensitization towards action. A case study on bushmeat hunting in the periphery of Korup National Park, Southwest Province of Cameroon. *Resilience 2014: Resilience and Development: Mobilizing for Transformation.*
 - ✚ [C-COM45] **4-8 mai 2014, Montpellier.** Le Page C., Kizito F., Venot J.-P., Daré W's. 2014. The role of interactive agent-based simulation modeling platforms for tradeoff analysis in participatory approaches for integrated water resources management. *Resilience 2014: Resilience and Development: Mobilizing for Transformation.*
 - ✚ [C-COM46] **4-5 juin 2015, Michigan State University (USA).** Le Page C., Perrotton A. 2015. Interactive agent-based simulations for renewable resource management: the Companion Modelling approach. *Innovations in Collaborative Modeling: Addressing complex social and environmental problems through systems modeling techniques.*
 - ✚ [C-COM47] **29 juin - 2 juillet 2015, Saint Quentin en Yvelines.** Cittadini R., Tardivo C., Le Page C., Hossard L., Delmotte S., Barbier J.-M. 2015. Théorie de l'acteur réseaux et recherche territoriale en partenariat : outil explicatif et performatif. *16^{ème} Congrès de l'Association Française de Sociologie. « la sociologie, une science contre nature ? »*
 - ✚ [C-COM48] **2-6 août 2015, Montpellier.** Le Page C., Bobo Kadiri S., Kamgaing Towa O.W., Ngahane Bobo F., Waltert M. 2015. Participatory agent-based simulation to foster dialogue and build trust between local communities and researchers: a case study on bushmeat hunting in the periphery of Korup National Park (South-West Cameroon). *27th International Congress for Conservation Biology - 4th European Congress for Conservation Biology.*
 - ✚ [C-COM49] **2-6 août 2015, Montpellier.** Le Page C., Mathevet R. 2015. Uses of Agent-Based Modelling in the framework of biodiversity conservation. *27th International Congress for Conservation Biology - 4th European Congress for Conservation Biology.*
 - ✚ [C-COM50] **2-6 août 2015, Montpellier.** Perrotton A., Le Page C. 2015. Tackling issues of coexistence between protected areas and communal lands: From a role playing game to an agent based model. *27th International Congress for Conservation Biology - 4th European Congress for Conservation Biology.*
 - ✚ [C-COM51] **7-10 Septembre 2015, Montpellier.** Dumrongrojwathana P., Le Page C., Trébuil G. 2015. Designing a livestock rearing system with stakeholders in Thailand highlands: Companion modelling for integrating knowledge and strengthening the adaptive capacity of herders and foresters. *5th International Symposium for Farming Systems Design.*

- ✚ [C-COM52] **14-18 September 2015, Groningen (Pays-Bas)**. Ambrosius F., Le Page C., Hofstede G.J., Bokkers E., Bock B. 2015. Gaming to gain insight in pork farmers' strategic decision-making. *11th conference of the European Social Simulation Association (ESSA 2015)*.
- ✚ [C-COM53] **28 September - 2 October 2015, Tempe (USA)**. Le Page C., Abrami G., Becu N., Bommel P., Bonte B., Bousquet F., Gaudou B., Müller J.P., Taillandier P. 2015. Multi-platform Training Sessions to Teach Agent-Based Simulation. *Complex System Conference, Computational Social Science — CCS'15 Satellite Workshop*.
- ✚ [C-COM54] **13-18 March 2016, Skukuza (South Africa)**. de Garine Wichatitsky M., Caron A., Valls H., Perrotton A., Moyo V.A., Miguel E., Zengeya F., Gomo C., Cornélis D., Grosbois V., Hoffmeyr M.D., Mukamuri B., Guerbois C., Pfukenyi D., Murwira A., Chamailé-Jammes S., Fynn R., Le Page C., Figuié M., Fritz H. 2016. Buffalo, cattle and their interactions at the edge of transfrontier conservation areas: synthesis of research carried out 2008-2015 in Hwange NP, Gonarezhou NP and their peripheries (Zimbabwe). *14th Annual Savanna Science Networking Meeting, South African National Parks*.
- ✚ [C-COM55] **13-18 March 2016, Skukuza (South Africa)**. Perrotton A., Le Page C., de Garine Wichatitsky M. 2016. Tackling issues of coexistence between protected areas and communal lands: Using Role playing games and participatory modeling to understand cattle herding strategies at the edge of a protected area. *14th Annual Savanna Science Networking Meeting, South African National Parks*.
- ✚ [C-COM56] **10-14 July 2016, Toulouse**. Becu N., Bommel P., Le Page C., Bousquet F. 2016. Participatory simulation and learning process: technology matters! *8th International Congress on Environmental Modelling and Software*.
- ✚ [C-COM57] **10-14 July 2016, Toulouse**. Tardivo C., Le Page C., Barbier J.-M., Hossard L., Cittadini R., Delmotte S. 2016. Co-building a simulation model with various stakeholders to assess the sustainability of a regional agricultural system: How to articulate different types of knowledge to manage uncertainty? *8th International Congress on Environmental Modelling and Software*.

