



**HAL**  
open science

# Exploration d'effets de paramétrage dans un modèle de jeu de rôles à travers une démarche de simulation

Emmanuel Dubois

► **To cite this version:**

Emmanuel Dubois. Exploration d'effets de paramétrage dans un modèle de jeu de rôles à travers une démarche de simulation : Impact des choix de conception et de mise en oeuvre sur les changements d'attitudes. Sciences du Vivant [q-bio]. ABIES Doctoral School, 2015. Français. NNT : . tel-02796774

**HAL Id: tel-02796774**

**<https://hal.inrae.fr/tel-02796774>**

Submitted on 5 Jun 2020

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

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



## Doctorat ParisTech

# THÈSE

pour obtenir le grade de docteur délivré par

## L'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech)

**Spécialité : Sciences de l'homme et société- Économie**

*présentée et soutenue publiquement par*

**Emmanuel DUBOIS**

le 7 avril 2015

**Exploration d'effets de paramétrage dans un modèle de jeu de rôles à  
travers une démarche de simulation.**

***Impact des choix de conception et de mise en œuvre sur les changements  
d'attitudes***

Directeur de thèse : **Olivier Barreteau**

Co-encadrement de la thèse : **Véronique Souchère**

### Jury

**Mme Juliette Rouchier**, Chargée de recherche, HDR, GREQAM

**M. Christophe SIBERTIN-BLANC**, Professeur, Université Toulouse 1

**Mme Marianne CERF**, Directrice de recherche, INRA

**M. David CROOKALL**, Maître de conférences, Université Nice Sophia-Antipolis, ISEM

**M. Timoteo CARLETTI**, Professeur, Université de Namur

**M. Olivier BARRETEAU**, ICPEF, HDR, IRSTEA

**Mme Véronique SOUCHÈRE**, Ingénieur de recherche, HDR, INRA

Rapporteur

Rapporteur

Examinatrice

Examineur

Examineur

Directeur

Co-directrice

---

## **Exploration d'effets de paramétrage dans un modèle de jeu de rôles à travers une démarche de simulation. Impact des choix de conception et de mise en œuvre sur les changements d'attitudes**

### Résumé

Les jeux de rôles peuvent être utilisés comme méthodes participatives pour la gestion concertée de ressources environnementales. Cependant, les dynamiques des connaissances et des comportements engagés par les participants durant les sessions de jeux sont mal connues. Les choix de conception et de mise en œuvre des jeux sont des vecteurs de cadrage (i.e., d'orientation) de ces dynamiques et leurs effets méritent d'être explorés afin d'anticiper des problèmes éthiques et d'effectivité. Sur la base d'observations de sessions d'un jeu de rôles et de théories psycho-sociales, nous avons développé un système multi-agent, laboratoire virtuel d'exploration d'effets de cadrage. Le système est centré sur l'exploration des cadrages provoqués par des choix de conception et de mise en œuvre sur des dynamiques de changements d'attitudes (i.e., de jugements) se réalisant à travers des séquences de négociations. Les résultats de simulations du système fournissent une explicitation possible des mécanismes sous-jacents aux cadrages provoqués par des choix de conception et de mise en œuvre tels que l'implémentation de feedback sur les conséquences des actions des participants. Par exemple, les résultats suggèrent que l'atteinte d'un consensus d'attitude entre des participants est favorisée lorsqu'à la fois des messages de feedback positif et négatif sont diffusés au cours d'une même session de jeu. Dans les simulations du système multi-agent, ces deux types de feedback augmentent les différents états d'attitudes et les différentes décisions possibles de la population d'agents, incluant les états du système qui provoquent l'émergence du consensus d'attitude.

**Mots-clefs :** modélisation sociale, jeu de rôles, modélisation d'accompagnement, relations attitudes/comportements, changements d'attitudes, effets de cadrage

---

## **Exploration of setting effects in a model of a role playing game with a simulation approach: game design and game implementation impacts on attitude change**

### Abstract

Role playing games can be used as participatory methods for joint management of environmental resources. However, the dynamics of knowledge and behaviors occurring during the game sessions remain poorly known. Choices made in designing and implementing games are vehicles of framing (i.e., orientation) of those dynamics, and their effects deserve to be investigated because they can lead to ethical and efficiency issues. According to game observations and social-psychological theories, we developed an agent-based model as a virtual laboratory to explore framing effects. The agent-based model is focused on the exploration of framings caused by game design and implementation on attitude (i.e., appraisal) dynamics occurring through successions of negotiations. Results of simulations bring a possible explicitness of the underlying mechanisms of the framings caused by design and implementation choices, such as giving feedback to participants about the consequences of their actions. For instance, results suggest that reaching an attitude consensus among participants is favoured when both positive and negative feedback messages are diffused during a same game session. Regarding the simulations of the agent-based model, the presence of the two types of feedback increases the different attitude states and the possible decisions of agents, involving the states of the system leading to attitude consensus.

**Keywords:** agent-based social simulation, role playing game, companion modelling, attitude-behaviour relations, attitude change, experimental setting effects



# Sommaire

<b>Introduction</b>	<b>8</b>
<b>Chapitre 1 Problématique</b>	<b>16</b>
1. La problématique sous la forme d'un entonnoir	17
2. Questionnement de recherche	31
<b>Chapitre 2 Stratégie, matériel et méthodes</b>	<b>33</b>
1. Explicitation de la stratégie globale	35
2. Stratégie de sélection de l'état de l'art	37
3. Matériel	39
4. Méthode d'utilisation du matériel pour produire des données	42
5. Méthodes pour la modélisation multi-agent	45
6. Méthode de simulation des modèles	50
<b>Chapitre 3 Envisager une modélisation multi-agent de relations attitudes/comportements fondée sur la base de théories psycho-sociales : situation par rapport à la littérature</b>	<b>55</b>
1. Situation par rapport aux principaux modèles de dynamiques d'opinions	56
2. Limites et dépassement des principaux modèles de dynamiques d'opinions pour remplir l'objectif	65
<b>Chapitre 4 Développement du système multi-agent, laboratoire virtuel d'exploration d'effets de cadrage</b>	<b>85</b>
1. Formalisation de la situation	86
2. Changements d'attitudes dans les sessions de jeu	95
3. Modélisation et simulation du système multi-agent	101
4. Explorations possibles d'effets de cadrage en fonction des éléments de <i>CauxAttitude</i> directement influençables par des dispositifs	128
<b>Chapitre 5 Exploration des effets d'un dispositif de feedback sur les dynamiques d'attitudes</b>	<b>136</b>
1. Introduction	138
2. Description of <i>CauxOpération</i>	142
3. The Agent-Based Models: <i>CauxAttitude</i> and <i>CauxFeedback</i>	145
4. Simulations of the Models	153
5. Discussion	162
6. Conclusion	164
<b>Chapitre 6 Discussion</b>	<b>165</b>
1. Résumé du problème et des résultats	166

2. Portée des résultats de la thèse	172
3. Limites des résultats de la thèse pour la modélisation d'accompagnement	185
4. Perspectives	198
<b>Conclusion</b>	<b>219</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>224</b>
<b>Annexes</b>	<b>237</b>
1. Matériel d'observation de jeu	238
2. Liens pour télécharger les codes des modèles	250

# Introduction

Nombre d'expériences en sciences humaines et sociales révèlent l'existence d'effets de contexte et de dispositifs expérimentaux sur les participants. Par exemple, Steinzor (1950) dans une étude sur la communication de groupe, montre que, placés autour d'une table circulaire, les participants créent plus d'interactions verbales avec leurs partenaires placés face à eux qu'avec ceux placés à côté. Tversky & Kahneman (1981) montrent les effets que produisent la manière de présenter un problème sur les prises de décision. Ils demandent à un groupe de participants de choisir entre sauver 200 personnes sur 600 à coup sûr ou alors d'avoir une chance sur trois de sauver les 600 personnes. Puis ils demandent à un autre groupe de choisir entre laisser 400 personnes mourir ou alors avoir deux chances sur trois de voir 600 personnes mourir. Ils observent alors que les participants du premier groupe ont tendance à adopter une attitude d'aversion au risque qui les conduit à choisir la première alternative (sauver 200 personnes). Tandis que les participants du second groupe ont plus tendance à choisir la seconde alternative (deux chances sur trois de voir les 600 personnes mourir pour avoir une chance sur trois de toutes les sauver). Bien que les quatre cas aient la même espérance mathématique, la façon dont est présenté le problème a tendance à influencer les décisions.

Certaines études remettent aussi en cause les résultats d'expériences scientifiques en sciences humaines en attaquant les dispositifs expérimentaux. Par exemple, la manière dont sont formulées les consignes de l'expérience peut avoir un impact sur les performances des participants. Une des suggestions issue de la théorie de la pertinence développée par Sperber & Wilson (1995) et fondée sur la théorie de Grice (1975) est que le contenu de la communication verbale serait sujet à un principe d'économie, selon lequel nous aurions tendance à ne dire que ce qui est pertinent. De ce fait, un acte communicationnel est censé être coopératif, et face à l'énoncé d'un locuteur, l'interprétation de l'interlocuteur consiste à utiliser le chemin du moindre effort cognitif de traitement de l'information. Van der Henst (2002), dans la mouvance de cette théorie, suggère de ce fait que beaucoup de résultats d'expériences sur les erreurs de raisonnement en psychologie, tels que l'observation de biais cognitifs (e.g., Tversky & Kahneman, 1981) ne sont pas dus à des déficiences inférentielles par le participant, mais plutôt à des différences d'interprétation des consignes entre participants et expérimentateurs. Les consignes utilisées dans ce genre d'expériences ne respectent en effet pas forcément ce principe de pertinence, les expérimentateurs cherchant à minimiser les indices permettant aux participants d'échapper au biais qu'ils veulent observer.

Ce type de cadrage provoqué par les choix de dispositifs expérimentaux (i.e., choix des différents éléments de l'expérience, comme les règles, la gestion de l'espace et du temps, les supports mis à disposition...) peut créer

des problèmes pour la production de données scientifiques par l'expérimentation contrôlée. Mais il peut également toucher d'autres dispositifs ayant des structures similaires, notamment les jeux de rôles, objets de cette thèse. Ce sont des méthodes basées sur la mise en situation, dans lesquelles les participants sont invités à agir et interagir dans un environnement fictif autour d'un problème donné. Les jeux de rôles apparaissent dans divers domaines tels que l'éducation, l'économie, la psychologie sociale, le marketing, l'environnement, la communication, le politique, etc. Leurs objectifs peuvent être très différents, tels que tester des hypothèses de recherche (e.g., Haney, Banks, & Zimbardo, 1973), éduquer (e.g., De Caluwé, Geurts, & Kleinlugtenbelt, 2012), ou encore être des supports d'interaction autour de problèmes de gestion de ressources (e.g., collectif ComMod, Companion Modelling (Etienne, 2010)).

Les jeux de rôles développés dans le cadre du collectif ComMod permettent des partages de représentations entre des participants concernés par un même système social et écologique, des apprentissages, d'explorer des solutions efficaces, ou encore d'élaborer des scénarios. Parmi ceux-ci, le jeu *CauxOpération* (Souchère et al., 2010), qui est utilisé comme objet d'investigation dans la thèse, est une mise en situation dont le principe est de réunir des agriculteurs, maires et animateurs de bassin versant dans le cadre d'un jeu les mettant face à des problèmes de ruissellement érosif sur un territoire fictif, similaire à leur vrai territoire. Les participants prennent possession d'un rôle, qui correspond à leur fonction dans la vie réelle. Dans le jeu, les agriculteurs doivent choisir les cultures qu'ils vont semer sur chaque parcelle de leur exploitation, et les animateurs et les maires doivent chercher des solutions pour faire face aux problèmes d'érosion qui résultent éventuellement des choix des agriculteurs. Toutes les actions réalisées sont rentrées dans un programme informatique qui calcule le ruissellement érosif produit sur le territoire. Les objectifs pour les participants sont de prendre conscience des risques de ruissellement et de l'impact de leurs pratiques. Ils peuvent également se concerter pour mettre en place des aménagements anti-érosifs et/ou changer leurs pratiques agricoles. L'objectif principal de ce jeu est d'initier une gestion concertée du territoire en permettant aux participants de se rendre compte des conséquences collectives de leurs décisions individuelles.

Ce type de méthode est, au même titre que les méthodes expérimentales contrôlées, potentiellement sujet à des effets de cadrage des différents choix de dispositifs faits pendant leur construction ou leur mise en œuvre. Pour l'instant, j'entends par dispositif tout élément découlant d'un choix de conception (e.g., support mis à disposition des participants, cartes, fiches de rôles) ou de mise en œuvre (e.g., gestion de l'espace et du temps par l'organisateur, choix des participants). La définition sera précisée et nuancée

dans la section 1.1.2 du Chapitre 1. Désolé, (2011) observe par exemple des effets de contexte dans un jeu de rôles appliqué à un bassin versant d'Afrique du Sud. Il a comparé les comportements de participants dans une version décontextualisée du jeu (i.e., le jeu ressemble alors à une expérience d'économie expérimentale) avec les comportements de participants dans différentes versions du jeu pour lesquelles il a réintroduit différents éléments de contexte. Il montre que l'ajout d'un contenu narratif aux instructions du jeu provoque chez les participants une déviation du comportement rationnel (au sens économique). Il montre également que des contextualisations du jeu à travers différentes thématiques n'ont pas le même impact sur les participants même si la structure du jeu et la matrice de gains associée reste identique.

Dans l'exemple du jeu *CauxOpération*, on peut se demander si les choix des dispositifs du jeu permettent aux participants de tester toutes les solutions qu'ils désirent, ou est-ce que certains dispositifs créent des contraintes. On peut aussi se demander si la façon dont est présenté le jeu aux participants peut les influencer dans les choix et actions qu'ils vont produire. Ou encore, est-ce que certains choix de dispositifs peuvent influencer les représentations des participants sur le système social et écologique qu'ils partagent dans une certaine direction ? Ces types d'effets peuvent poser problème s'ils affectent l'effectivité des jeux de rôles (i.e., les sessions de jeux remplissent-ils les objectifs désirés par les concepteurs ? Génèrent-elles des artefacts qui vont être surévalués par les participants ?) et posent aussi un problème éthique dès lors qu'il y a une potentielle affectation du participant à son insu.

Quand mes parents me demandent comment je m'y prends dans ma thèse pour questionner ce type de problème, je commence par leur parler de quelque chose que je n'étudie pas du tout : les oiseaux. La méthode développée dans cette thèse est inscrite dans le champ de la simulation sociale, et pour leur expliquer ce à quoi cela peut ressembler, je leur raconte l'étude de Craig Reynolds (1987) qui simule l'émergence de formes géométriques de nuées d'oiseaux en vol à partir de règles individuelles. Je leur dis : « vous voyez les groupes d'oiseaux qui font des formes géométriques dans le ciel ? Pourtant les oiseaux n'ont pas d'organisation collective explicite et ne vont pas se concerter pour former un triangle. Alors qu'est ce qui peut expliquer l'observation de telles formes ? Supposons que chaque oiseau obéit à des règles très simples pour se déplacer (qui sont des hypothèses) : (1) se rapprocher des autres oiseaux, (2) essayer de suivre le même chemin que les autres. Ces hypothèses de comportements individuels peuvent être soutenues par exemple par le principe de sélection naturelle, selon lequel les oiseaux ont plus de chance de survivre s'ils sont en groupe. Les oiseaux agissant selon ces règles se reproduiraient donc plus facilement et ainsi transmettraient leurs règles aux générations ultérieures. On peut maintenant imaginer un programme informatique dans lequel

on a programmé une population d'oiseaux virtuels se déplaçant dans un espace donné selon ces deux règles. Et quand on simule l'évolution des déplacements dans le temps, on voit apparaître des formes géométriques semblables aux formes qu'on observe dans la réalité. On arrive alors à expliquer des comportements complexes au niveau d'un groupe à partir de règles individuelles simples. Mais ces comportements sociaux ou globaux ne pouvaient être prévisibles avec la seule connaissance des règles individuelles, d'où le recours à la simulation informatique pour les voir émerger. »

Je dis alors à mes parents que dans ma thèse je fais des choses similaires sauf que je m'intéresse à des évolutions d'attitudes (i.e., terme utilisé en psychologie pour dire « jugement sur un objet ») de groupes de participants de jeux de rôles. De manière similaire aux formes géométriques des nuées d'oiseaux dont l'émergence relève de propriétés dépassant les décisions individuelles de chaque oiseau, les changements d'attitudes de participants dans un groupe peuvent être influencés par des processus qui dépassent la conscience de chaque participant. Plus particulièrement, je m'intéresse à comment les participants vont changer leurs attitudes lorsqu'ils interagissent entre eux. Les règles individuelles selon lesquelles agissaient les oiseaux sont maintenant définies au niveau des participants et vont être du type : « si quelqu'un me fait une proposition *A* et que je l'accepte, sachant que j'étais libre d'accepter ou de refuser, alors mon attitude va avoir tendance à se rapprocher de mon comportement, i.e. je vais être plus favorable à *A*. De la même manière que pour les oiseaux, je programme informatiquement une population de participants virtuels qui obéissent à des règles individuelles de changement d'attitudes. Je complique un petit peu les choses en ajoutant des règles d'interaction entre les participants virtuels (ils se font des propositions qu'ils acceptent ou refusent), puis je simule et observe les phénomènes collectifs que cela peut produire. Pour la thèse, j'ai pris un exemple en me focalisant sur un type d'interaction entre participants se produisant dans un jeu de rôles. Les propositions entre participants que j'analyse sont des représentations de négociations qui se déroulent dans le jeu pour la mise en place de solutions de lutte contre le ruissellement érosif. Pour déterminer les règles individuelles, je ne me réfère pas à la sélection naturelle mais à des théories psychologiques sur les changements d'attitudes. Et pour déterminer la façon dont les participants virtuels interagissent, je réalise des observations du jeu *CauxOpération*, que j'ai pris comme support dans la thèse, avec des vrais participants.

Mes parents me demandent alors : « mais quel est le lien avec les problèmes liés aux choix de dispositifs faits dans les jeux de rôles ? » Je leur réponds qu'à partir de ce modèle de simulation que j'ai développé, je peux explorer comment le comportement du niveau global/social concernant les changements d'attitudes du groupe de participants virtuels peut-être influencé par

la façon dont le jeu a été construit, ainsi que par la façon dont il est mis en œuvre. À la différence de l'étude sur les oiseaux, pour laquelle on essaie de reproduire un comportement observé dans la réalité par simulation, je cherche à explorer comment les comportements sont influencés par l'introduction d'artificialité (i.e., construit de l'Homme). Quelles formes de nuées d'oiseaux observerait-on si on plaçait les oiseaux dans un environnement qu'on a volontairement perturbé ? Par exemple, je peux me demander si le fait de donner du feedback aux participants sur les conséquences de leurs actions (e.g. dans *CauxOpération*, un programme informatique calcule l'intensité du ruissellement érosif produit sur le territoire) peut influencer les changements d'attitudes du groupe de participants. Ce sont des questions importantes pour les concepteurs de jeux, car les effets de ces dispositifs sur les attitudes des participants sont des sources potentielles de problèmes d'effectivité (e.g., si le jeu contraint l'évolution des attitudes dans un seul sens) et d'éthique (i.e., si le jeu influence les attitudes des participants à leur insu). Le but de ma thèse est de développer cette méthode et de la tester. La particularité de cette méthode est que plutôt que de chercher à capturer des effets de dispositifs par observations de sessions de jeux de rôles, je vais chercher à capturer des effets de paramétrage par simulation d'un modèle de jeu de rôles. La méthode repose donc sur la construction d'un objet théorique, i.e., un modèle de jeu de rôles, et sur l'exploration des effets de paramétrage de cet objet par des simulations du modèle pour différentes conditions initiales.

La construction de ma question de recherche s'est réalisée sur la base de conciliations institutionnelles et personnelles. Il a fallu construire une question pertinente impliquant mes disciplines d'origine, mes préférences d'objets d'étude et les enjeux du projet initial qu'on m'a proposé. Les UMRs d'accueil et financeurs de la thèse sont le SAD-APT (INRA, AgroParisTech) i.e., « Sciences Action Développement Activités Produits Territoires », et G-EAU (Irstea) i.e., « Gestion de l'eau, Acteurs, Usages ». Le financement du fonctionnement de la thèse a été assuré par l'agence de l'eau Seine-Normandie pour leur intérêt vis-à-vis du jeu *CauxOpération*. Bien que les enjeux puissent être différents pour ces différentes institutions, le point commun qui les réunit est leur intérêt pour la modélisation d'accompagnement. Celle-ci se qualifie par l'implication d'acteurs locaux (i.e., parties prenantes du système faisant objet de la démarche) dans sa mise en œuvre, par son recours à des modèles comme moyens de représentation des enjeux en discussion et par l'importance donnée à l'interprétation collective des sorties de ces modèles (Etienne, 2010). La modélisation d'accompagnement utilise notamment les jeux de rôles comme moyens d'expression de sa démarche, jeux de rôles qui sont au cœur de notre objet d'étude dans ce travail. Les directeurs de cette thèse, Olivier Barreteau (Irstea) et Véronique Souchère (INRA) sont membres du collectif

ComMod qui fédère à travers une charte l'ensemble des chercheurs décidés à mettre en place des démarches participatives autour d'une vision commune concernant les manières de faire et les objectifs de cette démarche. Pour persévérer dans le respect de la vision « Commodienne », les chercheurs se questionnent sur les éventuels effets non attendus et non visibles des mises en œuvre de la démarche (e.g. effets de la démarche sur les acteurs participants). C'est dans ce questionnement qu'est né le projet initial de cette thèse. Il s'inscrit dans la poursuite du projet de recherche ComMod « la modélisation d'accompagnement : une pratique de recherche en appui au développement durable » dans le cadre du programme « agriculture et développement durable de l'ANR ». Le sujet de thèse était intitulé à l'origine : « Exploration par la simulation de jeux de rôles pour une modélisation d'accompagnement du ruissellement érosif en bassin versant ». L'enjeu majeur de ce projet initial était que, du fait que les jeux de rôles ont été apportés dans les processus de décision collective de manière pragmatique et empirique, ils méritent d'être mieux évalués. Un des aspects des jeux de rôles est qu'ils suscitent des interrogations relatives à l'existence d'éventuels biais produits par la méthode, les modèles sous-jacents aux jeux de rôles pouvant induire un cadrage des possibilités d'exploration offertes aux acteurs participants. Ce projet initial me fixait trois contraintes à intégrer dans ma question de recherche : explorer des effets de cadrage via la simulation multi-agent et utiliser le jeu de rôles *CauxOpération* comme exemple de référence.

Mes formations et mes passions scientifiques m'ont conduit à m'approprier ce projet initial en modifiant et en ajoutant plusieurs éléments. J'ai depuis longtemps un profond intérêt pour l'étude scientifique du fonctionnement de l'homme et de l'homme en société. J'ai suivi une formation principale en psychologie, sociologie puis en sciences cognitives et effectué mon stage de master 2 sur un sujet traitant de modélisation de dynamiques d'attitudes. Mon premier désir a été d'introduire une dimension psychologique au projet de thèse. C'est pourquoi j'ai fait le choix d'articuler une question de recherche visant à explorer des effets de cadrage des dispositifs de jeux de rôles provoqués sur les attitudes des participants. Mon second désir a été de travailler sur la compréhension des mécanismes des phénomènes étudiés. Ce qui m'intéresse dans la recherche scientifique, c'est de chercher à comprendre un mécanisme isolé plutôt que de chercher à mesurer les effets d'un phénomène dans un environnement complexe sans en chercher les causes précises. C'est pourquoi j'ai fait le choix d'articuler une question de recherche visant à développer des modèles simples pour pouvoir qualifier les mécanismes sous-jacents aux dynamiques observées par simulation.

À partir de maintenant, j'emploierai le « nous » d'usage. Dans le premier chapitre, nous présenterons la problématique. Nous commencerons

par clarifier les questionnements posés par l'utilisation de méthodes participatives et en l'occurrence de jeux de rôles. Nous définirons et justifierons ensuite sous la forme d'un entonnoir nos choix de questionnements successifs qui nous ont menés à la question de recherche. C'est-à-dire, comment à partir d'un problème très général concernant les effets de cadrage dans les jeux de rôles, nous avons abouti à nous questionner sur le développement d'une méthode de modélisation/simulation multi-agent des effets de cadrage sur les changements d'attitudes dans des séquences de négociations pour en déterminer les mécanismes sous-jacents. Dans le second chapitre nous décrivons la stratégie développée pour aborder la question de recherche, en articulant et décrivant l'ensemble des matériels et méthodes auxquels nous avons recouru dans la thèse. Dans le troisième chapitre, nous contextualiserons nos différents questionnements dans la littérature sur les modèles de dynamiques d'opinions et d'attitudes en simulation sociale, dans la littérature impliquant des modèles de simulation sociale qui intègrent des processus cognitifs et dans la littérature sur les systèmes multi-agents intégrant des théories relatives aux relations attitudes/comportements. Le quatrième chapitre présentera le modèle initial appelé *CauxAttitude* que nous avons développé, les résultats de simulations et leur implication dans la réponse à la question de recherche, ainsi que l'analyse des observations de terrain qui nous ont permis à la fois de construire certaines parties du modèle ainsi que de former des hypothèses d'effets de cadrage. Le cinquième chapitre présentera un second modèle, *CauxFeedback*, dérivé du premier, qui intègre un dispositif courant dans les jeux de rôles : le feedback transmis aux participants sur les effets de leurs actions. Nous détaillerons les résultats de simulations et les implications que nos résultats suggèrent quant aux effets du feedback sur les attitudes des participants. Nous discuterons dans le sixième chapitre de l'ensemble de notre contribution pour la modélisation d'accompagnement, mais aussi pour la psychologie sociale et la modélisation de dynamiques d'attitudes à un niveau plus fondamental. Nous discuterons l'ensemble de nos résultats en relation avec nos choix méthodologiques en caractérisant leur portée et leurs limites. Puis nous présenterons les améliorations et perspectives possibles pour les recherches ultérieures, à savoir les évolutions possibles des modèles développés, ainsi que les possibles expériences contrôlées à réaliser pour la mise à l'épreuve et l'amélioration des modèles.

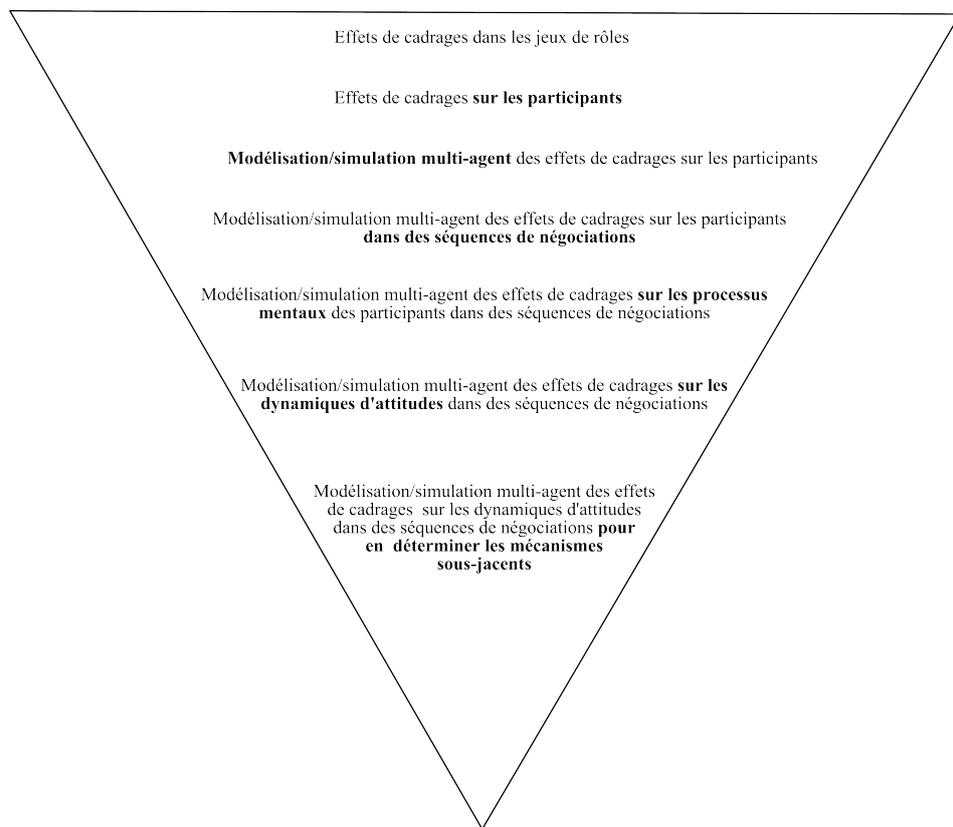
La thèse est en partie écrite sous formes d'articles, les chapitres quatre et cinq comprennent chacun un article, le premier est publié dans la revue JASSS, l'autre est en cours de soumission à la revue Social Science Computer Review.

# Chapitre 1

## Problématique

## 1. La problématique sous la forme d'un entonnoir

Nous allons identifier dans cette partie les questionnements des chercheurs sur l'existence d'effets de cadrage liés à la conception et la mise en œuvre des jeux de rôles en modélisation d'accompagnement. Puis, en le justifiant, nous allons au fur et à mesure réduire l'ensemble des choix possibles que nous avons pour réaliser cette thèse, pour aboutir au final à notre questionnement de recherche. Cette réduction peut-être schématisée sous la forme d'un entonnoir (Figure 1), et chaque niveau de l'entonnoir correspond à chacune des sous-parties à venir de cette section.



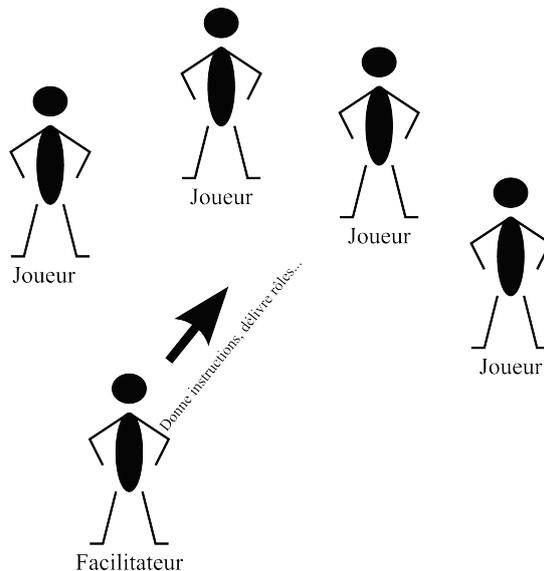
**Figure 1** Du problème au questionnement de recherche. Les mots en gras indiquent les choix faits à chaque niveau de l'entonnoir, réduisant alors l'ensemble des possibles.

1.1 Effets de cadrage dans les jeux de rôles

1.1.1 Jeux de rôles en modélisation d'accompagnement

Les jeux de rôles développés et utilisés par le collectif Commod sont des simulations interactives entre acteurs, parties prenantes d'un système social et écologique, et majoritairement utilisés pour répondre à des problèmes de gestion collective de ressources. Ils sont utilisés comme outils permettant le partage des représentations sur le système dans lequel les acteurs sont en interdépendance et permettant des discussions autour de modèles utilisés dans le processus de décision, que ceux-ci soient biophysiques, économiques ou autre. Les jeux de rôles permettent d'explorer des scénarios d'usage d'une ressource commune ou d'aménagement d'un territoire, sans engagement direct puisqu'ils se déroulent dans un monde virtuel. On peut décomposer une session de jeu en trois phases : le briefing (Figure 2), la phase de simulation interactive et dynamique (Figure 3), et le débriefing (Figure 4).

Le briefing permet au facilitateur de jeu d'introduire le jeu de rôles aux parties prenantes réunies pour participer à la session. Il explique le fonctionnement du jeu et distribue les rôles à chacun. Suivant les jeux de rôles, les rôles attribués ne correspondent pas nécessairement aux activités du participant dans la réalité. Faire un échange de rôles dans une simulation permet par exemple aux parties prenantes de mieux comprendre les points de vue de chacun.



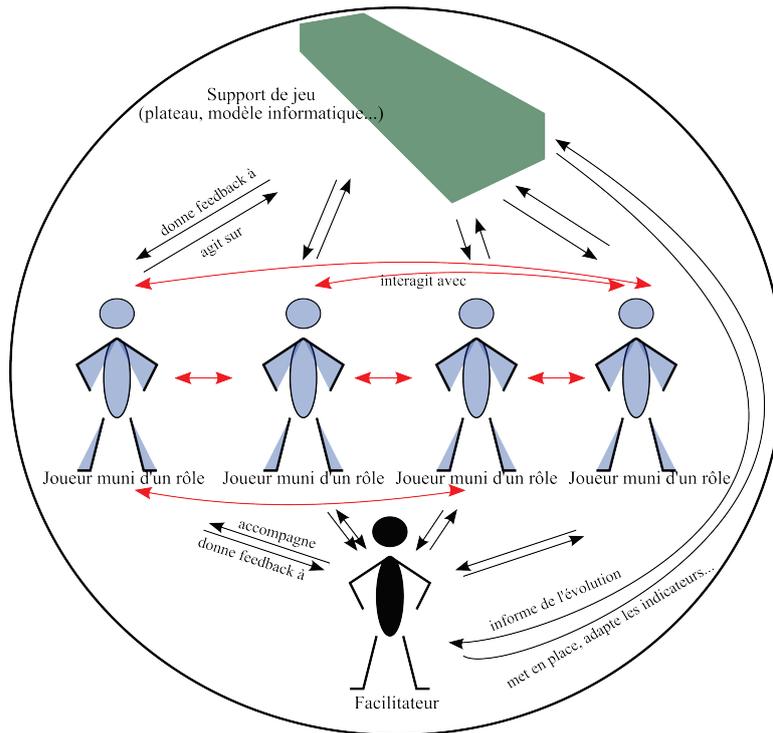
**Figure 2** Représentation schématique d'un briefing.

La phase de simulation interactive et dynamique caractérise la mise en situation des participants, ayant chacun endossé un rôle attribué. Dans une même session, les interactions entre participants peuvent prendre des formes diverses : négociations, mimétisme, échange d'informations, etc. Les participants peuvent agir sur le support du jeu, correspondant généralement à une représentation simplifiée d'un territoire géographique disposant d'une ou plusieurs ressources naturelles. Leurs actions sur le système sont de divers types selon les jeux. Par exemple, dans *CauxOpération*, le jeu que nous prenons comme témoin dans la thèse, les participants ayant un rôle d'agriculteur doivent affecter des cultures à leurs parcelles et mettre en place des solutions de lutte contre le ruissellement érosif dans un bassin versant virtuel. Dans le jeu Concert'eau (Richard-Ferroudji & Barreteau, 2006), les participants doivent effectuer une gestion collective et concertée de la ressource en eau sur un bassin versant des Pyrénées-Orientales.

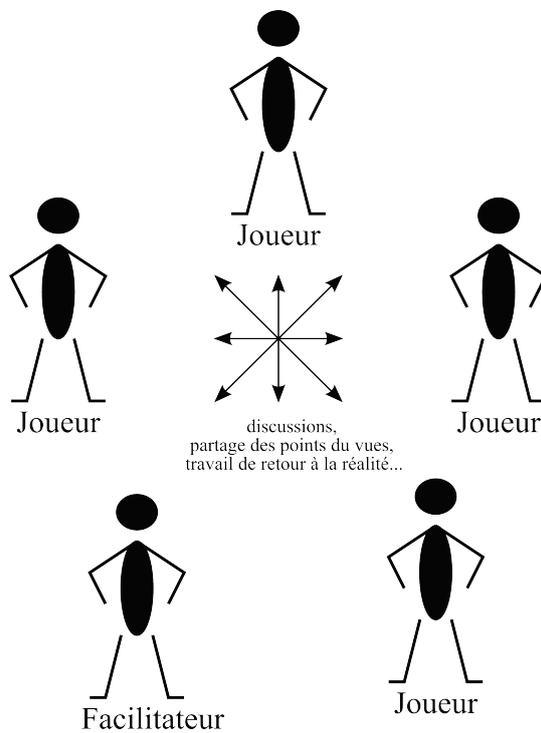
En retour, le support du jeu peut procurer un feedback aux participants sur les effets de leurs actions, ce qui leur permet de tester l'effet de différentes actions, de modifier des actions non efficaces, etc. Le facilitateur de jeu observe le déroulement de la session, identifie les potentielles impasses dans lesquelles les participants peuvent tomber et intervient si besoin. Son intervention est plus ou moins invasive, e.g., il peut inciter un participant ayant un rôle d' élu à organiser une réunion collective avec l'ensemble des participants, ou alors simplement passer la parole à des participants.

Les simulations sont généralement dynamiques, i.e., elles simulent une évolution temporelle du système en intégrant les actions produites par les participants. Elles reposent sur une base itérative discrète, à chaque pas de temps représentant une période définie a priori, le support de jeu est mis à jour, révélant éventuellement les conséquences des actions des participants.

Un débriefing collectif vient conclure les sessions de jeux. Il sert de moyen de retour à la réalité pour les participants et permet de faire des liens entre ce qu'il s'est passé dans le jeu avec ce qu'il se passe dans le système réel. Les participants explicitent également leurs actions, ce qui favorise le développement de la représentation partagée des processus de décision de chacun. Le débriefing sert également à mettre en lumière les éventuelles difficultés qu'ont rencontrés les participants durant la session.



**Figure 3** Représentation schématique de la phase de simulation interactive et dynamique.

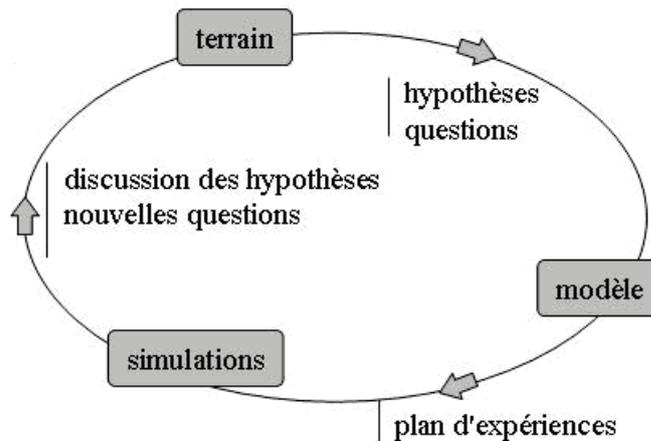


**Figure 4** Représentation schématique d'un débriefing collectif.

Ces jeux de rôles sont utilisés dans une étape « simulation » du processus plus large de modélisation d'accompagnement (Figure 5). De manière opérationnelle, le principe de la modélisation d'accompagnement est d'inférer des questionnements et des hypothèses à partir d'un problème social et écologique identifié sur un territoire donné. Sur cette base il est élaboré un modèle conceptuel de représentation du fonctionnement du système social et écologique considéré. Cette élaboration peut être co-construite avec des parties prenantes suivant un protocole particulier. Par exemple, certains chercheurs utilisent la méthode ARDI, caractérisée par une série d'ateliers collectifs au cours desquels Acteurs, Ressources, Dynamiques et Interactions (i.e., enjeux du système) sont identifiés et explicités (Etienne, 2009). Le modèle conceptuel produit peut alors être implémenté sous forme de jeu de rôles et/ou de système multi-agent, afin de simuler le système social et écologique avec des parties prenantes. Ce type de simulation permet ainsi le partage de représentations, l'élaboration de solutions collectives ou encore d'envisager de futurs souhaitables à partir de scénarios. Les impacts éventuels de ces simulations sur le système réel vont amener de nouveaux questionnements et faire évoluer l'ensemble du processus qui peut se répéter. Les chercheurs utilisant la démarche ComMod parlent beaucoup de boucles pour expliciter le processus de modélisation d'accompagnement, la Figure 5 montre un exemple de représentation simple du bouclage.

Les jeux de rôles, qu'ils soient co-construits avec les parties prenantes ou non, sont le fruit d'une conception et d'une mise en œuvre élaborées suivant plusieurs critères, ils intègrent :

- Les perspectives des parties prenantes autour de la ressource à gérer. Par exemple, un jeu peut simuler quatre années réelles car quatre années correspondent au temps nécessaire pour que la ressource se renouvelle.
- La vision et charte de ComMod (collectif ComMod, 2005). Par exemple, les jeux sont conçus pour permettre aux participants d'élaborer eux-mêmes des solutions, et non pour transmettre des solutions élaborées par le chercheur.
- Des contraintes matérielles ou de « réalisabilité ». Par exemple il peut s'avérer difficile de réunir l'ensemble de la population concernée dans une même session de jeu (e.g., emplois du temps chargés).



**Figure 5** Représentation d'un processus de modélisation d'accompagnement (Barreteau, 1998).

### 1.1.2 Effets de cadrage

La conception ainsi que la mise en œuvre des jeux ne sont néanmoins pas pensées en fonction des dynamiques et des sorties que les jeux produisent lors de la phase de simulation interactive et dynamique. Il n'y a pas d'anticipation a priori de l'ensemble des connaissances pouvant être mobilisées par les participants, des solutions collectives atteignables dans le jeu, de l'ensemble des chemins possibles pour aboutir à une solution donnée, des différents apprentissages et changements de représentations du monde, de croyances, d'opinions ou encore d'attitudes des participants. Par exemple, dans *CauxOpération*, les participants, à travers les négociations qu'ils réalisent entre eux, sont susceptibles de changer les représentations qu'ils ont sur les solutions de lutte contre le ruissellement érosif. Mais les concepteurs n'ont pas déterminé a priori l'ensemble des objets pour lesquels les représentations des participants sont susceptibles d'évoluer, ainsi que l'ensemble des directions vers lesquelles ces représentations peuvent évoluer au cours du jeu. Aussi, pour l'organisation d'une session de jeu, le choix du groupe de participants à réunir n'est pas pensé en fonction des représentations initiales de chacun. Si bien que les jeux peuvent provoquer des « cadrages » non maîtrisés sur cet ensemble de dynamiques et de finalités.

Par cadrage, nous entendons tout type d'orientation des dynamiques et des sorties possibles des jeux, aussi bien au niveau quantitatif (e.g., augmentation ou réduction des solutions collectives atteignables, augmentation ou réduction des chemins possibles pour aboutir à une solution) que qualitatif

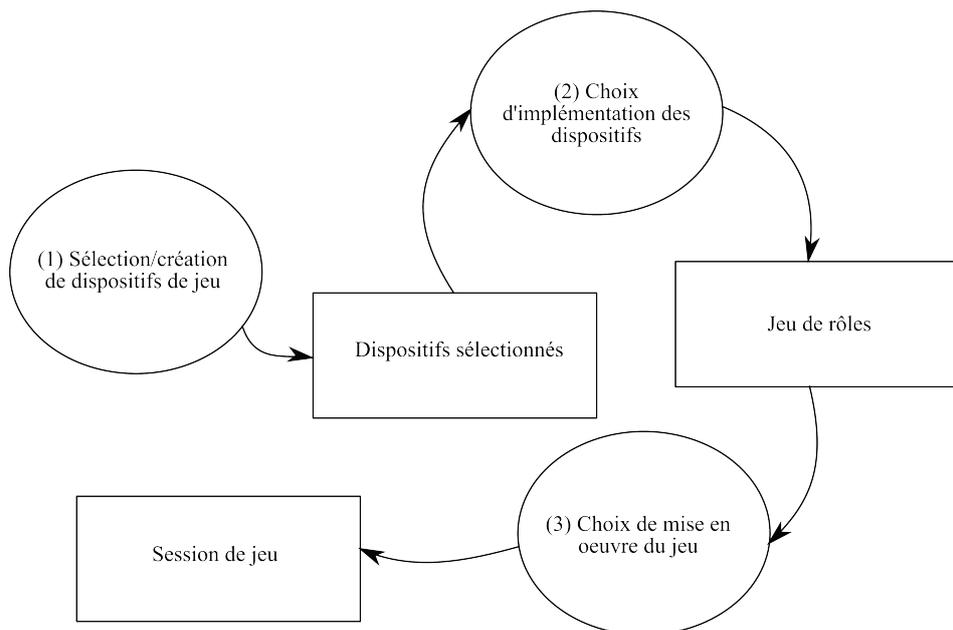
(e.g., type de connaissances mobilisables). Nous considérons comme vecteur de cadrage tout choix de conception ou de mise en œuvre entraînant ce type d'orientation, que le choix en question représente correctement un élément du système réel ou qu'il soit un artefact propre au jeu. Le choix peut être intentionnellement fait par le concepteur ou non, et les conséquences du choix peuvent être réfléchies a priori ou non. Les différents choix vecteurs de cadrage se distinguent en trois types (Figure 6) :

(1) Sélection des différents dispositifs de jeux à intégrer dans le jeu de rôles cible à concevoir (e.g., règles, supports mis à disposition, feedback sur les conséquences des actions des participants).

(2) Choix d'implémentation des dispositifs sélectionnés (e.g., si le concepteur décide d'implémenter un dispositif de feedback, il réalise des choix pour déterminer la façon dont il va être calculé, transmis aux participants...).

(3) Les choix de l'organisateur dans la mise en œuvre d'une session de jeu (e.g., gestion de l'espace et du temps, choix des participants...).

Pour simplifier la lecture, nous emploierons dans la thèse les termes « dispositifs » pour qualifier les choix du type (1) et « choix d'implémentation de dispositifs » pour faire référence aux choix des types (2) et (3).



**Figure 6** Les différents choix conception et de mise en œuvre des jeux vecteurs d'effets de cadrage.

En conséquence, les effets de cadrage se produisant durant la phase de simulation et provoqués par les choix des dispositifs et de leur implémentation nécessitent d'être explorés. L'objectif de cette thèse est de développer et tester

une méthode permettant cette exploration sur un ensemble réduit des possibilités d'investigation, que nous détaillons dans les sous-sections qui suivent.

---

## 1.2 Effets de cadrage sur les participants

Les effets de cadrage peuvent se produire sur le support du jeu ou sur les participants. Concernant le support, on peut se demander par exemple si, du fait de la conception d'un jeu, les participants ont la capacité d'investiguer l'ensemble des solutions possibles, sans que le dispositif expérimental ne les restreigne. Explorer ces effets à travers un travail de recherche permet de poser la question de l'effectivité des jeux. Les jeux sont-ils suffisamment ouverts pour permettre aux participants d'investiguer les solutions les plus particulières, ou sont-ils restreints à un ensemble de solutions par la façon dont ils sont construits ?