COMMUNICATIONS PAR AFFICHE DANS UN CONGRES

- ✚ [C-AFF01] **8-10 novembre 1999, Saint Gilles (La Réunion)**. [Poster]. Le Page C., Lardon S., Bommel P., Baron C., Bousquet F. 1999. Entités spatiales génériques et modèles de simulation multi-agent. In M.-P. Gleizes, P. Marcenac (Eds), *JFIADMSA'99. Ingénierie des systèmes multi-agents* (pp. 341-42). Paris : Hermès.
- ✚ [C-AFF02] **24-28 janvier 2005, Paris**. [Poster]. Mathevet R., Le Page C., Etienne M., Gigot G., Lefebvre G., Poulin B., Mauchamp A. 2005. Butorstar: a role-playing game for collective awareness of reedbed wise use. In R. Barbault, J.-P. Le Duc (Eds) *International Conference on Biodiversity, Science and Governance: Today's Choice for Tomorrow's Life*.
- ✚ [C-AFF03] **7-9 décembre 2005, Montpellier**. [Poster]. Mathevet R., Le Page C., Etienne M., Lefebvre G., Poulin B., Mauchamp A. 2005. Le jeu de rôle butorstar comme outil de sensibilisation et d'aide à la gestion collective des roselières. *Colloque international « Modélisations à l'interface entre natures et sociétés »*.
- ✚ [C-AFF04] **6-10 juillet 2008, Clermont-Ferrand**. [Poster]. Souchère V., Millair L., Echeverria J., Bousquet F., Le Page C., Valadares Xavier J.H., Etienne M. 2008. Companion modelling approach for participatory land management: the case of erosive runoff in Upper Normandy. In B. Dedieu, S. Zasser-Bedoya (Eds), *8th European IFSA*

Symposium Empowerment of the rural actors. A renewal of farming systems perspectives (pp. 137-139).

- ✚ [C-AFF05] **16-18 novembre 2008, Addis Abeba (Ethiopie). [Poster]**. Le Page C., Tianvorakoon A., Trébuil G. 2008. PN 25 Companion modeling for resilient water management: Stakeholders' perceptions of water dynamics and collective learning at catchment scale. *IFWF2: 2nd International Forum on Water and Food*. CPWF-CGRAI.
- ✚ [C-AFF06] **3-5 février 2010, Montpellier. [Poster]**. Dumrongrojwattana P., Gajaseni N., Trébuil G., Le Page C., Landy F., Marie J. 2010. Companion modelling to mitigate land use conflict between herders and foresters in Northern Thailand. *LandMod 2010: International Conference on Integrative Landscape Modelling*.
- ✚ [C-AFF07] **25-27 mars 2010, Trang (Thaïlande). [Poster]**. Dumrongrojwattana P., Gajaseni N., Trébuil G., Le Page C., Landy F., Marie J. 2010. Companion modelling to mitigate land use conflict between herders and foresters in Northern Thailand. *2nd ThaiSim Conference "Learning from experience through games and simulations"*.
- ✚ [C-AFF08] **9-10 décembre 2010, Paris. [Poster]**. Leteurtre E., Kunsook C., Le Page C. 2010. La modélisation : un outil pour une solution concertée ? Exemple de mise en œuvre pour la gestion d'une pêcherie. *5ème Colloque régional annuel d'ingénierie écologique*.
- ✚ [C-AFF09] **4-5 June 2015, Michigan State University (USA). [Poster]**. Perrotton A., Le Page C., Chuma P., Triomphe B., de Garine Wichatitsky M. 2015. Kulayinjana («Teaching Each Other »): A Role Playing Game to elicit, model and simulate cattle complex herding strategies. *Innovations in Collaborative Modeling: Addressing complex social and environmental problems through systems modeling techniques*.