Concernant les participants, on peut se demander comment leurs apprentissages, leurs évolutions d'idées ou leurs changements de stratégies se déroulant au cours des sessions sont cadrés par le dispositif. Le processus influence-t-il implicitement les participants ? C'est ce second questionnement que nous allons approfondir. Il nous semble essentiel d'investiguer cette voie pour deux raisons :

- Une influence implicite des participants peut induire des problèmes éthiques.
- La question de l'effectivité des jeux se pose également lorsqu'on se focalise sur les participants. Par exemple, on peut se demander si les jeux permettent aux participants d'aboutir à des évolutions de représentations ou de connaissances éparses, ou encore si les jeux cadrent les participants en uniformisant les pensées.

---

## 1.3 **Modélisation/simulation multi-agent** des effets de cadrage sur les participants

Pour investiguer la problématique des effets de cadrage sur les participants, un moyen est de développer une méthode de modélisation/simulation multi-agent. Selon la définition de Ferber (1995), on appelle système multi-agent, un système composé des éléments suivants :

- Un environnement  $E$ , c'est-à-dire un espace disposant généralement d'une métrique.
- Un ensemble d'objets  $O$ . Ces objets sont situés, c'est-à-dire que, pour tout objet, il est possible, à un moment donné, d'associer une position dans  $E$ . Ces

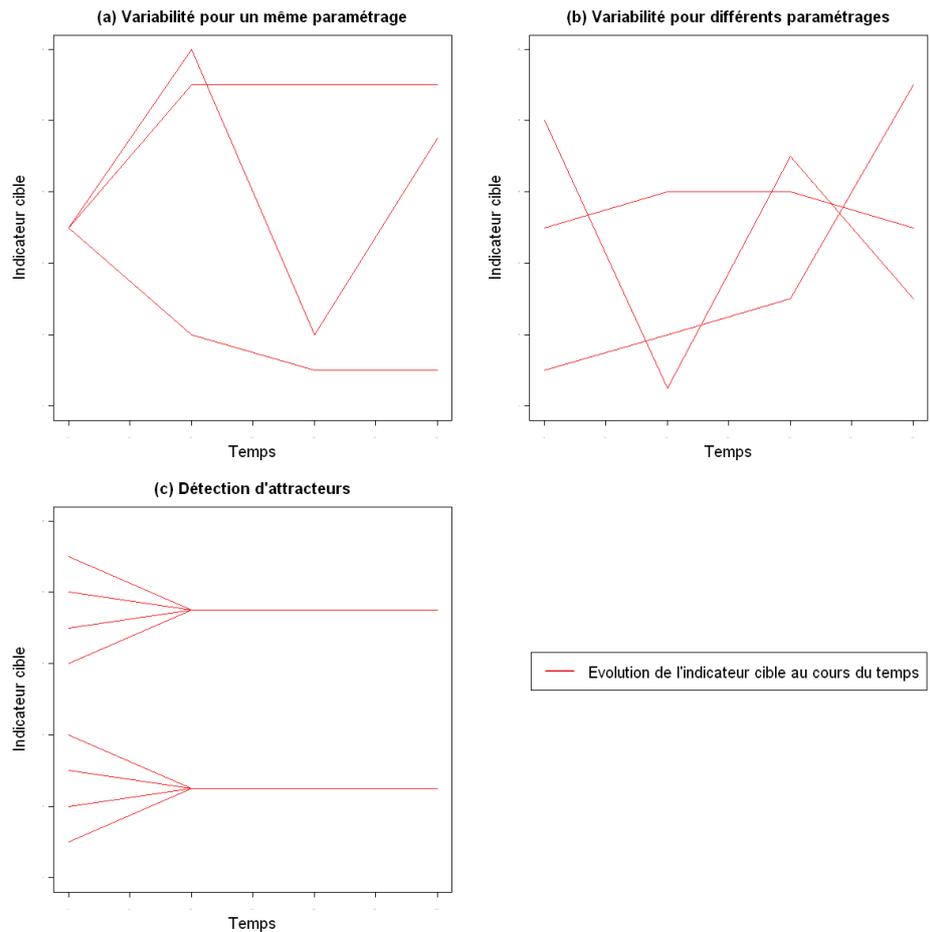
objets sont passifs, c'est-à-dire qu'ils peuvent être perçus créés, détruits et modifiés par les agents.

- Un ensemble  $A$  d'agents, qui sont des objets particuliers ( $A \subseteq O$ ), lesquels représentent les entités actives du système.
- Un ensemble de relations  $R$  qui unissent des objets (et donc des agents) entre eux.
- Un ensemble d'opérations  $Op$  permettant aux agents de  $A$  de percevoir, produire, consommer, transformer et manipuler des objets de  $O$ .
- Des opérateurs chargés de représenter l'application de ces opérations et la réaction du monde à cette tentative de modification.

Ici nous nous focalisons sur les systèmes multi-agents comme outils informatiques représentant des systèmes réels de manière relativement simplifiée. Les systèmes multi-agents sont parfois utilisés conjointement à des jeux de rôles en tant que supports de discussion entre parties prenantes (Barreteau et al., 2001). Dans ce cas, à l'instar des jeux de rôles, ils sont utilisés pour représenter et simuler le système social et écologique considéré.

Dans notre cas, l'objectif est d'utiliser cet outil pour représenter et simuler des processus occurring dans des jeux de rôles. Et le recours à la simulation informatique a l'avantage de permettre d'explorer des effets de cadrage sur des indicateurs dynamiques. Cette exploration peut être relativement précise, un travail de simulation comprend généralement une étape d'analyse de sensibilité du modèle simulé. Elle nous permet notamment :

- D'explorer la variabilité des dynamiques observables pour un même paramétrage initial du système cible (Figure 7 a). Cela nous procure la possibilité de tracer l'espace de l'effet d'un choix d'implémentation de dispositif.
- De comparer les dynamiques produites par des paramétrages différents du système cible (Figure 7 b). Cela nous permet de comparer les cadrages de différents choix d'implémentation d'un même dispositif ou encore d'explorer les cadrages provoqués par l'introduction d'un dispositif.
- De détecter des attracteurs sur des périodes courtes ou longues (Figure 7 c). Pouvoir effectuer des simulations sur des pas de temps longs nous permet de préciser la nature des cadrages des dispositifs en révélant s'ils dirigent les dynamiques vers un attracteur ou non.



**Figure 7** Différents atouts de l'exploration d'effets de cadrage sur des processus dynamiques à l'aide de la simulation informatique.

Pour explorer le versant interactif de la phase de simulation d'un jeu de rôles, l'utilisation de systèmes multi-agents semble être un formalisme approprié. On observe d'ailleurs une nette ressemblance entre jeux de rôles et systèmes multi-agents (les jeux de rôles intègrent les mêmes éléments définis plus haut pour les systèmes multi-agents), si bien qu'on peut considérer un jeu de rôles comme un système multi-agent non informatisé. Comme nous l'avons mentionné plus haut, en modélisation d'accompagnement, le modèle conceptuel développé pour représenter le système social et écologique est parfois implémenté sous forme de système multi-agent en supplément ou en substitut au jeu de rôles. Les systèmes multi-agents sont notamment utilisés dans ce cadre pour explorer des scénarios prédéfinis.

Dans un système multi-agent, les agents représentent les unités élémentaires du système, relativement au niveau d'observation auquel l'observateur se positionne. Un agent peut aussi bien représenter une particule,

un être humain ou encore une institution. Les systèmes multi-agents sont des séquences d'événements discrets, une simulation correspondant à  $n$  pas de temps. À chaque pas de temps, certains agents interagissent selon des règles d'interactions prédéfinies. L'interaction provoque une révision des états des agents selon les règles locales qui leur sont associées. Grâce à la simulation, l'observateur peut visualiser les dynamiques se produisant au cours du temps et observer le comportement global du système issu des interactions et des règles locales des agents. Ce que nous proposons à partir de ce formalisme est de représenter des participants de sessions de jeux de rôles sous forme d'agents et de caractériser le système comme une représentation simplifiée d'un jeu de rôles. L'objectif étant d'inclure dans notre représentation du jeu de rôles certaines implémentations de dispositifs choisies afin d'explorer les effets de cadrage qu'ils produisent sur les agents.

---

#### 1.4 Modélisation/simulation multi-agent des effets de cadrage sur des participants **dans des séquences de négociations**

Les interactions sociales dans les jeux de rôles prennent diverses formes, les participants peuvent se transmettre des informations, mimer les comportements des autres, négocier avec d'autres participants pour trouver des solutions collectives, échanger des messages informels etc.

Nous décidons de nous focaliser sur des séquences de négociations se réalisant dans les sessions de jeux. Le sens du terme négociation est large, considérons pour l'instant comme négociation une discussion dans laquelle un individu fait une requête à un autre, qui accepte ou refuse cette requête. Ce type d'interaction est très présent dans les jeux de rôles. Dans certains jeux, les négociations sont également des interactions qui se répètent plusieurs fois au cours d'une même session, elles représentent alors un processus dynamique capturable par la modélisation/simulation multi-agent. Nous faisons en conséquence le choix de réduire les interactions possibles dans un jeu de rôles à des négociations, qui seront la structure d'interactions des agents dans le simulateur.

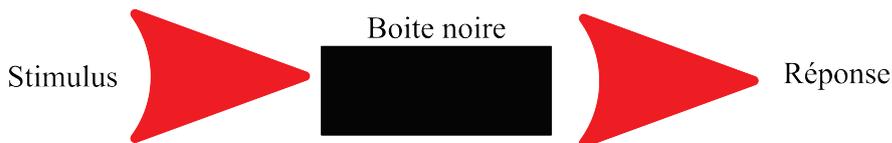
---

#### 1.5 Modélisation/simulation multi-agent des effets de cadrage sur les **processus mentaux** des participants dans des séquences de négociations

Les jeux de rôles sont des situations interactives qui incitent les participants à créer des interactions sociales, à questionner leurs états mentaux (connaissances, croyances, opinions, attitudes), et à engager des processus de prises de décision pour agir.

Si nous cherchons à étudier l'effet du jeu sur les participants, nous pouvons situer les règles locales du système multi-agent au niveau de l'esprit, i.e. processus mentaux, ou au niveau des comportements observables. Les comportements exercés dans les sessions de jeux de rôles sont fictifs et propres aux jeux, i.e. n'ont pas d'impacts directs sur le système réel. Par contre, les processus mentaux (i.e., mécanismes de pensée, opérations mentales, régissant le traitement de l'information) exécutés pendant les sessions de jeux peuvent provoquer des changements des représentations réelles. Même s'ils se réalisent dans un contexte fictif et que les nouvelles représentations des participants ne sont pas nécessairement persistantes dans le temps, ce sont des modifications de la pensée réelle des participants. Pour cela, nous décidons de mener l'exercice de recherche au niveau d'observation des processus mentaux.

Nous situer à ce niveau d'observation nous fait adopter une perspective cognitiviste, postulant que la pensée est un processus de traitement de l'information. Le principe du cognitivisme repose sur l'étude des processus mentaux pour développer des modèles de fonctionnement de l'esprit. Les modèles cherchent à expliquer le traitement de l'information qui n'est pas observable entre un stimulus et une réponse (i.e., la boîte noire de la Figure 8).



**Figure 8** Le cognitivisme et la boîte noire.

Notre objectif est dans un premier temps de qualifier les règles locales du système multi-agent par des opérations mentales faites par les agents, afin d'observer des effets sur les cognitions de groupes d'agents via la simulation de séquences de négociations. Dans un second temps, l'objectif sera de comparer ces effets sur les groupes pour différentes implémentations de dispositifs, afin d'explorer les effets de cadrage qu'ils produisent.

---

## 1.6 Modélisation/simulation multi-agent des effets de cadrage sur les **dynamiques d'attitudes** dans des séquences de négociations

Comme nous venons de le suggérer, la pensée des participants évolue pendant une session de jeu : un participant peut apprendre de nouvelles connaissances, remettre en question ses opinions et ses attitudes par la confrontation de ses idées avec les autres, modifier sa représentation des autres et du système etc. Ces changements sont susceptibles d'être orientés, cadrés, par les choix de

conception et de mise en œuvre d'un jeu (e.g., incitation à réaliser un type d'interaction spécifique, choix des participants, informations transmises sur les conséquences des actions des participants).

Parmi cet ensemble de possibles, nous faisons le choix de nous intéresser aux changements d'attitudes, et plus précisément aux influences mutuelles entre attitudes et comportements réalisées durant les interactions entre participants (i.e., les négociations). Nous considérons comme attitude une tendance psychologique exprimée en évaluant une entité particulière avec un degré favorable ou défavorable (Eagly & Chaiken, 1993). En d'autres termes, les attitudes sont des jugements que nous avons sur des objets, exprimés sous la forme de degrés de positivité ou de négativité (e.g., je suis très favorable, moyennement favorable, moyennement défavorable ou très défavorable au nucléaire). Les jeux de rôles développés en modélisation d'accompagnement semblent être des situations particulièrement vulnérables aux changements d'attitudes. Par exemple, le modèle de Williams & Williams (2010) liste un ensemble de facteurs caractéristiques de ces jeux, favorables au changement d'attitudes. Selon le modèle, les changements d'attitudes sont notamment favorisés lorsque les jeux représentent virtuellement le système dans lequel les participants sont impliqués dans la réalité, lorsque les participants ont la possibilité d'élaborer et d'exécuter leur propre stratégie, et lorsqu'ils reçoivent des informations sur les conséquences de leurs actions.

En faisant le choix de travailler sur les attitudes via une méthode de modélisation et de simulation, nous nous inscrivons dans le champ de la modélisation des dynamiques d'opinions et d'attitudes, dans lequel il existe déjà plusieurs modèles de changements d'opinions ou d'attitudes formalisés sous forme de systèmes multi-agents (cf. Chapitre 3 pour des exemples). Le choix de se centrer sur les changements d'attitudes nous fournit donc un ancrage dans la littérature.

Pour développer les règles locales du système, nous avons besoin de modéliser des processus de changements d'attitudes réalistes pour pouvoir explorer des effets de cadrage plausibles. Pour cela, il existe une vaste littérature en psychologie sociale sur les changements d'attitudes ainsi que sur les relations attitudes/comportements sur laquelle nous pouvons nous inspirer (cf. section 2.2 du Chapitre 2). Les théories et modèles existants ont été construits à l'aide d'expériences contrôlées dans des situations très simples, l'objectif de ces expériences étant d'isoler les variables indépendantes (i.e., les variables manipulées par l'expérimentateur) afin d'en observer précisément leurs effets pour les comprendre. Ici nous sommes dans un schéma inversé : nous cherchons à comprendre une situation sociale particulière à l'aide de modèles psycho-sociaux. Nous avons besoin de modéliser un processus de changements d'attitudes dans une situation représentant une session de jeu de rôles. Pour

modéliser formellement et ajuster les processus de changements d'attitudes relativement aux comportements durant les séquences de négociations, se référer à un seul modèle conceptuel de la littérature n'est donc pas suffisant. Notre objectif est alors d'extraire des modèles et théories pertinents dans la littérature représentant chacun un élément de la situation de jeu de rôles que nous voulons représenter (i.e., séquences de négociations), pour ensuite les articuler ensemble. Nous aurons besoin d'articuler un modèle pour déterminer dans quelles mesures une attitude influence un comportement de négociation, avec un modèle décrivant l'ensemble des facteurs exerçant une influence sur un comportement, et avec un modèle déterminant l'influence d'un comportement sur une attitude.

Avant d'explorer des effets de cadrage par simulation, la question se résume alors à articuler et formaliser différents modèles de la littérature psycho-sociale pour définir les règles locales d'un système-multi-agent représentant des séquences de négociations. L'objectif étant d'explorer les dynamiques d'attitudes et les effets mutuels entre attitudes et comportements pouvant apparaître sur une population d'agents insérés dans des séquences de négociations, et de manière plus générique, insérés dans des boucles récursives de comportements et de révisions d'attitudes.

---

### 1.7 Modélisation/simulation multi-agent des effets de cadrage sur les dynamiques d'attitudes dans des séquences de négociations **pour en déterminer les mécanismes sous-jacents**

A ce niveau de l'entonnoir, il nous reste à définir la complexité que nous voulons donner au modèle, sachant que différents niveaux de complexité mènent à différents questionnements. Un modèle complexe suppose la prise en compte d'un maximum de facteurs, aussi bien au niveau des modèles de relations attitudes/comportements que de la situation à formaliser. Il s'agirait donc de développer un modèle en représentant les théories psychologiques choisies dans leur intégralité, i.e. en intégrant la totalité de leurs composants, et de formaliser des négociations décrivant au plus proche une structure de négociations réelle et représentative de ce qui peut se produire dans une session de jeu. L'objectif de cette modélisation serait d'obtenir un relatif pouvoir de prédiction sur les formes des effets de cadrage produites par les choix de dispositifs et de leurs implémentations. Le premier problème de cette alternative est qu'il est très difficile de faire de la prédiction dans des systèmes aussi complexes que les jeux de rôles impliquant des êtres humains traitant de l'information, même si nous les réduisons seulement à des séquences de négociations. Les règles de décisions des participants peuvent être variées, intégrant beaucoup de facteurs explicites et implicites. Et la structure d'une négociation est éga-

lement complexe et peut impliquer différents types d'arguments, de contre-arguments, de multiples processus cognitifs, ce qui rend la modélisation du processus très propice à l'erreur. Le second problème est que, même si nous arrivions à effectuer des prédictions correctes, elles seraient de toute façon réduites aux effets de dispositifs dans des séquences de négociations. Elles ne seraient donc pas des prédictions fiables d'effets de dispositifs dans la situation plus complexe d'un jeu de rôles, intégrant d'autres formes d'interaction dont les effets peuvent interférer avec ces prédictions.

Le développement d'un modèle simple suppose au contraire la prise en compte du nombre minimum de paramètres, suffisants à l'exploration désirée. Ce type de modèle est communément appelé KISS, et est notamment décrit dans Amblard et al. (2006). Dans notre cas, il s'agirait de représenter des séquences de négociations très simples, et de n'implémenter que les processus suffisants pour caractériser les règles locales du système. Plutôt que de prédire, un modèle simple nous permettrait d'identifier et de comprendre les effets de cadrage observés par simulation, car les résultats issus des simulations peuvent être expliqués de manière précise par la mise en lumière des mécanismes sous-jacents aux dynamiques observées.

Nous optons pour le développement d'un modèle simple, car notre objectif est de montrer comment des dispositifs de jeux peuvent influencer des dynamiques d'attitudes. Nous souhaitons mettre en lumière des mécanismes sous-jacents aux cadrages observables par simulation afin de révéler des processus difficilement visibles qui s'exercent dans des expérimentations impliquant des êtres humains en interaction.

---

## 2. Questionnement de recherche

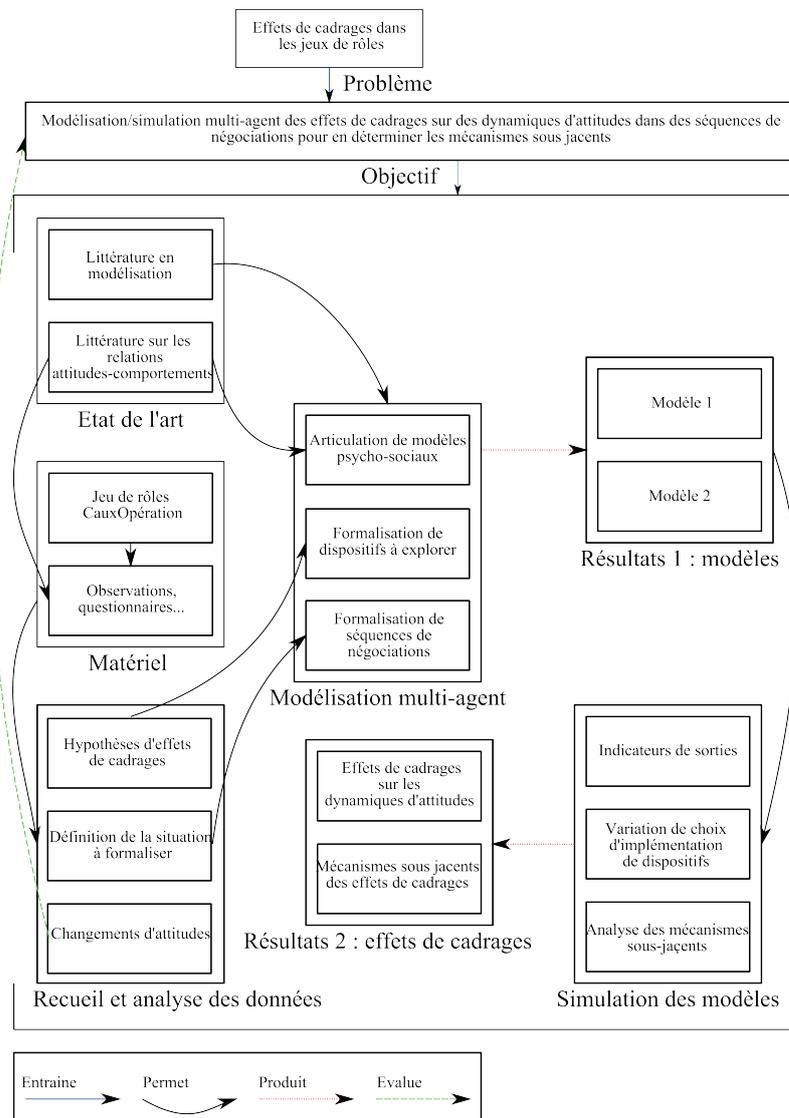
En résumé de ce premier chapitre, nous avons choisi de nous questionner sur le développement et le test d'une méthode destinée à explorer les effets cadrages provoqués par des dispositifs de jeux de rôles. Pour préciser notre questionnement, nous avons au fur et à mesure effectué des réductions justifiées des ensembles de possibles à investiguer. Nous avons finalement choisi de nous questionner sur le développement et le test d'une méthode pour explorer des effets de cadrage sur les participants de sessions de jeux de rôles. La méthode en question est une méthode de modélisation/simulation multi-agent, et nous avons décidé de focaliser l'exploration sur des séquences de négociations telles qu'elles peuvent se produire dans les sessions de jeux. Au niveau des participants, nous avons décidé d'investiguer les effets de cadrage sur des dynamiques d'attitudes et les relations attitudes/comportements en œuvre dans les négociations. Pour développer cette méthode, notre objectif est de formaliser et d'articuler différents modèles d'attitudes extraits de la psy-

chologie sociale afin de nous adapter à la situation que l'on souhaite étudier, à savoir les séquences de négociations. Enfin, notre objectif est de développer un modèle simple pour orienter notre recherche sur la détermination des mécanismes sous-jacents provoquant les effets de cadrage dans les simulations.

# Chapitre 2

## Stratégie, matériel et méthodes

Dans ce chapitre, nous décrivons notre stratégie de réponse au questionnement de recherche, et le matériel et les méthodes qu'elle implique. Rappelons que notre objectif est de modéliser et simuler des effets de cadrage sur des dynamiques d'attitudes dans des séquences de négociations pour en déterminer les mécanismes sous-jacents. Et notre questionnement de recherche est de développer et tester une méthode pour répondre à cet objectif. Pour appréhender cela, la Figure 9 représente notre stratégie globale, constituée de blocs et sous-blocs en lien représentant le matériel, les méthodes et les résultats à produire. Dans la première partie de ce chapitre, nous explicitons la stratégie globale, ainsi que les liens entre les blocs et sous-blocs. Les sections suivantes sont consacrées à la description de chaque bloc et sous-bloc dans le détail.



**Figure 9** Stratégie de réponse au questionnement de recherche.

---

## 1. Explicitation de la stratégie globale

L'objectif de la thèse a été construit à partir du problème recensé d'effets de cadrage dans les jeux de rôles (cf. Figure 1). Pour remplir cet objectif, notre stratégie est construite sur trois points méthodologiques :

- Recueil et analyse de données à partir de sessions d'observation du jeu de rôles *CauxOpération*.
- Modélisation multi-agent de relations attitudes/comportements et de dispositifs de jeux dans des séquences de négociations, sur la base de la littérature en modélisation, de théories psycho-sociales et à partir de l'analyse des données.
- Simulation des modèles développés pour explorer des effets de cadrage de dispositifs de jeux.

Les observations de *CauxOpération* nous permettent de recueillir différentes données à travers l'élaboration de questionnaires, entretiens, grilles d'observations, enregistrements vidéo et audio et dires d'experts. L'analyse des données recueillies nous sert à :

- Définir la situation à formaliser, i.e., les séquences de négociations.
- Définir des hypothèses d'effets de cadrage provoqués par des dispositifs de jeu sur des dynamiques d'attitudes, en vue de les explorer par la simulation.
- Recueillir les changements d'attitudes à la suite des négociations effectuées pendant les sessions de jeu observées afin d'évaluer la pertinence de l'objectif de la thèse, i.e., observe-t-on des changements d'attitudes à la suite de négociations dans des sessions *CauxOpération* ?

Après avoir situé les modèles à développer dans la littérature et les besoins de s'en démarquer, nous effectuons la modélisation multi-agent en trois points :

- Formalisation et implémentation des séquences de négociations définies par l'analyse de données.
- Construction d'un modèle articulant plusieurs théories psycho-sociales en nous reposant sur la littérature concernant les relations entre attitudes et comportements.
- Formalisation et implémentation des dispositifs vecteurs de cadrages retenus pour l'exploration.

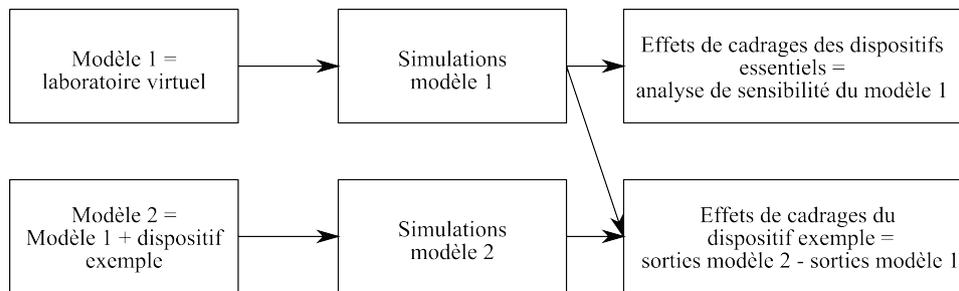
Cette étape débouche sur la production de deux modèles :

- Modèle 1 : un système multi-agent de dynamiques d'attitudes dans des séquences de négociations, incluant seulement les dispositifs essentiels à la formalisation de la situation. L'objectif de ce modèle est d'avoir un statut de laboratoire virtuel pour lequel les résultats des simulations qu'il engendre sont des références à comparer à des résultats de simulations de ce même modèle

auquel sont implémentés des dispositifs spécifiques vecteurs de cadrages. Etant donné que ce laboratoire virtuel nécessite des dispositifs pour représenter les séquences de négociations (i.e., dispositifs essentiels), ceux-ci sont aussi vecteurs de cadrages. L'initialisation des valeurs des paramètres inclus dans ce modèle correspond à des choix d'implémentation de dispositifs particuliers. En conséquence, en plus d'être un laboratoire virtuel, ce premier modèle doit déjà permettre une exploration des effets de certains dispositifs, exploration que nous effectuerons.

- **Modèle 2** : correspond au modèle 1 auquel nous ajoutons un dispositif exemple pour explorer les effets de cadrage qu'il produit. Les effets doivent pouvoir être capturés par la comparaison des résultats de simulations des deux modèles.

Les méthodes associées à la capture des effets de cadrage à l'aide des deux modèles sont résumées sur la Figure 10. Ces modèles constituent la première partie des résultats à produire pour répondre à l'objectif de la thèse.



**Figure 10** Méthode d'exploration d'effets de cadrage à l'aide des modèles 1 et 2.

L'étape méthodologique suivante est de simuler ces modèles. Elle s'effectue en trois points :

- Définition des indicateurs de sortie à l'aide desquels nous pouvons visualiser les effets de cadrage sur les dynamiques d'attitudes.
- Simulation des modèles suivant la méthode détaillée sur la Figure 10 : la visualisation des effets s'obtient en comparant les indicateurs de sortie pour plusieurs simulations comportant différentes initialisations des paramètres. Pour explorer les effets de cadrage provoqués par les dispositifs essentiels inclus dans le modèle 1, nous devons faire varier chaque paramètre isolément (e.g., la variation du nombre d'agents permet d'explorer l'effet du choix du nombre de participants à une session de jeu). Les différences observées entre les courbes (indicateurs de sortie) indiquent les différents cadrages que chaque valeur initiale des paramètres provoque. Pour explorer les effets du dispositif exemple implémenté dans le modèle 2, nous devons comparer les simulations du modèle 1 avec celles du modèle 2 pour des initialisations de paramètres si-

milaires. Les différences entre les courbes obtenues renseignent des cadrages produits par le dispositif exemple.

- Explication des effets de cadrage : nous devons expliquer précisément les courbes obtenues à partir des simulations afin de caractériser les mécanismes sous-jacents aux effets de cadrage observés. L'observation et l'explication des différences entre les courbes caractérisent la seconde partie des résultats à produire pour répondre à l'objectif de la thèse.

Enfin, notre stratégie repose sur une discussion critique de l'ensemble de ces choix méthodologiques et des résultats, afin de qualifier dans quelles mesures la méthodologie que nous avons développée remplit l'objectif de la thèse et répond au questionnement de recherche. Cette critique questionne en quoi les résultats produits dans cette thèse peuvent être considérés pour réfléchir sur les effets de cadrage dans les jeux de rôles en modélisation d'accompagnement et en quoi un concepteur de jeu peut en tirer profit. Nous montrerons également en quoi la méthodologie développée peut apporter à la modélisation de dynamiques d'opinions et à la psychologie sociale.

---

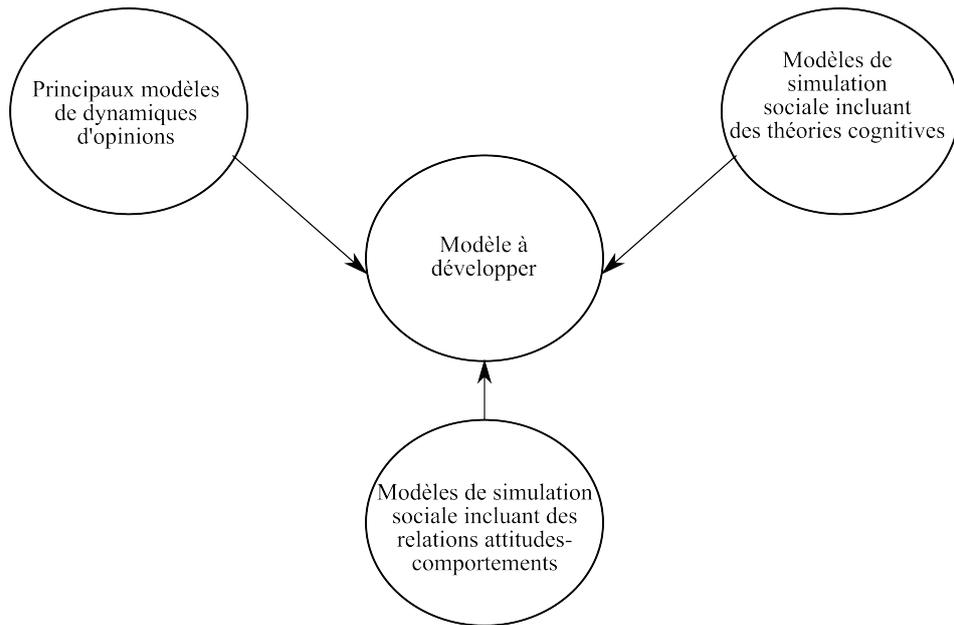
## **2. Stratégie de sélection de l'état de l'art**

---

### 2.1 Littérature en modélisation/simulation sociale

L'idée est de situer le modèle à développer parmi différents types existants dans la littérature (Figure 11), i.e., nous parlons ici du modèle 1 qui est le modèle principal. Après avoir résumé les principaux modèles de dynamiques d'opinions existants ainsi que leurs objectifs et résultats majeurs, notre stratégie est d'afficher notre situation par rapport à ces modèles sur deux points majeurs :

- Notre modèle doit être développé en s'appuyant sur des théories cognitives. Différentes recherches proposent des modèles de ce type (non restreints aux dynamiques d'opinions), et ceux-ci sont très hétérogènes quant à leur structure et objectifs. L'idée est de classifier les modèles existants en différents types en exemplifiant chaque type par une étude caractéristique. Nous situerons alors le modèle à développer en l'inscrivant dans un des types répertoriés.
- Notre modèle doit être basé sur les relations attitudes/comportements. L'idée est de décrire différents modèles existants dans la littérature en simulation sociale et de montrer en quoi le modèle à développer doit se démarquer pour remplir l'objectif de la thèse.



**Figure 11** Inscription du modèle à développer dans la littérature en modélisation/simulation sociale.

---

## 2.2 Littérature psycho-sociale sur les relations attitudes/comportements

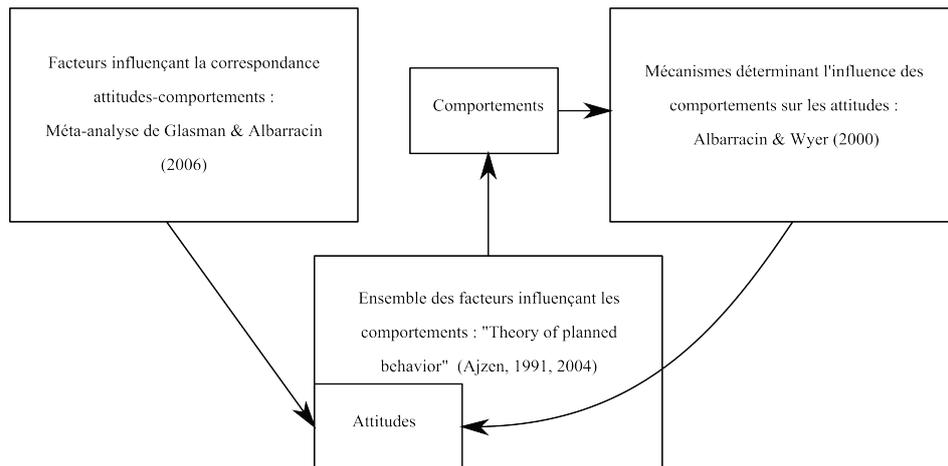
Suite à la définition de la situation à formaliser dans le modèle, l'idée est de sélectionner des modèles de relations entre attitudes et comportements dans la littérature en psychologie sociale et de les articuler pour représenter les processus cognitifs mis en œuvre dans les séquences de négociations.

Pour modéliser les relations attitudes/comportements dans une négociation, nous avons vu dans la section précédente que nous avons besoin d'articuler un modèle pour déterminer si une attitude va influencer un comportement particulier (1), avec un modèle qui rassemble l'ensemble des facteurs exerçant une influence sur le comportement (2), et enfin, avec un modèle qui détermine l'influence du comportement sur une attitude (3). Nous décidons d'articuler les modèles suivants (Figure 12) :

(1) Modèle construit à partir d'une méta-analyse d'études sur les facteurs impliqués dans la prédiction des comportements par les attitudes (Glasman & Albarracín, 2006) : il définit l'ensemble des facteurs majeurs prédictifs de la correspondance attitude comportement. Nous avons jugé ce choix pertinent du fait que les facteurs recensés par la recherche sont basés sur 128 études de la littérature.

(2) « Theory of planned behavior » (Ajzen, 1991, 2004) : elle définit l'ensemble des facteurs majeurs prédisant les comportements. Il s'agit de la théorie la plus admise dans la communauté.

(3) Quatre théories décrivant différents chemins par lesquels les comportements influencent les attitudes et les futurs comportements (Albarracín & Wyer Jr., 2000). Ces différents chemins sont issus de théories reconnues par la communauté.



**Figure 12** Modèles psycho-sociaux à articuler pour la modélisation des relations attitudes/comportements.

### 3. Matériel

#### 3.1 Matériel brut : jeu de rôles *CauxOpération*

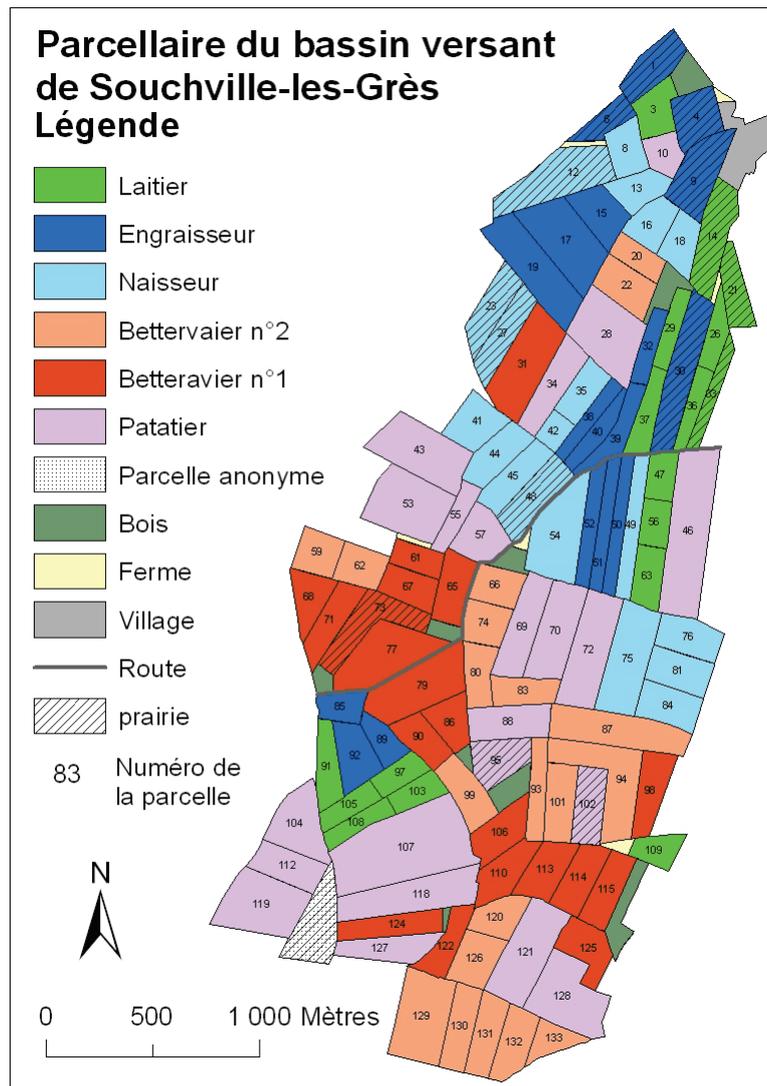
La description du jeu reprend en grandes parties la description que nous en avons faite dans un article écrit pour la conférence ISAGA2009 (Dubois, Souchère, & Barreteau, 2009). L'enjeu de *CauxOpération* est de faciliter les négociations pour une future gestion collaborative d'un bassin versant soumis à des problèmes de ruissellement érosif. Son objectif est de favoriser des discussions entre les parties prenantes sur les techniques de prévention et sur les pratiques agricoles (Souchère et al., 2010).

Le plateau de jeu consiste en un espace représentant un bassin versant de 675ha (Figure 13) occupé par six exploitations : trois exploitations de grande culture et trois exploitations d'élevage. Un village se situe à l'exutoire du bassin versant. La grille spatiale est découpée en pixels représentant 400m<sup>2</sup> chacun et permet aux participants de visualiser la forme des parcelles des six

exploitations dans le bassin versant. Le jeu de rôles comprend huit parties prenantes (six agriculteurs, un maire et un animateur de syndicat de bassin versant) jouant leurs rôles respectifs de la vie réelle. Les participants sont à la fois voisins dans le jeu et dans la réalité. Les agriculteurs choisissent leurs assolements, c'est-à-dire les cultures qu'ils vont semer annuellement sur chacune de leurs parcelles. Neuf cultures différentes peuvent être semées mais leur sélection dépend des systèmes de culture de chaque agriculteur. Pour la plupart des cultures, deux types de pratiques agricoles sont possibles : des itinéraires techniques standards ou des itinéraires techniques plus respectueux de l'environnement, ces derniers générant une moindre production de ruissellement. Les agriculteurs peuvent aussi gérer les intercultures selon différentes options : garder un chantier de récolte non travaillé, déchaumer le sol avec différents outils (dent, disque ou soc) ou semer une culture intermédiaire. Un modèle informatique calcule en décembre et en juin (selon le temps simulé dans le jeu) le transfert de ruissellement entre une parcelle et les parcelles voisines situées en aval, en fonction d'épisodes pluvieux standards ou catastrophiques. Le calcul prend en compte les choix d'assolement, les pratiques agricoles ainsi que le mode de gestion de l'interculture qui ont été choisis. Le modèle génère un volume de ruissellement à chaque point du bassin versant, ainsi qu'à son exutoire. Le participant jouant le rôle du maire est informé des dégâts provoqués par le ruissellement érosif dans le village et sur la route traversant le bassin versant. Il peut subventionner les agriculteurs pour l'implantation de cultures intermédiaires et/ou fournir une aide financière à l'animateur de syndicat de bassin versant pour construire des bassins de rétention. Il est aussi informé de l'insatisfaction des habitants de son village qui varie en fonction de l'importance des dégâts provoqués par le ruissellement. Il peut encourager les autres participants à réduire les dégâts produits en organisant des réunions collectives pour négocier l'implantation de bandes enherbées et/ou la construction de bassins de rétention. Le participant jouant le rôle de l'animateur de syndicat de bassin versant est le conseiller technique pour l'implémentation de solutions pour réduire le ruissellement. Il doit évaluer le risque de ruissellement à l'échelle du bassin versant pour développer une stratégie de gestion du problème. Comme le maire, il peut fournir des subventions pour l'implantation de cultures intermédiaires. Il peut aussi implanter des bandes enherbées ou construire des bassins de rétention s'il réussit à obtenir l'accord des agriculteurs. Comme son budget n'est pas assez élevé pour résoudre tous les problèmes, il doit aussi convaincre les agriculteurs de modifier leurs pratiques sans subventions.

Une session de jeu dure trois heures (quatre avec le briefing et le débriefing) au cours desquelles quatre années agricoles sont simulées : les solutions de lutte contre le ruissellement ainsi que les assolements de parcelles

sont à faire pour les quatre années, le volume de ruissellement est calculé deux fois par an selon une séquence climatique déterminée à l'avance. Chaque année, le modèle alterne entre des événements pluvieux moyens et des événements pluvieux désastreux. Le principe repose sur l'alternance d'une année subissant des événements pluvieux standards en décembre et en juin et d'une année exposée à des événements climatiques catastrophiques en décembre et en juin. Cette alternance est répétée une seconde fois, ce qui permet de comparer les 2 premières années avec les 2 dernières et de voir quels ont été les impacts des stratégies mises en œuvre par les participants.



**Figure 13** Bassin versant fictif utilisé dans *CauxOpération* indiquant le parcellaire de chaque rôle d'agriculteur.

---

### 3.2 Matériel construit pour la collecte de données

Pour définir la situation à formaliser, vérifier l'existence de changements d'attitudes dans *CauxOpération* et élaborer des hypothèses d'effets de cadrage, nous avons procédé à une collecte de données issues des observations de jeu. Nous avons organisé et observé sept sessions de *CauxOpération*. Trois sessions ont été effectuées avec des parties prenantes : agriculteurs, maires et animateurs de syndicats de bassins versants, et quatre avec des étudiants (pour cause de manque de disponibilité de parties prenantes). Parmi les sessions avec les étudiants, deux furent réalisées avec des étudiants en école d'ingénieur en agriculture, une avec des élèves de première en lycée agricole et une avec des BTS gestion et protection de la nature. L'ensemble des sessions de jeux a eu lieu en région Haute-Normandie, le jeu de rôles s'appuyant sur un modèle de calcul du ruissellement érosif ayant été paramétré pour les types de sols, les cultures, les pratiques agricoles et le climat de cette région. Nous avons choisi des étudiants suivant une formation proche de l'agronomie étant donné que le jeu requiert un pré-requis de connaissances dans le domaine (e.g., les rôles d'agriculteurs demandent des connaissances sur les rotations de cultures). Pour développer des hypothèses d'effets de cadrage, nous avons réalisé neuf entretiens exploratoires a posteriori avec des parties prenantes volontaires ayant participé à une des deux premières sessions observées. Pour les cinq sessions restantes, nous avons distribué des questionnaires a posteriori (annexe 1.5) aux participants. Nous avons recueilli via d'autres questionnaires (annexes 1.2, 1.3, et 1.4) les changements d'attitudes sur les solutions de lutte contre le ruissellement pour six des sept sessions réalisées (la première session a servi à calibrer les questionnaires). Nous avons enfin réalisé l'observation des sept sessions à l'aide d'une grille (annexe 1.1), et les sessions ont été enregistrées en audio et/ou en vidéo. La construction et l'utilisation de ce matériel est détaillé dans la section à venir.

---

## 4. Méthode d'utilisation du matériel pour produire des données

---

### 4.1 Méthode d'utilisation du matériel pour définir la situation à formaliser

Les observations de jeu servent en partie à formaliser la situation à implémenter dans le système multi-agent, à savoir : justifier le choix de la problématique de se centrer sur les négociations plutôt que sur un autre type d'interaction, qualifier le type et la forme des négociations, les objets discutés et qualifier les agents.

Pour justifier le centrage sur les négociations, l'idée est de recueillir les différents types d'interactions ayant eu lieu dans les différentes sessions de jeu et déterminer si les négociations sont une forme pertinente d'interaction pour notre propos.

L'observation de la première session de jeu nous a permis de construire une grille (annexe 1.1) centrée sur les négociations ayant lieu dans *CauxOpération*, à savoir des négociations pour l'implantation ou le financement de solutions de lutte contre le ruissellement. La grille sert à recenser le type de solution discuté, les rôles des participants insérés dans chaque négociation, les parcelles du bassin versant virtuel sur lesquelles les solutions sont discutées et l'issue de la négociation (acceptée, refusée, avortée). Les données récoltées pendant les sessions à l'aide de la grille peuvent être complétées par des retranscriptions brutes de négociations à l'aide des enregistrements audio et/ou vidéo.

Les différents types de solutions de lutte possibles à effectuer dans le jeu sont qualifiables par les dires d'experts et la prise de connaissance des règles du jeu. La grille d'observation permet de recenser les solutions effectivement discutées. Pour comprendre plus intimement les observations, les entretiens et questionnaires à remplir en fin de sessions (annexe 1.5) contiennent des questions transversales entre la définition de la situation à formaliser et le développement d'hypothèses d'effets de cadrage. On demande aux participants :

- Leurs motivations sur l'initiation de négociations et sur leurs choix de solutions à implémenter.
- Pourquoi ont-ils négocié avec tel participant plutôt qu'un autre ?
- De se justifier s'ils n'ont pas initié de négociation pendant la session.
- Les raisons de leur acceptation ou de leur refus des propositions qu'ils ont reçu.
- De justifier du nombre de participants impliqués dans chaque négociation.

---

#### 4.2 Méthode d'utilisation du matériel pour développer des hypothèses d'effets de cadrage

Des hypothèses d'effets de cadrage peuvent être établies à partir de la connaissance des règles du jeu, de ses dispositifs, de sa mise en œuvre, et à partir des observations ainsi que du dépouillement des questionnaires.

La connaissance du jeu permet de savoir comment est implémenté un dispositif et permet ainsi de formuler des hypothèses d'effets de cadrage sur cette base. Par exemple, les fiches de rôles de *CauxOpération* incitent certains participants à initier des négociations. Les observations de jeu permettent par exemple de regarder si certains rôles sont plus associés avec un type de solu-

tion de lutte discuté durant les négociations. Enfin, les réponses aux questionnaires et aux entretiens a posteriori permettent d'établir des hypothèses à partir des représentations des participants sur les effets des dispositifs de jeu. En plus des questions sur les négociations exposées dans la sous-section précédente, on demande notamment aux participants s'ils considèrent que le fait de connaître les autres participants a influencé leurs négociations, si les informations reçues sur le ruissellement produit ainsi que sur leurs revenus ont influencé leurs choix, leur degré de motivation à jouer, ou encore leur implication dans la lutte contre le ruissellement dans la réalité.

Avec cet ensemble d'informations, l'idée est de caractériser des hypothèses d'effets de cadrage en désignant la cause possible du cadrage (le dispositif et son choix d'implémentation), son lieu d'influence dans le système multi-agent, ainsi que le codage et le paramétrage nécessaires pour l'implémenter dans le système multi-agent.

---

#### 4.3 Méthode d'utilisation du matériel pour évaluer la pertinence du questionnement sur les changements d'attitudes

Pour légitimer le développement d'un modèle de changements d'attitudes dans des séquences de négociations telles qu'elles se déroulent dans des sessions de jeux de rôles, l'idée est de recueillir les changements d'attitudes des participants au cours des sessions de jeu observées. Des questionnaires (annexes 1.3 et 1.4) sont à remplir avant les sessions, demandant aux participants d'évaluer leurs attitudes et confiance en leurs attitudes sur les différentes solutions de lutte contre le ruissellement possibles dans le jeu. Ces questionnaires prennent la forme d'« échelles de Likert » (Likert, 1932) : les attitudes doivent être évaluées entre moins cinq (tout à fait défavorable) et cinq (tout à fait favorable) avec un pas de un. Les confiances dans les attitudes doivent être évaluées entre zéro (pas du tout confiant) et dix (tout à fait confiant). Nous avons organisé une première session de jeu afin de calibrer les questionnaires. Nous nous sommes rendus compte que certains participants pouvaient être favorables à des solutions de lutte mais ne voudraient jamais les implémenter sous prétexte que ces solutions impliquent un coût (e.g. monétaire, surcharge de travail) pour eux. Afin d'éviter un effet plafond (i.e. surévaluation positive des solutions) la question posée demande aux participants de juger les solutions de lutte en se concentrant sur les coûts que les solutions engendrent pour eux.

Les changements d'attitudes pendant les sessions de jeu sont recueillies à l'aide de mini-questionnaires (annexe 1.2) à remplir par les participants après chaque négociation réalisée. Le mini-questionnaire demande aux participants si leur attitude sur la solution discutée a bougé par rapport au jugement

donné dans le questionnaire de départ. Si oui, on demande si l'attitude est plus favorable ou plus défavorable. Nous posons également dans ce questionnaire la même question pour la confiance des participants en leurs attitudes. Le questionnaire est très court et rapide à remplir dans le souci de ne pas altérer la dynamique du jeu.

Certaines questions du questionnaire a posteriori et des entretiens aident également à tester la légitimité de notre choix de modéliser des changements d'attitudes : nous demandons aux participants d'explicitier, selon eux, si les attitudes mobilisées dans le jeu sont leurs attitudes dans la vie réelle, les causes de leurs changements d'attitudes et de confiance, et si les négociations effectuées ont selon eux eu un impact sur ces changements.

---

## 5. Méthodes pour la modélisation multi-agent

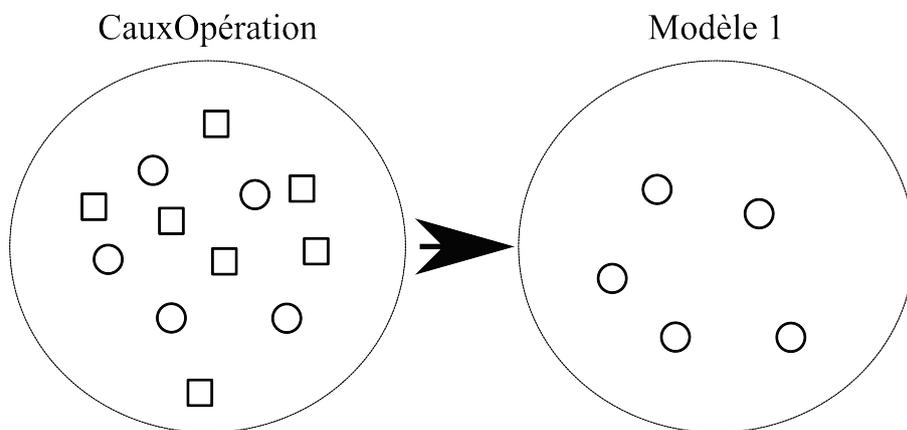
---

### 5.1 Méthode pour la formalisation de la situation

L'idée est de formaliser la situation à implémenter dans le système multi-agent à l'aide des données recueillies via le matériel vu en section 4.1 et en nous munissant de différents filtres, i.e., de différents fils conducteurs nous permettant d'effectuer la formalisation en respectant la poursuite de l'objectif. La situation est caractérisée par la structure de la négociation entre les agents, les types de solutions négociées, ainsi que par le type des agents. Notre stratégie est de définir une situation représentative émergente de l'analyse des données en appliquant cependant les filtres suivants :

- Filtre de parcimonie : nous avons fait le choix de développer un modèle parcimonieux (cf. section 1.7). Par exemple, dans *CauxOpération* de nombreuses solutions de lutte sont discutées dans les négociations, mais il ne nous est pas nécessaire de toutes les représenter dans le modèle pour répondre à notre objectif. En conséquence, nous n'intégrons au modèle que les paramètres suffisants à l'exploitation, i.e., nous souhaitons représenter la situation minimale permettant l'exploration d'effets de cadrage sur les dynamiques d'attitudes.
- Filtre de limitation des facteurs cadrants : nous faisons le choix de développer le modèle 1 en évitant d'inclure des facteurs pouvant provoquer des cadrages. L'idée est d'explorer des effets de cadrage par comparaison de simulations aux simulations de ce modèle de référence. Le modèle 1 est un laboratoire virtuel et doit pour cela caractériser la situation la plus vierge possible, dans laquelle la présence de dispositifs expérimentaux vecteurs de cadrages est limitée au maximum. Par exemple, dans *CauxOpération*, les observations montrent que les comportements d'initiation de négociation ainsi que les types de solutions choisis par les participants sont relativement dépendants

des différents rôles attribués aux participants. Une stratégie possible est alors d'éviter de prendre en compte les rôles des participants dans la modélisation et d'indifférencier les agents du système. Si on cherche à explorer les effets liés au rôle, alors il faudra développer un modèle basé sur le modèle 1 auquel on implémentera un dispositif « rôle ». Etant donné que les observations sont effectuées sur un jeu qui inclut les effets de cadrage que nous voulons explorer, extraire une situation représentative et fidèle de ce qui a été observé est insuffisant. Il faut aussi faire un travail d'exclusion des dispositifs pouvant entraîner des cadrages. Ainsi, pour la modélisation du modèle 1, nous conservons seulement les dispositifs essentiels à la représentation d'une situation de séquences de négociations (Figure 14), tels que conserver un support permettant aux agents d'interagir entre eux, conserver deux alternatives de propositions à négocier afin qu'un agent initiateur de négociation puisse effectuer un choix, etc.



□ Dispositifs non essentiels à la représentation de la situation

○ Dispositifs essentiels à la représentation de la situation

**Figure 14** Suppression des dispositifs non essentiels à la représentation de la situation pour la modélisation du modèle 1.

- Filtre de généralité : Pour que les réflexions sur les résultats de simulations puissent alimenter la réflexion globale sur la conception et la mise en œuvre des jeux de rôles, le modèle doit être le plus générique possible. La situation représentée dans le modèle doit être suffisamment abstraite pour dépasser la seule représentation d'une situation du jeu de *CauxOpération*.

L'idée est alors de trouver des compromis réfléchis entre la conservation de représentativité (i.e., intégrer des facteurs nécessaires pour pouvoir

faire un lien entre le système multi-agent et le système réel) et l'application de ces trois filtres.

---

## 5.2 Méthode d'articulation des modèles psycho-sociaux

A partir des modèles de la littérature psycho-sociale conservés pour développer le modèle, l'idée est de simplifier la modélisation au maximum tout en restant cohérent avec les théories, afin de respecter le choix du développement d'un modèle simple. Ces simplifications s'effectuent à deux niveaux :

- Suppression des facteurs des modèles n'ayant pas d'incidence mathématique sur les dynamiques engendrées par les simulations du modèle à développer. Par exemple, supposons une relation de transitivité entre trois facteurs  $A$ ,  $B$  et  $C$  : si  $A$  implique  $B$  et  $B$  implique  $C$ , alors  $A$  implique  $C$ . Dans le modèle à développer, il ne nous est pas nécessaire de représenter  $B$ .
- Agrégation des facteurs produisant les mêmes effets. Par exemple, si deux facteurs  $D$  et  $E$  ont une influence sur un facteur  $F$  et que nous n'avons pas d'intérêt à nous focaliser sur les effets de  $D$  ou  $E$  spécifiquement, alors il ne nous est pas nécessaire de représenter ces deux facteurs et nous pouvons en conséquence les agréger en un facteur  $G$ .

---

## 5.3 Méthode de formalisation des dispositifs vecteurs de cadrage

### 5.3.1 *Identification des éléments du système multi-agent directement influencés par les dispositifs vecteurs de cadrage*

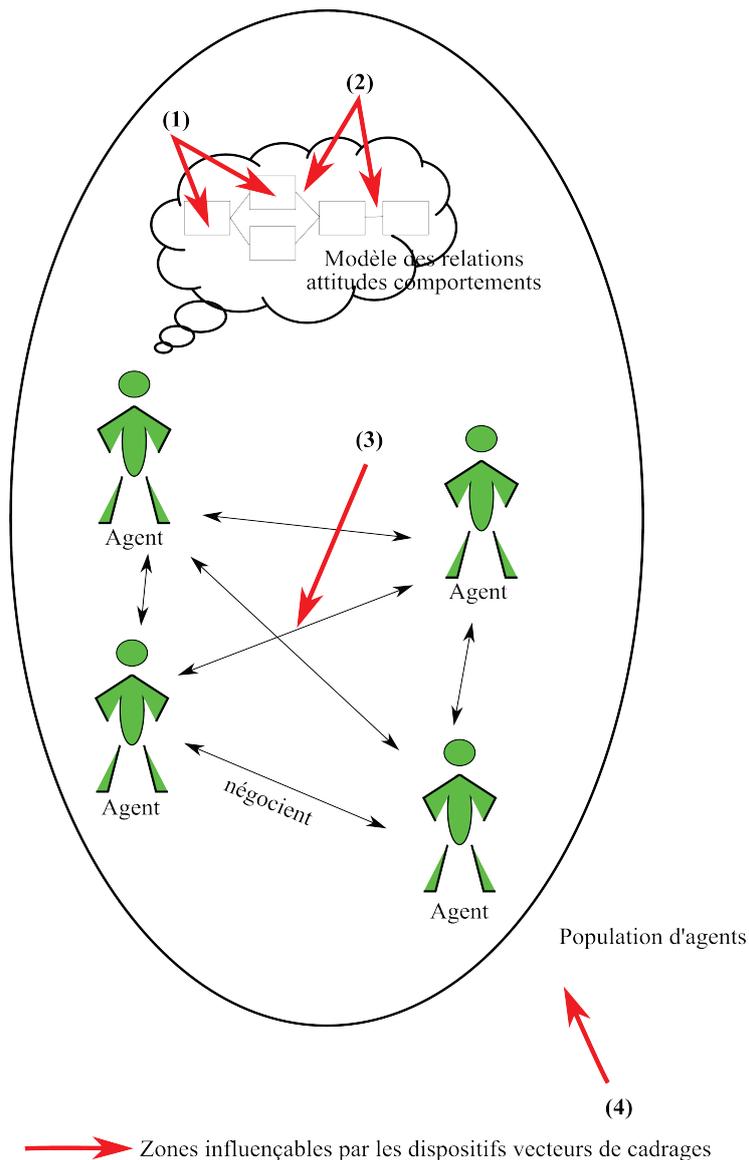
Les choix de conception et de mise en œuvre responsables d'effets de cadrage sur les dynamiques d'attitudes n'exercent pas nécessairement une influence directe sur les attitudes. Dans le système multi-agent à développer, il existe des éléments intermédiaires entre un dispositif et son influence sur les dynamiques d'attitudes, i.e., les dispositifs vecteurs de cadrage sont susceptibles d'influencer les comportements d'éléments du système multi-agent qui à leur tour sont susceptibles d'influencer les dynamiques d'attitudes. Nous recensons quatre éléments du modèle 1 pour lesquels ces différents choix peuvent exercer une influence directe (Figure 15) :

- (1) À l'intérieur des composants du modèle cognitif des agents, e.g., la représentation dans le système multi-agent du choix de la population de participants fait par un organisateur de jeu va avoir une influence directe sur les valeurs initiales des paramètres comme la valeur des attitudes.
- (2) Au niveau des liens entre les composants du modèle cognitif des agents, e.g., rémunérer les participants lors d'une session de jeu peut entraîner un pro-

cessus de justification externe des comportements par les participants qui va réduire l'effet des comportements sur les attitudes.

(3) Au niveau des interactions entre agents, e.g., si les règles du jeu incitent les participants à réaliser des négociations à deux, trois, quatre ou cinq participants, les dynamiques d'attitudes émergentes de chaque condition peuvent considérablement diverger.

(4) Au niveau de la population d'agents e.g., le choix du nombre de participants pour chaque session va avoir une influence sur leurs probabilités de rencontres.

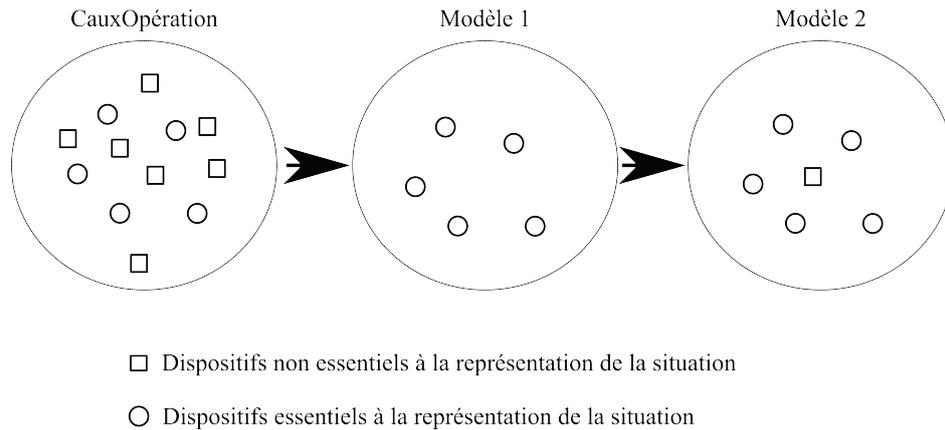


**Figure 15** Éléments du modèle 1 directement influencés par des choix de conception et de mise en œuvre des jeux.

### 5.3.2 Méthode d'exploration des effets de cadrage à l'aide du modèle 1 et du modèle 2

Etant donné qu'un modèle complètement vierge de dispositifs est impossible à obtenir, certains effets de cadrage sont déjà explorables via le modèle 1, i.e., modèle initial de référence caractérisant des relations attitudes/comportements dans un système de négociations. Nous qualifions les dispositifs déjà inclus dans le modèle 1 comme les dispositifs essentiels à la représentation de la situation. La variation des valeurs initiales des paramètres inclus dans le modèle représentent différents choix d'implémentation des dispositifs essentiels et sont de potentielles influences des dynamiques d'attitudes. Ces variations de valeurs se situent au niveau des zones 1 (à l'intérieur des composants du modèle cognitif des agents) et 4 (au niveau de la population d'agents) de la Figure 15. Par exemple, à l'aide du modèle 1, nous pouvons questionner l'hypothèse selon laquelle le nombre de participants à une session de jeu influence la dynamique des attitudes et provoque un cadrage de l'espace des attitudes atteignables par la population de participants. Pour cela, le principe est de réaliser plusieurs simulations du modèle en faisant varier le nombre d'agents.

Pour explorer les effets d'un dispositif non essentiel et donc non représenté par la variation des valeurs initiales des paramètres du modèle 1, l'idée est de modéliser et intégrer le dispositif à explorer au modèle (Figure 16), le transformant en un modèle 2. Cet ajout de dispositif peut exercer une influence au niveau des zones 1 (à l'intérieur des composants du modèle cognitif des agents), 2 (au niveau des liens entre les composants du modèle cognitif des agents) et 3 (au niveau des interactions entre les participants) de la Figure 15. Nous illustrerons ce type de modélisation par l'exploration des effets du feedback donné aux participants sur les conséquences de leurs actions de lutte contre le ruissellement érosif. L'idée est d'intégrer le feedback au modèle 1 en formalisant un processus de calcul des conséquences des actions des participants en accord avec la forme que cela prend dans *CauxOpération* (e.g., la probabilité de feedback positif dépend en partie du nombre d'actions effectuées contre le ruissellement). Comme pour les relations entre attitudes et comportements, l'idée est de modéliser la réaction des participants au feedback relativement à une théorie psychologique. Nous avons choisi de nous référer à la littérature sur le conditionnement opérant (Skinner, 1938, 1953). Ce dispositif exerce une influence à l'intérieur des composants du modèle cognitif des agents, donc au niveau de la zone 1 de la Figure 15.



**Figure 16** Dispositifs dont les effets sont explorables par les modèles 1 et 2.

## 6. Méthode de simulation des modèles

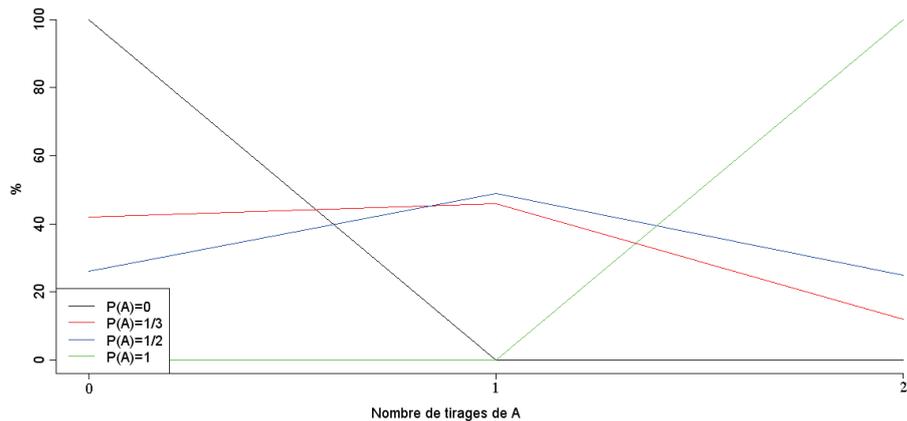
L'idée est d'effectuer des simulations du modèle 1 pour explorer les comportements du modèle ainsi que les effets de cadrage visualisables par la variation des valeurs initiales de ses paramètres. Les simulations du modèle 2 servent à explorer les cadrages que le dispositif de feedback et ses choix d'implémentation produisent sur les dynamiques d'attitudes.

### 6.1 Simuler différentes implémentations d'un dispositif

Pour explorer les effets de cadrage liés aux dispositifs inclus dans le modèle 1, l'idée est de faire varier la valeur initiale des différents paramètres au cours de plusieurs séries de simulations, chaque variation incarnant une implémentation particulière d'un dispositif (e.g. varier les valeurs initiales de paramètres internes aux agents qualifie un choix de population particulier effectué par un organisateur). Dans le cas où l'exploration se fait par l'ajout d'un dispositif au modèle initial (e.g., exploration des effets du feedback), l'idée est de réaliser des simulations avec et sans l'ajout de ce choix pour différentes valeurs initiales des paramètres communs et non communs aux deux modèles.

Nous qualifions comme effet de cadrage la différence entre les courbes obtenues par plusieurs simulations d'un modèle avec des paramètres initiaux différents. L'espace compris entre les courbes produites par les simulations initialisées avec la borne inférieure puis supérieure du paramètre caractérise l'étendue de l'effet de cadrage. Nous qualifions également d'effet de cadrage la différence entre les courbes résultantes des simulations des deux modèles avec la même initialisation des valeurs de leurs paramètres communs.

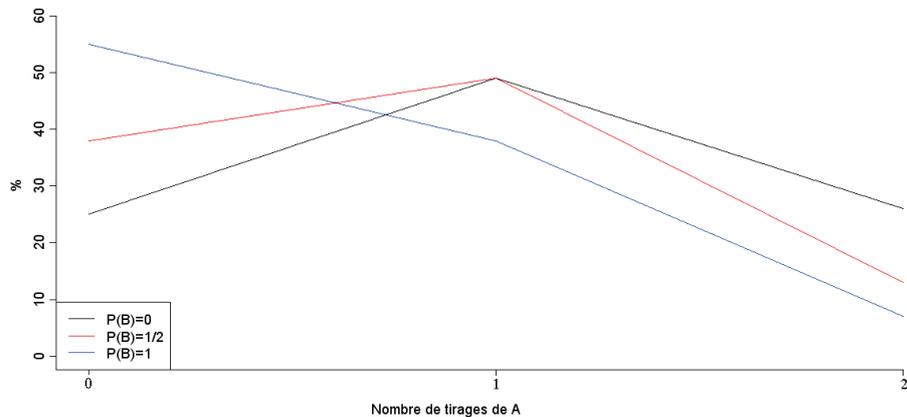
Considérons un exemple simple. Supposons deux tirages pour lesquels un événement  $A$  a une probabilité d'apparition de  $1/2$  à chaque tirage. À l'aide d'un programme simple, nous pouvons simuler plusieurs fois ces séquences de deux tirages et obtenir les proportions pour lesquelles  $A$  n'est pas apparu, est apparu une fois, est apparu deux fois. La courbe «  $P(A) = 1/2$  » sur la Figure 17 montre ces proportions pour 1000 simulations (réplicas) des deux tirages. Maintenant si nous modifions la probabilité d'apparition de  $A$  de  $1/2$  à  $1/3$ , la simulation (courbe «  $P(A) = 1/3$  ») montre logiquement des proportions de tirage de  $A$  différentes. La différence entre les deux courbes montre que la modification de la probabilité « cadre » les proportions d'apparition de  $A$  observées. Dans cet exemple, l'étendue du cadrage de la probabilité est totale, des initialisations de  $P(A) = 0$  puis de  $P(A) = 1$  montrent respectivement des proportions observées de 100% de « 0 tirages de  $A$  » et 100% de « 2 tirages de  $A$  ». On dira alors qu'un dispositif pouvant agir sur l'ensemble des valeurs de probabilités d'apparition de  $A$  aura un effet de cadrage total sur  $A$ .



**Figure 17** Proportions observées d'apparition de l'événement  $A$  sur 1000 réplicas de deux tirages en fonction de  $P(A)$ .

Supposons maintenant un nouveau dispositif provoquant l'apparition d'un événement  $B$  selon une certaine probabilité. Supposons que seul un événement,  $A$  ou  $B$ , peut être comptabilisé à chaque tirage, et que si les deux sont tirés, chaque événement à une probabilité de  $1/2$  d'être choisi à l'autre. Dans ce cas, l'apparition de  $B$  va provoquer un effet de cadrage sur les proportions observées d'apparition de  $A$ . La Figure 18 montre les effets de l'événement  $B$  sur les proportions d'apparition de  $A$  lorsque  $P(A) = 1/2$ . La courbe  $P(B) = 0$  correspond aux proportions de tirages de  $A$  pour des tirages dans lesquels  $B$  n'apparaît jamais. Elle est donc similaire à la courbe  $P(A) = 1/2$

de la Figure 17. La courbe  $P(B) = 1/2$  montre un effet moyen de  $B$  sur  $A$ , et la courbe  $P(B) = 1$  montre l'effet maximum que peut avoir  $B$  sur  $A$  lorsque  $P(A) = 1/2$ . La différence entre les courbes  $P(B) = 0$  et  $P(B) = 1$  montrent l'effet de cadrage maximal de  $B$  sur  $A$  lorsque  $P(A) = 1/2$ .



**Figure 18** Proportions observées d'apparition de l'événement  $A$  sur 1000 répliques de deux tirages pour  $P(A) = 1/2$  en fonction de  $P(B)$ .

## 6.2 Indicateurs de sortie

L'idée est de réaliser des simulations sur des pas de temps suffisants pour observer d'éventuels attracteurs. Aussi, les modèles vont inclure des éléments stochastiques, i.e., aléatoires, les simulations doivent en conséquence être répliquées un nombre suffisant de fois pour pouvoir visualiser la variabilité des dynamiques d'attitudes de la population d'agents pour un même paramétrage.

Pour l'exploration du comportement des modèles et des effets de cadrage des dispositifs, nous retenons deux indicateurs :

- Observation de la variation des proportions de révisions positives et négatives des attitudes des agents selon les répliques. Cet indicateur permet de comprendre comment des dispositifs peuvent influencer la direction que prennent les changements d'attitudes de la population d'agents.
- Observation des différents pas de temps requis pour atteindre une polarisation positive d'une même attitude pour l'ensemble de la population d'agents. Cet indicateur permet de visualiser la sensibilité des choix d'implémentation de dispositifs à un attracteur des modèles, la polarisation, qui est un cadrage extrême des attitudes de la population d'agents.

---

### 6.3 Analyse des mécanismes sous-jacents

L'idée est finalement d'expliquer les formes des courbes produites issues des simulations par les propriétés mathématiques responsables de leurs formes. Dans l'exemple cité dans la section 6.1 sur la probabilité d'apparition d'un événement  $A$ , un simple calcul de probabilités permet de comprendre les mécanismes sous-jacents aux proportions observées :

- Lorsque  $P(A)$  varie et que  $B$  est inexistant, nous allons observer l'apparition d'un des quatre couples suivant sur les deux tirages : soit  $A$  n'est pas tiré ( $\{0;0\}$ ), soit il est tiré une fois au premier ou au second tirage ( $\{0;1\}$  ou  $\{1;0\}$ ), soit il est toujours tiré ( $\{1;1\}$ ). Le calcul de probabilité révèle logiquement que  $A$  ne sera jamais tiré lorsque  $P(A) = 0$  et que  $A$  sera toujours tiré lorsque  $P(A) = 1$ . Lorsque  $P(A) = 1/2$ , chaque couple a une probabilité de  $1/4$  d'être tiré, donc on obtient une probabilité de  $1/4$  que  $A$  ne soit jamais tiré, de  $1/4$  qu'il soit toujours tiré et de  $1/2$  qu'il soit tiré une fois. Lorsque  $P(A) = 1/3$ , la probabilité d'obtenir le couple  $\{0;0\}$  est de :

$$2/3 \times 2/3 = 4/9$$

La probabilité que  $A$  soit tiré une fois est de :

$$2/3 \times 1/3 + 1/3 \times 2/3 = 4/9$$

Et la probabilité que  $A$  soit toujours tiré est de :

$$1/3 \times 1/3 = 1/9$$

- Quand on introduit l'événement  $B$  pour  $P(A) = 1/2$ , lorsque  $P(B) = 1/2$ , on obtient désormais 16 séquences possibles de 2 couples (e.g., si ni  $A$  ni  $B$  n'apparaissent sur les deux tirages on obtient la séquence : premier tirage  $\{A:0;B:0\}$ , second tirage  $\{A:0;B:0\}$ ). La probabilité que  $A$  n'apparaisse pas correspond à l'ensemble des séquences de couples pour lesquels  $A$  n'apparaît pas, auquel on additionne avec une probabilité de  $1/2$  les séquences pour lesquelles  $A$  apparaît une fois et conjointement à  $B$  (car la probabilité de choisir  $A$  ou  $B$  dans ce cas est de  $1/2$ ), et auquel on additionne avec une probabilité de  $1/2$  la séquence pour laquelle  $A$  apparaît deux fois conjointement à  $B$ . On obtient donc :

$$P(A = 0) = 4/16 + 1/2 \times (4/16) + 1/4 \times 1/16 = 29/64$$

De la même manière, la probabilité que  $A$  apparaisse une fois correspond à l'ensemble des séquences de couples pour lesquels  $A$  apparaît une fois quand  $B$  n'apparaît pas, auquel on additionne avec une probabilité de  $1/2$  les séquences pour lesquelles  $A$  apparaît une fois et conjointement à  $B$  et la moitié des séquences pour lesquelles  $A$  apparaît deux fois, dont une ou deux fois conjointement à  $B$ . On obtient donc :

$$P(A = 1) = 4/16 + 1/2 \times (7/16) = 15/32$$

Le même type de raisonnement se poursuit pour la probabilité que  $A$  apparaisse deux fois et pour la condition où  $P(B) = 1$ . Les résultats des simulations des modèles 1 et 2 vont être plus complexes que ces exemples, mais suffisamment simples pour que ce type d'analyse soit accessible. Ainsi, nous serons en mesure d'expliquer précisément les formes des courbes de dynamiques d'attitudes et donc, d'expliquer la cause des effets de cadrage observés via les simulations.

## Chapitre 3

Envisager une  
modélisation multi-agent  
de relations  
attitudes/comportements  
fondée sur la base de  
théories psycho-sociales :  
situation par rapport à la  
littérature

---

## 1. Situation par rapport aux principaux modèles de dynamiques d'opinions

---

### 1.1 Origine des modèles de dynamiques d'opinions et disciplines associées

Selon Xia, Wang, & Xuan (2011), l'étude des dynamiques d'opinions peut être définie comme un champ de recherche dans lequel des modèles mathématiques, physiques et des outils computationnels sont utilisés pour explorer les processus dynamiques de la diffusion et de l'évolution d'opinions dans une population humaine. Ce champ couvre plusieurs phénomènes sociaux : phénomènes de mode, influence et survie de minorités d'opinions, prises de décisions collectives, émergence de consensus (i.e., opinion partagée par une population), émergence de partis politiques, propagation de rumeurs, expansion de l'extrémisme...

Les principaux enjeux de ces travaux sont de caractériser les propriétés de convergence de populations d'agents en interaction sur une même opinion ou sur plusieurs opinions différentes. Les modèles sont souvent très simples et intègrent peu de paramètres, ils visent à fournir des explications à l'émergence de phénomènes sociaux complexes à partir d'un nombre minimum de facteurs.

Selon Xia et al. (2011) de nouveau, les travaux sur les dynamiques d'opinions ont émergé de travaux de différentes disciplines qui se sont développés indépendamment les uns des autres. Dès l'apparition de la sociologie, des travaux portaient déjà sur l'explication de comportements collectifs et notamment sur l'observation et l'analyse des comportements irrationnels des foules (e.g., Mackay, 1841; Le Bon, 1896). En psychologie sociale les travaux sur le conformisme (e.g., Asch, 1956) et la normalisation (e.g., Sherif, 1936) questionnent les influences qui peuvent être générées à l'intérieur des groupes sociaux et les tendances à se conformer à la majorité qui en découlent. L'étude du conformisme a aussi été développée en économie (e.g., Keynes, 1936) pour analyser les marchés financiers ou encore les prises de décision en entreprise. Ces comportements collectifs ont été modélisés afin d'explorer leurs mécanismes sous-jacents (e.g., Granovetter, 1978; Schelling, 1978). Ces modèles de comportements collectifs ont influencé le développement du domaine des dynamiques d'opinions dans le sens où les formations d'opinions publiques sont souvent les prémisses d'actions collectives.

En psychologie sociale, il existe aussi des ancêtres plus directs aux dynamiques d'opinions, notamment les travaux de Moscovici, Lage, & Naffrechoux (1969) et de Moscovici & Zavalloni (1969) sur la polarisation de groupe et l'influence des minorités, ainsi que les travaux caractérisant des modèles de l'influence sociale développés pour identifier les mécanismes sous-

jacents à la diffusion des opinions (e.g., Katz & Lazarsfeld, 1955; French Jr, 1956; Latané, 1981; Latané, 1996). La théorie de l'impact social décrite dans Latané (1996) qui a émergé de ce champ, fait partie des modèles d'opinions de référence (Castellano, Fortunato, & Loreto, 2009) que nous décrivons dans la sous-section suivante. En sciences de la décision, des travaux ont été effectués sur la construction de consensus (e.g., DeGroot, 1974; Lehrer, 1975). L'objectif de ces travaux repose sur l'analyse des mécanismes de construction de consensus dans un groupe et la recherche de méthodes qui favorisent cette construction. En sciences politiques, on trouve plusieurs travaux contribuant au développement des dynamiques d'opinions. Par exemple, le « culture dissemination model » (Axelrod, 1997) explore la diffusion d'éléments de culture dans une population. Par culture, Axelrod fait référence à divers éléments pouvant être socialement transmis, comme les croyances et les normes sociales ou même le langage ou l'art. Ce modèle peut être considéré comme un modèle d'opinions à plusieurs dimensions. Toujours en sciences politiques, des modèles ont été développés pour explorer les mécanismes de votes (e.g., Simon, 1954). Le modèle ayant engagé le nombre de recherches le plus important est le « voter model » (Clifford & Sudbury, 1973) repris entre autres par Holley & Liggett (1975), Dornic et al. (2001), Lambiotte, Saramäki, & Blondel (2009), que nous détaillons dans la sous-section suivante. Globalement, il s'agit d'étudier les changements de position sur une opinion discrète (i.e., pour ou contre) appartenant à des individus inscrits dans une population qui interagit. Les individus sont influencés par les opinions de leurs voisins sur le réseau, ce qui génère des évolutions d'opinions de la population dans le temps.

Quelle que soit l'origine disciplinaire, les modèles de dynamiques d'opinions sont caractérisés par une forte utilisation d'outils mathématiques, physiques et computationnels. En ce sens, il arrive que l'élaboration de modèles de dynamiques d'opinions soit influencée par des modèles mathématiques, physiques ou computationnels existants. En mathématiques, des modèles épidémiologiques sont utilisés pour étudier des dynamiques d'opinions par analogie à la contagion dans une population (e.g., Moreno, Nekovee, & Pacheco, 2004). En physique, des modèles de physiques statistiques comme le modèle d'Ising (1925) ont été repris pour étudier les polarisations de groupes et la formation de consensus (e.g., Galam & Moscovici, 1991). Avec les outils informatiques, il devient commun d'utiliser des systèmes multi-agents pour explorer la diffusion et l'évolution des opinions dans des populations d'agents (Stauffer, 2005; cité dans Xia et al., 2011).

---

## 1.2 Les principaux modèles de dynamiques d'opinions

On trouve des similitudes dans la structure des différents modèles de la littérature. La typologie fréquemment employée pour différencier les modèles est la nature discrète ou continue des opinions. Dans les modèles d'opinions discrètes, les opinions prennent généralement les valeurs  $-1$  ou  $1$ . Lorsque les opinions sont continues, elles prennent une valeur comprise dans un intervalle, correspondant généralement à l'intervalle  $[0;1]$ . Les modèles d'opinions discrètes peuvent s'avérer suffisants pour représenter de manière raisonnable des populations d'agents atteignant un consensus ou restant séparées en deux sous groupes d'opinions différentes. Les modèles d'opinions continues permettent d'étudier les propriétés de dynamiques d'opinions pour lesquelles une population d'agents en interaction peut se décomposer en plusieurs clusters représentant des groupes d'agents ayant la même opinion. Dans cette littérature, il n'y pas de différenciation explicite entre les termes « attitudes » et « opinions ». Le niveau de formalisation des modèles peut représenter des opinions ou des attitudes.

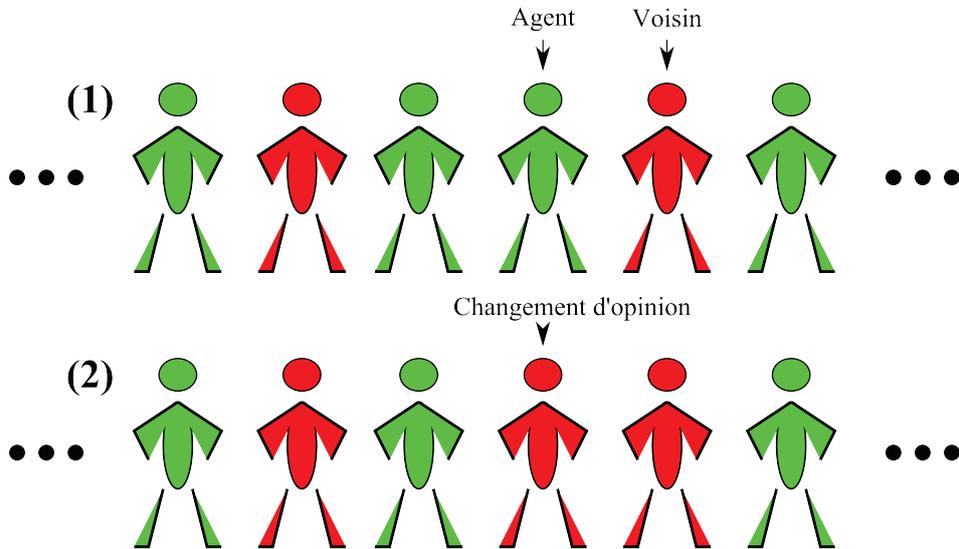
### 1.2.1 Les modèles d'opinions discrètes

Les modèles d'opinions discrètes les plus populaires (d'après Castellano et al., 2009) sont le « voter model » (Clifford & Sudbury, 1973; Holley & Liggett, 1975), le « majority rule model » (Galam, 2002), le « Sznajd model » (Sznajd-Weron & Sznajd, 2000, 2005), et la « social impact theory » (Latané, 1981; Nowak, Szamrej, & Latané, 1990; Latané, 1996). Les objectifs de ces travaux sont principalement d'étudier les propriétés des dynamiques des modèles en mobilisant des indicateurs issus de la physique. Ces propriétés sont identifiées à l'aide de plusieurs indicateurs, tels que la vitesse pour atteindre le consensus dans une population (tous les agents atteignent la même opinion), les états stables qui maintiennent l'existence des deux opinions dans la population, ou encore la solvabilité analytique des modèles (i.e., calcul analytique des valeurs à chaque pas de temps, calcul des équilibres). Ces indicateurs sont analysés à travers la variation des valeurs initiales des paramètres des modèles (e.g., variation de la taille de la population d'agents, paramètres inclus dans les règles locales des agents) et à travers le développement de variantes de ces modèles (e.g., ajout d'une valeur d'opinion pour faire une différenciation «centriste, gauchiste, droitiste », ajout d'un agent qui ne change pas d'opinion, modifications du réseau social). Ces variations servent à la fois à tester la robustesse des effets originaux observés, mais aussi à explorer de nouveaux phénomènes. Par exemple, une variante du « voter model » a été réalisée pour étudier des

problèmes écologiques telle que la diversité des familles de plantes (Zillio et al., 2005, cités dans Castellano et al., 2009).

### 1.2.1.1 Le « voter model »

Le « voter model » a été initialement développé pour étudier la compétition des espèces (Clifford & Sudbury, 1973). Il a été nommé « voter model » par Holley & Liggett (1975) pour représenter des individus votants. Le principe du modèle est de tirer à chaque pas de temps un agent dans la population, de manière aléatoire et conjointement à un de ses voisins (également tiré aléatoirement). L'agent révisé alors son opinion en adoptant l'opinion du voisin (dont la valeur est  $-1$  ou  $1$ ) selon une hypothèse de mimétisme, i.e., l'influence sociale est considéré dans ce modèle comme un processus d'adoption sans filtre des opinions des voisins du réseau social (Figure 19).



**Figure 19** Exemple de changement d'opinion dans le « voter model » à une dimension. Un agent est tiré conjointement à un de ses voisins (1) et révisé son opinion en adoptant l'opinion du voisin (2).

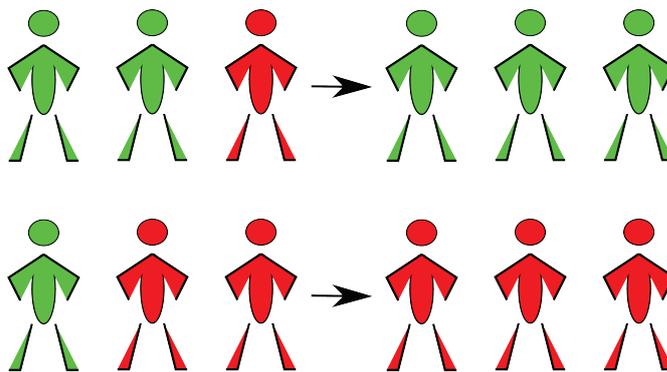
Frachobourg & Kaprivsky (1996) montrent un comportement intéressant du modèle : lorsqu'on augmente le nombre de voisins des agents, la dynamique du modèle passe d'un comportement qui dirige la population vers le consensus (i.e., tous les agents ont la même opinion) à un comportement qui dirige la population vers un phénomène de coexistence ou de « clustering » (i.e., état stationnaire ou quasi-stationnaire pour lequel deux opinions coexistent dans la population). Redner (2001) montre par ailleurs que le comportement du mo-

dèle peut-être exactement résolu analytiquement pour n'importe quelle initialisation du nombre des voisins des agents.

Ces résultats ainsi que la simplicité du modèle qui les produit a rendu le « voter model » populaire, ce qui l'a amené à être exploré à travers de multiples variantes. Par exemple Mobilia (2003) a exploré les effets provoqués par l'introduction d'un « zealot » (i.e., un agent qui ne change jamais d'opinion).

### 1.2.1.2 Le « majority rule model »

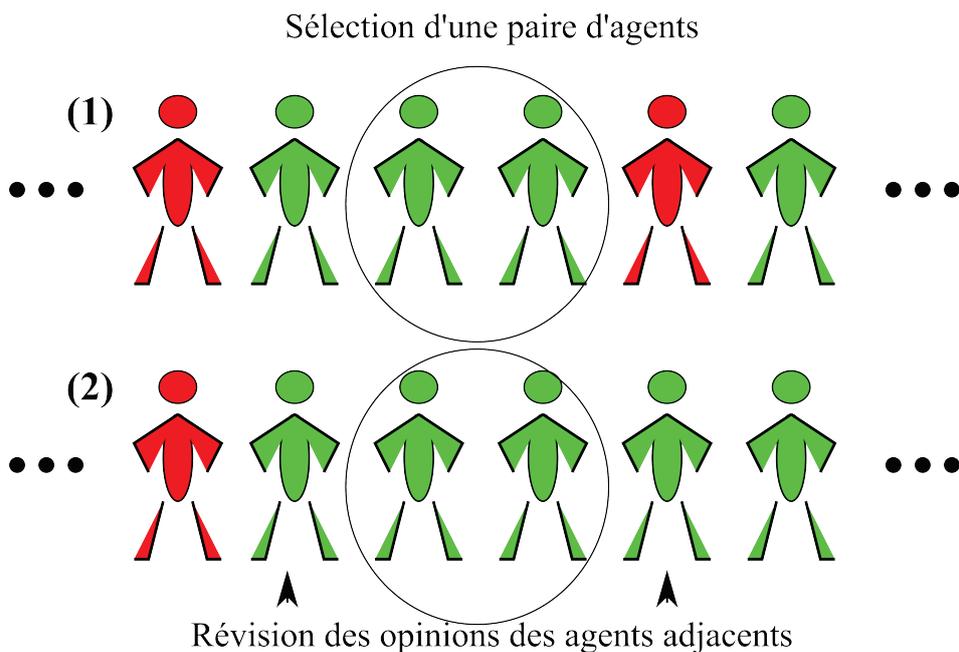
Le « majority rule model » a été développé pour représenter l'influence dans des débats publics (Galam, 2002). Il est constitué de  $n$  agents pour lesquels il y a  $p$  agents ayant une opinion de 1 et  $n - p$  agents ayant une opinion de  $-1$ . A chaque pas de temps le modèle tire un sous-ensemble  $r$  d'agents ( $r$  varie à chaque pas de temps) pour lequel les agents révisent leurs opinions en adoptant l'opinion de la majorité du sous-ensemble (Figure 20). L'enjeu est d'explorer les dynamiques d'opinions à travers cette règle, qui peut-être rapprochée des études sur la conformité (Sherif, 1936; Asch, 1956) montrant la tendance des individus à conformer leurs opinions à celles du groupe social dans lequel ils sont inscrits. Ce modèle a été étudié par Galam (2008), en considérant des hiérarchies : le premier niveau est caractérisé par l'ensemble de la population. Celle-ci est ensuite divisée en sous-groupes, pour lesquels la règle de majorité est appliquée. Un individu représentant la majorité dans chaque sous groupe est alors désigné, et l'ensemble des individus désignés forment ainsi le second niveau. Le même processus est répété jusqu'à ce que l'opinion ou les opinions représentative(s) finale(s) soi(en)t obtenue(s). L'étude du comportement de ce type de système a permis entre autre de produire des explications possibles à certains phénomènes, tels que l'émergence de dictature (Galam, 2000; Galam & Wocznak, 2000).



**Figure 20** Exemples de changement d'opinion d'un individu dans le « majority rule model ».

### 1.2.1.3 Le « Sznajd model »

L'influence sociale dans le « Sznajd model » (Sznajd-Weron & Sznajd, 2000, 2005) repose sur l'hypothèse qu'il est plus simple de convaincre quelqu'un si on est plusieurs à le faire plutôt que si on est tout seul. Dans sa version la plus populaire (différente de l'originale) les agents sont disposés en forme de chaîne linéaire. Le modèle tire des paires d'agents adjacents sur la chaîne dans un ordre aléatoire, et pour chaque tirage le modèle fonctionne ainsi : si les deux agents ont la même opinion, leurs deux autres agents adjacents adoptent l'opinion de la paire, sinon ils conservent leur opinion initiale (Figure 21). Ce modèle a connu diverses applications, il a été utilisé pour décrire des mécanismes de vote durant des élections (Bernardes, Stauffer, & Kertész, 2002), pour modéliser la compétition de différents produit sur un marché (Sznajd-Weron & Weron, 2003) ou encore pour étudier la diffusion des opinions chez des traders (Sznajd-Weron & Weron, 2002).



**Figure 21** Exemple de changement d'opinion dans la version la plus populaire du « Sznajd model » à une dimension.

---

#### 1.2.1.4 La « social impact theory »

La « social impact theory » (Latané, 1981; Nowak, Szamrej, & Latané, 1990; Latané, 1996) a aussi été caractérisée en un modèle d'opinions discrètes mais les hypothèses sur le comportement individuel et d'interaction des agents sont basées sur une théorie issue d'expérimentations avec des participants réels développées par les auteurs. Les agents ont une opinion  $\sigma$  équivalente à 1 ou  $-1$  et sont caractérisés par deux paramètres  $s_i$  et  $p_i$  déterminant la force d'influence d'un agent sur un autre.  $s_i$  représente la force de persuasion d'un agent pour influencer l'opinion des autres, et  $p_i$  représente la force de soutien d'un agent à maintenir l'opinion des autres. Le modèle prend également en considération la distance entre paires d'agents  $i$  et  $j$  (proximité spatiale ou proximité relationnelle) notée  $d_{ij}$  dont l'impact sur l'influence est réglé par un paramètre  $\alpha$ . Chaque agent  $i$  reçoit une pression  $I_i$  de l'ensemble de la population à maintenir ou changer d'opinion, selon la formule suivante :

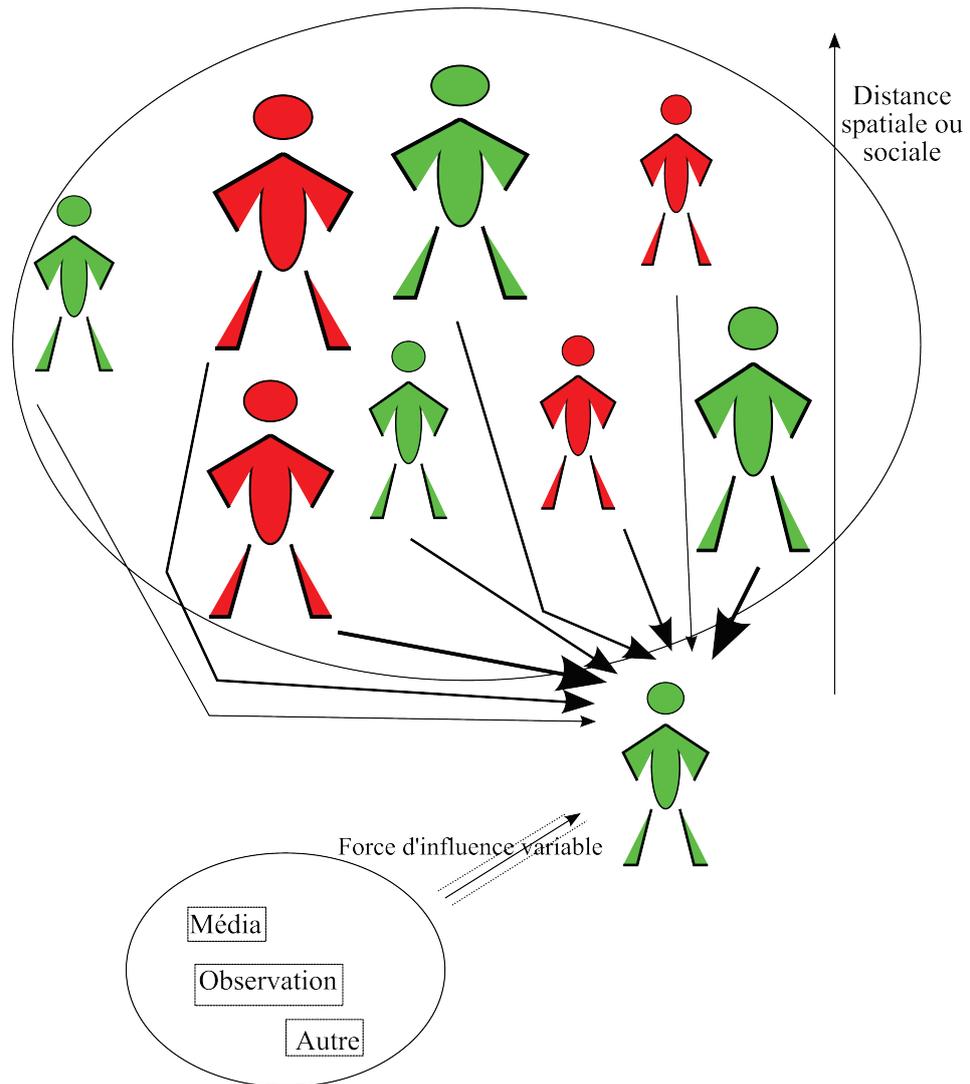
$$I_i = \left[ \sum_{j=1}^N \frac{p_j}{d_{ij}^\alpha} (1 - \sigma_i \sigma_j) \right] - \left[ \sum_{j=1}^N \frac{s_j}{d_{ij}^\alpha} (1 + \sigma_i \sigma_j) \right]$$

Le premier terme de l'équation exprime l'impact de persuasion au changement d'opinion, et le second exprime l'impact de la pression des agents similaires au maintien de l'opinion.

La révision de l'opinion de chaque agent dépend de  $I_i$  mais aussi d'un facteur  $h_i$  caractérisant l'ensemble des facteurs autres que l'impact social pouvant influencer les opinions (e.g., influence par un média). La dynamique des opinions s'exprime ainsi :

$$\sigma_i(t+1) = -\text{sgn}[\sigma_i(t)I_i(t) + h_i]$$

Latané (1996) a simulé le modèle pour explorer les effets globaux du changement d'attitude individuel sur l'ensemble de la population. Les observations des simulations montrent que la structure sociale s'auto-organise et évolue. On observe par exemple l'apparition de clusters stables, résultat qui fait de la théorie une hypothèse d'explication à l'existence et au maintien de cultures locales.



**Figure 22** Forces d'influences exercées sur un individu dans la « social impact theory ». La taille des agents et l'épaisseur des flèches indiquent la force d'influence des agents.

### 1.2.2 Les modèles d'opinions continues

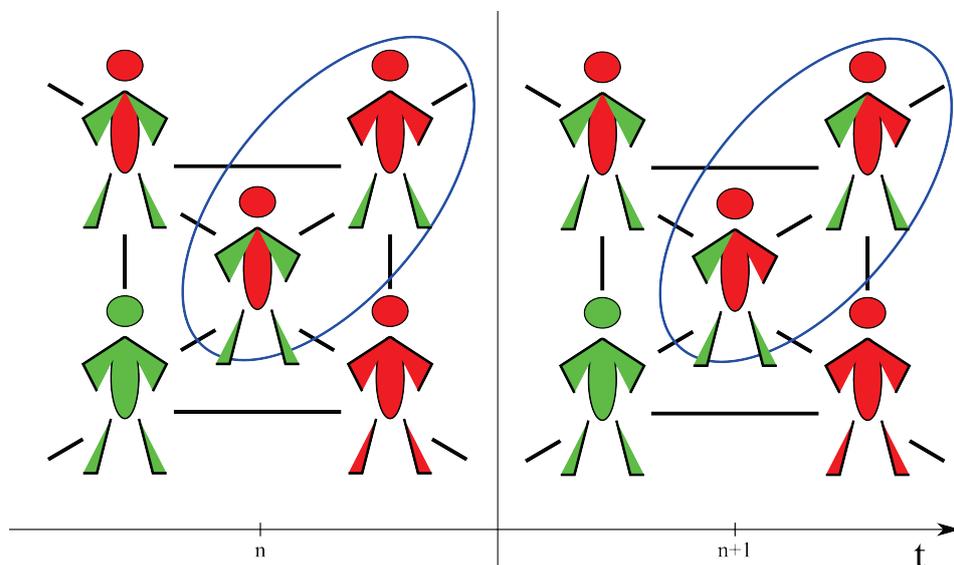
Les modèles d'opinions continues les plus populaires (d'après Castellano et al., 2009; Lorenz, 2007; Xia et al., 2011) sont les modèles de Deffuant, Neau, Amblard, & Weisbuch (2000) et celui de Hegselmann & Krause (2002). Ces modèles font tous les deux l'hypothèse de « bounded confidence » : les agents interagissent et s'influencent seulement si leur opinion est suffisamment proche initialement. De plus, un nombre réel  $\varepsilon$  définit la tolérance des agents de sorte qu'ils vont interagir avec les autres agents ayant une opinion  $x$  comprise dans l'intervalle  $]x - \varepsilon; x + \varepsilon[$ . Le modèle de Deffuant caractérise une

population de  $n$  agents représentés dans un graphe, les nœuds correspondant aux agents, et les connexions aux possibilités de discussions entre les agents. Chaque agent est initialisé avec une opinion aléatoire comprise dans l'intervalle  $[0;1]$ . A chaque pas de temps, un agent est tiré aléatoirement et discute avec un des agents auquel il est connecté dans le graphe, lui aussi choisi aléatoirement. Si la condition de discussion définie par la tolérance  $\varepsilon$  n'est pas remplie, rien ne se passe, sinon les valeurs des opinions des deux agents se rapprochent de cette manière :

$$x_i(t+1) = x_i(t) + \mu(x_j(t) - x_i(t))$$

$$x_j(t+1) = x_j(t) + \mu(x_i(t) - x_j(t))$$

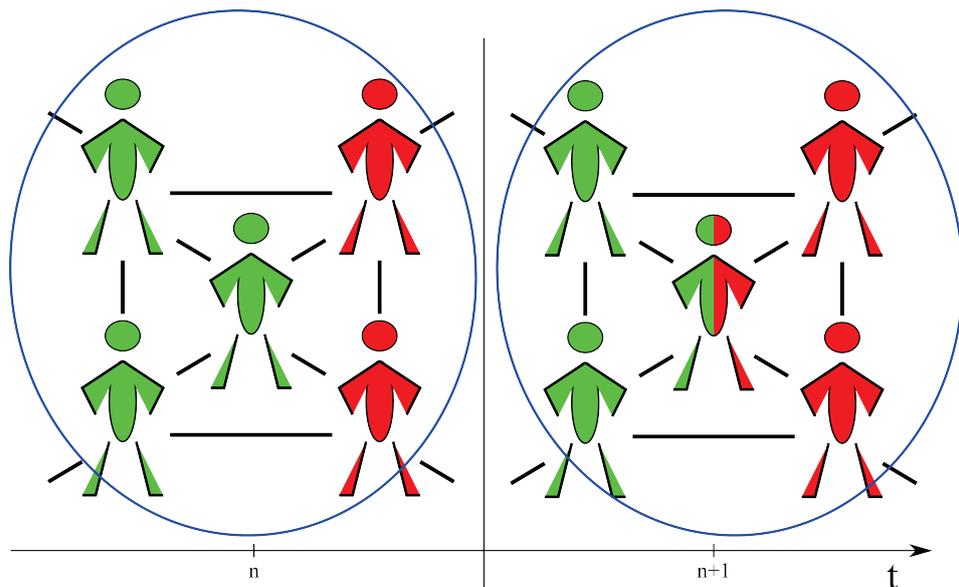
$\mu$  est un paramètre de convergence qui varie entre 0 et 0.5. L'hypothèse derrière le modèle est que les individus ont tendance à rapprocher leurs positions après avoir interagi à l'intérieur d'un débat constructif. Les dynamiques du modèle produisent des types de sorties différents des modèles d'opinions discrètes. Suivant l'initialisation des paramètres  $\mu$  et  $\varepsilon$ , on observe une création d'un certain nombre de clusters (quand  $\varepsilon < 0,5$ ) de tailles variables intégrant des agents d'opinions proches. Une fois qu'un cluster est suffisamment éloigné des autres, les agents ne peuvent interagir qu'avec les agents du cluster, ce qui produit une convergence des agents vers la même opinion au sein de chaque cluster.



**Figure 23** Exemple de changements d'opinions dans le modèle de Deffuant.

La différence du modèle de Hegselmann-Krause avec celui de Deffuant est au niveau des possibilités de discussions des agents dans le réseau social. A

chaque pas de temps, un agent désigné peut interagir avec l'ensemble de ses voisins compatibles (i.e, voisins dont l'opinion est comprise dans l'intervalle  $]x - \varepsilon; x + \varepsilon[$ ). Le modèle de Deffuant décrit des dynamiques d'opinions se réalisant lorsque des individus interagissent à deux, alors que celui de Hegselmann-Krause peut représenter des meetings rassemblant un nombre conséquent d'individus au même moment. Durant la simulation, chaque agent désigné prend l'opinion moyenne de ses voisins compatibles. Le paramètre  $\mu$  disparaît dans ce modèle. Les dynamiques observées sont toutefois similaires à celles du modèle de Deffuant.



**Figure 24** Exemple de changements d'opinions dans le modèle de Hegselmann-Krause, en supposant une tolérance maximale de l'agent à la distance entre son opinion et celle des autres (i.e., tous les voisins sont compatibles).

## 2. Limites et dépassement des principaux modèles de dynamiques d'opinions pour remplir l'objectif

Pour répondre à l'objectif de thèse, notre modèle doit d'une part se baser sur des théories psycho-sociales particulières, et d'autre part faire le lien entre attitudes et comportements. Nous avons donc à dépasser les principaux modèles de dynamiques d'opinions vus dans la sous-section précédente. Les deux sous-sections à venir étayent ces deux nécessités par rapport à la littérature.

---

## 2.1 Modélisation des règles locales en accord avec les théories psycho-sociales

Les modèles de dynamiques d'opinions que nous avons passé en revue intègrent fortement des outils physiques, mathématiques et informatiques, à la fois dans la modélisation (e.g., utilisation du modèle d'Ising pour étudier le phénomène de polarisation de groupe (Galam & Moscovici, 1991)) et dans les indicateurs d'analyse (e.g., transition de phase, temps de convergence). Par contre, peu d'efforts sont réalisés pour développer des modèles basés sur des hypothèses fondées sur des résultats d'expérimentations contrôlées avec des participants réels. Les hypothèses sont souvent très simplifiées et la complexité psychologique et comportementale des individus ne sont pas prises en considération (Xia et al., 2011). L'intérêt premier de ces recherches est de caractériser des hypothèses plausibles au niveau des règles locales des agents et de fournir des preuves formelles aux propriétés de convergences ou de transition de phase.

De plus, selon Mosler & Brucks (2001), même si des modèles de simulation sociale sont capables de reproduire les comportements observés dans le réel, les modèles permettent rarement de mettre en évidence les causes des comportements observés. Les modèles sont en effet souvent valides dans les comportements qu'ils produisent mais pas nécessairement dans leur structure.

Conformément à la problématique développée dans le Chapitre 1, notre objectif est avant tout de développer un système multi-agent pour explorer des effets de cadrage sur des dynamiques d'attitudes. Plutôt que de chercher à reproduire un phénomène social observé à l'aide d'hypothèses plausibles, nous cherchons à comprendre les processus selon lesquels des dispositifs de jeu cadrent des relations entre attitudes et comportements. Et pour cela, la modélisation des processus de changements d'attitudes, i.e., la structure du modèle, nécessite du réalisme. L'enjeu est en conséquence de développer un modèle basé sur des hypothèses plus en accord avec des théories fondées à partir d'expérimentations contrôlées avec des participants réels. Plusieurs réflexions actuelles sur le développement de modèles de simulations pour rendre compte de phénomènes sociaux vont dans le même sens que cet enjeu en sollicitant le développement de liens à double sens entre expérimentations contrôlées avec des participants réels et simulations formelles :

- Les chercheurs en sciences humaines et sociales sont sollicités pour incorporer des systèmes multi-agents dans leurs recherches pour développer et vérifier des théories, travailler sur l'aspect parcimonieux de théories existantes, ou encore pour élargir l'apport de connaissances de certains phénomènes sociaux en apportant des données liées aux processus complexes et dynamiques du monde social (Smith & Conrey, 2007; Mason, Conrey, & Smith, 2007).

- Xia et al. (2011) encouragent les chercheurs sur les dynamiques d'opinions à enrichir les connections entre les études des dynamiques d'opinions par les physiciens et les disciplines des sciences humaines et sociales. Les auteurs suggèrent notamment d'incorporer des modèles psycho-sociaux de changements d'attitudes et d'influence sociale au niveau des règles locales des modèles de dynamiques d'opinions.
- Selon Mosler & Brucks (2001), si des travaux de simulations sont utilisés pour déterminer des causes aux phénomènes réels (ce qui est notre cas), les modèles doivent être développés le plus simplement possible, mais aussi le plus précisément possible, i.e., les algorithmes des modèles doivent être fidèles aux théories explicatives des processus modélisés. Cette nécessité devient encore plus importante si des interventions concrètes s'appuient sur les résultats de simulation.

Plusieurs recherches récentes en simulation sociale ont incorporé des modèles cognitifs basés sur des théories fondées sur des expérimentations avec des participants réels, dans un contexte avec des individus en interaction ou non. Sans se prévaloir d'une revue exhaustive de ces études, nous allons caractériser différents types de modèles que nous avons pu distinguer dans la littérature, en fonction de leur structure et leurs objectifs, à l'aide de quelques exemples. À partir des différents types de modèles passés en revue, nous caractériserons le type de modèle correspondant à nos besoins tout en affichant nos besoins de dépassement.

### 2.1.1 *Types de modèles de simulation de phénomènes sociaux intégrant des théories cognitives fondées sur des données d'expérimentations contrôlées*

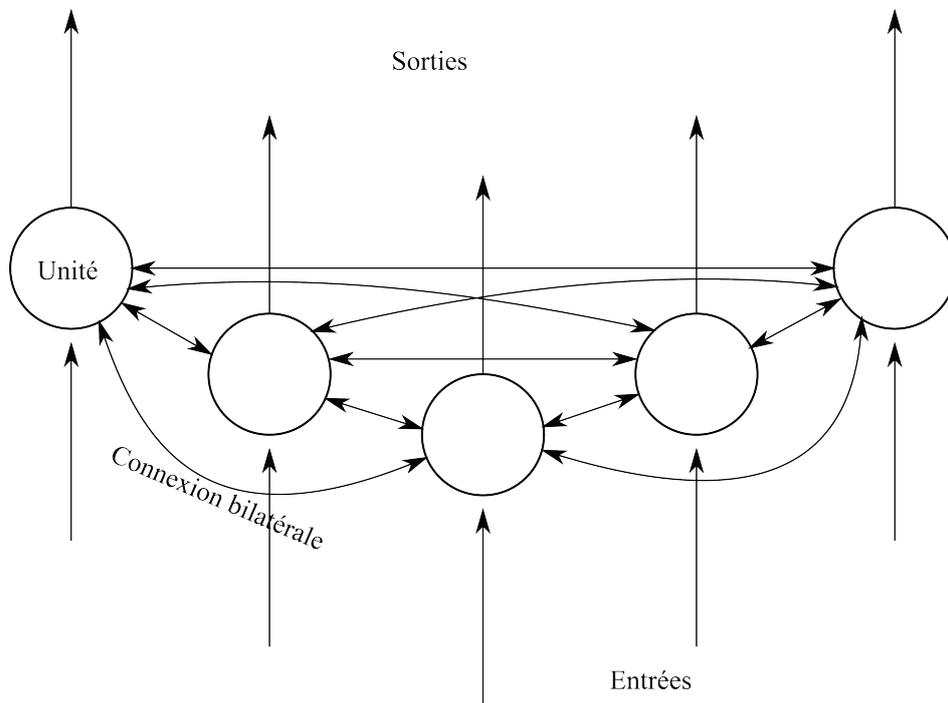
---

#### 2.1.1.1 Modèles connexionnistes

Les modèles connexionnistes ont été beaucoup utilisés pour représenter et simuler le fonctionnement de processus mentaux en sciences cognitives. Leur principe est de décrire des processus mentaux comme des réseaux d'unités simples interconnectées (Figure 25). Plus rarement, ils ont été utilisés en psychologie sociale et en cognition sociale, notamment pour simuler informatiquement des modèles fondés sur des expérimentations contrôlées (e.g., Smith & DeCoster, 1998; Van Rooy et al., 2003; Van Overwalle & Labiouse, 2004).

Selon Smith & DeCoster (1998), les unités des réseaux peuvent recevoir des signaux inhibiteurs ou excitateurs provenant de l'environnement et/ou des autres unités et produisent un signal qui constitue un signal de sortie du réseau mais aussi un signal transmis aux autres unités. Les connexions entre les unités ont des poids respectifs qui évoluent à travers un processus

d'apprentissage, ce qui produit une facilitation du futur traitement de patterns similaires (i.e., état d'activation similaire de l'ensemble des unités du réseau à un temps donné). Un état mental est représenté par un pattern d'activation du réseau (i.e., vecteur à  $n$  dimensions représentant les valeurs d'activation des unités). Les connexions entre les unités du réseau peuvent être réciproques ou unilatérales. La simulation du système, à partir d'un signal d'entrée donné, peut montrer des dynamiques variées (e.g., comportement chaotique, oscillation périodique) avant de se stabiliser en un état final fixe. Si le signal d'entrée a une structure, celle-ci peut être apprise par le réseau. Cet apprentissage fournit au réseau des éléments de connaissances pour effectuer des inférences (e.g., le réseau peut reconstituer des données manquantes).



**Figure 25** Exemple de module connexionniste (Smith & DeCoster, 1998).

Selon Smith & DeCoster (1998), on utilise ce type de modèles en psychologie sociale selon différents objectifs :

- Il est possible de déterminer si un modèle théorique est valide pour représenter un ensemble d'observations empiriques.
- Il est possible de montrer si un modèle théorique alternatif peut expliquer des résultats déjà expliqués par un autre mécanisme théorique.
- Il est possible d'améliorer la parcimonie dans l'explication de phénomènes sociaux en montrant qu'un même mécanisme peut expliquer plusieurs phénomènes qui étaient jusqu'alors expliqués par des mécanismes différents.

- Il est possible de faire de nouvelles prédictions avec un mécanisme théorique ayant déjà fait ses preuves pour décrire convenablement un ou plusieurs phénomènes.

Les études psycho-sociales utilisant la simulation de modèles connexionnistes ont révélé divers phénomènes. Par exemple, Smith & Decoster (1998) ont utilisé un réseau connexionniste pour étudier les mécanismes de construction de stéréotypes. Le réseau représente un modèle de mémoire auto-associative : le réseau apprend à construire/reconstruire de l'information à partir de différents stimuli. Un stimulus correspond ici à un pattern d'activation des unités représentant un item stocké en mémoire. A l'aide de ce modèle, Smith & DeCoster (1998) reproduisent entre autre des effets connus en psychologie :

- Les individus ont tendance à inférer des traits de personnalité à une personne inconnue sur la base de leur connaissance des traits d'autres personnes (Andersen & Cole, 1990; Lewicki, 1985, cités dans Smith & DeCoster, 1998).
- Les individus peuvent apprendre un stéréotype correspondant à un groupe social et peuvent inférer des traits à une personne inconnue appartenant au groupe (Hamilton & Sherman, 1994, cités dans Smith & DeCoster, 1998).
- Les traits rencontrés fréquemment ou récemment seront plus utilisés pour effectuer des inférences, i.e., principe d'accessibilité (Higgins, 1996, cité dans Smith & DeCoster, 1998).

La particularité du modèle est qu'il permet de fournir une explication pour ces trois phénomènes alors que ceux-ci étaient jusqu'alors expliqués par des mécanismes distincts. Il révèle également des phénomènes qui ne sont pas répertoriés dans des modèles psychologiques existants, tels que la possibilité d'utiliser plusieurs représentations simultanément pour effectuer des inférences.

Les modèles connexionnistes permettent donc d'étudier des processus psychosociaux tels que les stéréotypes, mais sont par contre des modèles réservés à la simulation de processus cognitifs individuels et ne considèrent pas des groupes d'individus.

---

#### 2.1.1.2 Modèles de simulation de théories psycho-sociales

Dans la section 1.2.1.4, nous avons présenté la « social impact theory », qui est un modèle de dynamiques d'opinions développé en formalisant des règles locales cohérentes avec les résultats d'expérimentations sur des participants réels. Il existe aussi des travaux ayant formalisé puis simulé des modèles psychosociaux déjà existants et reconnus. Par exemple, Mosler et al. (2001) ont formalisé et simulé un modèle d'influence sociale largement reconnu dans le

champ de la psychologie sociale : l'« elaboration likelihood model » (Petty & Cacioppo, 1986). Ce modèle caractérise les différents processus impliqués dans le changement d'attitude face à l'acquisition de nouvelles informations à propos d'un objet cible. Selon le modèle, le traitement de l'information se déroule différemment suivant la quantité « d'élaboration » du message fourni par l'individu. L'élaboration est entendue comme une analyse poussée, un traitement cognitif approfondi du message. Le niveau d'élaboration est lié à la motivation et la capacité (niveau de connaissances, taux de distraction) de l'individu à traiter l'information. Quand l'élaboration est élevée, l'individu cherche à analyser la valeur de l'argument du message, un argument jugé positif entraînant un changement d'attitudes. Petty & Cacioppo (1986) parlent alors de route centrale de traitement de l'information. Lorsque l'élaboration est faible, l'individu a tendance à s'attacher à des éléments périphériques (crédibilité de la source, attractivité d'un slogan) pour qu'un éventuel changement d'attitude s'opère. Les auteurs parlent ici de route périphérique.

Mosler et al. (2001) procèdent à la simulation du modèle en trois étapes. Ils définissent au départ un ensemble de déclarations de base en reprenant de manière plus précise la description originale du modèle. Par exemple, une des déclarations prend cette forme : « Quand l'élaboration est élevée, les individus s'engagent dans une analyse réfléchie des arguments pertinents, mais quand l'élaboration est faible, les individus s'engagent dans des analyses d'arguments moins réfléchies ou choisissent leur orientation à partir d'éléments périphériques ». A partir de ces déclarations, ils formalisent le modèle sous forme de diagramme constitué de différents blocs en relation les uns avec les autres, représentant les relations entre les différents processus impliqués. Cette formalisation permet entre autre de rendre compte d'implications théoriques qui n'étaient pas apparentes au préalable. Ils transforment ensuite ce diagramme en programme informatique pour effectuer des simulations.

A l'aide du programme, ils testent le modèle sur une itération en comparant les sorties qu'il produit avec les résultats d'expérimentations avec des participants réels. À ce niveau, le modèle doit pouvoir prédire le comportement d'individus dans des conditions spécifiques, i.e., contexte dans lequel l'« elaboration likelihood model » peut s'exprimer.

Les auteurs effectuent ensuite une série de simulations sur plusieurs pas de temps, un pas de temps correspondant à la diffusion d'un message potentiellement influent, afin d'explorer les processus dynamiques qui en résultent pour un individu (i.e., le modèle ne regarde pas d'effets de groupes, il n'y a pas d'agents en interaction). Les résultats des simulations sont comparés à des résultats d'expérimentations avec des participants réels et permettent de comprendre de manière plus précise les mécanismes sous-jacents responsables des dynamiques de changement d'attitudes (i.e., les changements de valeurs au

cours du temps dans chaque boîte du diagramme sont visualisables). Les simulations permettent également de révéler de nouvelles hypothèses avec des initialisations particulières de paramètres, et de donner de nouvelles pistes de recherches à base d'expérimentations avec des participants réels. L'objectif pour les auteurs est de se restreindre à la modélisation de « l'élaboration likelihood model » dans sa version originale, afin de mieux interpréter les résultats produits suivant les principes du modèle en question.

---

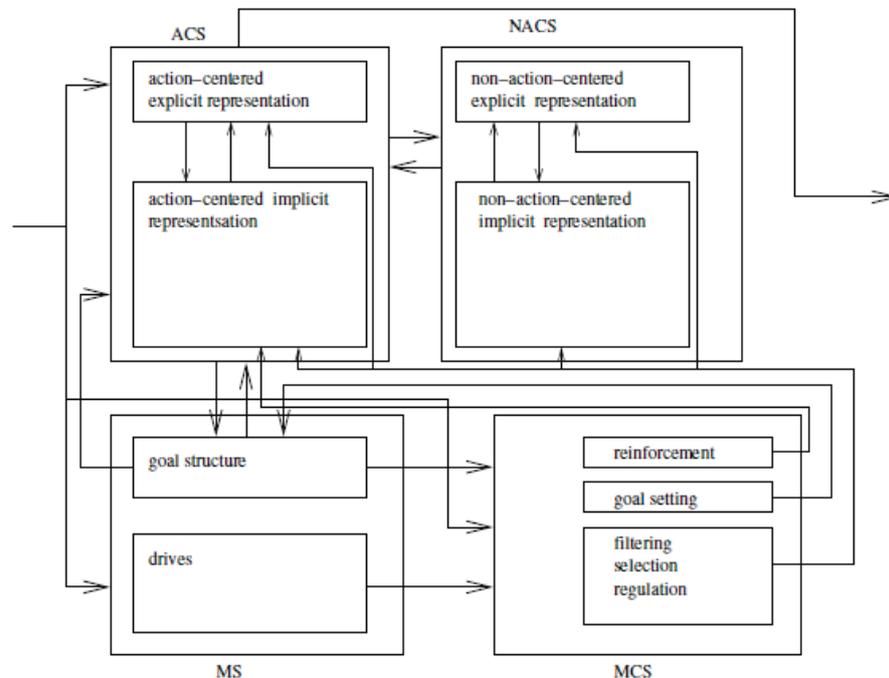
### 2.1.1.3 Simulation multi-agent incorporant des architectures cognitives

Une série de travaux en simulation sociale portent sur l'intégration d'architectures cognitives au niveau des agents d'un système (e.g., Sun, 2007). Une architecture cognitive est un modèle cognitif générique utilisé pour étudier de multiples domaines d'analyse du comportement individuel. C'est une description générique de la cognition à travers des algorithmes et des programmes informatiques. Les architectures sont constituées de différents modules reliés entre eux, dont les fonctions ont été développées à partir de données issues d'expérimentations en laboratoire (contrairement aux modèles « Belief Desire Intention » par exemple). Les objectifs des auteurs tels que Sun sont d'incorporer des architectures cognitives dans des systèmes multi-agents pour obtenir des bases réalistes dans la modélisation des agents. Selon Sun (2007), l'implémentation d'architecture cognitive dans un système multi-agent produit un modèle plus profond et détaillé du phénomène social étudié, et permet une compréhension plus profonde du phénomène. Le but d'utiliser une architecture cognitive générique plutôt qu'un modèle cognitif spécifique à une fonction permet au modélisateur, selon Sun (2007), de penser l'esprit humain dans son ensemble et de fournir des explications non centrées sur les aspects superficiels de la tâche à réaliser par les agents. Les explications peuvent prendre en compte les fonctions primitives de la cognition et pas seulement les processus de haut niveau. L'utilisation d'architecture cognitive dans ce contexte vise, selon Newell (1994) et Sun (2002), à fournir des explications unifiées sur un ensemble large de données, et tend à développer des théories pour la compréhension de l'esprit dans son ensemble.

Les modèles peuvent ainsi expliquer ou prédire un phénomène social à travers la capture des états de la cognition des individus impliqués. Les résultats de simulations peuvent être réunis et analysés sur cette base. L'introduction d'une architecture cognitive aide également à augmenter des performances collectives en prescrivant des schémas de stratégies cognitives quasi-optimales pour effectuer des tâches spécifiques. Cette introduction peut

enfin servir à mieux comprendre la cognition individuelle en explorant l'influence des processus socio-culturels sur celle-ci.

L'architecture cognitive développée et utilisée par Sun, appelée CLARION (Sun, Merrill, & Peterson, 2001; Sun, 2002, 2003), est une architecture intégrative intégrant deux types de représentations (implicite et explicite) et quatre sous-modules comprenant chacun les deux types de représentations (Figure 26). Le premier module traite le contrôle de l'action de l'agent. Le second traite l'état de la connaissance de l'agent, sa capacité à retrouver les éléments stockés en mémoire etc. Le troisième module traite la motivation, il fournit les taux de motivation sous-jacente à la perception, à l'action, et au feedback. Le dernier module est un module dit méta-cognitif : il commande, contrôle et modifie les opérations des trois autres modules.



**Figure 26** Architecture de CLARION. ACS : « action-centered subsystem », NACS : « non-action-centered subsystem », MS : « motivational subsystem », MCS : « meta-cognitive subsystem ».

Sun a incorporé CLARION dans plusieurs systèmes multi-agents existants. Par exemple, Sun & Naveh (2004) intègrent CLARION dans un système multi-agent développé par Carley, Prietula, & Lin (1998) et conçu pour étudier l'effet de la structure organisationnelle et de l'accès à l'information dans les

organisations sur la performance. Dans leur expérience, Carley et al. (1998) font varier la structure organisationnelle de groupe d'individus en deux types : une structure sous forme de hiérarchie (verticale) et une structure sous forme d'équipe (horizontale). L'accès à l'information est lui aussi séparé en deux types : l'information est soit distribuée (chaque individu reçoit des sous-ensembles d'information différents), soit bloquée (un groupe d'individus reçoit le même sous ensemble d'information). Carley et al. (1998) mesurent alors la performance de chaque groupe d'individus répartis dans les quatre conditions possibles, et montrent que les performances sont supérieures pour des structures en équipe et lorsque l'information est distribuée. Ils tentent de reproduire les résultats par simulation d'un système multi-agent simple, avec des agents dotés d'une fonction d'apprentissage rudimentaire. Sun & Naveh (2004) reprennent le système multi-agent et intègrent CLARION au niveau de chaque agent et obtiennent de meilleures approximations des données réelles que celles provenant des simulations de Carley et al. (1998). L'exploration du modèle avec CLARION a aussi permis aux auteurs de comprendre certaines interactions entre les facteurs cognitifs et organisationnels, ils montrent par exemple que certains paramètres cognitifs ont un effet global tandis que d'autres s'insèrent dans des schémas d'interactions complexes pour produire des effets.

---

#### 2.1.1.4 Modèles multi-agents de dynamiques d'opinions intégrant des dimensions psychologiques au niveau des règles d'influence sociale

Certains travaux récents sur les dynamiques d'opinions commencent à intégrer des modèles psychologiques pour définir les règles locales et les règles d'interactions des agents.

En prenant pour base le « bounded confidence model » (Deffuant et al., 2000) décrit dans la section 1.2.2, Salzarulo (2006) a développé un modèle de dynamiques d'opinions appelé « meta-contrast model » fondé sur la « self categorization theory » (Turner et al., 1987; Oakes, Turner, & Haslam, 1991; Oakes, Haslam, & Turner, 1994), théorie reconnue en psychologie sociale. La théorie fait l'hypothèse que notre identité est définie par le groupe d'appartenance auquel nous nous identifions, et que nous construisons des catégories pour définir notre groupe et les autres groupes sociaux. Cette notion d'appartenance à un groupe est dépendante du contexte, e.g., deux français qui se croisent dans un pays étranger vont plus s'identifier comme appartenant au même groupe que s'ils s'étaient croisés en France. La théorie suppose un principe de méta-contraste : un groupe d'individus tend à être perçu comme une

catégorie si la différence moyenne entre les opinions du groupe et celles de tous les autres individus du contexte est perçue plus importante que la différence moyenne des opinions des individus appartenant au groupe.

De plus, selon la théorie, le choix d'une opinion ou d'un comportement par un membre d'un groupe a tendance à être la plus prototypique du groupe, i.e., choix qui est le mieux perçu par le groupe. Les prototypes sont aussi dépendants du contexte et doivent être suffisamment proches entre les membres d'un groupe et suffisamment éloignés de ceux des membres des autres groupes. Se conformer socialement à un prototype peut favoriser la convergence du groupe sur une même opinion si le prototype est proche de la moyenne de l'opinion initiale, ou favoriser la polarisation si le contexte fait que le prototype est décentré. Dans ce type de modèle, la polarisation de groupe n'est pas dépendante de la présence d'extrémistes au sein du groupe (diffère du modèle de Deffuant). Au contraire, les extrémistes peuvent mener à une dépoliarisation s'ils sont considérés comme appartenant à un groupe différent.

Une autre différence avec le modèle de Deffuant est qu'il y a dans ce modèle une prise en considération d'un effet répulsif : des individus suffisamment proches vont continuer à se rapprocher (force attractive) et des individus suffisamment éloignés vont continuer à s'éloigner (force répulsive). Ce concept d'effet répulsif avait néanmoins déjà été intégré dans un modèle de dynamiques d'opinions : le « social judgement model » (Jager & Amblard, 2005) développé en s'inspirant d'une autre théorie psycho-sociale : la « social judgement theory » (Sherif & Hovland, 1961). La différence principale entre le modèle de Salzarulo (2006) et celui de Jager & Amblard (2005) est que la distance entre les opinions de deux agents, qui induit un effet attractif ou répulsif, est dépendante du contexte pour Salzarulo et est fixée pour Jager & Amblard. Par contre, concernant les résultats de simulations des modèles sur des indicateurs situés au niveau collectif, les deux modèles fournissent des résultats similaires. En simulant l'évolution d'une population initialement homogène, les modèles montrent des nombres de clusters variables selon le paramétrage des seuils d'attractivité et de répulsion. Si un seul cluster subsiste (consensus), l'opinion du cluster est proche de la moyenne des opinions initiales. Si plusieurs clusters subsistent, certains vont converger vers des opinions extrêmes (polarisation).

---

#### 2.1.1.5 Modèles multi-agents intégrant plusieurs théories psychologiques pour s'adapter à un contexte

Certains modèles sont développés pour explorer des contextes particuliers ou des situations spécifiques (e.g., nous désirons explorer une situation de jeu de rôles), et parfois une théorie psychologique est insuffisante pour représenter l'ensemble des mécanismes cognitifs mobilisés. Ces modèles intègrent alors plusieurs sous modèles psychologiques articulés entre eux. Par exemple, Jansen & Jager (1999) utilisent plusieurs théories pour formaliser les règles locales d'un système multi-agent visant à explorer les comportements de consommateurs face à des produits à technologie dominante sur un marché (e.g., Microsoft, format DVD...). Jusque là, les modèles représentant ce type de comportements étaient très simples et n'étaient pas basés sur des mécanismes cognitifs réalistes.

Les auteurs considèrent une situation pour laquelle des agents consommateurs ont à choisir entre deux produits concurrents. Dans le modèle, un agent consommateur est équipé de quatre besoins (identité, goût personnel, loisir et subsistance) qui peuvent être plus ou moins satisfaits. Les agents peuvent exercer quatre types de processus de décision :

- Lorsque le besoin de l'agent ainsi que la probabilité de satisfaction sont élevés, la motivation de l'agent augmente et le choix de l'action implique une mobilisation de ressources cognitives pour traiter l'information. La règle repose sur la « decision and choice theory » (Janis & Mann, 1977; Simon, 1976; Vlek, 1989) et sur la « theory of reasoned action » (Fishbein & Ajzen, 1975; Ajzen, 1985; Ajzen, 1988; Ajzen, 1991; Ajzen & Madden, 1986), qui décrivent quand et comment des individus font des choix délibérés.
- Lorsque le besoin est important mais que la probabilité de satisfaction est faible, les agents s'engagent dans un processus de comparaison sociale. La règle repose sur la « social comparison theory » (Festinger, 1954; Moscovici & Faucheux, 1972) qui décrit les conditions selon lesquels les individus comparent leurs jugements avec les autres et s'influencent mutuellement.
- Quand le besoin est faible mais que la probabilité de satisfaction est forte, le comportement des agents est répété. La règle repose sur le conditionnement classique (Pavlov, 1927) et opérant (Skinner, 1938), qui décrivent respectivement les associations entre des stimuli et des réponses automatiques de l'organisme, et les effets des conséquences produites par les comportements (e.g., punition, récompense).
- Lorsque le besoin ainsi que la probabilité de satisfaction sont faibles, les agents imitent les autres. La règle repose sur la « social learning theory »

(Bandura, 1977, 1986) et la « theory of normative conduct » (Cialdini, Kallgren, & Reno, 1991), qui décrivent respectivement le processus d'imitation, et comment les normes peuvent guider le comportement.

L'utilisation de ce type de modèle par rapport aux modèles plus classiques du domaine a permis aux auteurs de mieux cerner les conditions sous lesquelles émerge un système de consommation sur une technologie dominante. Ils montrent qu'une technologie devient dominante avec le monopole complet seulement si, parmi les besoins des agents, le poids du goût personnel des agents est faible, alors que le besoin de loisir, qui est lié au prix du produit, est élevé. Aussi, ils observent des technologies dominantes localisées spatialement lorsque le besoin d'identité est élevé.

---

#### 2.1.1.6 Modèles multi-agents pour explorer la propagation de biais cognitifs

De nombreuses études en psychologie montrent l'existence de biais cognitifs (i.e., schémas de pensée induisant une déviation du jugement) dans les jugements. Ils peuvent survenir dans plusieurs fonctions cognitives : attention, mémoire, perception etc.

Un biais connu en psychologie sociale est l'effet primauté, initialement révélé dans une étude de Asch (1956) sur la formation des impressions. L'expérience montre que des participants ayant pour tâche de se former une impression sur une personne à partir d'une liste de traits de personnalité s'attachent davantage aux premiers éléments qu'ils reçoivent pour effectuer leur jugement. L'effet primauté a aussi été révélé dans les travaux sur la formation d'attitude (sur un objet) et la persuasion (Miller & Campbell, 1959). Les expériences réalisées ont montré des effets d'ordres dans la formation des attitudes lors de présentations de messages de type pro/con (i.e., pour ou contre) à des participants.

Dubois, Huet, & Deffuant (2007) ont développé un modèle multi-agent pour explorer les effets de la propagation de ce biais dans une population d'agents en interaction. Ils ont développé le modèle en modélisant le biais en se basant sur la perspective de force d'attitude, hypothèse d'explication du biais fournie par Haugtvedt & Wegener (1994). Selon cette perspective, l'attitude est associée à un poids, qualifié de force d'attitude et incluant des sous-facteurs tels que la motivation à traiter les nouvelles informations reçues, caractérisant un seuil de résistance à la persuasion : si le poids d'une information incongruente (i.e., de signe opposé avec l'attitude initiale d'un individu) est inférieur à la force d'attitude, l'information est ignorée par l'individu. Le signe des premières informations reçues oriente alors l'attitude des individus

qui vont ensuite devenir résistants à de futures informations incongruentes. Ils montrent par simulation que l'interaction entre les agents sous forme de transmission d'information augmente la proportion d'effet primauté dans la population par rapport à une population d'agents isolés ne recevant l'information que par le biais d'un média.

---

#### 2.1.1.7 Modèles s'appuyant sur des données neuro-cognitives

Caticha & Vicente (2011) ont caractérisé un système multi-agent de dynamiques d'opinions en fondant le modèle sur des données issues d'expériences en neurosciences cognitives. Le modèle représente une population d'agents débattant de questions morales avec leurs voisins. Les choix de modélisation effectués respectent différents éléments de la littérature :

- Les agents sont dotés de cinq intuitions morales. Le croisement des recherches en anthropologie sociale, primatologie et psychologie évolutionnaire révèle que la morale serait fondée et universellement partagée sur la base de cinq intuitions associées à l'attention, l'équité, la loyauté, l'autorité et la pureté (Graham, Haidt, & Nosek, 2009; Haidt, 2007; Haidt & Graham, 2009; Haidt & Joseph, 2004).

- Les mécanismes vecteurs de conformisme social (i.e., adopter l'opinion de la majorité, au sens de Sherif (1936) et Asch (1956)) ou d'hétérogénéité de la population incluent un rôle prépondérant de l'apprentissage par renforcement. La littérature en neurosciences (e.g., Holroyd & Coles, 2002) suggère l'existence d'une machine générique pour le traitement de l'erreur et du conflit chez les humains. Différentes méthodes d'investigation du cerveau (potentiels évoqués, IRMF) montrent que certaines zones du cerveau associées à cette machine générique pour traiter le conflit (i.e., cortex cingulaire antérieur) sont activées lorsque les participants ressentent une exclusion sociale (Holroyd & Coles, 2002) et lorsque qu'ils se conforment à l'opinion de la majorité (Klucharev et al., 2009). Sans détailler, les données en neurosciences suggèrent également que le conflit social provoque un coût psychologique. Le modèle suppose que le mécanisme d'apprentissage par renforcement vise à réduire ce coût (et donc à se conformer à la majorité pour éviter le conflit).

Dans le modèle, le coût psychologique est fonction de la flexibilité des agents vis-à-vis des informations reçues par les autres agents qui vont à l'encontre de leur opinion. Une expérience en neurosciences (Amodio et al., 2007) montre que, lors d'une tâche de type « go/no go » (i.e., les participants doivent exercer une réponse motrice lors de la présentation d'un stimulus de type « go » et éviter la réponse motrice lorsque le stimulus est de type « no go »), des participants libéraux n'activent pas la région cérébrale traitant le

conflit (i.e., cortex cingulaire antérieur) de la même manière que des participants conservateurs : l'activation de cette zone est plus intense chez les libéraux. Il semblerait que les libéraux soient plus à l'aise avec le traitement d'informations nouvelles, alors que les conservateurs auraient plus tendance à traiter aisément les informations qui corroborent leurs opinions. En conséquence, dans le modèle, les agents sont plus sensibles au conformisme lorsqu'ils cherchent à réduire leur coût psychologique, déclenché lorsque les agents sont de nature à corroborer plutôt qu'à la recherche de nouveauté.

Le résultat principal des simulations (comparées avec des données) montre que les affiliations politiques sont partiellement dérivées des différentes intuitions morales et émergent collectivement à partir des différentes valeurs de flexibilité des agents face à la nouveauté. De cette sorte, les simulations montrent que le lien entre l'affiliation politique et la flexibilité des agents face aux informations nouvelles émerge des interactions sociales.

### 2.1.2 Détermination du type de modèle à utiliser dans le travail de thèse

En accord avec la problématique de thèse, le modèle à développer dans ce manuscrit est du type « modèles multi-agents intégrant plusieurs théories psychologiques pour s'adapter à un contexte ». Notre objectif est de formaliser un modèle d'attitudes rendant compte d'un contexte, i.e., un système de séquences de négociations tel qu'on peut observer dans un jeu de rôles. Le principe est donc d'articuler des théories psycho-sociales pour s'ajuster à ce contexte spécifique.

Pour mieux se positionner par rapport à la littérature que nous venons d'évoquer, nous nous distinguons de chaque autre type de modèle pour plusieurs raisons :

- Les modèles connexionnistes et les modèles de simulation de théories psycho-sociales ne prennent pas en compte (ou rarement) les interactions entre agents, et leurs objectifs sont dirigés vers la mise à l'épreuve et l'amélioration de théories cognitives. Aussi, les simulations de modèles connexionnistes n'ont pas de dynamique temporelle itérative telle que dans un système multi-agent ou un jeu de rôles.
- les systèmes multi-agents intégrant des architectures cognitives ont pour premier objectif d'étudier un problème spécifique (e.g., effet de la structure organisationnelle sur la performance) avec des agents cognitivement réalistes. Le processus cognitif en tant que tel n'est pas l'objet de l'étude mais plutôt un moyen de travailler sur un problème de manière plus réaliste. Et même si l'analyse des effets des interactions est parfois centrée sur des indicateurs cognitifs, l'analyse se concentre sur le schéma global de la cognition. Notre objectif est plutôt d'explorer des effets d'interaction entre agents sur un proces-

sus cognitif spécifique (i.e., changements d'attitudes) ayant le statut d'objet de l'étude. D'autre part, en accord avec la problématique, nous voulons comprendre précisément les mécanismes sous-jacents aux dynamiques que la simulation des modèles produit, un modèle simple est alors plus adapté.

- Les modèles multi-agents de dynamiques d'opinions intégrant des dimensions psychologiques et les modèles destinés à étudier la propagation de biais cognitifs ont des objectifs plus théoriques que les nôtres et représentent une situation théorique simple pour analyser des processus isolés. En conséquence, nous nous distinguons de ces modèles par notre besoin de représenter un contexte spécifique moyennant l'articulation de plusieurs théories.
- Nous n'avons pas les données et le matériel nécessaire pour développer notre modèle sur des données neuro-cognitives.

---

## 2.2 Développer un modèle de relations attitudes/comportements

### 2.2.1 Démarcation avec les processus d'influence sociale

Bien que développés de manière non coordonnée, les différents modèles de dynamiques d'opinions décrits en section 1.2 suivent tous une approche « bottom-up », selon laquelle des règles locales d'interactions entre agents sont modélisées dans l'objectif d'explorer les dynamiques d'opinions globales qui en émergent. Selon Xia et al. (2011), chaque modèle se différencie des autres selon la représentation de l'opinion (e.g., discrète, continue), selon les règles locales vecteurs de l'influence (e.g., mimétisme), et selon la structure sociale qui relie les agents (e.g., treillis, réseaux). La représentation de l'opinion ainsi que la structure sociale sont cependant des critères qui peuvent varier au sein d'un même modèle qui sera en conséquence qualifié de variante. Les règles locales représentent par contre l'hypothèse fondamentale de chaque modèle. Dans les différents modèles que nous avons vus, les règles locales de changements d'opinions sont basés sur l'influence sociale et selon Stauffer (2005) peuvent être découpées en trois catégories :

- Missionnaires : un agent donné sollicite un autre à adopter son opinion (e.g., « Sznajd model »).
- Opportunistes : un agent donné se conforme à l'opinion de ses voisins (e.g., « Voter model »).
- Négociateurs : deux agents donnés communiquent et rapprochent leurs opinions (e.g., « bounded confidence model »).

En accord avec la problématique (cf. Chapitre 1), nous concentrons l'exploration de dynamiques d'attitudes provoquées par les comportements effectués pendant des négociations. Bien qu'il soit possible dans les jeux de rôles d'observer des changements d'attitudes provoqués par des mécanismes

d'influence sociale tels qu'ils sont décrits dans les modèles existants, nous avons fait ce choix pour explorer ce qui fait la particularité d'un jeu de rôles (par rapport à une réunion ou une conférence), à savoir la mise en situation (fictive). Cette particularité implique la production de comportements par les participants, comportements qui peuvent être motivés par les attitudes sur le système social et écologique considéré, et qui peuvent agir sur ces attitudes en retour.

En plus de notre besoin d'intégrer des théories psycho-sociales dans un modèle, nous avons donc également besoin de modéliser un type différent de règles locales des agents du système de celui des principaux modèles de dynamiques d'opinions. Plutôt que de développer un modèle basé sur l'influence sociale, nous nous orientons vers un modèle de relations bilatérales entre attitudes et comportements effectués dans des négociations. Quelques modèles de simulation sociale intègrent des relations entre attitudes et comportements en intégrant des théories psycho-sociales. Nous avons répertorié quelques exemples.

## 2.2.2 Modèles de « simulation de théories psycho-sociales » intégrant des relations attitudes/comportements

---

### 2.2.2.1 L'étude de Richetin et al. (2010)

Dans la classe de modèles « de simulation de théories psycho-sociales » répertoriée dans la sous-section précédente, une étude de Richetin et al. (2010) porte sur la simulation de deux théories psychologiques visant à prédire les comportements à partir de la connaissance des intentions des individus (les intentions dépendent en partie des attitudes). Pour cela, les auteurs utilisent des systèmes multi-agents sans interaction entre agents. Les théories en question sont la « theory of planned behavior » (Ajzen, 1991, 2004) et le « model of goal-directed behavior » (Perugini & Bagozzi, 2001, 2004a, 2004b; Perugini & Conner, 2000), qui est une complexification de la « theory of planned behavior » en incorporant une dimension affective, motivationnelle et de processus automatiques. L'objectif des auteurs a été de simuler ces théories pour comparer leur pouvoir prédictif sur des comportements recensés dans des distributions de jeux de données réelles avec des méthodes d'estimations statistiques de renommée. Trois résultats ressortent de l'étude :

- Les simulations ont fourni des meilleures estimations pour prédire les distributions réelles que les analyses statistiques.

- L'intégration d'une déviation faible de la rationalité des agents (i.e., probabilité faible de faire un choix aléatoire) dans leur prise de décision augmente la qualité de la prédiction produite par les simulations.
- La complexité du « model of goal-directed behavior » par rapport à la « theory of planned behavior » provoque une diminution de la supériorité des simulations par rapports aux outils statistiques pour l'estimation des distributions.

---

#### 2.2.2.2 L'étude de Mosler (2002)

Mosler (2002) a développé un modèle informatique de la dissonance cognitive (Festinger, 1957) avec des agents isolés (i.e. sans interaction), prenant à la fois en compte les effets des attitudes sur les comportements et des comportements sur les attitudes. La théorie de la dissonance cognitive caractérise les situations pour lesquelles les individus ont deux cognitions ou une cognition et un comportement inconsistants (e.g., je fume et je sais qu'on meurt de la cigarette). Dans ces situations, les individus ont tendance à réduire cette dissonance (i.e., rationalisation) en modifiant une de leurs cognitions ou leur comportement (e.g., développement d'un argumentaire tendant à réduire la probabilité des risques liés au tabagisme, ou arrêt de fumer). L'étude vise à développer un modèle de la dissonance et de comparer des simulations avec des données provenant d'une campagne sur la limitation de vitesse qui expose les individus à leurs contradictions. Le principe de la campagne fut d'inviter les résidents d'une ville à réduire leur vitesse de conduite pendant un temps donné. La dissonance a été induite en invitant les participants à s'engager à réduire leur vitesse (création d'une dissonance entre l'engagement dans un nouveau comportement et les comportements et attitudes initiales).

Le principe général du modèle est le suivant : chaque agent est doté d'un paramètre « valeurs personnelles », i.e., importance que l'agent place dans les choses, et d'un paramètre « auto-responsabilité ». Si l'attitude ou le comportement de l'agent sont proches de ses valeurs personnelles, l'agent développe une résistance au changement. Aussi, si l'agent a une faible auto-responsabilité, aucun changement ne se produit car aucune dissonance n'est produite. Si la résistance au changement d'attitude de l'agent est plus élevée que sa résistance au changement de comportement, alors l'agent change de comportement, sinon il change d'attitude. Enfin, pour que le processus de réduction de dissonance s'active, il faut que la dissonance soit suffisamment saillante pour l'agent.

Le paramétrage des simulations du modèle a été effectué pour s'ajuster au mieux aux données collectées (e.g., mesures d'attitudes des parti-

cipants). Chaque pas de temps des simulations correspond à un calcul du processus de dissonance pour chaque agent. Les résultats de la comparaison des simulations avec les données réelles montrent dans l'ensemble que le modèle estime correctement les attitudes des participants mais est moins fiable dans l'estimation des comportements. L'auteur invoque plusieurs explications potentielles, telles que des biais possibles dans le prélèvement des données ou encore des erreurs possibles dans la structure du modèle. Quoiqu'il en soit, cette étude est la première modélisation et simulation de la dissonance cognitive et qui plus est, applique ce modèle à des processus réels d'une campagne environnementale. Notons que le phénomène de dissonance cognitive a également été modélisé plus tard dans des modèles d'opinions dont les règles locales des agents sont basées sur l'influence sociale (e.g., Bagnoli et al., 2007).

### 2.2.3 *Modèles « multi-agents intégrant plusieurs théories psychologiques pour s'adapter à un contexte » intégrant des relations attitudes/comportements*

Dans la classe des modèles « multi-agents intégrant plusieurs théories psychologiques pour s'adapter à un contexte », l'exemple de l'étude de Janssen & Jager (1999) sur des comportements de consommateurs que nous avons décrit section 2.1.1.5 intègre des relations attitudes/comportements : lorsque les agents se situent dans la condition où leur besoin ainsi que leur probabilité de satisfaction sont élevés, ils décident de leur comportement en mobilisant leurs ressources cognitives pour traiter l'information. Et ce traitement d'information intègre les attitudes des agents relativement à la « theory of reasoned action » (Fishbein & Ajzen, 1975; Ajzen, 1985, 1988, 1991; Ajzen & Madden, 1986).

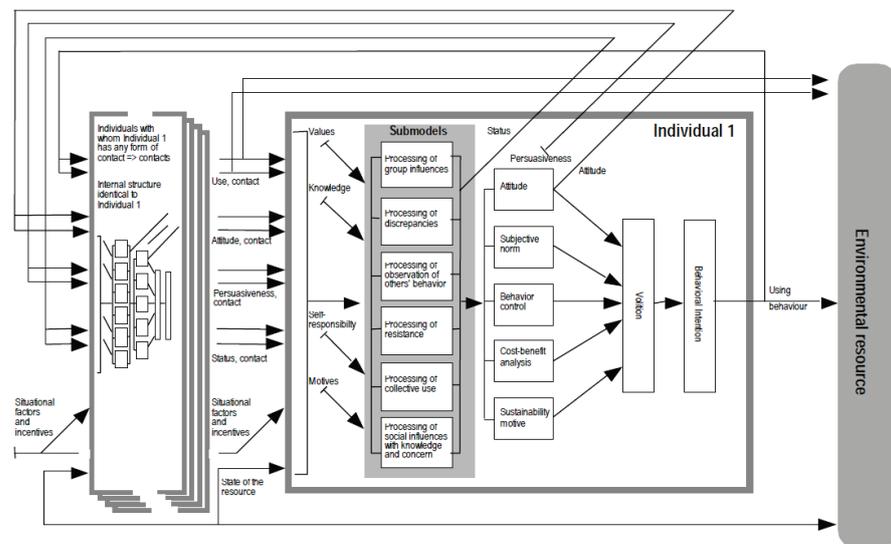
On peut également citer dans cette classe de modèles l'étude de Mosler & Brucks (2001). L'auteur a développé un modèle articulant plusieurs théories psycho-sociales pour représenter les comportements effectués sur des ressources environnementales par une population d'individus en interaction pouvant s'influencer mutuellement. Les règles locales d'un agent (Figure 27) sont influencées par des variables externes telles que les attitudes et la force de persuasion des autres ainsi que l'état de la ressource. Elles sont également influencées par des variables internes à l'agent, telles que la motivation à agir et la connaissance de la ressource. Ces deux types de variables sont les entrées du modèle interne de l'agent, qui produit en sortie une décision de comportement ou une influence de l'attitude d'un autre agent. Le modèle interne est constitué de plusieurs sous-modèles, chacun correspondant à une théorie psycho-sociale :

- Sous-modèle de traitement de l'influence du groupe sur l'attitude de l'agent, développé sur la base du « social comparison process » (Frey et al.,

1993) qui intègre la « theory of social comparison process » (Festinger, 1954) et la « theory of social identity » (Tajfel, 1982).

- Sous-modèle de traitement des dissonances entre le comportement et l'attitude, développé sur la base de la « theory of cognitive dissonance » (Festinger, 1957).
- Sous-modèle de traitement de l'observation du comportement des autres, basé sur la « social learning theory » (Bandura, 1977).
- Sous-modèle de traitement de la résistance à des mesures de protection environnementale, basé sur la « reactance theory » (Dickenberger, Gniech, & Grabitz, 1993).
- Sous-modèle de traitement de l'information sur l'usage collectif d'une ressource, basé sur la « common dilemma research », e.g. (Dawes, 1980).
- Sous-modèle de traitement de l'influence communicative en fonction des attitudes, de la connaissance et des biais psychologiques associés, basé sur l'« elaboration likelihood model » (Petty & Cacioppo, 1986).

Les sorties de ces sous-modèles sont les entrées d'un autre sous-modèle traitant les processus de détermination des comportements. Il est construit sur la base de deux théories : la « theory of resource mobilisation » (Klandermans, 1984) et la « theory of planned behavior » (Ajzen, 1991, 2004).



**Figure 27** Représentation du modèle interne de chaque agent dans l'étude de Mosler & Brucks (2001).

Néanmoins, les résultats présentés dans l'étude sont des simulations d'un seul sous-modèle isolé : le module de traitement de l'influence du groupe sur l'attitude (pression à la conformité), et ne sont donc pas directement liés aux relations attitudes/comportements. En résumé, les résultats ressemblent à ceux

des simulations du modèle d'Hegselmann-Krause vu en section 1.2.2 : les agents se conforment à l'opinion du groupe si leur attitude n'est pas trop éloignée. Les simulations ont été réalisées avec dix mille agents répartis en groupes de dix agents, chaque groupe étant connecté à deux autres groupes. Le but était de poser la question de comment une minorité d'individus sensibles à l'environnement doit être distribuée et reliée dans la population pour que la majorité non sensible à l'environnement change ses attitudes. Pour obtenir ces conditions, les résultats montrent que les agents inclus dans la minorité doivent avoir des attitudes fortes, être peu susceptibles à l'influence (i.e., être suffisamment éloignés de la majorité pour ne pas être influencés) et doivent être actifs dans le plus de groupes possibles.

#### 2.2.4 *Dépassement des modèles existants pour répondre à l'objectif*

Pour répondre à la problématique, nous avons besoin de dépasser ces quatre modèles sur plusieurs points :

- Le modèle de Richetin et al. (2010) ainsi que celui de Mosler (2002) simule des théories psychologiques sans s'adapter à un contexte particulier et les agents ne sont pas en interaction.
- Le modèle de Janssen & Jager (1999) est appliqué à un contexte particulier différent du nôtre et l'ensemble des théories mobilisées n'est en conséquence pas pertinent pour représenter un processus dynamique de changement d'attitudes dans des séquences de négociations.
- Le modèle de Mosler & Brucks (2001) est également appliqué à un contexte particulier différent du nôtre, mais c'est surtout un modèle général pour la décision de comportements intégrant de multiples processus cognitifs mobilisables suivant différentes possibilités d'interaction entre agents. Il ne se limite pas à la seule intégration des facteurs suffisants pour répondre à une question donnée. Nous avons vu dans la problématique (Chapitre 1) que nous nous orientons sur une approche de modélisation simple afin de pouvoir caractériser les mécanismes sous-jacents aux phénomènes que nous voulons observer.

Dans le chapitre suivant nous présentons le développement de notre modèle, inscrit dans le type « modèles multi-agents intégrant plusieurs théories psychologiques pour s'adapter à un contexte », dont les règles locales sont basées sur des relations attitudes/comportements, et représentant un contexte de séquences de négociations.

# Chapitre 4

## Développement du système multi-agent, laboratoire virtuel d'exploration d'effets de cadrage

Dans ce chapitre nous présentons le développement du système multi-agent. Le premier point est consacré à la formalisation de la situation, i.e., les séquences de négociations. Le second point recense l'analyse des changements d'attitudes observés dans les sessions de *CauxOpération* afin de légitimer le questionnement de recherche. Le troisième point présente le système multi-agent et les simulations du modèle pour explorer les effets de cadrage provoqués par les dispositifs essentiels, i.e., déjà inclus dans le système. Enfin, le quatrième point présente plusieurs exemples d'exploration possible d'effets de cadrage, relativement aux différents éléments du système multi-agent directement influençables par des dispositifs vecteurs de cadrages (éléments recensés dans la section 5.3.1 du Chapitre 2).

---

## 1. Formalisation de la situation

Dans cette section nous formalisons la situation à représenter dans le système multi-agent en suivant la méthode d'utilisation du matériel décrite dans la section 4.1 du Chapitre 2, et suivant la méthode de formalisation de la situation décrite dans la section 5.1 du Chapitre 2. En résumé, l'objectif de cette section est de justifier le centrage de la problématique sur les négociations, qualifier et formaliser le type et la forme des négociations à implémenter dans le système multi-agent, et qualifier et formaliser les agents. Les choix liés à ces qualifications sont réalisés en fonction du compromis entre la représentativité d'une situation de jeu de rôles et les filtres de parcimonie, de limitation des facteurs cadrants, et de généralité.

---

### 1.1 Justification du centrage sur les négociations

Nous avons décidé dans le Chapitre 1 de centrer l'exploration d'effets de cadrage dans des séquences de négociation. Cette forme d'interaction caractérise la spécificité des jeux par rapport à d'autres formats (e.g., réunions) car ils sont une expression de la mise en situation des participants. Dans cette section nous complétons la justification de ce choix en montrant sa pertinence au regard de la représentativité et des différents filtres. La première sous-section répertorie les différentes formes d'interaction observées dans les sessions de *CauxOpération*, et la seconde recense les justifications de notre choix.

### 1.1.1 Formes d'interactions observées dans les sessions de *CauxOpération*

Nous avons répertorié les différentes formes d'interaction observées dans les sessions de *CauxOpération* :

- Négociations entre les différents participants pour la mise en place de solutions de lutte contre le ruissellement. Les négociations aboutissaient généralement à une mise en place de solutions qui étaient directement implémentées dans le modèle informatique responsable du calcul du ruissellement produit.
- Réunions collectives dans la mairie virtuelle intégrant des transmissions d'informations, des réflexions collectives et des négociations. Chaque session de jeu observée comprenait une ou deux réunions. Elles étaient initiées par le maire au moment où il recevait les informations de l'année concernant le ruissellement produit sur le bassin versant. Dans le cas où le maire n'organisait pas spontanément de réunion, il était incité à le faire par l'animateur de jeu.
- Collaboration pour la recherche de stratégies de lutte contre le ruissellement érosif entre le maire et l'animateur de syndicat de bassin versant. Lorsque les protagonistes aboutissaient à une stratégie commune, ils allaient proposer leurs solutions aux autres participants via des négociations ou organisaient une réunion collective.
- Echanges d'informations et/ou d'explications pour la compréhension du jeu. Ces échanges se produisaient entre les participants ou entre un participant et l'animateur de la session.
- Discussions informelles.
- Transmission d'informations par l'animateur du jeu. Ces informations étaient relatives au timing (e.g., « il vous reste dix minutes pour terminer vos assolements de l'année ») ou aux événements climatiques (e.g., « un fort orage se prépare »).
- Incitations par l'animateur de session à des comportements spécifiques des participants pour lancer ou relancer des dynamiques (e.g., au maire : « je vous conseille d'organiser une réunion collective en mairie »).

Etant donné que les règles de *CauxOpération* laissent une liberté importante aux participants, d'autres types d'interaction sont potentiellement réalisables dans le jeu. Les participants ont la liberté de créer des interactions non attendues (e.g., collaboration stratégique). D'autres interactions ont aussi pu avoir lieu sans que notre grille d'observation ne puisse objectivement les recenser, comme des comportements d'imitation.

### 1.1.2 Qualités des négociations au regard du besoin de représentativité et des différents filtres

Au niveau de notre besoin de représentativité du jeu dans le modèle, les négociations ont plusieurs qualités :

- Elles sont le vecteur principal de la dynamique de *CauxOpération* : les participants peuvent participer à plusieurs négociations durant une session de jeu. Un participant peut négocier sur différentes solutions de lutte et/ou négocier plusieurs fois sur un même type de solution.
- Sauf quelques exceptions, l'ensemble des participants a effectué ce type d'interaction.
- Les négociations sont facilement observables et délimitables : dans une session de *CauxOpération*, des tables sont réparties équitablement dans l'espace de la pièce, simulant la localisation de chaque corps de ferme, de la mairie et du syndicat de bassin versant. Pour négocier, les participants initiateurs de la négociation doivent se déplacer à l'emplacement du récepteur désiré. Une fois la négociation terminée (lorsque la proposition de l'initiateur a été acceptée, refusée ou que la négociation a été avortée) les initiateurs regagnent leurs emplacements respectifs.

Au niveau des filtres, se concentrer uniquement sur les négociations est également pertinent :

- Filtre de parcimonie : explorer un seul type d'interaction est plus parcimonieux. De plus, ce type d'interaction est simplifiable et peut être modélisé simplement.
- Filtre de généralité : les négociations sont une forme d'interaction très présente dans les jeux de rôles en modélisation d'accompagnement, e.g., Mathevet et al. (2007).

---

## 1.2 Caractérisation du type de négociation à modéliser

Modéliser une négociation peut-être complexe, plusieurs règles de décisions interviennent, les actes de paroles ont différentes fonctions (e.g., propositions, arguments, contre arguments...), le poids d'un argument est dépendant de sa qualité mais aussi du statut de son émetteur etc. Pour illustrer les négociations effectuées dans *CauxOpération*, les Encadré 1, Encadré 2 et Encadré 3 sont des retranscriptions d'une négociation avortée, d'une négociation dont la proposition a été acceptée, et d'un exemple de négociation brève.

*« i : Sur vos autres pratiques culturales, en fait sur les betteraves, je sais pas si vous êtes intéressé par biner, s'il y a une bineuse sur l'exploitation?  
j : Non, non non il n'y a pas assez de surface, il n'y a que trois hectares.  
i : D'accord, et le maïs non plus? Sur des techniques de désherbinage ou des choses comme ça, pour réduire un peu les...  
j : Ça dépend s'il y a un achat en commun avec les autres agriculteurs.  
i : Un achat en commun?  
j : Oui à la rigueur.  
i : Là dans la réalité il y a des aides du département.  
j : Dans la réalité ouais? Ouais je sais jamais... »  
(Fin de l'échange)*

**Encadré 1** Négociation avortée entre un animateur de syndicat de bassin versant (initiateur *i*) et un agriculteur (recepteur *j*) au sujet d'une solution de lutte liée au binage de terres.

*« i : Donc sinon vous, au niveau des pommes de terre il y a une technique qui permet de faire des micro-barrages en fait, dans l'inter-butte. Donc au moment du buttage en fait il y a des petites pelles qui tirent la terre dans les buttes avec une roue crantée et qui se lèvent à pas de temps... pour faire des petits micro-barrages dans l'inter-butte et quand il pleut ça permet de ralentir les écoulements et de faire s'infiltrer l'eau. Donc ça, il y a des gens qui utilisent cette technique là dans des zones où ils ont moins d'eau que nous et ils irriguent les pommes de terre, et pour éviter que ça parte trop vite... donc ça permet de mieux valoriser l'eau aussi. Donc je ne sais pas si c'est des techniques qui peuvent vous intéresser?  
j : Des techniques qui peuvent m'intéresser, maintenant il faut voir pour aménager le matériel pour.  
i : Oui.  
j : Parce qu'automatiquement, vu qu'on est pas encore équipé.  
i : Vous ne faites pas de pommes de terre sinon?  
j : Oui mais à la main.  
i : Comme moi (rires), donc je sais pas là si vous voulez essayer sur une...?  
j : Bah pourquoi pas, on peut se permettre d'essayer vu la grandeur de...  
i : Vous avez quelle surface en pommes de terre en fait vous à peu près?  
j : Quinze hectares  
i : Quinze hectares? Je n'ai pas de financement mais je peux essayer de faire venir une machine.  
j : Ok pour faire des essais.»  
(Les protagonistes terminent la discussion en choisissant la parcelle sur laquelle la solution sera mise en place et concluent l'accord pour une parcelle de 10 hectares.)*

**Encadré 2** Négociation acceptée entre un animateur de syndicat de bassin versant (initiateur *i*) et un agriculteur (récepteur *j*) au sujet d'une implémentation de micro-barrages, technique non connue par l'agriculteur.

« *i* : Je viens vous voir pour les cultures intermédiaires.  
*j* : Alors huit hectares madame, au même prix hein.  
*i* : Huit hectares, au même prix.  
*j* : Merci.  
*i* : C'est moi. »

**Encadré 3** Négociation brève entre un animateur de syndicat de bassin versant (initiateur *i*) et un agriculteur (récepteur *j*) au sujet de l'implantation de cultures intermédiaires.

En accord avec le filtre de parcimonie, notre objectif est de formaliser une négociation de la manière la plus simple possible. Nous considérons comme négociation une interaction entre deux agents pour laquelle chaque agent a une fonction : initiateur ou récepteur. L'initiateur propose une solution au récepteur, et celui-ci accepte ou refuse la proposition. Cette formalisation basique est suffisante car elle va permettre de produire une dynamique d'attitudes par le biais des choix de comportements des agents (i.e., choix de la solution à proposer pour l'initiateur, choix d'accepter ou de refuser pour le récepteur). Cette caractérisation simple d'une négociation existe dans la littérature, et a notamment été formalisée sous le nom « request game » par Pasquier & Chaib-Draa (2005).

---

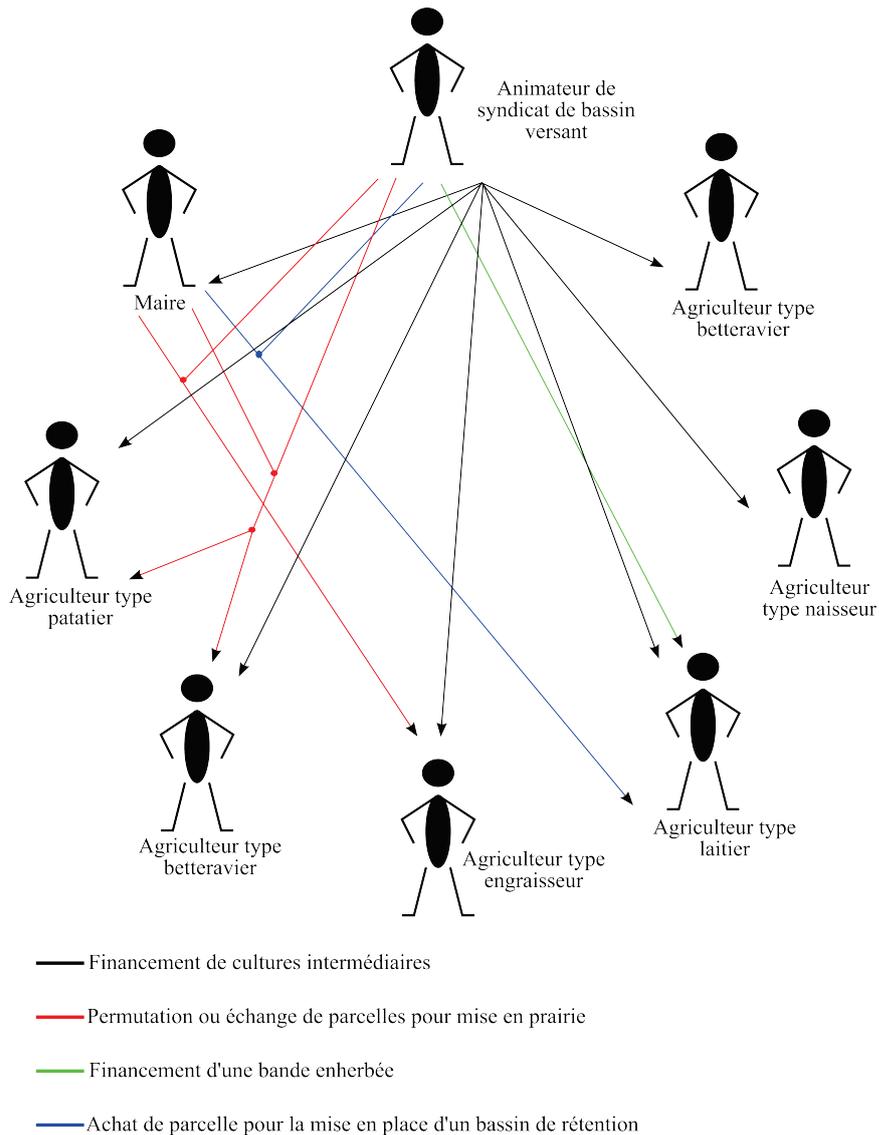
### 1.3 Choix de l'objet des négociations

Nous avons recensé les solutions possibles et négociables dans *CauxOpération* :

- Mise en place de bandes enherbées.
- Placement des bandes enherbées en relation entre celles du ou des voisin(s) de parcelles.
- Pratiques alternatives (semis plus grossier, passage de houe rotative, etc.).
- Implantation d'un bassin de rétention par la mairie ou le syndicat de bassin versant.
- Echange de parcelles entre agriculteurs.
- Echange de parcelles entre un agriculteur et l'animateur de syndicat de bassin versant ou le maire.
- Achat d'une parcelle d'un agriculteur par le syndicat ou la mairie.
- Agencement des choix de cultures (ruisselantes, non ruisselantes) sur les parcelles en fonction des choix des voisins sur le territoire.
- Cultures intermédiaires aux frais de l'agriculteur.
- Cultures intermédiaires aux frais du syndicat ou de la mairie.

- Travail du sol.
- Implantation de cultures peu ruisselantes sur les parcelles situées sur l'axe de ruissellement.

Ces solutions sont possibles mais toutes ne sont pas systématiquement mises en place par les participants. La Figure 28 illustre l'ensemble des négociations effectuées dans la seconde session de jeu observée avec des parties prenantes sujets à des problèmes de ruissellement dans la vie réelle.



**Figure 28** Graphe des négociations ayant eu lieu pendant la seconde session de jeu avec des parties prenantes. La pointe des flèches désigne le récepteur de la négociation. Les flèches qui se dédoublent caractérisent des négociations à plus de deux participants.

Implémenter l'ensemble des solutions possibles dans le système multi-agent n'est pas nécessaire pour explorer des effets de cadrage. Il serait éventuellement intéressant d'intégrer ces solutions si nous voulions spécifiquement explorer les effets de cadrage provoqués par les choix du nombre ou des types de solutions pendant l'étape de conception du jeu. Dans le premier modèle par contre, une complexification non nécessaire est à éviter (filtre de parcimonie). L'unique élément important à prendre en compte est de permettre aux agents de se positionner sur des types de solutions différents. Ce qui nous permettra d'observer des effets de cadrage favorisant des révisions d'attitudes à propos d'un type de solution plutôt qu'un autre, des effets de cadrage favorisant la coexistence des révisions de plusieurs attitudes etc. Il est alors suffisant de représenter des négociations pouvant s'effectuer sur uniquement deux types de solutions possibles.

Il est également inutile de formaliser un aspect sémantique au contenu des solutions. Au niveau des trois filtres :

- Filtre de parcimonie : sans qualifier sémantiquement les solutions, le modèle est plus simple. Il est suffisant de prendre en compte des solutions abstraites pour développer une dynamique d'attitudes liée aux comportements des agents.
- Filtre de limitation des facteurs cadrants : l'aspect sémantique peut provoquer des effets de cadrage. Par exemple, un type de solution peut être préféré par l'ensemble des participants d'une session de jeu. Cela impliquerait donc un paramétrage initial particulier des attitudes initiales des agents, tandis que des solutions abstraites nous permettent d'explorer toutes les initialisations possibles.
- Filtre de généralité : introduire une sémantique particulière pour qualifier les solutions rend le modèle spécifique à *CauxOpération*.

Au niveau de la représentativité, réduire les possibilités de négociation à deux solutions sans contenu sémantique n'empêche pas de faire des liens entre le système multi-agent et le système réel. Il est possible d'interpréter les résultats de simulations du modèle en réintroduisant du sens a posteriori. Par exemple, dans *CauxOpération*, deux types de solutions peuvent correspondre à un regroupement des différentes solutions en deux catégories. Les observations et entretiens réalisés ainsi que le dépouillement des questionnaires révèlent deux classes de solutions pertinentes : les solutions financées et les solutions non financées par les agriculteurs. Beaucoup de négociations étaient conclues lorsque les solutions ne sollicitaient pas de financement de l'agriculteur (e.g., échange de parcelles entre agriculteurs) ou alors lorsqu'elles étaient financées par un budget alloué au maire et à l'animateur de syndicat de bassin versant (e.g., financement de cultures intermédiaires). Par contre, les négociations étaient plus difficiles lorsque les solutions nécessi-

taient un financement de l'agriculteur (e.g., auto-financement de cultures intermédiaires). Les participants agriculteurs ayant participé aux sessions de jeux étaient concernés par les problèmes de ruissellement et étaient pour la plupart sensibilisés au problème. Par contre leur investissement personnel dans la lutte franchissait rarement un auto-financement de solution, que ce soit dans le jeu ou dans la vie réelle.

En conclusion, on considérera donc deux types de solutions formelles, une solution de type *A* et une solution de type *B*.

---

#### 1.4 Qualification des agents

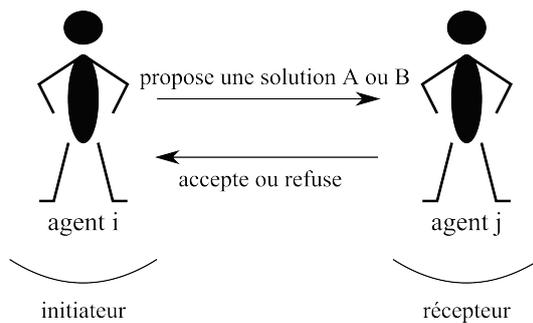
Dans *CauxOpération*, les participants ont différents rôles attribués. Ces rôles impliquent des tâches différentes à réaliser : par exemple, l'animateur de syndicat de bassin versant doit établir un plan stratégique de lutte contre le ruissellement alors que les agriculteurs ont comme première tâche d'effectuer leur assolement. Les rôles d'agriculteurs diffèrent aussi entre eux, notamment sur les types de cultures à affecter à leurs parcelles et sur la localisation des parcelles sur le bassin versant. Les observations de jeux montrent par exemple que l'animateur de syndicat de bassin versant et le maire étaient présents dans la plupart des négociations réalisées, du fait de leur budget alloué pour la lutte. Aussi, plusieurs agriculteurs ayant refusé des propositions ou n'ayant pas effectué de négociations expliquaient leurs décisions en justifiant qu'ils n'avaient pas de parcelles sur l'axe de ruissellement, et donc qu'ils ne se sentaient pas concernés par le problème.

En suivant le même raisonnement que dans la sous-section précédente, nous avons décidé d'effectuer une simplification de la représentation des participants dans le système multi-agent. Nous avons décidé d'indifférencier les rôles, chaque agent est alors identique aux autres : à chaque pas de temps, chaque agent a la même probabilité d'être tiré dans la population pour effectuer une négociation, en tant qu'initiateur ou que récepteur. De plus, nous avons exclu de la modélisation l'aspect géographique et monétaire : les agents ne sont ni spatialisés, ni dotés d'un budget.

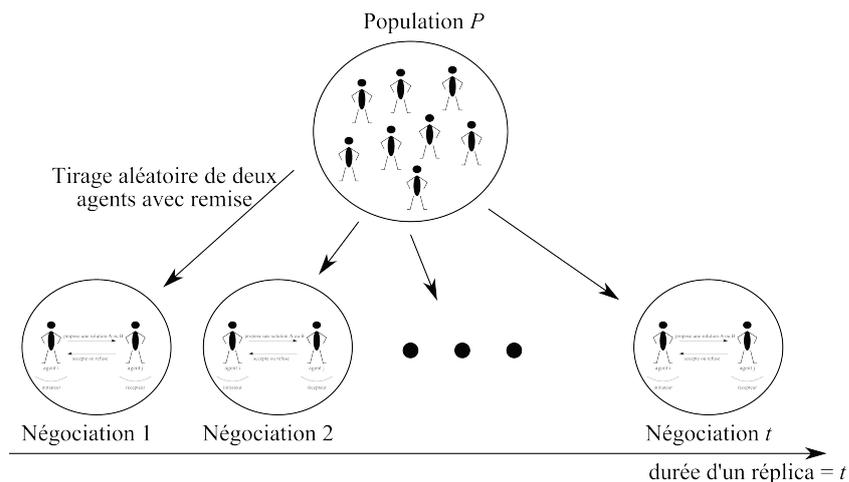
En accord avec le filtre de parcimonie, il est plus simple de considérer l'agent le plus élémentaire mais suffisant pour répondre à nos objectifs. En accord avec le filtre de limitation des facteurs cadrants, les différents rôles et la spatialisation sont des facteurs spécifiques à prendre en considération seulement si nous désirons explorer les effets de cadrage qu'ils produisent. En accord avec le filtre de généralité, avoir des agents indifférenciés permet d'obtenir une situation relativement générale de séquences de négociations généralisables à différents contextes.

## 1.5 Structure d'interaction formelle

En résumé, nous représentons une situation de jeu de rôles simplifiée en nous concentrant, parmi plusieurs types d'interaction possibles, sur les négociations. Nous considérons une négociation comme une interaction entre deux agents, pour laquelle un initiateur propose une solution à un récepteur, qui accepte ou refuse la proposition. Deux solutions sont possibles à proposer,  $A$  ou  $B$ , et celles-ci sont dénuées de contenu sémantique. Les agents entrant en négociations sont indifférenciés, à chaque pas de temps de simulation, deux agents sont tirés de manière aléatoire dans la population et affectés de manière aléatoire aux postes d'initiateur et de récepteur. Lorsque la négociation est terminée, la population est réinitialisée avec tous les agents, et un nouveau couple d'agents est choisi. Ce cycle est effectué jusqu'à la fin du temps d'un réplica de simulation. La Figure 29 caractérise une négociation isolée et la Figure 30 représente une séquence de négociations.



**Figure 29** Caractérisation d'une négociation isolée.



**Figure 30** Séquence de négociations pour un réplica de simulation.

---

## 2. Changements d'attitudes dans les sessions de jeu

Pour légitimer l'existence de changements d'attitudes dans un jeu de rôles, nous nous sommes appuyés sur le modèle de Williams & Williams (2010), discuté dans le Chapitre 1 section 1.6. En plus de ce bagage théorique, nous complétons la justification par le recueil des changements d'attitudes dans les sessions observées, suivant le matériel et la méthode décrits dans la section 4.3 du Chapitre 2. L'objectif de cette section est de décrire la mise à l'épreuve de l'hypothèse selon laquelle il existe des changements d'attitudes à la suite des négociations dans les sessions de *CauxOpération* observées. Si le recueil des changements d'attitudes ne répertorie aucun changement, alors nous pouvons remettre en cause la légitimité de la problématique de la thèse.

Les entretiens réalisés avec certains participants après les sessions de jeux ont révélé que les attitudes mobilisées pour agir pendant la session correspondaient à leurs attitudes réelles. Bien qu'investis dans une situation fictive avec une prise de rôle, les participants avaient une volonté d'agir dans le jeu en accord avec leurs pratiques dans la réalité. Par contre, le matériel d'investigation des changements d'attitudes utilisé permet de relever des reports de changements d'attitudes par les participants, mais reste limité dans l'apport de preuve de changement réel. Du fait que les participants sont invités à répondre au questionnaire sur le changement après chaque négociation effectuée, les participants peuvent être incités à effectuer un traitement cognitif qu'ils ne feraient peut-être pas sinon, ce qui favorise le changement au cours de la session de jeu. Certains modèles d'attitudes suggèrent que le changement d'attitudes s'effectue parfois ultérieurement à la présentation des éléments vecteurs du changement par le biais d'un traitement des informations stockées en mémoire (e.g., Bizer et al., 2006). D'autre part, le matériel d'investigation utilisé n'est pas assez précis pour pouvoir déterminer si les changements constatés sont le produit d'un effet du comportement sur l'attitude ou alors s'ils sont le produit d'autres vecteurs, comme l'acquisition de nouvelles informations pendant la négociation.

En conséquence, les résultats que nous présentons permettent de réfuter l'hypothèse de changement d'attitudes si aucun changement n'est répertorié, mais ne permettent pas d'établir avec certitude l'existence de changements réels dans le cas où nos résultats révèlent des changements.

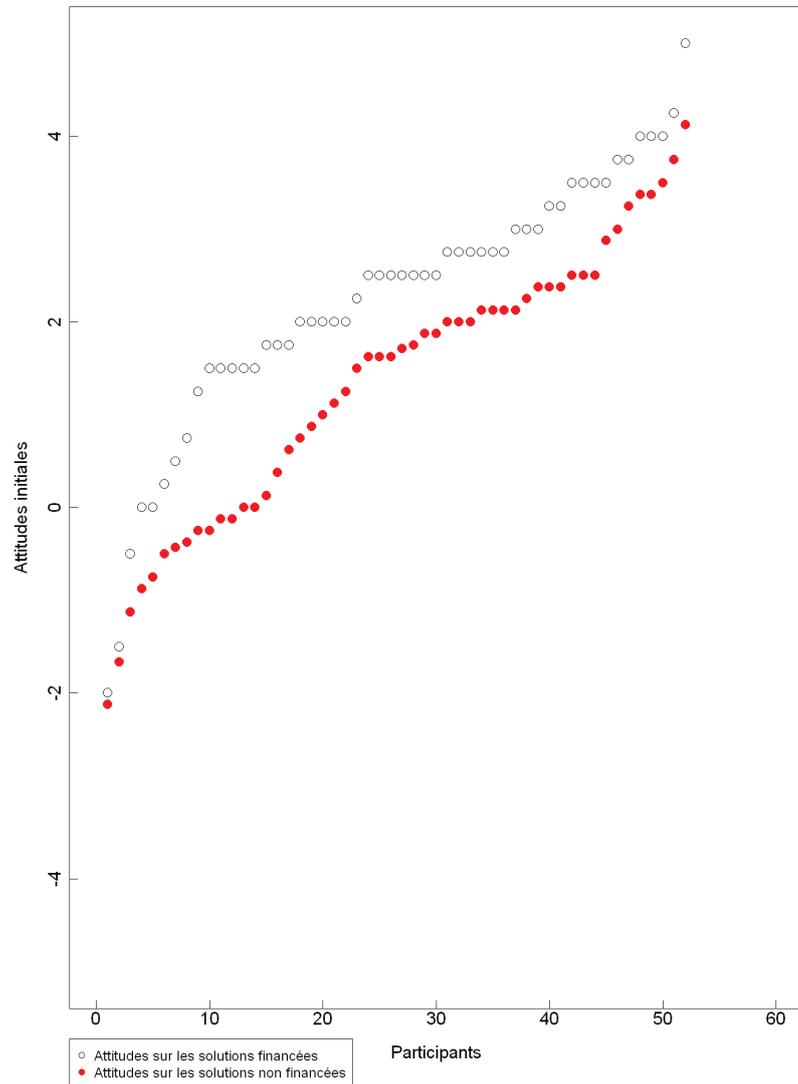
---

## 2.1 Echantillon

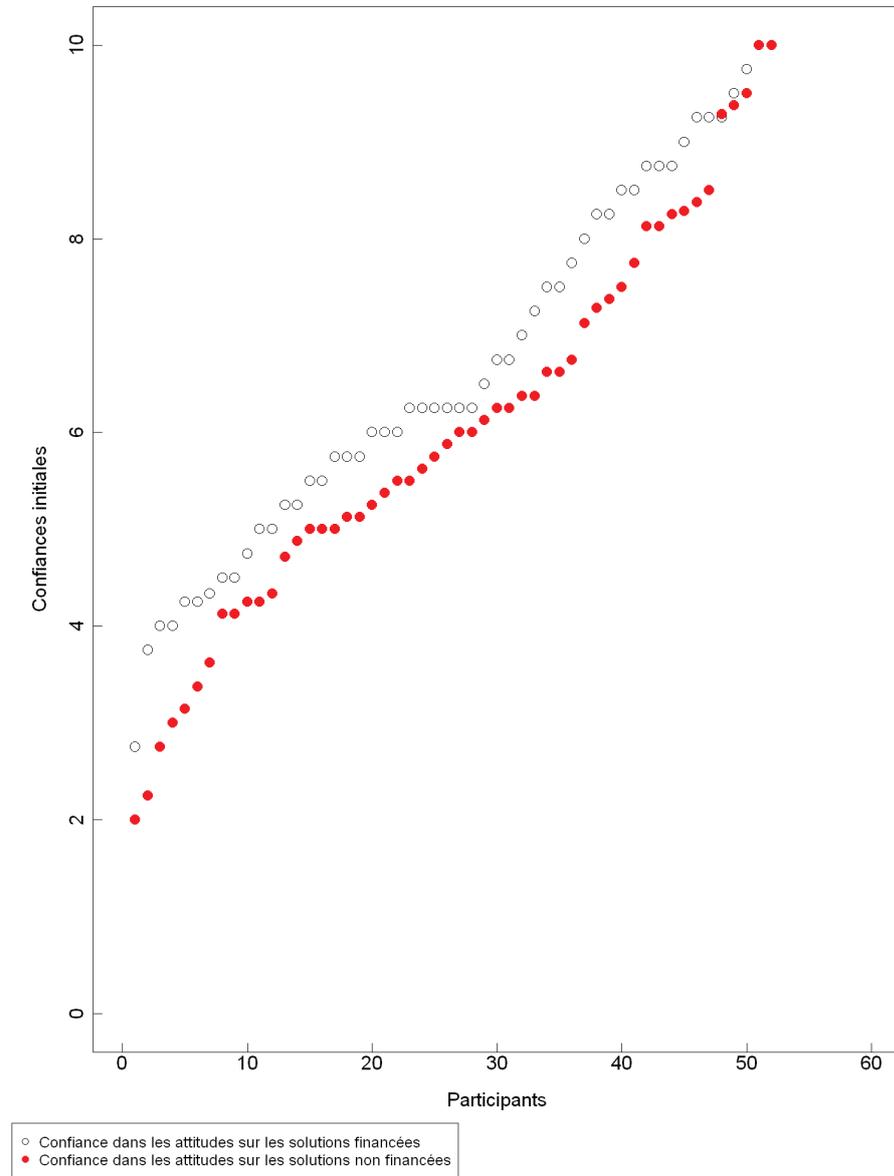
Afin d'observer d'éventuels changements d'attitudes, il faut déjà s'assurer que ceux-ci sont possibles pour les participants de l'échantillon. Il sera par exemple difficile d'observer des changements positifs d'attitudes si les participants ont tous une attitude initiale polarisée positivement sur chacune des solutions discutées. Pour visualiser plus simplement la distribution des attitudes initiales des participants, nous avons estimé les attitudes initiales sur les solutions financées et non financées à partir des données recueillies, i.e., les attitudes initiales des participants sur chaque solution. Nous avons reclassé l'ensemble des solutions possibles dans les deux catégories (financées, non financées) et effectué des moyennes pour chaque participant. Cette estimation est discutable, une attitude n'est pas forcément le produit d'une moyenne d'attitudes appartenant à une sous-classe, mais sa précision suffit à observer grossièrement la forme et l'étendue de la distribution des attitudes initiales.

Nous observons sur la Figure 31 que les attitudes initiales sur les solutions financées et non financées sont hétérogènes dans l'échantillon, les participants ont donc la possibilité de réviser leurs attitudes positivement ou négativement. Nous observons par contre très peu d'attitudes négatives, et les attitudes sur les solutions financées sont plus positives que celles sur les solutions non financées.

Pour s'assurer que les participants peuvent changer d'attitude dans un sens comme dans l'autre, nous avons également recueilli les distributions de leurs confiances initiales dans leurs attitudes. On peut faire l'hypothèse qu'il est difficile de changer d'attitude pour un participant lorsque que son attitude n'est pas initialement polarisée (i.e., ayant une valeur extrême), mais qu'il est totalement confiant dans une attitude modérée. Nous avons vérifié la distribution des confiances initiales en reproduisant la même opération que pour les attitudes, c'est-à-dire en les reclassant en deux catégories : confiance en l'attitude sur les solutions financées, et confiance en l'attitude sur les solutions non financées. La Figure 32 affiche des distributions similaires à celles des attitudes initiales, les confiances initiales des participants de l'échantillon sont hétérogènes et réparties de manière quasi-linéaire ; et les confiances sur les solutions financées sont plus fortes que celles sur les solutions non financées. L'échantillon observé ne comporte donc a priori aucune barrière au changement d'attitude.



**Figure 31** Distributions ordonnées des attitudes initiales agrégées en attitudes sur les solutions financées et non financées des participants de cinq des sept sessions de jeux observées. Les attitudes sont comprises entre  $-5$  (tout à fait défavorable) et  $5$  (tout à fait favorable). Par souci de clarté, les distributions des attitudes sur les solutions financées et non financées sont toutes les deux ordonnées, un traçage de lignes verticales sur la figure ne joint pas les deux attitudes d'un même participant. Nous avons retiré les données des deux premières sessions car les questionnaires ne contenaient pas les mêmes questions. Nous avons obtenu un effet plafond à cause de la formulation des questions pour le recueil de données de la première session, et nous avons corrigé des éléments de présentation du questionnaire suite à des entretiens a posteriori avec des participants de la seconde session.



**Figure 32** Distributions ordonnées des confiances initiales agrégées en confiances dans les attitudes sur les solutions financées et non financées des participants de cinq des sept sessions de jeux observées. Les confiances sont comprises entre 0 (pas du tout confiant) et 10 (tout à fait confiant).

---

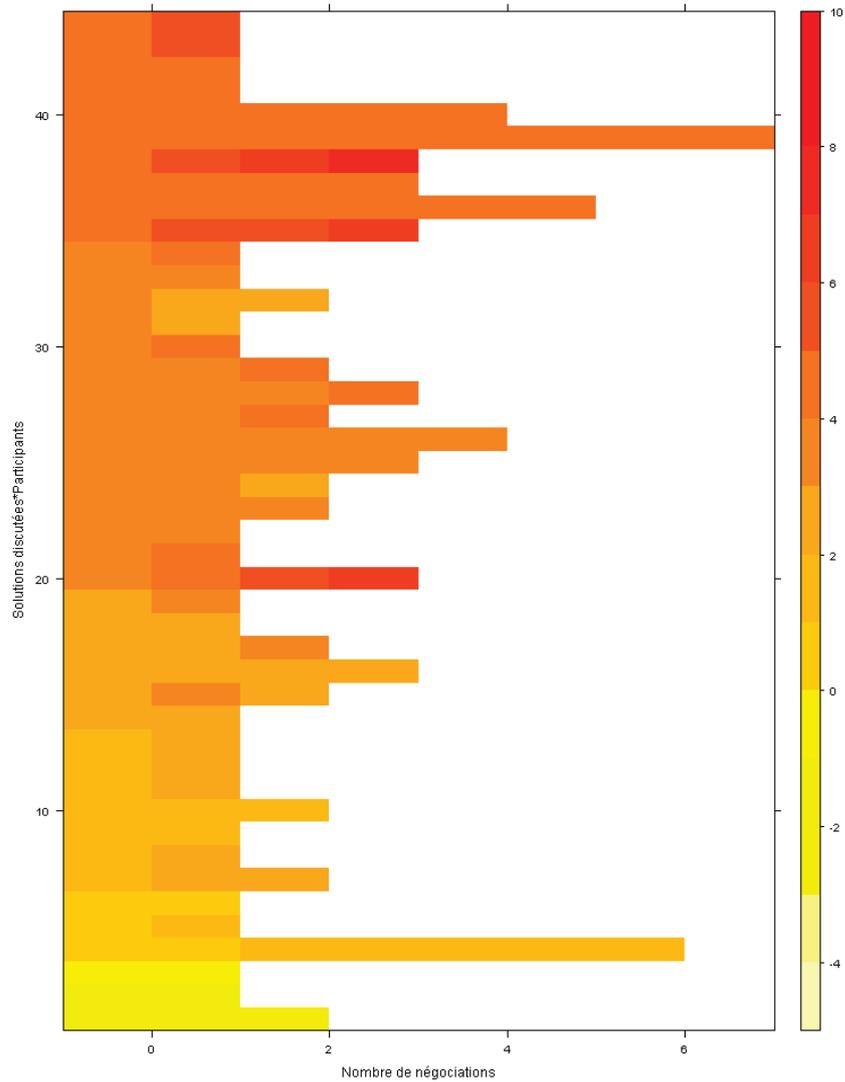
## 2.2 Changements d'attitudes

Nous avons répertorié les changements d'attitudes de 21 participants répartis dans trois des sessions de jeux observées. Les questionnaires recueillis dans les autres sessions présentaient trop de non réponses et de réponses biaisées dues à une mauvaise interprétation des consignes (e.g., analogie attitude/confiance).

La Figure 33 affiche les changements et non changements d'attitudes pour chacune des négociations dans lesquelles les participants ont été impliqués. Cette fois, les changements d'attitudes relevés sont bruts, nous avons recueilli les changements sur chacune des solutions plutôt que sur l'agrégation en solutions financées et non financées, pour conserver la précision du changement. Par contre, pour visualiser les changements, nous avons fixé arbitrairement l'incrément du changement à 1 (ou  $-1$  si le changement est négatif) car nous n'avons pas d'information sur l'incrément effectué par les participants à chaque changement. Dans les questionnaires à remplir à chaque fin de négociation effectuée, nous demandions simplement aux participants si leur attitude avait changé par rapport à leur attitude précédente, et si oui, positivement ou négativement. Pour conserver la dynamique du jeu et que le questionnaire soit rapide à remplir, les participants n'avaient pas à quantifier leur changement.

Le Tableau 1 regroupe les nombres de changements d'attitudes cohérents, non cohérents et le nombre de non changements, en fonction des attitudes initiales des participants (polarisées ou non). Par cohérence, nous entendons plusieurs choses :

- Lorsque l'attitude initiale du participant n'est pas polarisée, un changement d'attitude cohérent correspond à une révision positive ou négative de l'attitude congruente avec le comportement (e.g., si le récepteur refuse la proposition, alors son attitude doit être révisée négativement).
- Lorsque l'attitude initiale est polarisée positivement, seule une révision négative et congruente au comportement est cohérente.
- Lorsque l'attitude initiale est polarisée négativement, seule une révision positive et congruente au comportement est cohérente.



**Figure 33** Changements d'attitudes pour 21 participants de trois sessions différentes. Les couleurs représentent les valeurs des attitudes. Chaque ligne correspond à l'évolution d'une attitude sur une solution particulière pour un participant. Par exemple, on visualise sur la première ligne qu'un participant a effectué deux négociations sur une même solution mais n'a pas pas changé son attitude initiale. Les données sont ordonnées en fonction de la valeur des attitudes initiales (valeur des attitudes avant zéro sur l'axe des abscisses). Les valeurs d'attitudes dépassant leur valeur maximum (5) correspondent à des erreurs de remplissage faites par les participants (au moins lorsque leur attitude initiale était déjà polarisée), ou à un artefact dû à la fixation arbitraire de l'incrément à 1 lorsque leur attitude initiale était non polarisée.

		Effectif	Effectif total
Attitude initiale non polarisée	Changement cohérent	20	62
	Changement non cohérent	3	
	Non changement	39	
Attitude initiale polarisée	Changement cohérent	0	27
	Changement non cohérent	7	
	Non changement	20	

**Tableau 1** Nombre de changements d'attitudes en fonction des valeurs initiales des attitudes des participants.

D'autre part, sur le total des 21 participants, 15 ont changé d'attitude au moins une fois.

L'ensemble de ces données suggèrent l'existence de changements d'attitudes dans les jeux et ne constitue pas un argument pour remettre en question la légitimité de concentrer la modélisation du système multi-agent sur les changements d'attitudes se produisant à la suite de négociations telles qu'elles s'effectuent dans les jeux de rôles.

### **3. Modélisation et simulation du système multi-agent**

Cette section correspond à l'article de Dubois, Barreteau, & Souchere (2013) publié dans le « Journal of Artificial Societies and Social Simulation » en Janvier 2013.

## **An Agent-Based Model to Explore Game Setting Effects on Attitude Change during a Role Playing Game Session**

**Abstract.** Role playing games (RPGs) can be used as participatory simulation methods for environmental management. However, researchers in the field need to be aware of the influence of the game settings on participants' behavioural patterns and attitudes, before fine tuning the design and use of their games. We developed an agent-based model (*CauxAttitude*) to assess the framing induced by the conditions of implementation of a specific game, named *CauxOpération*, on possible changes in participants' attitudes. We designed *CauxAttitude* on the basis of social psychology theories that describe relations between attitudes and behaviours, as well as on observations of *CauxOpération* sessions. In this paper, we describe how the model behaved according to variations in the initialization of the parameters, our aim being to explore the effects of subjective choices concerning model design and implementation. The results of our simulations enabled us to identify effects of game settings we explored, including the choice of the population of participants or of the number of participants made by the game designer. Our results also revealed the underlying mechanisms that explain the effects of game settings. These provide clues to the game designer on how to manage them.

**Keywords:** agent-based social simulation, role playing game, companion modelling, attitude-behaviour relations, attitude change, game setting effects

---

### 3.1 Introduction

Many authors refer to 'companion modelling' (*Commod*) in case studies in which role playing games (RPGs) are used to help stakeholders deal collectively with a natural resource management issue. The aim of the game is to enable stakeholders to share their knowledge and learn about the system or the environment they share. The game provides an experimental setting for stakeholders to explore joint solutions to environmental problems that are tailored to the constraints of their own context. This kind of participatory setting in research is increasingly common. Companion modelling approaches are representative of this trend but are far from being the only ones (Barreteau, Le Page, & Perez, 2007; Voinov & Bousquet, 2010).

Evaluation of the outcomes of such methods for the participants (Etienne, 2010), and, more generally, of participatory research (Barreteau, Bots, & Daniell, 2010), is a relatively new field, both with respect to changes in sharing natural resources by those who are concerned and the rules that are drawn up as a result of the shared experience. Scientists in the field actively

focus on learning models as processes that can occur during RPG sessions (Peters & Vissers, 2004; Ryan, 2000; Tsuchiya, 1998). They focus on the changes in the participants' representations generated by the specific settings of a game session and its debriefing. However, these settings (such as the selection of the participants, time management, the facilitation protocol, contextualisation of the game situation, etc.) could frame changes during the game session. Game designers thus need tools to assess how these settings can influence the outcomes for participants.

Our goal was to develop an agent-based model to grasp some of the underlying cognitive and social mechanisms that can occur during RPG sessions, in order to understand how the effects of a setting can lead a game session towards specific outcomes. This paper presents a model named *CauxAttitude*, focused on changes in participants' attitudes in a specific RPG named *CauxOpération*. Here, "attitude is a psychological tendency that is expressed by evaluating a particular entity with some degree of favour or disfavour" (Eagly & Chaiken, 1993). According to the MIT model of Williams & Williams (2010), attitudes can easily change in this kind of RPG. In companion modelling in general, components of RPGs fit the aspect of reality they aim to represent as well as the small world with which they interact: participants are concerned by the game's outcome, the game structure matches reality, and participants are free to create and execute a personal strategy and receive feedback on it.

The aim of *CauxAttitude* is to explore the specific settings of *CauxOpération* that can frame the participants' attitude dynamics. The model is based on social psychology theories. Much has been undertaken on attitude change in social psychology in recent decades, e.g., Eagly & Chaiken (1993), Hogarth & Einhorn (1992), Petty & Cacioppo (1986), and on attitude-behaviour relationships, e.g., Ajzen (1991), Festinger (1957), Glasman & Albarracín (2006), social simulations of attitude dynamics; e.g., Galam (2003), Deffuant et al. (2001), Urbig (2003). However, only a few authors have linked social psychology theories with social simulation relative to the attitude topic: Dubois et al. (2007), Jager and Amblard (2007), Mosler et al. (2001), Nowak et al. (1990). In these studies, the authors include social psychology models of attitude change in agent based models. To our knowledge, only one study has connected the attitude-behaviour relationships from the social psychology literature (Richetin et al., 2010) with social simulation, but the study do not consider agents in interaction.

---

### 3.2 The RPG *CauxOpération*

In this section, we describe the role playing game, *CauxOpération* (Souchere et al., 2010). The aim of this RPG is to facilitate coordinated management of a watershed which is prone to erosive runoff, by having stakeholders play a role in a fictional situation dealing with erosion prevention techniques and agricultural practices. The main purpose is to increase participants' awareness of erosive runoff processes and of the cumulated impacts of their activities. Participants do not receive any financial compensation for playing the game.

The game board represents a 675 ha watershed divided into fields belonging to six farms with a village located at the watershed outlet. The RPG involves eight stakeholders (six farmers, one mayor and one agricultural watershed advisor) who play their real-life roles. Farmers who play the role of farmers choose their cropping pattern and allocate a crop to each field based on their own farming system. Their choice generates a risk of erosive runoff which a computer model calculates for each location in the watershed. The participant playing the role of mayor is informed about the damage caused by erosive runoff to the village and to the roads crossing the watershed. The participant playing the role of the watershed advisor is the technical advisor for the implementation of solutions to reduce runoff. He and the mayor have to design a strategy to manage erosive runoff at the watershed scale. They can provide incentives for cover crops and plant grass strips or build new storage ponds, if they succeed in obtaining the farmers' agreement. They can encourage the farmers to reduce damage by organizing collective meetings to negotiate the planting of grass strips, to build ponds and to negotiate a change in agricultural practices but they cannot offer many financial incentives as their budget is not large enough to solve all the problems.

---

### 3.3 Observations of *CauxOpération* and interviews with participants

We observed seven sessions of *CauxOpération* (three sessions with farmers and four with students). We asked all participants to fill in a questionnaire concerning changes in attitudes that occurred during the game session; and 11 participants in the two first sessions with farmers accepted to be interviewed after the game sessions. Field investigations included following tasks:

- Collecting the necessary information to design and validate the model of the game environment, e.g., what are the pattern and the topic of interaction among the participants?

- Judging if an attitude change has taken place during game sessions of *CauxOpération*.
- If so, analyse causes of attitude change.
- Characterize the game setting effects to be further explored: for example, if feedback is a relevant setting, how is it taken into account by participants? When is it delivered to participants during the game session? etc.

---

### 3.4 The agent-based model: *CauxAttitude*

We designed a model named *CauxAttitude* to grasp changes in attitudes during sessions of *CauxOpération*. The model focuses on one way of change based on the attitude-behaviours relationships captured by social psychology theories. Behaviours in *CauxOpération* are mainly negotiations between participants about solutions to deal with runoff issues. Here a negotiation is considered to be a situation in which there is at least one individual who wants something from another individual, and which the latter has to accept or reject. In the model, we assume that the attitudes and behaviours displayed during the negotiation process influence each other.

#### 3.4.1 Modelling the game situation based on observations of *CauxOpération*

We observed that the main interactions between the participants were negotiations between two individuals. This observation was confirmed by the answers to the questionnaires, as one participant put it: “too many participants in a negotiation make it difficult to solve a problem”. Other kinds of interactions were informal discussions, sharing of knowledge about runoff issues, and collective meetings to think together about suitable solutions. Negotiations were about elaborating solutions to deal with runoff issues in the watershed. We observed negotiations about almost all the possible solutions in the game: planting cover crops, grass strips, digging storage ponds, exchanging fields and so on. The most frequently discussed types of solutions were those which required no financial investment by the farmers, like cover crop funding, digging storage ponds or planting grass strips. For instance, a farmer participant said “I agree with all your requests as long as they don’t cost me anything”. Some solutions were discussed but only rarely: better farming practices with no financial incentives, crop rotations based on agreements between farmers.

On the basis of these observations, we chose to model interactions between participants as 2-participant negotiations with proposals for solutions to cope with erosive runoff.

To reduce the number of possible solutions, we grouped 15 possible solutions into two types: solutions for runoff issues with and without funding.

By funded solutions, we mean solutions that cost money and the money had to come from another participant, e.g., a participant playing the role of a farmer asked the watershed advisor to cover the cost of planting a cover crop. By solutions without funding, we mean solutions negotiated between several participants but that required no external funds, e.g., a participant playing the role of a farmer suggested to another farmer that they both choose crops that will prevent runoff.

We assume that participants can change their attitudes to the different types of solutions during ongoing negotiations in *CauxOpération*. We asked the participants to fill in questionnaires during the game session whenever they ended the negotiations they were involved in. Reading the questionnaires enabled us to observe many changes, which legitimized our choice of focusing on processes leading to changes in attitude.

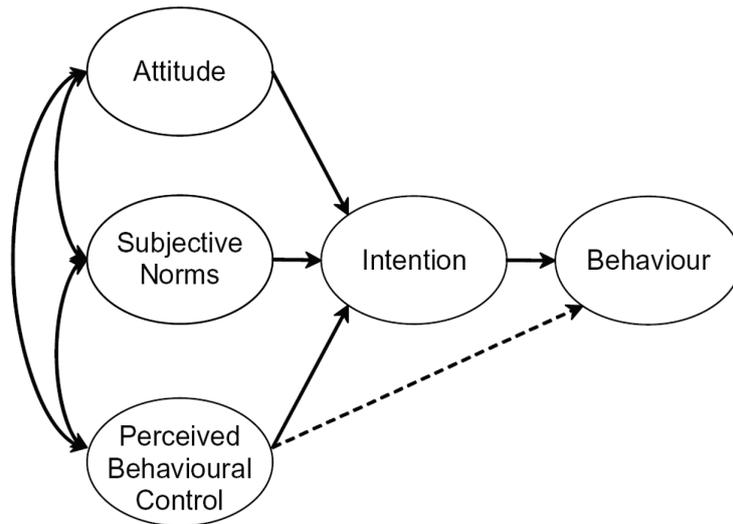
### 3.4.2 A model inspired by social psychology theories

---

#### 3.4.2.1 Main theories of attitudes-behaviours relationships

The prediction of behaviours has been widely studied in social psychology. The main model is the theory of planned behaviour (TPB) proposed by Ajzen (1991, 2004), itself an extension of the theory of reasoned action (Ajzen & Fishbein, 1980).

In the TPB, attitudes toward behaviours and subjective norms (perceived social pressure to perform or not perform the behaviour) influence intentions, which, in turn, influence behaviours. Also, perceived behavioural control (perceived ease or difficulty in performing the behaviour) influences intentions and also directly influences behaviours. Perceived behavioural control was not included in the theory of reasoned action. Figure 34 is a conceptual representation of TPB. In the literature, some authors added other interpersonal and situational factors that compete with attitudes to influence behaviours, like habits (Ronis, Yates, & Kirscht, 1989) or the positive or negative consequence associated with the behaviour (Devine, 1989). Moreover, some authors (Sapp (2001) and Grieve (2001), cited in Richetin et al. (2010)) showed that the non-rationality of decisions (mostly studied by Simon (1955) and Tversky and Kahneman (1986)) can also occur in the relations between attitudes and behaviours.

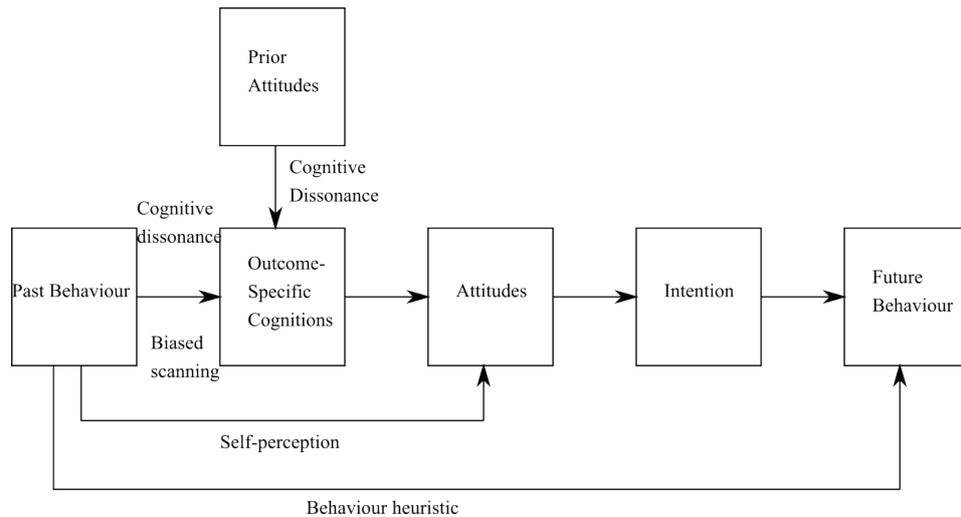


**Figure 34** Theory of planned behaviour (Ajzen, 1991, 2004).

Individually, attitudes are generally poor predictors of behaviours. However, they can be good predictors under particular circumstances. A meta-analysis by Glasman and Albarracín (2006) showed that the attitude-behaviour association is stronger when attitudes are accessible (easy to recall) and remain stable over time. Because of accessibility, attitudes are better predictors of behaviours when individuals have direct experience with the attitude object and report their attitudes frequently. Because of stability, attitudes are better predictors of behaviours when individuals are confident in their attitudes, when individuals form their attitudes on the basis of information that is relevant to the behaviour, and when they receive or are led to think about one rather than two-sided information about the attitude object.

Nevertheless, results on relations between attitudes and behaviours in the literature feature correlations. Thus they do not enable us to draw the necessary and sufficient conditions for the prediction of behaviours from attitudes. For instance, when attitudes are confident, they are better predictors of behaviours, but there is no proof that confidence necessarily makes attitudes good predictors of behaviours.

On the other hand, behaviours can be good predictors of attitudes and can have an impact on future behaviours. Figure 35 describes four possible ways past behaviours can influence cognitions and future behaviours.



**Figure 35** Four ways past behaviours can influence cognitions and future behaviours (Albarracín & Wyer Jr., 2000).

These four ways are supported by four theories from the psychological literature and cited in Albarracín & Wyer Jr. (2000):

- The cognitive dissonance theory (Festinger, 1957) assumes that when behaviours and attitudes are congruent, attitudes tend to be consolidated by past behaviours. When they are not congruent, attitudes tend to get closer to past behaviours in order to reduce the cognitive dissonance of the individual, i.e., when an individual has two incompatible cognitions or a cognition that is incompatible with his/her behaviour.
- The biased scanning theory (Janis & King, 1954) postulates that when individuals perform behaviours, they scan their memory to find congruent knowledge with the desirability and likelihood of the consequences associated with the behaviours. This leads individuals to update their attitudes, intentions and future behaviours.
- The self-perception theory (Bem, 1965, 1972) suggests that when individuals are called on to report an attitude, they often infer this attitude from the implications of a past behaviour. This suggests that the inference may occur independently of their pre-existing attitudes and does not require much mediating cognitive activity. Consequently, it is more likely to happen when individuals are not motivated or unable to think about why they might have performed the behaviour in question.
- Behaviour as a heuristic tool (Bentler & Speckart, 1979; Cialdini, 1988) suggests that individuals' past behaviours can have a direct impact on their future behaviours that is independent of their attitudes toward the behaviour. This impact is more likely when the behaviour is habitual and occurs in stable contexts (Ouellette & Wood, 1998; Triandis, 1977, 1980).

Although the literature reveals correlations between past behaviours, attitude change and future behaviours, the influence of attitudes resulting from past behaviours is not systematic. For instance, if an individual can justify his behaviour with explicit incentives such as receiving money for performing an undesirable behaviour, his attitude does not change (Festinger & Carlsmith, 1959). Kelman (1953) also showed that when individuals perform behaviours in order to conform to social norms, they conform more if they are paid to do so, but their attitude change is less extensive.

---

#### 3.4.2.2 Modelling choices

We designed the *CauxAttitude* model on the basis of several principles:

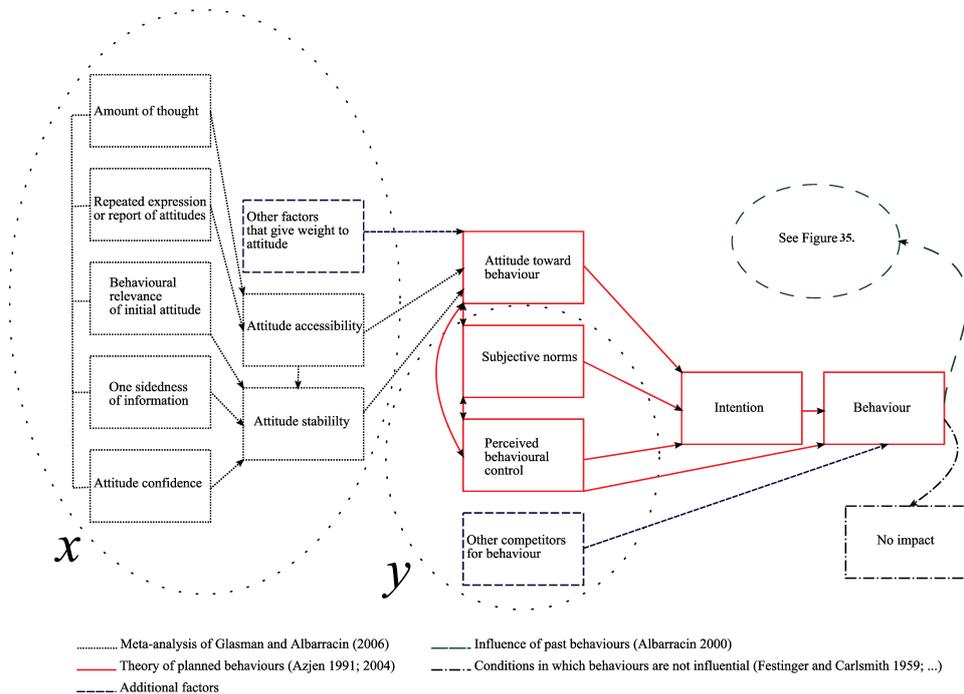
- The model should be adapted to the conditions of interactions and to the types of attitudes observed in the role playing game sessions: i.e., negotiations between participants about two types of solutions (funded and non-funded) leading to two types of attitudes.
- The model should be in accordance with the psychological literature on attitude behaviour relationships.
- The focus should be on attitudes. As we want to observe the attitude dynamics and not the dynamics of subjective norms or perceived behavioural control, the model should focus on changes in attitudes while still considering the possibility that other factors influence behaviours.
- The model should be simple. As the goal of the study was to understand the dynamics, we chose to build the simplest possible model to understand the main mechanisms behind the dynamics we observed in the RPG sessions. We consequently only included the components that already formed part of our theoretical hypothesis and tuned them to our observations.

We first chose a parameter  $x$  to determine the weight of the factors that involve attitude as a predictor of behaviour.  $x$  is an aggregate of accessibility, stability and their implications, e.g., confidence, plus all possible others factors that can have an impact on attitudes for the prediction of behaviours. As mentioned above, results published in the literature are simply correlations: accessibility and stability are not enough to characterize the weight of attitudes in influencing behaviours. For simplicity's sake, in the first stage, we chose to formalize the model at this level of aggregation. We also considered that  $x$  can change during a game session. As the game encourages participants to think about their attitudes, these can become both more stable and more accessible. There are several possible ways for  $x$  to evolve in a RPG session, but we chose to create the dynamics based on the negotiation process. We assume that during a negotiation, the behaviour of one participant can influence

the confidence he/she has in the attitude of another participant, and can thus influence the value of  $x$ . This assumption is explained in detail in the formal description of *CauxAttitude*. Despite the existence of several ways of modelling attitude and opinion dynamics in the literature (e.g., Deffuant et al., 2001), we chose to have our model be a simplification of the most common psychological theories.

We chose a parameter  $y$  to determine the weight of all the factors that can influence behaviours other than attitudes.  $y$  is an aggregate of subjective norms, perceived behavioural control, habits, behaviour associated with positive and negative consequences and all other factors that are not cited in the literature (in as far as the TPB does not explain all the variance in the influence of behaviours).

We chose to aggregate the competitors of attitudes in order to focus on the influence of attitude. Figure 36 summarizes factors that lead to the prediction of behaviours and attitude-behaviour relationships that we took into account for the study. Bringing together in a single model the theoretical framework of factors that imply attitudes as predictors of behaviours with a theoretical framework of relations between attitudes and behaviours (TPB) is appropriate here because the stability and accessibility of attitudes have also already been analyzed in TPB (Doll & Ajzen, 1992).

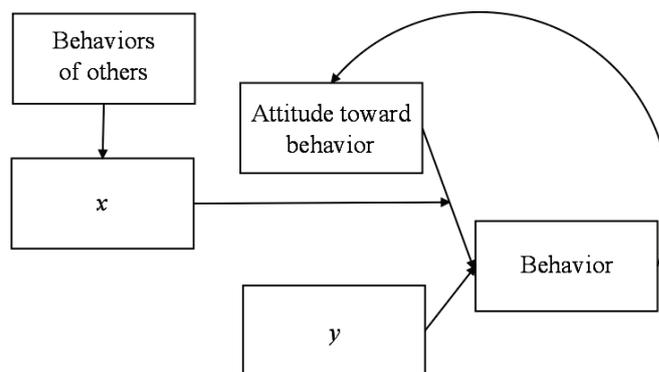


**Figure 36** Factors included in attitude-behaviour relationships. Circles explain what is captured by parameters  $x$  and  $y$  in *CauxAttitude*.

Regarding the TPB, we removed the concept of intention because mathematically speaking, it actually acts only as a filter of probability thus decreasing the occurrence of behaviour relative to attitudes, subjective norms, perceived behavioural control and so on. It is not indispensable to add a filter of probability as long as it is possible to explore all the possible dynamics of the model using the variations in the original parameters ( $x$ ,  $y$ , attitude values). For that reason, consistent with our rule of simplicity, we did not include intention in the model.

Regarding the influence of attitudes on behaviours, we assume that the choices of behaviours made by the agents (i.e., agents representing participants in the model) can be due to the value of their attitudes ( $a$ ), their  $x$ , and their  $y$ . This is a model based on thresholds, i.e., if compared to value of other factors which can influence behaviours ( $y$ ) the weight of attitude i.e.,  $x \times a$ , is sufficiently high, the behaviour will be performed according to the attitude. Otherwise, the behaviour will be performed according to  $y$ .

Regarding the effects of behaviours on attitudes, we chose to drastically simplify the process and in *CauxAttitude*, to assume that the relations are entirely deterministic. Behaviours cause attitudes to update themselves to reduce any discrepancy. We thus consider that in *CauxAttitude*, agents systematically update their attitudes after performing a behaviour. Therefore, we consider that *CauxAttitude* favours the emergence of processes like cognitive dissonance reduction or biased scanning. As mentioned in the previous section, when past behaviours do not influence attitudes, additional factors are needed to reduce the effects of past behaviours on attitudes (e.g., factors that allow justification). As *CauxAttitude* is a theoretical model, in this study, we chose to first investigate the simplest possible situation and we assume that this is the situation in which the number of factors is the lowest. Consequently, it refers to the situation in which past behaviours have direct influences on attitudes. Figure 37 shows our simplification of the process.



**Figure 37** Factors leading the prediction of behaviours and attitude-behaviour relationships in *CauxAttitude*.

### 3.4.3 Formal description of CauxAttitude

We consider a RPG session as a succession of negotiations between two participants. The agents are randomly chosen at each time step among a set of  $n$  agents. The negotiations either concern solution  $A$  or solution  $B$ .

Agents can behave in two possible ways:

- **Initiate a negotiation:** One of the two agents asks the other for a solution ( $A$  or  $B$ ). The solution is chosen according to the agent's attitudes to the two solutions ( $a_A$  and  $a_B$ ) and according to  $x$  and  $y$ .

Suppose  $(i, j)$  a pair of agents randomly chosen among a population  $P$  of agents. Algorithm 1 describes the initiation of the negotiation.

#### Algorithm 1

```

if  $a_A$  or  $a_B \geq 0$ 
  if  $\max\{x_{Ai} \times a_{Ai}, x_{Bi} \times a_{Bi}\} \geq y_i$ 
    if  $x_{Ai} \times a_{Ai} > x_{Bi} \times a_{Bi}$ ,  $i$  asks  $j$  for a solution  $A$ 
    if  $x_{Ai} \times a_{Ai} < x_{Bi} \times a_{Bi}$ ,  $i$  asks  $j$  for a solution  $B$ 
    if  $x_{Ai} \times a_{Ai} = x_{Bi} \times a_{Bi}$ ,  $i$  chooses a solution at random and asks  $j$  for it
  else:
    if  $a_{Bi} < 0$ ,  $i$  asks  $j$  for a solution  $A$  (*)
    if  $a_{Ai} < 0$ ,  $i$  asks  $j$  for a solution  $B$ 
    else,  $i$  chooses a solution at random and asks  $j$  for it(**)
otherwise, another pair is chosen.

```

$a_A$ : Attitude to solution  $A$ .

$a_B$ : Attitude to solution  $B$ . Both attitudes range from -5 (entirely unfavourable) to 5 (entirely favourable).

$x \in [0,1]$ : Weight of the factors that imply attitude as a predictor of behaviour.

$y \in [0,6]$ : Weight for the agent of other factors than attitude which determine behaviour.

(\*): An initiator never asks for a solution when his/her attitude towards it is negative.

(\*\*): We assume that the agent makes a random choice when he/she behaves according to  $y$ .

Let us assume initiator  $i$  asks  $j$  for solution  $A$ , and then his/her attitude then changes due to his/her behaviour:

**Formula 1**

$$a_{Ai} = a_{Ai}(t-1) + 1$$

The same process is engaged when  $i$  asks  $j$  for solution  $B$ , or if  $i$  starts by randomly choosing a solution.

- **Accepting/rejecting the request:** The receptor  $j$  can accept or reject the request. In a similar way,  $j$ 's answer is influenced by his/her attitude,  $x$  and  $y$ . Algorithm 2 describes the response part of the negotiation when  $i$  asks  $j$  for solution  $A$ .

**Algorithm 2**

if  $x_{Aj} \times |a_{Aj}| \geq y_j$  and  $a_{Aj} \geq 0$ ,  $j$  accepts and  $a_{Aj} = a_{Aj}(t-1) + 1$   
 $a_{Aj} < 0$ ,  $j$  rejects and  $a_{Aj} = a_{Aj}(t-1) - 1$   
 if  $x_{Aj} \times |a_{Aj}| < y_j$ ,  $j$  randomly accepts or rejects and  $j$  changes his/her attitude as a result.

**Algorithm 3**

We also suppose that the receptor's answer influences the  $x$  value of the initiator. Therefore, in this version of the model,  $x$  is dynamic and  $y$  is static.

if  $j$  accepts,  $x_{Ai} = x_{Ai}(t-1) + 0.1$   $x_{Ai} \in [0,1]$   
 if  $j$  rejects,  $x_{Ai} = x_{Ai}(t-1) - 0.1$

When  $i$  asks  $j$  for solution  $B$  or if  $i$  starts by choosing a solution at random, algorithms from Formula 1 to Algorithm 3 are processed in the same way. The process from Algorithm 1 to Algorithm 3 is repeated until the end of simulation. At each time step, a new pair  $(i, j)$  is chosen at random.

---

3.5 Design of simulations

Various initializations of parameters enable us to run simulations to explore certain game setting effects. Despite its simplicity, we consider that *CauxAttitude* can at least explore three types of effects of game settings:

- Choice of population of participants regarding their initial  $x$ ,  $y$  and attitudes: individuals who play have different initial attitudes, different degrees of confidence in their own attitudes, different perceived behavioural control over the behaviours requested during the game, and so on. In our questionnaires, we observed significant heterogeneity between participants, e.g., participants

with high initial confidence in their attitudes, participants with high confidence in their attitudes but only with respect to a few types of solutions, participants with limited confidence in their attitudes, participants with high or low initial attitudes, and so on.

- Artefacts handled by the game facilitator during the course of the game to fine tune its unfolding, which influence the values of  $x$  and  $y$ : for example, giving (virtual) money to participants can have an impact on their perceived behavioural control of the implementation of a solution. In *CauxOpération*, at the start of the game, the farmers do not receive any (virtual) money for funding solutions against runoff. However, they can ask the watershed advisor or the mayor for funds.
- Effects of variation of the number of participants.

---

### 3.6 Results of simulations

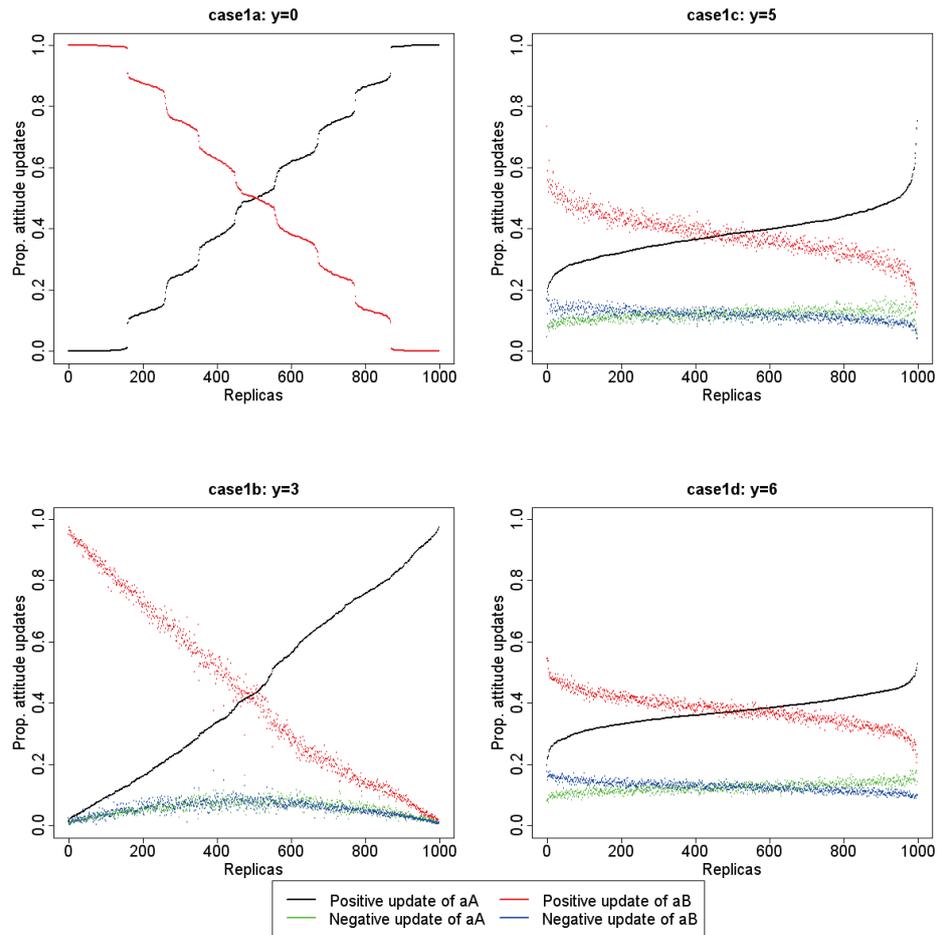
Numeric values of the initialization of parameters are listed in a table in each sub-section below. All our simulations involved 500 steps, which is sufficient to observe possible attractors or convergences of attitudes to an extremity (polarization). We replicated all the simulations 1000 times in order to capture variability, since the model is stochastic. We initialized  $a$  and  $x$  to their median values ( $a = 0, x = 0.5$ ) in order to minimize the effects produced by initialization of parameters that remain the same for all the simulations.

#### 3.6.1 Variation of $y$

First we simulated four cases (case1a, case1b, case1c and case1d) with different values of  $y$ . Table 2 lists the initialization of parameters. Figure 38 shows the proportions of positive and negative updates of attitudes during the negotiations in the four simulations.

<b>Case1</b>	$n$	$x_A$	$x_B$	$a_A$	$a_B$	$y$	<b>Steps</b>	<b>Replicas</b>
Case1a	8	0.5	0.5	0	0	0	500	1000
Case1b	8	0.5	0.5	0	0	3	500	1000
Case1c	8	0.5	0.5	0	0	5	500	1000
Case1d	8	0.5	0.5	0	0	6	500	1000

**Table 2** Initialization of parameters for variation of  $y$ .



**Figure 38** Proportion of positive and negative updates of attitudes during the negotiations in case1a, case1b, case1c and case1d. The replicas are ordered with respect to the positive update of  $a_A$ . For example: for replica 500 in case1a, 50% of positive updates of  $a_A$  and 50% of positive updates of  $a_B$  occur during the negotiations. We also consider cases in which agents had already reached the extreme value of the attitude (5 or -5) and were nevertheless willing to go further as attitude updates.

Regarding case 1a in Figure 38, only positive updates of attitudes are expressed. Agents' behaviours are only performed in accordance with their attitudes because the condition  $x \times a \geq y$  is always satisfied. As the initial attitude values are not negative, receptors of negotiations never reject requests. There are also nine plateaus which reveal the proportion of agents initiating requests for solutions  $A$  and the proportion initiating request for solutions  $B$ . In this case, it is very difficult for agents to initiate requests for both solutions. Suppose an agent initiating a negotiation for solution  $A$ ,  $x_A$  and  $a_A$  are positively updated (because the receptor accepts the request) and  $x_A \times a_A$  ( $0.6 \times 1 = 0.6$ ) is

then greater than  $x_B \times a_B$  ( $0.5 \times 0 = 0$ ). At this point, the agent has to be designated successively twice as receptor of a request for solution  $B$  in order to be able to initiate solution  $B$ . Thus, only 5.6% of agents among the 1000 replicas were able to initiate both solutions during one replica. The first plateau refers to replicas in which all agents initiate solution  $B$ , the second plateau refers to replicas in which seven agents initiated solution  $B$  and one agent initiated solution  $A$ , and so on. The middle of each plateau shows the average proportion per period e.g., when seven agents initiate solution  $B$ , the average of positive updates of attitudes concerning solution  $B$  is equal to  $7/8$  (number of agents initiating solution  $B$ /number of agents). The non-linear switch from one plateau to the next is due to the fact that according to Gaussian law, the probability of the occurrence of extreme values is low. In fact, each plateau follows a Gaussian law i.e., the middle of the plateau corresponds to the average and the gradient of the plateau gives the deviation. As the model is stochastic, all the replicas belonging to one plateau do not end up with the same proportion of attitude updates.

In case1b, case1c and case1d, negative updates of attitudes appear but they are still fewer in number than the positive ones, because there are no negative updates of attitudes when agents are initiators. However, there are no more plateaus. As  $y > 0$ , stochastic behaviours appear and enable agents to initiate both solutions. Consequently, stochastic behaviours prevent the appearance of plateaus since they were caused by the wish of agents to only initiate the solution they initiated the first time they were engaged in a negotiation in each replica. When  $y = 3$  (case1b) or higher, the situation in which some of the population of agents initiates solution  $A$  and others initiate solution  $B$  is harder to reach. Plateaus can be attractors only if initiators do not receive rejections from the receptors. If they do, their  $x$  value decreases and they are likely to change their initiating behaviour (i.e, to initiate the other solution). And when  $y = 3$ , all the agents have to update their  $x$  value at least to 0.6 for the solution they did not initiate in order to avoid rejecting requests (i.e., even if their attitude positively converged,  $0.5 \times 5 < 3$ ). Consequently, the higher the value of  $y$ , the less it is possible for plateaus to be attractors.

When  $y = 5$  or  $y = 6$ , there is a decrease in heterogeneity between replicas. When behaviours are highly stochastic, the proportion of attitude updates tend to be similar between the replicas because the initiators have an equal probability of choosing solution  $A$  or  $B$ . Nevertheless, choices are stochastic until  $x \times a$  reaches the value of  $y$  for at least one type of solution. Note that when  $y = 6$ , behaviours are only stochastic.

Also, another attractor can emerge (except for  $y = 6$ ), i.e. group polarization. This refers to a state of the system in which all agents of the population ask receptors for the same type of solution ( $A$  or  $B$ ) until the end of

the simulation, and all the receptors accept the requests. Consequently, all agents positively converge to the same attitude, i.e., reach the positive extreme values of  $x$  and  $a$  ( $x = 1$ ,  $a = 5$ ). Group polarization is achieved when the system reaches a situation defined by several characteristics:

- All agents behave according to their attitudes (versus according to  $y$ ). In other words, all agents reach  $x \times a \geq y$ .
- All initiators ask receptors for the same solution.
- All receptors accept the requests.

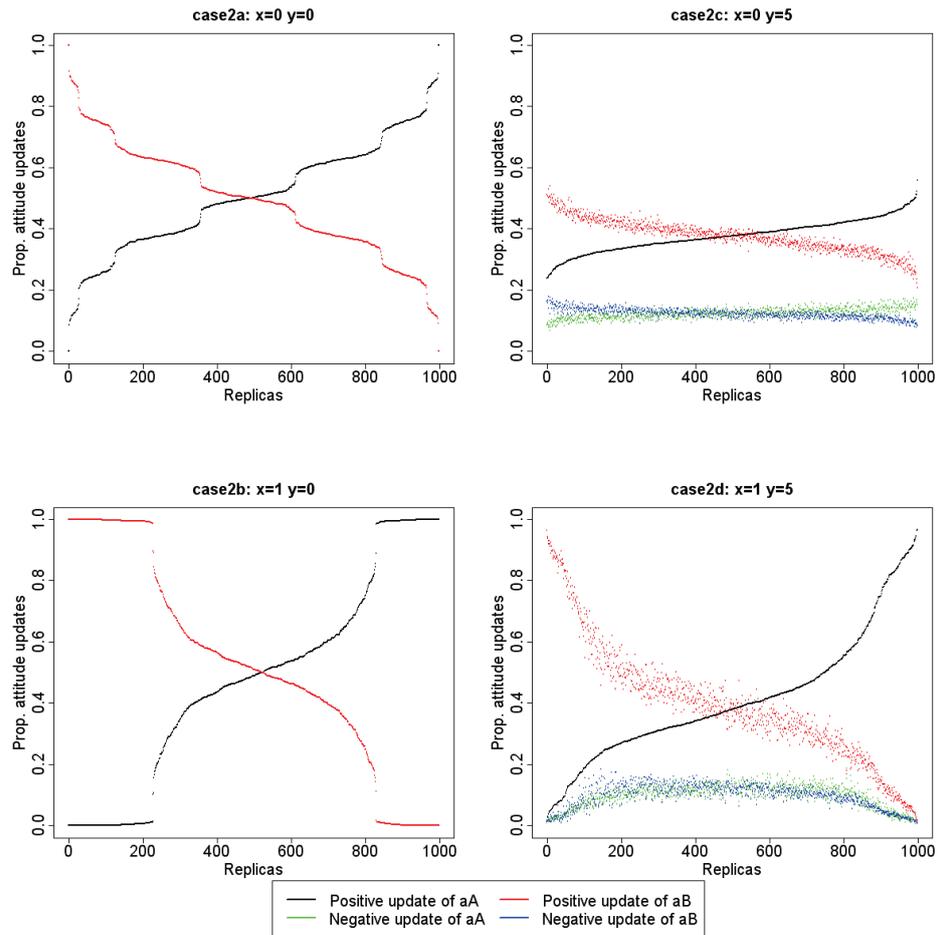
Consequently, all agents reach  $x_A \times a_A \geq y$ , or all agents reach  $x_B \times a_B \geq y$ . Nevertheless these characteristics take time to appear, especially when the value of  $y$  is high. That is why only small differences are apparent between case1c (possible group polarization) and case1d (impossible group polarization).

### 3.6.2 Variation of $x$ and $x \times y$ interaction

We simulated the model taking the extreme values of  $x$  in an example in which  $y = 0$  and in an example in which  $y = 5$ . Table 3 summarizes the initialization of the parameters. Figure 39 shows the proportion of positive and negative updates of attitudes that occurred during negotiations in the four simulations.

Case2	$n$	$x_A$	$x_B$	$a_A$	$a_B$	$y$	Steps	Replicas
Case2a	8	0	0	0	0	0	500	1000
Case2b	8	1	1	0	0	0	500	1000
Case2c	8	0	0	0	0	5	500	1000
Case2d	8	1	1	0	0	5	500	1000

**Table 3** Initialization of parameters for the  $x$  variation and  $x \times y$  interaction.



**Figure 39** Proportion of positive and negative updates of attitudes during the negotiations in case2a, case2b, case2c and case2d.

Regarding case2a in Figure 39, when  $x = 0$ , plateaus are still present as was the case for case1a with  $x = 0.5$  in the previous sub-section. On the other hand, no plateaus correspond to a situation in which 100% of the positive attitude updates were only for one solution for all agents (i.e., group polarization starting from the first time steps). For instance, if the original initiators ask the receptors for solution  $A$ , the receptors accept the requests and update their attitudes accordingly. But as  $x = 0$  for the receptors,  $x_A \times a_A = x_B \times a_B$  and the receptors can still initiate solution  $B$  when they switch to the position of initiator.

When  $x = 1$  (case2b), the plateaus corresponding to a group polarization from the first time steps are still present but no other plateaus are visible. As  $x = 1$  for both solutions and as the condition implies that agents always accept the requests, all agents positively update both of their attitudes and can then initiate both solutions. The plateaus corresponding to a group polarization

from the first time steps correspond to a situation in which the original initiators initiate the same solution. In that case, all attitudes to the negotiated solution become superior to all attitudes to the other solution, and then only the previously negotiated solution will be chosen until the end of the simulation.

Regarding case2c and case2d, case2c shows the same homogeneous situation as case1c. When  $x = 1$  (case2d), the homogeneity is upset because the condition is more favourable for group polarization, i.e., as soon as the value of attitude of all agents reaches 5 for the same solution.

### 3.6.3 Heterogeneity of $y$ among agents

The value of  $y$  can differ among participants. Participants can play different roles during the RPG, and the amount of external constraints (included in  $y$ ) can be associated with the specific role of each participant.

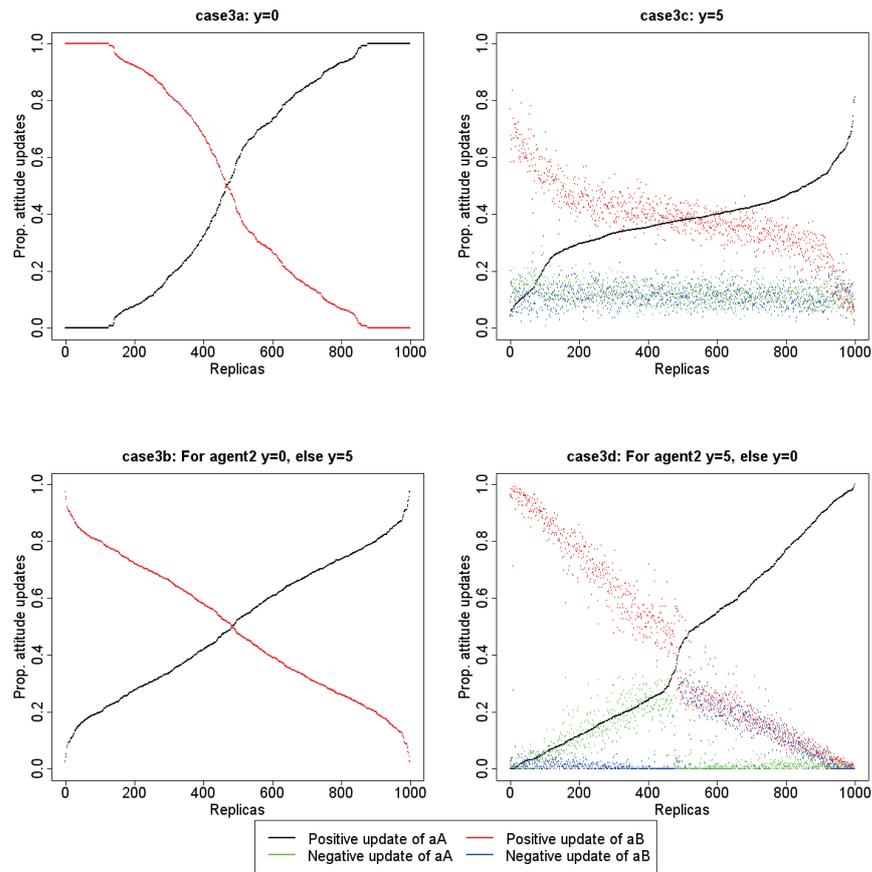
We decided to simulate two conditions to explore the potential effect of heterogeneity:

- A condition with a lambda agent (we chose agent2) with  $y = 0$  and  $y = 5$  for the rest of the population (case3b).
- A condition with agent2 with  $y = 5$  and  $y = 0$  for the rest of the population (case3d).

We focused the results on the proportion of attitude updates by agent2 during the negotiations in which he/she was involved in. We compared these results with the proportion of attitude updates of agent2 when all of the population (including agent2) has the same  $y$  value (case3a and case3c). Table 4 summarizes the initialization of parameters for case3a, case3b, case3c and case3d. Figure 40 shows the proportion of attitude updates by agent2 among the four cases.

Case3	$n$	$x_A$	$x_B$	$a_A$	$a_B$	$y$		Steps	Replicas
						a2	P		
Case3a	8	0.5	0.5	0	0	0	0	500	1000
Case3b	8	0.5	0.5	0	0	0	5	500	1000
Case3c	8	0.5	0.5	0	0	5	5	500	1000
Case3d	8	0.5	0.5	0	0	5	0	500	1000

**Table 4** Initialization of parameters for the test of  $y$  heterogeneity (a2: agent2, P: Population minus agent2).



**Figure 40** Proportion of attitude updates among negotiations by agent2 in case3a, case3b, case3c and case3d.

Comparing case3a with case3b, in case3a, agent2 updates more attitudes to one solution than in case3b, in which the curves are nearly linear. In case3a, agent2 is behaving according to his/her attitudes and tends to initiate only one solution because other agents always accept requests (see sub-section 3.6.1). In case3b, agent2 also behaves according to his/her attitudes, but other agents can reject requests from agent2. Consequently, the  $x$  values of agent2 can increase and decrease which makes it easy for agent2 to switch between solution  $A$  and  $B$  during the initiation stage. Agent2 is more likely to massively update only one of its attitudes when other agents also behave according to their attitudes (which are not negatives in this case).

Comparing case3c and case3d, agent2 performs stochastic behaviours until  $x_A \times a_A \geq y$  or  $x_B \times a_B \geq y$ . In case3c, other agents also perform stochastic behaviours as they always accept requests in case3d. Consequently, it is harder for agent2 to reach and maintain  $x_A \times a_A \geq y$  or  $x_B \times a_B \geq y$  and then to only positively update one attitude. In case3d, agent2 can easily reach this state and consequently positively updates one attitude. There is also an in-

crease in negative updates of attitudes in case3d. In case3c, agent2 can initiate both solutions while  $x_A \times a_A < y$  and  $x_B \times a_B < y$  and an agent in the position of initiator always updates attitudes positively. Thus, the proportion of his/her positive updates is greater than the proportion of his/her negative updates. On the other hand, in case3d, agent2 initiates only one solution in most of the time steps. Hence, agent2 is always in the position of receptor for the other solution, and accepts or rejects randomly. Consequently, the positive and negative updates of the attitude towards the solution not initiated by agent2 always appear in the same proportion.

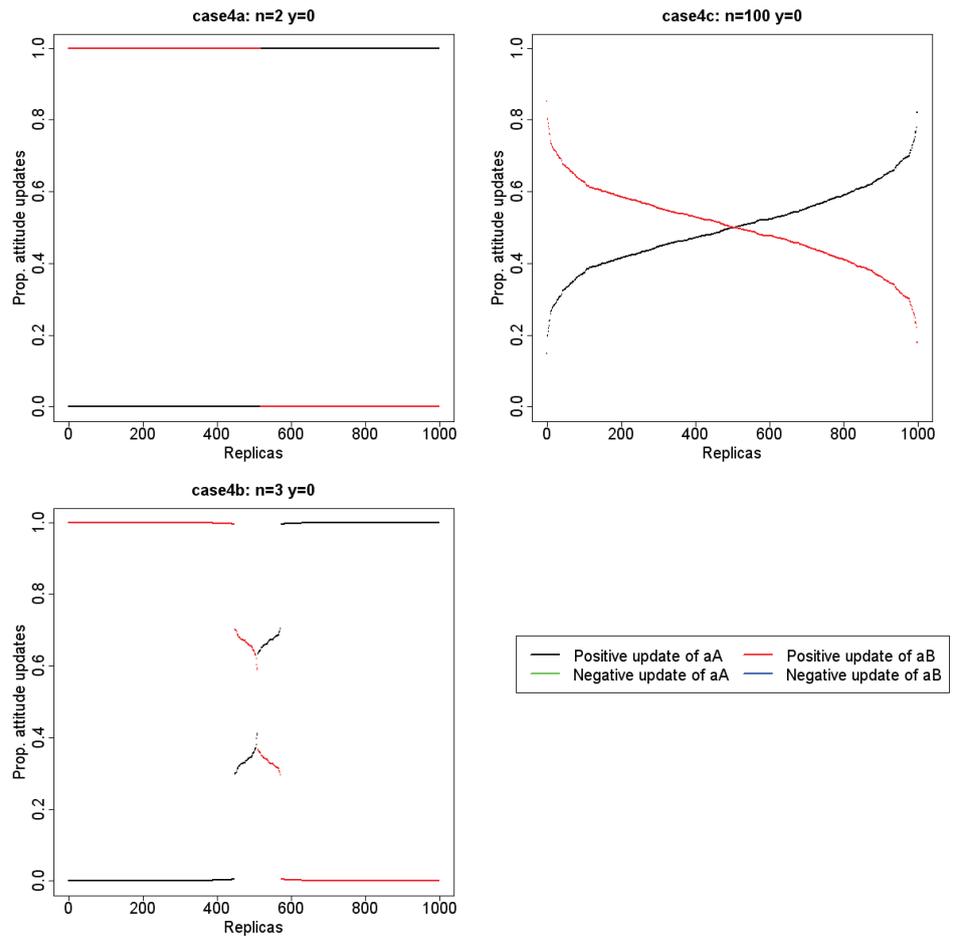
Considering the four cases, when other agents behave according to their attitudes which are positive, agent2 is likely to positively update one of his/her attitudes to a greater extent than the other.

### 3.6.4 Variation of the number of agents

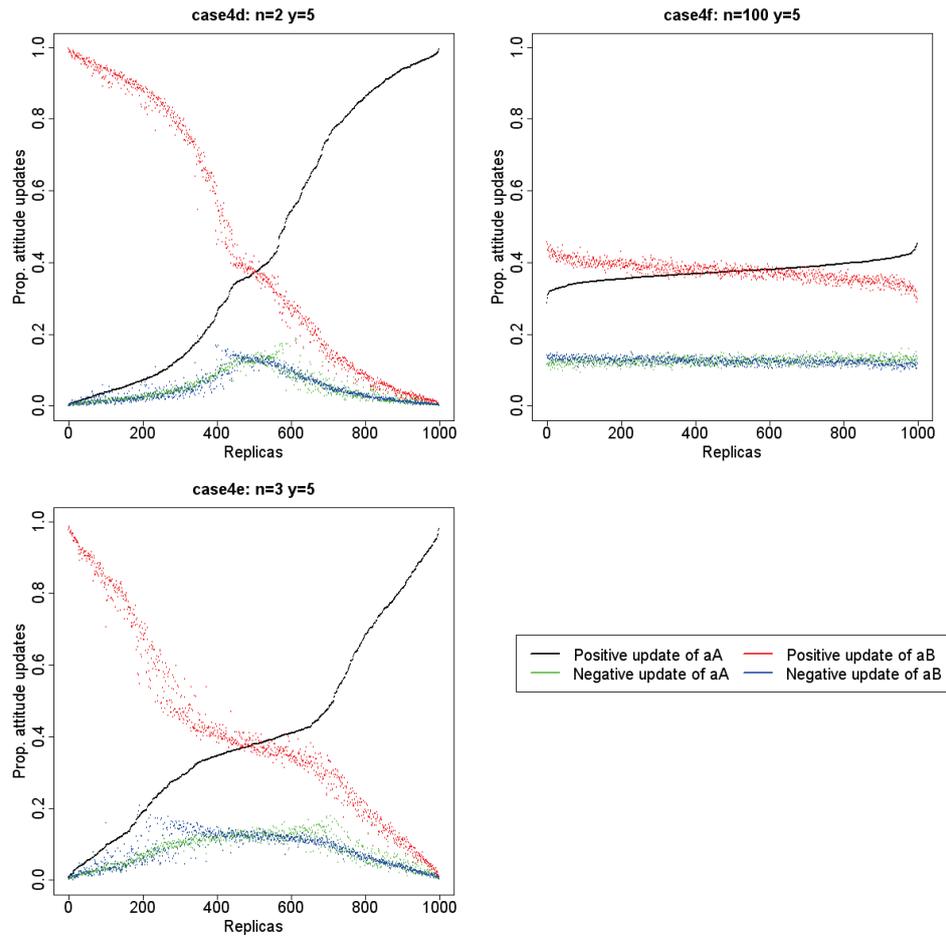
In *CauxAttitude*, we assumed that eight agents could match the settings of *CauxOpération*. In *CauxOpération* (like in other RPGs in companion modeling), the choice of the number of participants is made based on local conditions and the underlying structure of the model, and not because of anticipation of effects that could impact on the outcomes for participants, such as attitudes. We assume that such variation can influence the attitude dynamics in *CauxAttitude*. In this section we assess the effects produced by variation of the number of participants in two conditions: when  $y$  is low and when  $y$  is high. We simulated the model with very few agents (2 and 3) and with many agents (100) in order to get the most extreme effects. Table 5 summarizes the initialization of parameters. Figure 41 shows the proportion of positive and negative updates of attitudes during the negotiations between 2, 3 and 100 agents and with  $y = 0$ . Figure 42 shows the proportion of positive and negative updates of attitudes during the negotiations between 2, 3 and 100 agents and with  $y = 5$ .

Case4	$n$	$x_A$	$x_B$	$a_A$	$a_B$	$y$	Steps	Replicas
Case4a	2	0.5	0.5	0	0	0	500	1000
Case4b	3	0.5	0.5	0	0	0	500	1000
Case4c	100	0.5	0.5	0	0	0	500	1000
Case4d	2	0.5	0.5	0	0	5	500	1000
Case4e	3	0.5	0.5	0	0	5	500	1000
Case4f	100	0.5	0.5	0	0	5	500	1000

**Table 5** Initialization of parameters for the test of the variation of the number of agents.



**Figure 41** Proportion of positive and negative updates of attitudes during negotiations in case4a, case4b and case4c.



**Figure 42** Proportion of positive and negative updates of attitudes during negotiations in case4d, case4e and case4f.

Case4a in Figure 41 shows that when there are only two agents and when the agents behave according to their attitudes, only one solution is discussed and subsequently only one attitude is updated (group polarization). This is because when the first agent asks for a solution, the second accepts and updates his/her corresponding attitude. When the second agent then needs to initiate, he/she will do so according to this attitude. When three agents are involved (case4b), only one solution is also usually discussed but in approximately 10% of the replicas both solutions are discussed: the agent who did not take part in the negotiation can still initiate the solution not previously discussed. With 100 agents (case4c), both solutions are discussed and the variation between replicas is linear.

Case4d in Figure 42 shows that when there are only two agents involved and when their behaviours are stochastic until  $x_A \times a_A \geq y$  or  $x_B \times a_B \geq y$ , in the majority of replicas, only one attitude is updated. In fact,

when both agents reach  $x_A \times a_A \geq y$  or  $x_B \times a_B \geq y$ , they will discuss and accept requests only concerning this solution. This effect is reduced when there are three agents, and completely disappears when 100 agents are involved. The fewer the agents, the easier it is for all agents to reach  $x_A \times a_A \geq y$  or  $x_B \times a_B \geq y$ .

---

### 3.7 Discussion of the results of simulations and their implication for RPGs

In this section, we come back to the results of simulations of *CauxAttitude* and explain how these results can help understand the influence of the game setting on outcomes in situation such as *CauxOpération* sessions. As explained earlier, we designed simulations based on the effects of game settings that *CauxAttitude* was already able to explore through variation of its parameters.

Globally, our results displayed different shaped outcomes for possible attitude updates. These shapes represent a set of the possible outcomes with respect to different parameter initialization. The differences between the shapes indicate the effects of the game setting which we investigated through the different initialization of parameters. In addition, the relative simplicity of the model enabled us to understand the processes responsible for creating the different shapes.

The shapes of dynamic outcomes identify the attractors that the underlying mechanisms can lead to. In summary, our results explain how a game setting can have effects (here on attitudes) and how it can determine the dynamics of the system.

Regarding the variation of  $y$  in case1, it will be recalled that, for the agent,  $y$  is the weight of all factors other than attitudes that determine behaviours. It is the aggregation of subjective norms, perceived behavioural control and all other factors that compete with attitude in influencing behaviours. For the participants in a RPG session, the value of  $y$  can be due to the choice of the population of participants by the game designer, e.g., people who strongly or weakly account for perceived behavioural control of this topic. It also can be due to game constraints the participants face, e.g., the rules that state which role to endorse, whether funding is available (or not) and so on. In *CauxAttitude*, a high value of  $y$  captures conditions in which these factors strongly influence behaviours, whereas a low value of  $y$  captures conditions in which these factors have a weak impact on behaviours.

In the results of simulations, we identified three differently shaped representations of outcomes:

- Plateaus: the range of possible outcomes is framed in succession of plateaus revealing the number of agents who initiate each solution. This framing is observed when agents only behave according to their attitudes.

- Linear: the range of possible outcomes gives all the possible final proportions of positive updates of attitudes among the replicas. This occurs when agents behave both according to their attitudes and to other factors.
- Homogeneous: the range of possible outcomes is framed in homogeneous proportions of positive updates of attitudes. This framing is observed most often when factors other than their attitudes influence the behaviour of the agents.

In a case in which a population of individuals has no previous attitude towards the solutions proposed in a negotiation process like in *CauxAttitude* (original attitudes are equal to 0), the variation in the weight of factors other than attitudes in influencing behaviours induces different framings expressed by different range of possible outcomes.

Regarding the underlying processes responsible for these attractors, plateaus are due to the difficulty agents have in initiating both solutions when they only behave according to their attitudes. The introduction of additional factors that influence behaviours (captured by adding stochastic behaviours in *CauxAttitude*) means the range of what is possible can be extended because agents are able to initiate both solutions when they do not behave according to their attitudes. Nevertheless, if the weight of the additional factors is too high, individuals will have difficulty obtaining preferential behaviours and will tend to update their different attitudes to the same extent, which is also a framing.

In RPGs in the field of companion modelling, the game designer chooses the population of participants and designs the rules of the game based on his/her own constraints. For instance, as RPGs are new methods of resource management and are not yet very well known, it may happen that some stakeholders are reluctant to participate. In this case, the number of participants needed to hold a RPG session may simply be the number of potential participants who agreed to come. Nevertheless, even though the game designer's freedom of movement regarding the game design is sometimes limited, as our results show, it can lead to an implicit orientation of game session outcomes and hence to manipulation of participants' attitudes.

Regarding the variation of  $x$  (weight of the factors that imply attitude as a predictor of behaviour) and the interaction  $x \times y$  in the case2, the different initial values of  $x$  can be due, as well as  $y$ , to:

- The choice of the population: e.g., strongly or weakly motivated people, people with a high degree of confidence (or the reverse) in their attitude;
- Game constraints set by game designers: e.g., the game may encourage (or discourage) the expression of attitudes when requiring discussion among players.

When agents have a low value of  $x$ , the shapes of dynamic outcomes are mostly influenced by the value of the weight of factors other than attitudes

in influencing behaviours: plateaus and the homogeneous situations again appear. Conversely, a high value of  $x$  favours group polarization and influences the outcome dynamics by favouring positive attitude updates of one solution. Once again, the game designer's freedom of action in recruiting participants can also influence the attitudes of participants depending on the factors included in  $x$ , such as confidence or motivation.

In *CauxOpération*, heterogeneity of  $y$  between agents refers to the choice of a heterogeneous population or to different designs for roles implying different game constraints. According to the results of our simulations, when a participant is surrounded by a homogeneous population of participants behaving according to their attitudes, the participant is more likely to form a preferential attitude and to behave according to this attitude, even when he/she is strongly influenced in his/her behaviours by factors other than attitudes. In this case, the influence of others also increases the negative updates of attitudes of the isolated participant. In summary, our results suggest that whatever an isolated participant thinks and acts, the majority has implicit power to apply pressure that can influence the range of possible outcomes for the minority.

Regarding the variation in the number of agents, results of simulations suggest that whether or not participants behave according to their attitudes, the fewer the participants there are, the more group polarization tends to emerge. Although the number of participants is chosen in accordance with local needs the game designer should keep in mind the potential influence of this factor on attitude change.

---

### 3.8 Conclusion

*CauxAttitude* is a theoretical model that uses a specific point of view through filters of chosen social psychology theories including simplification. Thus, our model provides knowledge on the mechanisms underlying the effects of game settings. Because the model is very simple, it can capture some of the underlying cognitive and social mechanisms that may occur in RPGs, and hence explore how game setting effects can direct a game toward specific outcomes. We chose to focus on the attitude change processes that occur in one particular RPG, *CauxOpération*. We developed our model based on individual processes of attitude change and attitude-behaviour relationships analyzed in social psychology. We modelled interactions between agents on the basis of observations, questionnaires and interviews with participants during real game sessions of *CauxOpération*.

From a methodological point of view, to cope with the lack of laboratory data, we designed our model in two stages. Individual processes are rep-

resented on the basis of simplifications of widely accepted psychological theories. Inter-individual processes in the model were designed based on field observations. This proved to be an appropriate way to develop a coherent model and to improve our understanding of a social system that accounts for certain psychological processes.

Regarding the results of simulations based on variations of the parameters, we show that some game settings have a significant impact on the attitude dynamics and may consequently generate biases in game outcomes:

- The choice of the population of participants and specific game constraints influence factors other than attitude in framing participants' behavioural patterns. Hence the participants' attitudes are limited to a subset of what is theoretically possible. Game settings also frame attitudes which themselves influence participants' behavioural patterns, thus reducing the range of possible outcomes, including cases of group polarization when this influence is high.
- At a collective level, an isolated participant is also pushed towards a preferential attitude when the majority of participants behave according to their own attitudes, without really taking other factors into account.
- The number of participants/agents affects how the group reaches polarization: the smaller the number, the higher the probability of group polarization.

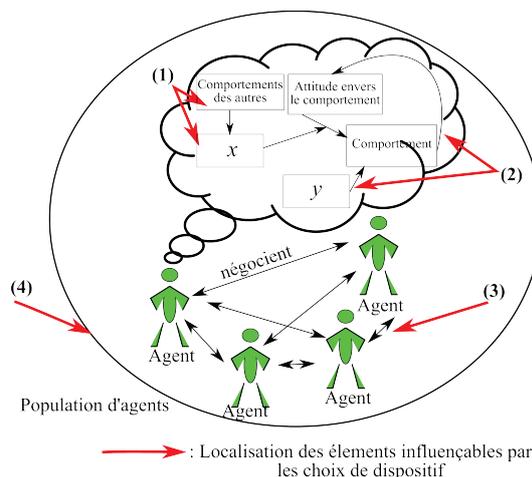
Our results show that the joint use of social psychological theories and agent based simulations can provide new ways of considering game design. Exploration of scenarios through simulations strengthens the original game design through *ex ante* identification of potential biases. For example, the number and abilities of the participants in the RPG are generally chosen based on local constraints. As a result, fulfilling the objectives of the game designed to fit local constraints may generate undesirable changes in attitude (in RPGs where attitude change may be the specific objective of the game but also when attitude change is only a side effect of the RPG). Being aware of these possible biases, the game designer can try to exert less influence/introduce fewer biases when designing the game.

For further studies, we need to add new parameters to the model to investigate other kinds of game settings, such as participants' feedback on their actions or new conditions of interactions.

We developed *CauxAttitude* based on a specific game, *CauxOpération*. However, as mentioned in the introduction, RPGs and other facilitated discussion sessions are being increasingly used for so-called "wicked problems" (Rittel & Weber, 1973). *CauxAttitude* is potentially suitable for the whole range of artefacts as long as they can be reduced to a series of elementary binary negotiations. Upgrading to negotiations with  $n$ -participants could be explored quite easily to fit a wide range of situations.

#### 4. Explorations possibles d'effets de cadrage en fonction des éléments de *CauxAttitude* directement influençables par des dispositifs

Nous avons vu dans la section 5.3.1 du Chapitre 2 que les dispositifs de jeux et leurs choix d'implémentation sont susceptibles d'influencer les dynamiques d'attitudes de manière directe ou indirecte, suivant la zone de l'impact qu'ils exercent dans le système. Dans cette section, nous précisons les différents éléments de *CauxAttitude* qui qualifient ces zones pour déterminer la manière dont *CauxAttitude* est adapté pour explorer différents effets de dispositifs sur les dynamiques d'attitudes. Pour ce faire, nous nous appuyons sur plusieurs exemples de dispositifs que nous avons jugé potentiellement vecteurs de cadrages des dynamiques d'attitudes à partir des observations des sessions de jeu, des questionnaires et des entretiens réalisés après les sessions. Ces exemples contiennent des dispositifs essentiels à la représentation de la situation (i.e., inclus dans *CauxAttitude*) que nous avons explorés dans la section précédente, et d'autres dispositifs à implémenter dans *CauxAttitude* si on cherche à les explorer. La Figure 43 reprend la Figure 15 présentée dans la section 5.3.1 du Chapitre 2 en y précisant le modèle interne des agents dans *CauxAttitude*. Les zones pointées peuvent être impactées par différents dispositifs et correspondent à : (1) à l'intérieur des composants du modèle cognitif des agents, (2) au niveau des liens entre les composants du modèle cognitif des agents, (3) au niveau des interactions entre agents, (4) et au niveau de la population d'agents. Dans les sous-sections qui suivent, nous illustrons différents exemples pour chaque zone.



**Figure 43** Éléments de *CauxAttitude* directement influençables par les dispositifs vecteurs de cadrages (eux-mêmes influençables par les concepteurs et/ou les animateurs de sessions de jeux).

---

#### 4.1 À l'intérieur des composants du modèle cognitif des agents

Dans cette zone, les choix d'implémentations de dispositifs (ou les choix de mises en œuvre) sont représentés par la variation des valeurs initiales des paramètres de *CauxAttitude* ( $x, y$  ainsi que les attitudes initiales des agents). Les choix faits ici par le concepteur ou l'organisateur ont alors des influences directes sur la zone (1) de la Figure 43. Cette variation permet d'explorer des choix de mises en œuvre tels que le choix de la population de participants que nous avons explorés dans la section précédente. L'hétérogénéité ou l'homogénéité d'une population au regard des attitudes initiales des participants, des poids de celles-ci, ou encore des valeurs de  $y$  (qui comprend des facteurs internes aux individus, tels que le contrôle perçu du comportement et les normes subjectives) conduit à des dynamiques spécifiques. Par exemple, si l'ensemble des participants d'un groupe a une attitude plus favorable sur la solution  $A$  que sur la solution  $B$ , alors la solution  $A$  risque d'être plus discutée, et en conséquence l'attitude correspondante sera plus révisée.

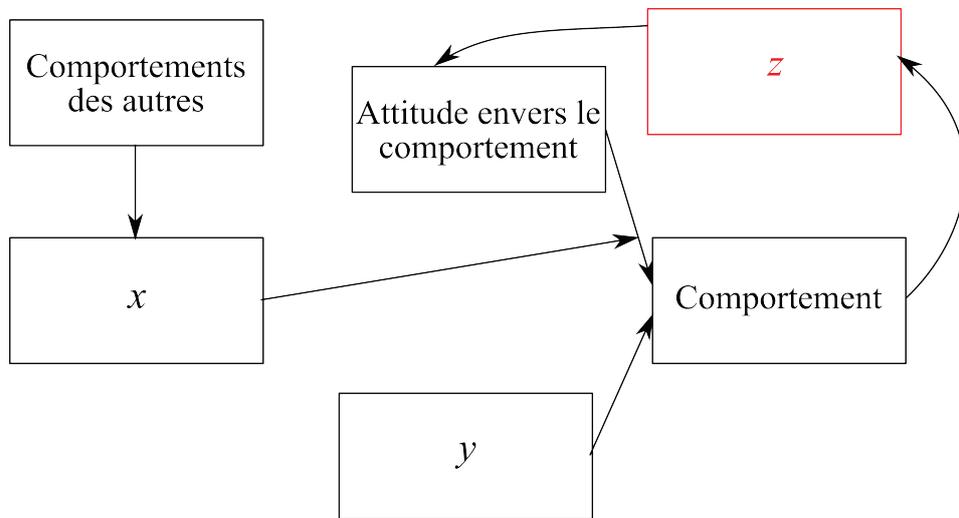
---

#### 4.2 Au niveau des liens entre les composants du modèle cognitif des agents

Certains dispositifs de jeux ont une influence directe sur les liens entre les composants de *CauxAttitude*, i.e., les influences entre les différents facteurs du modèle. Prenons l'exemple de l'influence exercée par les comportements sur les attitudes. Dans *CauxAttitude*, nous avons simplifié cette influence en posant une relation déterministe : un comportement effectué par un agent implique systématiquement une révision de son attitude de manière congruente avec le comportement. Cette simplification a été réalisée dans l'objectif de développer un premier modèle simple et pour pouvoir observer par simulation les effets les plus élevés possibles provoqués par des choix de dispositifs spécifiques. Néanmoins, bien que les comportements d'individus puissent influencer leurs attitudes, ce n'est pas toujours le cas. La littérature sur laquelle nous nous sommes reposés pour modéliser ce lien (Festinger, 1957; Janis & King, 1954) montre des changements d'attitudes mais ces changements ne sont pas systématiques, et se réalisent dans les conditions particulières des expérimentations. Le contexte et les facteurs internes des individus nécessaires pour qu'un comportement influence une attitude restent cependant mal connus (cf. section 4.1 du Chapitre 6).

Dans cette incertitude, nous faisons l'hypothèse que *CauxAttitude* est un cas particulier d'un modèle plus générique contenant un paramètre  $z$  ( $z \in [0;1]$ )

régissant le poids de l'influence des comportements sur les attitudes (Figure 43).

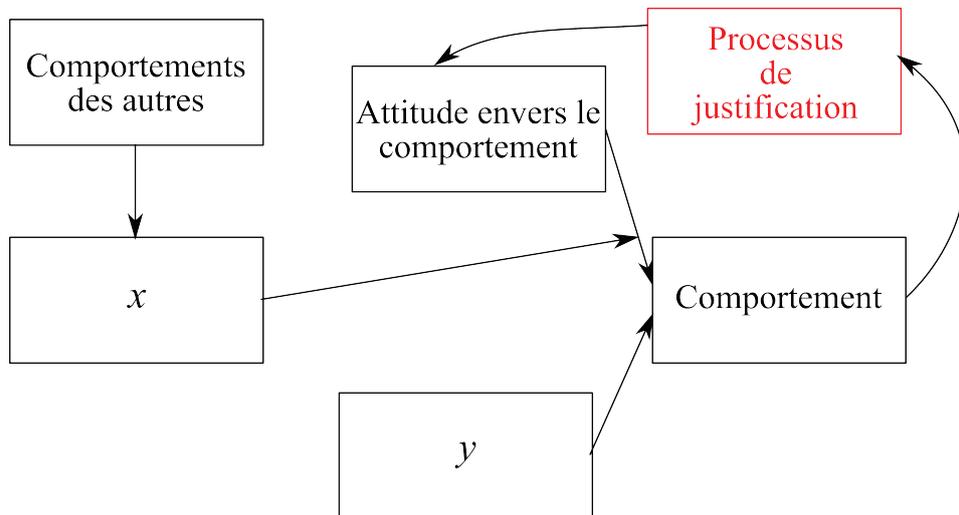


**Figure 44** Ajout du paramètre  $z$  dans le modèle individuel de *CauxAttitude*. La zone en rouge indique la modification de *CauxAttitude*

$z$  représenterait l'agrégat des facteurs ayant un impact sur le poids de l'influence des comportements sur les attitudes. Dans le cas de *CauxAttitude*,  $z$  est égal à 1. Nous faisons l'hypothèse de l'existence de facteurs favorisant le changement d'attitudes, et d'autres favorisant la résistance au changement. Parmi les facteurs favorisant la résistance au changement, certains sont connus. Par exemple, un individu en état de dissonance cognitive peut rationaliser son comportement sans changer son attitude, mais en justifiant son comportement à l'aide de facteurs externes. Le protocole utilisé dans l'étude de Festinger & Carlsmith (1959) illustre bien cet effet : des participants doivent réaliser une tâche ennuyeuse pendant une heure, puis doivent faire l'éloge de cette tâche à un étudiant. Cette situation crée une dissonance entre l'attitude du participant (attitude négative envers la tâche) et son comportement (faire les éloges de la tâche). Les participants ont tendance à réduire cette dissonance par un changement d'attitude (ils deviennent favorable à la tâche). Par contre, le changement ne s'observe plus lorsque les participants sont rémunérés pour effectuer l'expérience, car ils peuvent justifier leur comportement (i.e., justification externe du comportement).

Des phénomènes similaires peuvent se produire dans les jeux de rôles. Dans *CauxOpération* par exemple les participants peuvent être amenés à se faire financer une solution de lutte contre le ruissellement qui ne l'est habituellement pas. Et plus globalement, nous faisons l'hypothèse que la situation virtuelle dans laquelle se réalisent les comportements puisse inciter à la justi-

fication. Si on cherche à explorer les effets de dispositifs incitant à la justification sur les dynamiques d'attitudes, il est possible de réduire  $z$  à un seul facteur. On suppose alors une situation pour laquelle les autres facteurs inclus dans  $z$  sont non pertinents (i.e., poids égal à zéro). La Figure 45 illustre une réduction de  $z$  à un processus de justification.



**Figure 45** Réduction de  $z$  à un processus de justification pour explorer les effets des dispositifs incitant à la justification externe des comportements.

---

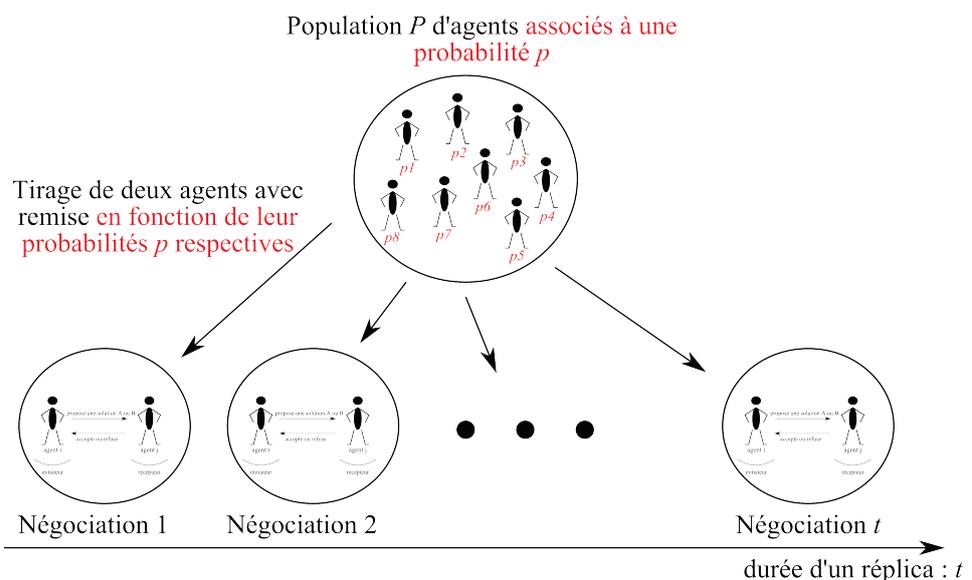
### 4.3 Au niveau des interactions entre agents

Les observations de sessions de *CauxOpération* ont révélé que la plupart des négociations effectuées entre les participants faisaient intervenir au moins le maire ou l'animateur de syndicat de bassin versant. Les consignes associées à leur rôle, i.e., gestion du ruissellement pour l'animateur et protection du village du ruissellement pour le maire, ainsi que l'argent qui leur est alloué pour la gestion du ruissellement, peuvent expliquer cette observation. Ces rôles ont un impact sur les interactions entre agents en favorisant l'initiation de négociations pour gérer les problèmes ainsi qu'en favorisant les sollicitations des agriculteurs pour se faire financer l'implémentation de solutions de lutte. Dans un jeu de rôles, les choix associés à la définition des rôles et à leur diversité sont donc des vecteurs potentiels de cadrages des négociations, et ces cadrages sont à leur tour des vecteurs d'influence des dynamiques d'attitudes.

D'autres types de choix d'implémentation de dispositifs interviennent également dans cette zone, tels que les choix liés à la spatialisation du territoire virtuel. Les observations ont montré que les agriculteurs ayant pris part

aux négociations étaient majoritairement ceux qui possédaient des parcelles de terrain sur l'axe de ruissellement. Nous avons aussi recueilli des témoignages d'agriculteurs qui expliquaient leur absence de participation aux négociations du fait qu'ils ne se sentaient pas concernés par les problèmes car leurs parcelles étaient en dehors de l'axe. Suivant le même processus que l'exemple précédent, les choix faits par le concepteur pour représenter le territoire et pour attribuer chaque parcelle aux différents agriculteurs peut cadrer la sélection des participants pour négocier, et par transitivité, peut cadrer les dynamiques d'attitudes.

Un moyen d'explorer les effets de ces choix (consignes de rôle, argent alloué pour la gestion de problèmes discutés en négociation, localisation des parcelles des agriculteurs) à l'aide de *CauxAttitude* serait d'attribuer des probabilités différentes à chaque agent pour le tirage du couple d'agents négociant (Figure 46). Par exemple, si sur huit rôles, deux incitent les participants à initier des négociations, un moyen d'explorer ce choix est de fixer une probabilité forte de tirage à deux agents sur les huit pour initier une négociation.



**Figure 46** Modifications des processus de tirages des agents dans les séquences de négociations pour explorer les effets de choix de dispositifs tels que les choix de consignes attribués aux rôles, l'argent alloué pour la gestion des problèmes et la localisation des parcelles des agriculteurs.

#### 4.4 Au niveau de la population d'agents

Cette zone correspond aux effets des choix du nombre de participants par session de jeu dont nous avons exploré les effets dans la section précédente. Une

taille de groupe faible procure plus de poids à la propagation des effets des premières négociations (solution discutée, orientation positive ou négative des attitudes) et augmente les probabilités de rencontres entre les participants/agents. Les dynamiques d'attitudes sont alors plus sensibles aux premiers événements.

---

#### 4.5 Sur plusieurs niveaux simultanés

Certains dispositifs ont des effets directs sur plusieurs niveaux simultanés. Prenons l'exemple d'un dispositif de feedback renvoyé aux participants sur les conséquences de leurs comportements. Dans certains jeux de rôles (e.g., Souchère et al., 2010; Barreteau & Abrami, 2007; Mathevet et al., 2007), un dispositif de feedback est mis en place pour permettre aux participants de mesurer les conséquences de leurs actions. Dans *CauxOpération*, les actions des participants sont implémentées dans un modèle informatique, qui calcule les conséquences sur le ruissellement produit ainsi que sur les revenus. Pour mettre en place ce dispositif, le concepteur de jeu est face à plusieurs choix de paramétrage. Il peut agir sur :

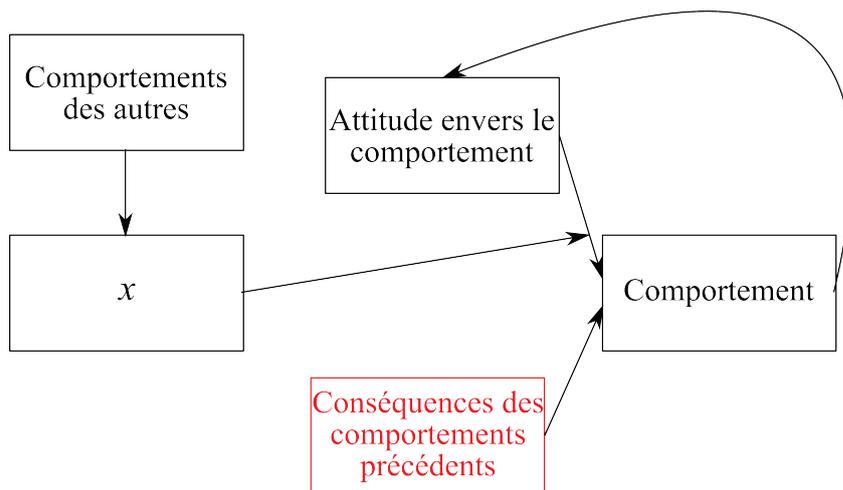
- La fréquence de diffusion et la quantité d'information : les informations peuvent être transmises après chaque action effectuée par un participant, ou alors à l'issue d'une série d'actions.
- La précision de l'information : les messages peuvent contenir des informations sur les conséquences des actions de l'ensemble des participants ou alors peuvent être individualisés.
- Les destinataires de l'information : les messages peuvent être transmis à tout le groupe ou uniquement à certains participants.
- La difficulté d'atteindre un feedback positif : il est plus ou moins difficile pour les participants d'obtenir un feedback positif selon les choix du mode de calcul du feedback faits par le concepteur.
- La saillance des informations transmises : les informations peuvent être communiquées verbalement, par écrit, présentées parmi d'autres informations etc.

Dans *CauxOpération*, un dispositif de feedback est implémenté et transmet notamment des informations sur la quantité de ruissellement produit sur le bassin versant, dépendante des actions des participants. Les informations sur le ruissellement sont transmises une fois par année virtuelle (*CauxOpération* simule une période de quatre années) au participant ayant le rôle du maire, qui a le droit de relayer l'information aux autres s'il le désire. Elles représentent les conséquences de l'ensemble des actions des participants sur une année. La probabilité d'obtenir un bilan positif (ruissellement faible) pour un même ensemble d'actions effectué dépend de l'intensité des évé-

ments climatiques. Dans le jeu, cette intensité a été fixée a priori selon la séquence de quatre années suivante : faible, forte, faible, forte.

Concernant *CauxAttitude*, ce dispositif entraîne des effets à l'intérieur d' $y$  car les informations reçues peuvent être mobilisées pour effectuer des décisions, et ainsi concurrencer les attitudes des participants dans l'influence des comportements. Rappelons que  $y$  correspond au poids de l'ensemble des facteurs autres que les attitudes dans l'influence des comportements. Ce paramètre a un statut particulier car il regroupe des facteurs internes aux individus, tels que le contrôle perçu du comportement, normes subjectives, ainsi que d'autres facteurs qui expliquent ce qui n'est pas expliqué par la « theory of planned behavior ». Il regroupe aussi des facteurs externes tels que la somme d'argent disponible pour effectuer un comportement, ou les conséquences des comportements précédents. Dans *CauxAttitude*, étant donné que nous ne sommes pas rentrés dans les détails des sous-facteurs d' $y$ , nous avons simplifié le processus de décision en appliquant une règle de décision aléatoire.

Pour explorer les effets d'un dispositif de feedback sur les dynamiques d'attitudes dans *CauxAttitude*, il est possible de reproduire la même procédure que pour l'exemple de la section 4.2 pour lequel on proposait de réduire le paramètre virtuel  $z$  à un processus de justification. Dans ce nouveau cas, on peut réduire  $y$  au poids du feedback dans l'influence des comportements, en supposant une situation pour laquelle les autres facteurs de  $y$  sont non pertinents (Figure 47). Par contre, dans ce cas, il faut également revoir le processus de décision des agents lorsqu'ils agissent selon  $y$  (i.e., lorsque  $x \times a < y$ ) et, pour remplacer le processus aléatoire, modéliser des règles de décisions au regard du feedback reçu.



**Figure 47** Réduction de  $y$  à un facteur : « conséquences des comportements précédents » pour explorer les effets d'un dispositif de feedback.

Ainsi, l'implémentation de ce dispositif de feedback dans *CauxAttitude* a des effets directs sur les zones (1) et (2) de la Figure 43. Au niveau des composants du modèle cognitif des agents, la variation de  $y$  (zone (1)) correspond à la variation du poids du feedback dans les décisions des agents. Le poids du feedback dépend des choix d'implémentations faits par le concepteur, tels que la saillance de l'information diffusée. Au niveau des liens entre les composants du modèle cognitif des agents, la modification de la règle de décision aléatoire en une règle de décision en accord avec le feedback reçu se situe au niveau du lien entre  $y$  et le comportement (zone (2)).

Dans le chapitre suivant, nous illustrons l'exploration des effets d'un dispositif implémenté dans *CauxAttitude* en prenant l'exemple de ce dispositif de feedback.

# Chapitre 5

## Exploration des effets d'un dispositif de feedback sur les dynamiques d'attitudes

Ce chapitre correspond à l'article en cours de soumission à la revue *Social Science Computer Review*. Ce qu'on entend par « attitude consensus » dans cette section correspond aux mêmes conditions que ce que l'on désignait comme « group polarization » dans la section 3 du Chapitre 4. Dans les simulations de notre modèle, les agents sont dans une condition de consensus stable seulement lorsqu'ils sont polarisés. Dans nos simulations, un état de polarisation de groupe est donc également un état de consensus. Nous avons fait ce choix de changement de terme pour être plus comparables avec les études de dynamiques d'opinions, les conditions de consensus étant les indicateurs les plus utilisés dans cette littérature.

## **Agent Based Simulation of Feedback in Role Playing Games: Increase in attitude consensus**

**Abstract.** Feedback concerning the consequences of their behavior is given to participants in many simulation games used as participatory methods for environmental and organizational management. Games designers need to be aware of the influence of experimental settings that we call framing effects, including feedback provided during simulation games, in order to fine tune the design and use of their games. In this study, we explored via agent based social simulation the effects of the framing produced by feedback on participants' attitudes. We incorporated feedback in *CauxAttitude*, an agent-based model designed and implemented to simulate attitude dynamics in a simplified situation representing a role playing game (RPG) named *CauxOpération*. In this paper, we compare the attitude dynamics we observed by simulating our new model, *CauxFeedback* (i.e., *CauxAttitude* including feedback) with the attitude dynamics observed in *CauxAttitude* simulations. Results showed that feedback facilitates the positive polarization of agents' attitudes toward the same solution (attitude consensus). Moreover, this effect is reinforced when the feedback (positive or negative) varies during the course of the simulations. We also characterized the underlying mechanisms responsible for this phenomenon in the model.

**Keywords:** agent-based social simulation, role playing game, attitude-behavior relations, attitude change, behavior consequences, feedback, consensus.

---

### **1. Introduction**

Simulation games have become recognized tools to investigate and improve natural resources management (NRM) (e.g., Duke & Geurts, 2004; Vennix, 1996), and more generally to understand and foster organizational change (e.g., De Caluwé et al., 2012; Tsuchiya, 1998). Many are designed and used empirically (e.g., Souchère et al., 2010), according to the needs in the field. For instance, when games are co-designed with stakeholders (e.g., games designed according to the ARDI methodology (Etienne, Du Toit, & Pollard, 2011), game settings are determined according to stakeholders' contributions. Also, when games are designed to match reality, designers choose and calibrate games settings in accordance with what they observe in real systems. From a realistic point of view, designers expect to have unknown patterns emerge from real systems. The game settings governing these games include the selection of attendees, time management, a facilitation protocol, provision

of information about the context of the situations being simulated, or selection of indicators produced by the game used as feedback on behavior consequences provided to participants during the course of the game.

Such design methods do not consider the influence of the game settings and their calibration on the dynamics responsible for the outcomes we observe in game sessions. Outcomes include knowledge acquired by participants, achievability of collective solutions, or changes in the participants' representations of the state of the world. However, we assume that the experimental game settings included in the different features of the games may frame these outcomes. By framing, we mean bring about a quantitative (e.g., increase or decrease in reachable collective solutions) or qualitative (e.g., knowledge used for taking decisions) change in the space of possible outcomes of the games. We consider framing to be a structural constraint to the set of possible outcomes. The effects of framing on the dynamics generated by the choice of game settings and their calibration have not been investigated to date. We assume that these framing effects have to be made visible to better understand the outcomes of simulation games.

One major setting used in simulation games is feedback. For computer simulation games, “the perpetual feedback between a player's choice, the computer's almost instantaneous response, the player's response to that response, and so on - is a cybernetic loop, in which the line demarcating the end of the player's consciousness and the beginning of the computer's world blurs” (Friedman, 1999). RPGs in companion modelling (e.g., *CauxOpération* (Souchère et al., 2010), Pieplue (Barreteau & Abrami, 2007), or Butorstar (Mathevet et al., 2007)) are supported by simulation models (computerized, or through abacus or any other means available to the facilitator) which compute the consequences of participants' actions and generate feedback that participants take into account when taking decisions.

Feedback can also appear in different ways in simulation games. For instance, simulation games in natural resource management lead stakeholders to enhance their reflexivity thanks to a better understanding of their involvement in feedback loops, the consequences of their actions for others participants' interests and so on (Barreteau, Le Page, & Perez, 2007). In this case, feedback is meant to favor a type of learning that will be more useful to the participants after the game session than during the game session itself. This kind of feedback is situated at another time scale compared to feedback of behavior consequences, that is more useful for participants making decisions during the game session. In this paper we explore feedback of behavior consequences, and we only refer to this type when we use the word feedback.

Dubois et al. (2013) point out that the game settings used in RPGs may frame changes in attitudes during a game session. Here, "attitude is a psychological tendency that is expressed by evaluating a particular entity with some degree of favor or disfavor" (Eagly & Chaiken, 1993). Using an agent based social simulation protocol, the above authors (Dubois et al., 2013) showed that particular game settings, e.g., the choice or the number of participants involved in a RPG session, can frame the dynamics of changes in participants' attitudes that occur in a RPG like *CauxOpération*. One of the main objectives of RPGs used for serious purposes is to put participants into situations so they can learn by doing in a safe environment. These authors aimed to explore framing effects on learning caused by behaviors. To this end, they focused on one of the main behaviors that occur in RPGs (negotiation) and on one type of learning (attitude change).

In this study, we assume that the use of feedback can also be viewed as a game setting chosen by the game designer that can influence attitude change.

We also assume that attitude change is a key indicator of important framings. *Ex post* interviews with participants showed that attitudes expressed in *CauxOpération* are similar to the attitudes they have in real life (for the participants involved in similar situations in real life). Practitioners who use RPG to foster social change assume that this continuity of attitudes is true beyond the duration of RPG sessions. Taking this assumption seriously, then if the changes in attitudes that occur during RPGs can be framed by the game settings, this may involve the participants' real life attitudes. This is not the case for behavioral indicators, as behaviors completed in game sessions have no impact on real systems: games are useful to safely explore the consequences of behaviors patterns on the dynamics of collective processes. We thus decided to explore framings generated in the use of RPGs in the field of studies of attitude change, which is increasingly incorporating computational approaches, often named opinion dynamics (see Castellano et al., 2009 for a review). The main models used in the field are very theoretical, but many studies are applied to diverse topics, including in the literature on organizations. For instance, Costa & De Matos (2002) analyzed how changes in attitudes in organizations are influenced by the communication channels used and by the timing of information flows. These authors focus on attitude change in real life organizational systems and try to characterize the factors leading to changes in attitudes in organizations. Studies on opinion dynamics enabled Dubois et al. (2013) to develop a model in accordance with existing principles (e.g., models based on thresholds) but that to suit the investigation of the use of RPGs, needed to be expanded to include the effects of behaviors on attitudes.

Empirically, it is part of game facilitator's tasks to deliver information to participants about the state of the world that result from the participants' actions, and possibilities for direct assessment of the consequences of actions by participants depend on the game design chosen. Our assumption that feedback can influence attitudes in simulation games is supported by a model characterizing a simulation protocol that promotes attitude change (Williams & Williams, 2010). According to these authors, individuals enrolled in a simulation protocol are more likely to change their attitudes when they are free to create and execute a personal strategy and receive feedback.

In this study, our aim was to characterize a way for feedback to frame the outcomes of participants' attitudes. With the help of a simulation protocol, we characterized examples of individual and social mechanisms underlying the framing effects produced by feedback in a situation representing the context of a RPG.

To explore feedback effects, we designed an agent-based model, *CauxFeedback*, which is a derivative version of *CauxAttitude* (Dubois et al., 2013), an agent-based model of attitude change through negotiations between agents, which is a simplified representation of the structure of the negotiations that occur in *CauxOpération*. We incorporated feedback as a game setting in *CauxAttitude* to influence the agents' behaviors. In turn, these behaviors influence the changes in attitude. Thus, by transitivity, feedback may frame the attitude dynamics toward specific outcomes. We designed the model “as simple as suitable” in order to closely understand interactions between feedback availability with the dynamics of RPG simulation. According to the set of assumptions included in the model, we explored the consequences produced by feedback via simulations and we analyzed the underlying mechanisms responsible for them within the model. Our purpose was more to understand the dynamics of a particular process than to predict them in real RPGs sessions. For instance, *CauxAttitude* focuses on attitude changes that occur in negotiations, but attitude change can also happen through different social events included in the RPG, like the transmission of information during informal discussions. Our goal was thus to explore and understand one way of framing among others.

In section 2, we briefly summarize the RPG *CauxOpération* and the feedback that occurs during a game session. In section 3, we describe the original version of *CauxAttitude* and *CauxFeedback*. In section 4, we present the results of simulations of *CauxFeedback*. In section 5, we discuss how the results of our simulations using an agent-based model can be interpreted as feedback for the tuning of simulation games.

---

## 2. Description of *CauxOpération*

*CauxOpération* is a RPG that was designed and implemented by one co-author of this paper (Souchère et al., 2010). It has been performed as a part of companion modelling approach (Etienne, 2011) dedicated to runoff management in *Pays de Caux*, France. It includes feedback through the use of a computer model between each game time step.

---

### 2.1 Principles

The aim of *CauxOpération* is to facilitate coordinated management of a watershed prone to erosive runoff, by having stakeholders play a role in a fictional situation dealing with erosion prevention techniques and agricultural practices. The main purpose is to increase participants' awareness of erosive runoff processes and of the cumulative impacts of their activities on these processes. Stakeholders are invited to experiment new coordinated practices in a fictitious environment featuring similar characteristics to their real environment (climate, land uses, soils, topography and so on).

The game board represents a 675 ha watershed divided into fields belonging to six farms with a village located at the watershed outlet. The RPG involves eight stakeholders (six farmers, one mayor and one agricultural watershed advisor) who play their real-life roles. Farmers who play the role of farmers choose their cropping pattern and allocate a crop to each field based on their own farming system. Their choice generates a risk of erosive runoff that the computer model calculates for each location in the watershed. The participant playing the role of mayor is informed about the damage caused by erosive runoff to the village and to the roads crossing the watershed. The participant playing the role of the watershed advisor is the technical advisor for the implementation of solutions to reduce runoff. He and the mayor have to design a strategy to manage erosive runoff at the watershed scale. They can provide incentives for cover crops and plant grass strips or build new storage ponds, if they succeed in getting the farmers to agree. They can encourage the farmers to reduce damage by organizing collective meetings to negotiate the planting of grass strips, to build ponds and to negotiate a change in agricultural practices but they cannot offer financial incentives as their budget is too small to solve all the problems.

---

## 2.2 Feedback in *CauxOpération*

The participants' actions generate an erosive runoff risk that the computer model assesses at each point of the watershed at each time step (the game session comprises eight time steps, the interval between two time steps corresponds to six months). The consequences for the watershed depend on the number and quality of the participants' actions and on the intensity of the climate events. The game designer handles this last parameter directly: he/she is able to control the maximum intensity of the climate events over a specified period. The current version of *CauxOpération* is planned as follows: low intensity for year one, high for year two, low for year three, and high for year four.

Impacts of climate events are computed by a computer model in which the participants' actions are used as inputs. These impacts are translated into feedbacks that are communicated to participants at the end of each time step. Participants can receive:

- Cards from an imaginary survey of the popularity of the mayor from the population living in his/her village.
- Cards representing the level of satisfaction/dissatisfaction of the population regarding the flooding of the village and of the road.
- A map of the watershed with the water flow network.
- Cards representing the accumulation of sediment in the storage pond.
- The annual income of each participant.

---

## 2.3 Representations of feedback effects from participants in *CauxOpération*

Our qualitative study consisted in observing five sessions of *CauxOpération*. One of the purposes was to investigate whether or not feedback deserved further investigation if we wished to explore potential framing effects. Due to repeatability and generalization problems in RPG sessions, it was not possible to assess feedback effects by distributing feedback settings in controlled conditions (e.g., condition with no feedback, with positive feedback only, with negative feedback only). We simply chose to consider feedback as relevant if a sufficient proportion of participants believed they took feedback into consideration when deciding on their behaviors. This proportion has to be significantly superior to zero but does not need to be extremely high because of the interdependence of behaviors of participants in RPGs: participants behavior based on feedback can influence the behaviors of others, in which case feedback has an indirect influence on them. As an example, let us examine two behaviors, *A* and *B*. If a participant received positive feedback

when completing  $A$ , in his/her next actions he/she can propose  $A$  to others. Others can accept or reject  $A$  but they will not talk about  $B$ .

After game sessions, we questioned the participants about their understanding of feedback from all behavioral patterns. Data were collected through questionnaires distributed after game sessions. Three questions were related to feedback:

- Did you take the information about runoff events in the watershed delivered by the game facilitator or by the mayor (e.g., satisfaction cards) into account in the solutions you decided to implement?
- Did information on a low runoff rate influence your decisions during negotiations?
- Did information on high runoff rate influence your decisions during negotiations?

Questions were open-ended, participants were encouraged to explain their responses. We collected answers from 50 participants, seven of whom were farmers in real life and remaining 43 were students. Farmers participated in a separate session. We excluded one group of 15 students who played the same game session from our analysis. They turned the RPG into a game of "field exchange" in order, they said, to obtain fields located as close as possible to the homestead of their farm. Consequently, their responses were not related to runoff issues. As a result, we disposed of a set of relevant responses from 35 participants. We combined the responses to the three questions and identified five main types of responses:

- Type1: Participants who took feedback into consideration when choosing their next actions.
- Type2: Participants who took feedback into consideration to be informed about the location of runoff issues in the fictitious watershed.
- Type3: Participants who did not take feedback into consideration, without justification.
- Type4: Participants who did not take feedback into consideration as they were not directly concerned by runoff issues since their fields were not located in the runoff flow path.
- Type5: Participants who did not receive feedback. In *CauxOpération*, feedback is first given to the mayor and a part of his/her role is to decide whether or not to pass the information on to the other participants. As a result, some participants never receive feedback.

The proportions of each type of response are listed in Table 6.

Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Other	No response
39	9	14	4	16	12	6

**Table 6** Proportions of responses (in %) from participants included in the five type of responses we identified.

Note that the information contained in any feedback can have different degrees of influence on participants. Several assumptions about this variability are listed below as examples:

- Participants may be sufficiently confident (or not) in their attitudes towards the behaviors concerned. If they are sufficiently confident, they may ignore the information contained in the feedback because their attitudes lead their behaviors. During a post-game interview, one farmer said: "If a solution requires self-funding, I will take the feedback into account. Nevertheless, in all likelihood, I will refuse the proposed solution", suggesting that even if feedback provides useful information, if the weight of the attitude is too strong, the feedback may be ignored when the decision is taken.
- Feedback can have different impacts on the different roles played by the participants. For instance, the role of watershed advisor requires this participant to be particularly mindful of feedback on runoff issues because his/her first objective in the game is to reduce the damage caused by runoff.
- The way of delivering the feedback information can influence the importance of the information for participants. For instance, feedback that is delivered along with a lot of other information or that is delivered when participants are cognitively involved in another task, may reduce the perception of its importance.

We considered that feedback is a legitimate factor to be explored further because half the sample of participants knowingly took feedback into consideration. Incorporating feedback in a model also needs to account for the different sources of variability mentioned above.

### 3. The Agent-Based Models: *CauxAttitude* and *CauxFeedback*

#### 3.1 Principles of *CauxAttitude*

In this section, we describe the model *CauxAttitude*. The explanation of the modelling choices, selection of behavioral mechanisms and conditions laid down by the context, the concepts and assumptions that underlie the theories involved in the model, and how these concepts and assumptions fit together are detailed in Dubois et al. (2013).

*CauxAttitude* is a model of *CauxOpération* simplified into a succession of negotiations between two agents. These are randomly chosen at each step among a population  $P$  of  $n$  agents. The negotiations concern either solution  $A$  or solution  $B$ . The decision to use only two solutions was arbitrary, made with the aim of keeping the model simple. In *CauxOpération*, such a dichotomy may represent funded solutions and non-funded solutions to deal with runoff issues. Funded solutions require money and this money has to come from another participant, e.g., a farmer participant asks the watershed advisor for funding a cover crop. Non-funded solutions refer to solutions negotiated between several participants but that require no outside source of money, e.g., a farmer participant suggests to another that they both adapt their cropping choices to prevent runoff. *CauxAttitude* assumes that during the negotiations, participants' attitudes can influence their behaviors, and inversely, that behaviors can influence attitudes. Agents can behave in two possible ways:

- Initiate a negotiation: One of the two agents asks the other to implement solution  $A$  or  $B$ .
- Accept/reject the request: The receptor can accept or reject the request.

Mutual influences of attitudes and behaviors in *CauxAttitude* are formalized according to social psychology theories:

- Theory of planned behavior: Ajzen (1991, 2004) describe the components and their interactions that influence behaviors (e.g., attitudes).
- A meta-analysis by Glasman & Albarracin (2006) describes the components and their interactions leading attitudes to predict behaviors (e.g., confidence in attitude).
- The cognitive dissonance theory (Festinger, 1957) and the biased scanning theory (Janis & King, 1954) describe the influence of behaviors on attitudes.

For more information on how these theories are connected in *CauxAttitude*, see Dubois et al. (2013).

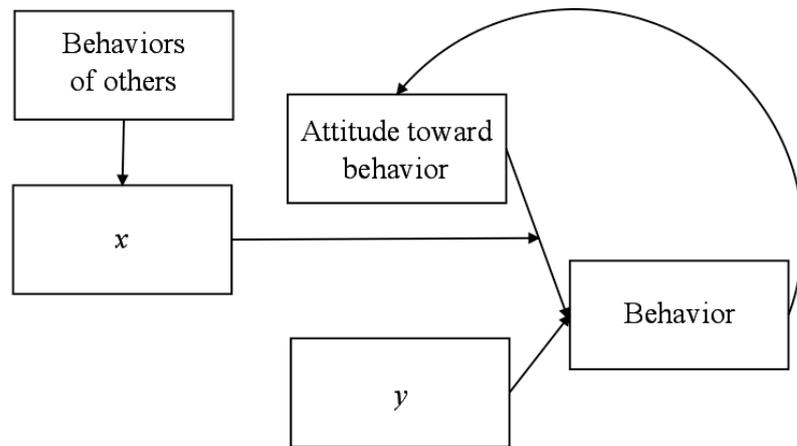
The influence of attitudes on behaviors is weighted by 2 parameters:  $x$  and  $y$ .

- $x$  determines the weight of the factors that involve attitude as a predictor of behavior (e.g., when individuals are confident in their attitudes, attitudes are more predictors of behaviors (Glasman & Albarracin, 2006)).
- $y$  determines the weight for an agent which represents a RPG participant of all the factors that can influence behaviors other than attitudes (e.g., perceived behavioral control, i.e., perceived ease or difficulty of performing the behavior (Ajzen, 1991)).

*CauxAttitude* assumes that the choices of behaviors made by agents can be due either to attitudes or to other factors. The decision process is based on the value of attitudes ( $a$ ), and according to weights  $x$  and  $y$ . This is a

model based on thresholds, if the weight of attitude (i.e.,  $x \times a$ ), compared to the weight of other factors that influence behaviors ( $y$ ) is high enough, the behavior is performed according to the attitude. Otherwise, the behavior is performed according to  $y$ .

Regarding the effects of behaviors on attitudes, *CauxAttitude* assumes that the relations are entirely determinist. Behaviors cause the attitudes to update themselves so as to reduce any discrepancies. In *CauxAttitude*, agents systematically update their attitudes after performing a specific behavior. Figure 48 shows the interaction of attitudes, behaviors,  $x$  and  $y$  in *CauxAttitude*.



**Figure 48** Factors leading the prediction of behaviors and attitude-behavior relationships in *CauxAttitude* (from Dubois et al., 2013).

Agents in *CauxAttitude* have a bounded rationality. They do not have a representation of other agents, they have no memory of their previous negotiations, and they have no information about negotiations undertaken by others agents.

### 3.2 Incorporating feedback in *CauxAttitude*

To explore the effects of feedback in the simplest way possible in *CauxFeedback*, we chose to limit ourselves to general feedback on runoff events, i.e., we simply considered that the feedback is positive when runoff events are weak in the watershed and feedback is negative when runoff events are strong. Runoff events depend on a number of actions being successfully implemented by participants, on the quality of these actions, and on the maximum intensity of climate events over the period concerned. In the model,

no distinction is made between the different cards provided to participants, and the location of flow network is not taken into account, nor the information about the farmers' annual income.

In *CauxAttitude*, when  $x \times a \geq y$ , an agent performs a behavior based on  $a$  (positive or negative), otherwise the agent behaves randomly, since the original version of *CauxAttitude* does not make assumptions about the reactions of agents to other factors included in  $y$ . In *CauxFeedback*, we changed the meaning of  $y$  by reducing other factors to feedback only.  $y$  thus became the weight of feedback for the agent in leading behaviors. The variation in this weight fits some of our assumptions about the variability of influences of feedback detailed in section 2.3: for example, variation in  $y$  can represent a variation in the way of delivering feedback or a variation in the importance of feedback for participants in the tasks attributed to the different roles. We reduced the meaning of  $y$  to the weight of feedback in order to grasp the highest effects of feedback. One can imagine that  $y = feedback + \varepsilon$ ,  $\varepsilon$  representing the other factors included in  $y$  and considered equal to zero in this paper.

In *CauxFeedback*, when  $x \times a \geq y$ , the agent performs a behavior like in *CauxAttitude*. But when  $x \times a < y$ , the agent behaves according to the feedback he/she received. In other words, the more important attitudes are for participants to implement behaviors, the less participants behave according to feedback. This also fits our first assumption concerning the variability of the influence of feedback detailed in section 2.3. Regarding the feedback that occurs in *CauxOpération* (see section 2.2), we modeled feedback by using simple individual rules that fit operant conditioning principles in behaviorist psychology (Thorndike, 1901; Skinner, 1953), which is also consistent with reinforcement learning in the machine learning field (e.g., Sutton & Barto, 1998): agents reproduce behaviors associated with positive feedback (positive reinforcement), and avoid behaviors associated with negative feedback (positive punishment). In *CauxOpération*, positive reinforcement can refer to cards that represent the populations' level of satisfaction with the flooding of the village. Whereas positive punishment can refer to cards that represent the populations' dissatisfaction with the flooding of the village. For the sake of simplicity of the model, we assume that:

- Agents can only remember one item: when agents behave based on feedback, when making their choice, they only remember their most recent action.
- When agents receive negative feedback, we assume that they think that their previous behavior was not efficient and consequently avoid reproducing it. In *CauxOpération*, participants may also think that their behavior was not

repeated frequently enough to be efficient and consequently tend to reproduce it more.

- Agents do not have feedback filters: they need to receive only 1 piece of feedback to adopt a behavior.

In the version of *CauxAttitude* presented in Dubois et al. (2013), two agents are randomly chosen in a population  $P$  of  $n$  agents and negotiate with each other at each time step. Here, we decided to modify the rule: two agents are randomly chosen without replacement in a set made up of the whole population  $P$ . Once  $P$  is empty, it is reinitialized with the whole population. Consequently all agents take part in a negotiation before  $P$  is reinitialized. Henceforth, each time step includes the set of the  $n/2$  negotiations conducted before the reinitialization of  $P$ . We made this choice because in *CauxFeedback*, we wanted to compute the feedback at the end of each time step when all the agents had acted once. Consequently, agents receive feedback and can choose their new behavior according to their preceding behavior and whether the feedback is positive or negative.

---

### 3.3 Formal description of *CauxFeedback*

In this section we give a formal description of *CauxFeedback*. We took the formal model of *CauxAttitude* and made the necessary changes to incorporate feedback:

- Pairs of agents are now chosen with no replacement in the Population of agents.
- When the weight of attitudes is less than the weight of other factors, agents behave according to the feedback they receive.

Suppose  $(i, j)$  are a pair of agents randomly chosen without replacement among a population  $P$  of agents.

#### 3.3.1 Initiator

The initiator  $i$  asks the other member of the pair for a solution ( $A$  or  $B$ ). The solution is chosen according to the agent's attitudes to the two solutions ( $a_A$  and  $a_B$ ), according to weights of factors that imply attitudes as predictors of behaviors ( $x_A$  and  $x_B$ ) and to the weight of other factors ( $y$ ).

**Algorithm 4**

if  $a_{A_i}$  or  $a_{B_i} \geq 0$   
 if  $\max(x_{A_i} \times a_{A_i}; x_{B_i} \times a_{B_i}) \geq y_i$   
 if  $x_{A_i} \times a_{A_i} > x_{B_i} \times a_{B_i}$ ,  $i$  asks  $j$  for a solution  $A$   
 else  
 if  $x_{A_i} \times a_{A_i} < x_{B_i} \times a_{B_i}$ ,  $i$  asks  $j$  for a solution  $B$   
 else  $i$  chooses a solution at random and asks  $j$  for it  
 else:  
 if  $a_{B_i} < 0$ ,  $i$  asks  $j$  for a solution  $A$  (\*)  
 if  $a_{A_i} < 0$ ,  $i$  asks  $j$  for a solution  $B$   
 else  $i$  chooses a solution based on the feedback received at the preceding time step and asks  $j$  for it (or chooses randomly if it is the first time step)  
 else, another pair is chosen.

- Both attitudes  $a_A$  and  $a_B$  range from  $-5$  (entirely unfavorable) to  $5$  (entirely favorable).
- $x \in [0;1]$
- $y \in [0;6]$
- (\*) An initiator never asks for a solution when his/her attitude toward it is negative.

**Algorithm 5**

If  $i$  behaves according to feedback, his/her decision process is made according to the feedback received at the preceding time step.

If  $i$  received a positive feedback and  $i$  implemented one of the following behaviors during the preceding time step:

- $i$  initiated a negotiation based on a solution  $A$ , then  $i$  asks  $j$  for a solution  $A$
- $i$  initiated a negotiation based on a solution  $B$ , then  $i$  asks  $j$  for a solution  $B$
- $i$  received a request for a solution  $A$  and accepted it, then  $i$  asks  $j$  for a solution  $A$
- $i$  received a request for a solution  $B$  and accepted it, then  $i$  asks  $j$  for a solution  $B$
- $i$  received a request for a solution  $A$  or  $B$  and refused it, then  $i$  chooses a solution at random and asks  $j$  for it

If  $i$  received a negative feedback and  $i$  implemented one of the following behaviors during the preceding time step:

- i* initiated a negotiation based on a solution *A*, then *i* asks *j* for a solution *B*
- i* initiated a negotiation based on a solution *B*, then *i* asks *j* for a solution *A*
- i* received a request for a solution *A* and accepted it, then *i* asks *j* for a solution *B*
- i* received a request for a solution *B* and accepted it, then *i* asks *j* for a solution *A*
- i* received a request for a solution *A* or *B* and refused it, then *i* chooses a solution at random and asks *j* for it

Let us assume that *i* asks *j* for a solution *A*, and then his/her attitude changes as a result of his/her behavior. Formula 2 captures the process of revising. The same process is engaged when *i* asks *j* for solution *B*, or if *i* starts by randomly choosing a solution.

**Formula 2**

$$a_{Ai} = a_{Ai}(t-1) + 1 \qquad a_A \in [-5,5]$$

3.3.2 Receptor

In this section we assume that *i* asked *j* for a solution *A*.

**Algorithm 6**

if  $x_{Aj} \times |a_{Aj}| \geq y_j$   
     if  $a_{Aj} \geq 0$ , *j* accepts and  $a_{Aj} = a_{Aj}(t-1) + 1$   
     if  $a_{Aj} < 0$ , *j* rejects and  $a_{Aj} = a_{Aj}(t-1) - 1$   
 if  $x_{Aj} \times |a_{Aj}| < y_j$ , *j* accepts or rejects according to the feedback he/she received at the preceding time step (or randomly accepts or rejects if it is the first time step) and modifies his/her attitude accordingly

**Algorithm 7**

If *j* behaves based on feedback, his/her decision process is made according to the feedback received at the preceding time step.

If *j* received a positive feedback and *j* implemented one of the following behaviors during the preceding time step:

- j* initiated a negotiation on a solution *A*, then *j* accepts
- j* received a request for a solution *A* and accepted it, then *j* accepts

$j$  received a request for a solution  $A$  and refused it, then  $j$  rejects  
 $j$  initiated a negotiation on a solution  $B$  or received a request for a solution  $B$  and accepted or refused it, then  $j$  accepts or rejects with a random rule

If  $j$  received a negative feedback and  $j$  implemented one of the following behaviors during the preceding time step:

$j$  initiated a negotiation on a solution  $A$ , then  $j$  rejects  
 $j$  received a request for a solution  $A$  and accepted it, then  $j$  rejects  
 $j$  received a request for a solution  $A$  and refused it, then  $j$  accepts  
 $j$  initiated a negotiation on a solution  $B$  or received a request for a solution  $B$  and accepted or refused it, then  $j$  accepts or rejects with a random rule

### Algorithm 8

Like in *CauxAttitude*, the model also supposes that the receptor's answer influences the initiator's  $x$  value.

if  $j$  accepts,  $x_{Ai} = x_{Ai}(t-1) + 0,1$   
 if  $j$  rejects,  $x_{Ai} = x_{Ai}(t-1) - 0,1$

Whether  $i$  asks  $j$  for solution  $B$  or  $i$  starts by choosing a solution based on feedback from the preceding time step, the operations from Formula 2 to Algorithm 8 are processed in the same way. The process from Algorithm 4 to Algorithm 8 is repeated until the population  $P = 0$ . During one time step, all agents take part in one negotiation. When  $P = 0$ , the positivity or negativity of the feedback is calculated, then  $P$  returns to its initial value ( $n$ ). Then a new time step starts.

---

### 3.4 Computation of feedback

As explained in section 2.2, in *CauxOpération* feedback depends on a number of actions being successfully implemented by participants, on the quality of these actions, and on the maximum intensity of climate events over the period concerned. In *CauxFeedback*, we assume that feedback is a function of the whole set of actions, i.e., of outcomes of bilateral interactions. Hence the probability of a positive feedback depends on the number of actions successfully implemented by the participants. In *CauxFeedback*, this probability fits the number of receptors accepting requests at each turn. In order to simplify the investigation, we assume that all the actions are efficient. Nevertheless, we set a parameter  $dr$  that captures the maximum intensity of

climate events over the period concerned. This parameter fits the ability of the game designer to manage this intensity in *CauxOpération*.  $dr$  makes situations possible in which, even if all negotiations are accepted in one time step, there is still a probability that feedback will become negative. In the same way, even if all the negotiations are rejected, feedback could be positive.

**Algorithm 9**

if  $na > dr$  then feedback is positive, else feedback is negative

- $na$  : number of acceptances at each turn ( $na \in [0; n/2]$ )
- $dr$  : integer capturing the maximum intensity of the climate events over the period.  $dr$  takes a value in  $[-1; n/2]$ . The lower the value of  $dr$ , the weaker the climatic pressure on erosion.  $dr$  can take a negative value (-1) because we wanted to entail a situation in which feedback is positive even if all receptors reject requests. Consequently, when  $dr = -1$ , rainfall events are too weak to generate any erosive process. This is a situation with absolutely no harmful events. When  $dr = 0$ , at least one request from the  $n/2$  negotiations have to be accepted to get a positive feedback. This is a situation with one weak event. When  $dr = 1$ , at least two requests have to be accepted. And so on.

---

**4. Simulations of the Models**

---

4.1 Design of simulations

Numeric values of the initialization of parameters are detailed in each section. Table 7 summarizes the parameters included in the models and their range of variation.

$n$	$x_A$	$x_B$	$a_A$	$a_B$	$y$	Steps	Replicas	$dr$
$[2; +\infty[$	$[0; 1]$	$[0; 1]$	$[-5; 5]$	$[-5; 5]$	$[0; 6]$	$[1; +\infty[$	$[1; +\infty[$	$[-1; 4]$

**Table 7** Parameters of *CauxAttitude* and *CauxFeedback* and their range of variation.

Our investigation of feedback effects is based on the variation of the two model parameters that influence feedback:  $y$  influences the strength of feedback, and  $dr$  influences the probability of obtaining a positive or negative feedback.

Since our goal is to understand the dynamics of the process in theoretical cases, our choices concerning the initialization of parameters are first made based on the need to capture entire dynamics (versus choosing parameter values to fit *CauxOpération*). Consequently, our choice of values has to be sufficiently large to elicit the highest effects. For instance, the period of simulation has to be sufficiently long to allow a potential convergence of the system.

We ran simulations with 1 250 time steps to investigate variation in  $y$  and with 25 time steps to investigate variation in  $dr$ . One time step refers to  $n/2$  negotiations. Consequently, feedback is calculated 1 250 or 25 times during 1 replica. We replicated all the simulations 1 000 times in order to capture variability, since the model is stochastic. Simulations were run with 8 agents, which is the number of roles in *CauxOpération* (simulations of *CauxAttitude* with more or fewer participants were also run in Dubois et al. (2013)). 1 250 time steps with 8 agents leads approximately to 5 000 negotiations which is sufficient to observe a convergence of the system whatever the value of  $y$ . To investigate variation in  $dr$ , we simulated the model during only 25 time steps (around 100 negotiations) in order to capture the greatest variation effect of  $dr$ . In fact, simulating the model for longer periods increases the proportion of attitude consensus, and attitude consensus favors the proportion of positive feedback. As a result, the variation effect of  $dr$  becomes invisible: whatever the value of  $dr$ , the proportion of positive feedback is over-represented.

We initialized  $a$  and  $x$  to their median values ( $a = 0$ ,  $x = 0.5$ ) in order to minimize the effects produced by initialization of parameters that do not vary among simulations. Simulations of *CauxAttitude* presented in Dubois et al. (2013) were run again with the new drawing of agents (i.e., without replacement) in order to enable suitable comparisons with simulations of *CauxFeedback*. One way to observe the effects (framing) of feedback on attitudes is to calculate the difference in the time it takes to reach attitude consensus among agents under different feedback conditions. In our model, attitude consensus refers to a state of the system in which all the agents in the population ask receptors for the same type of solution ( $A$  or  $B$ ) until the end of the simulation, and in which all the receptors accept the requests. More than a simple consensus between agents, agents positively polarize one of their attitudes (i.e., reach the positive extreme values of  $x$  and  $a$  ( $x = 1$ ,  $a = 5$ )). In *CauxAttitude*, attitude consensus is reached in most cases of initialization, which means that agents end simulations with the same preferential attitude. This phenomenon can be a problem of framing in RPGs if it is triggered during the session and if the causes of its appearance are unknown. RPGs can suffer from a lack of efficiency if their objective is to give people the

opportunity to change their minds in multiple possible ways. They can also be ethically questionable in forcing participants to reach a same polarized attitude.

Indicators similar than time to reach attitude consensus have also been investigated in a wide sample of attitude/opinion dynamics studies (e.g., Jager & Amblard, 2005) as consensus is a common outcome of many models.

#### 4.1.1 $y$ variation

In *CauxAttitude*,  $y$  refers to all other factors than attitude that can influence behaviors. When agents behave according to  $y$ , there are no assumptions about which of these factors determine behaviors. Such a case is represented in the model by agents making random decisions about their behaviors. In *CauxFeedback*, variation in  $y$  in a RPG matches a game design that highly, moderately or slightly favors feedback in leading behaviors (see our assumptions in section 2.3 for examples). Consequently, *CauxFeedback* corresponds to a theoretical case in which feedback is isolated from all other possible factors leading behaviors, i.e., a theoretical case in which when agents do not behave according to their attitudes, the only information available to them to make a behavioral decision is feedback. We chose to compare simulations of *CauxAttitude* with simulations of *CauxFeedback* by varying  $y$  because it enabled us to capture the effects of feedback on attitudes with respect to the random cases of *CauxAttitude* and according to the weight of feedback in decision processes.

#### 4.1.2 $dr$ variation

$dr$  refers to the maximum intensity of the climate events over a given period and can be set by the game designer in different ways. Variation in  $dr$  alters the probability of getting a positive or a negative feedback. In this way, the game designer can control the state of feedback (positive or negative). For the first exploration, we chose to simulate only simple cases in which  $dr$  is predetermined and the same for all the time steps.  $dr$  takes one value among  $[-1; n/2]$  for the whole simulation period. Such a variation in  $dr$  enabled us to capture the independent and combined effects of positive and negative feedback.

---

## 4.2 Results of simulations

In this section, we present the results of our simulations through different indicators. The framings induced by feedback, its strength, and its state

(positive or negative) are characterized by the difference between the observed curves in the graphs we display.

#### 4.2.1 Variation in $y$

In this section, we show results of simulations with variation in the initialization of  $y$ . We simulated 14 cases, corresponding to all the possible values of  $y$  in *CauxAttitude* (Case1) and in *CauxFeedback* (Case2). We chose to initialize the simulations with an intermediate value of  $dr = 2$  in order to minimize any advantage given to one or other of the states of feedback (positive and negative) by initialization. Table 8 lists the initialization of parameters. Figure 49 shows the thresholds of attitude consensus for each replica.

	$n$	$x_A$	$x_B$	$a_A$	$a_B$	$y$	Steps	Replicas	Model
Case1a	8	0.5	0.5	0	0	0	1250	1000	<i>CauxAttitude</i>
Case1b	8	0.5	0.5	0	0	1	1250	1000	<i>CauxAttitude</i>
Case1c	8	0.5	0.5	0	0	2	1250	1000	<i>CauxAttitude</i>
Case1d	8	0.5	0.5	0	0	3	1250	1000	<i>CauxAttitude</i>
Case1e	8	0.5	0.5	0	0	4	1250	1000	<i>CauxAttitude</i>
Case1f	8	0.5	0.5	0	0	5	1250	1000	<i>CauxAttitude</i>
Case1g	8	0.5	0.5	0	0	6	1250	1000	<i>CauxAttitude</i>
Case2a	8	0.5	0.5	0	0	0	1250	1000	<i>CauxFeedback</i>
Case2b	8	0.5	0.5	0	0	1	1250	1000	<i>CauxFeedback</i>
Case2c	8	0.5	0.5	0	0	2	1250	1000	<i>CauxFeedback</i>
Case2d	8	0.5	0.5	0	0	3	1250	1000	<i>CauxFeedback</i>
Case2e	8	0.5	0.5	0	0	4	1250	1000	<i>CauxFeedback</i>
Case2f	8	0.5	0.5	0	0	5	1250	1000	<i>CauxFeedback</i>
Case2g	8	0.5	0.5	0	0	6	1250	1000	<i>CauxFeedback</i>

**Table 8** Initialization of parameters for the  $y$  variation simulation.

Figure 49 shows that *CauxFeedback* simulations generate a higher frequency of attitude consensus (relative to the number of time steps) among the replicas than *CauxAttitude*. Moreover, *CauxFeedback* simulations generate attitude consensus faster than *CauxAttitude* simulations. Both of these effects are magnified by the increase in the  $y$  value.

When we observe attitude consensus in *CauxAttitude*, the system reaches a situation defined by three characteristics:

- All agents behave according to their attitudes (versus according to  $y$ ). In other words, all agents reach  $x \times a \geq y$ .
- All initiators ask receptors for the same solution.
- All receptors accept the requests.

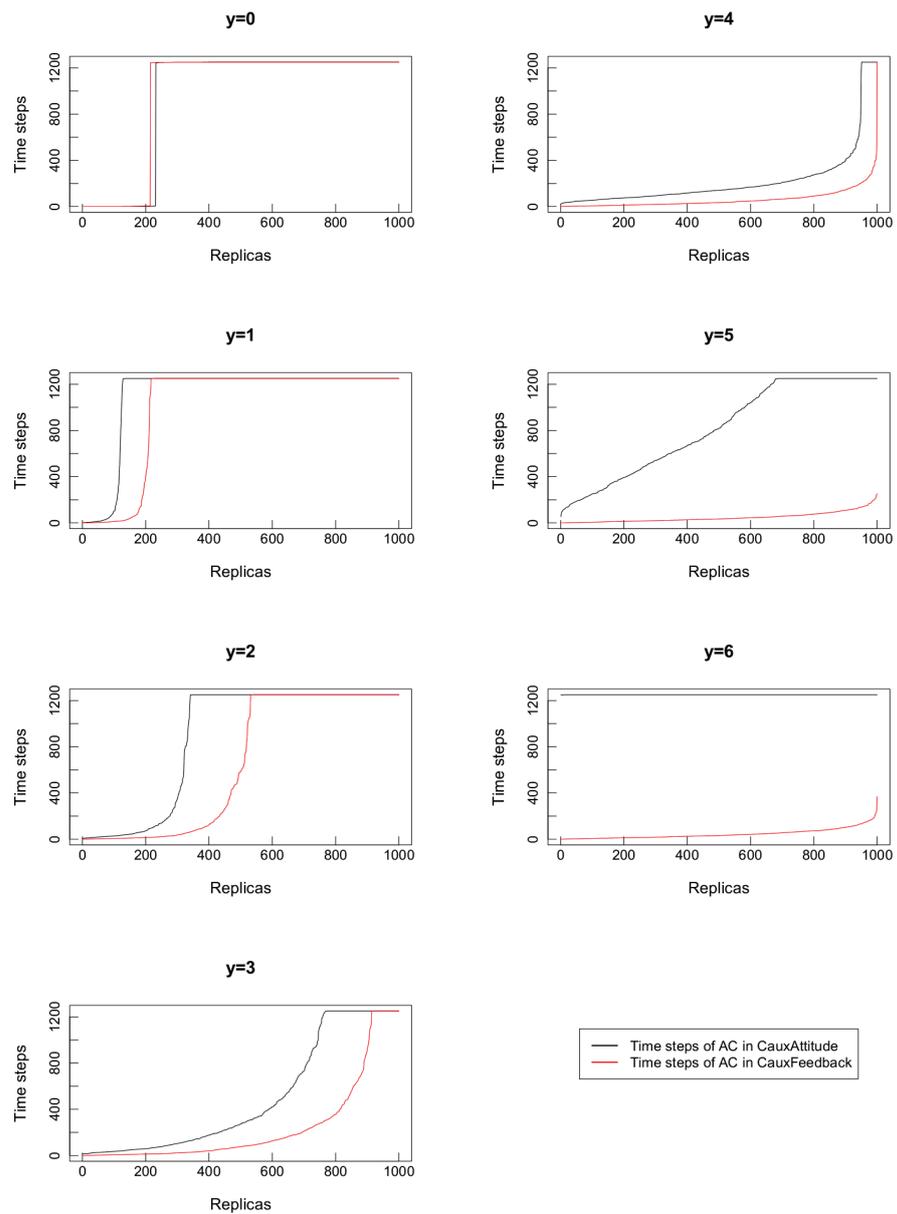
Consequently, all agents reach  $x_A \times a_A \geq y$ , or all agents reach  $x_B \times a_B \geq y$ .

Whereas in *CauxFeedback*, the combination of four characteristics at a given time step enables attitude consensus to be reached, but these characteristics are easier to obtain:

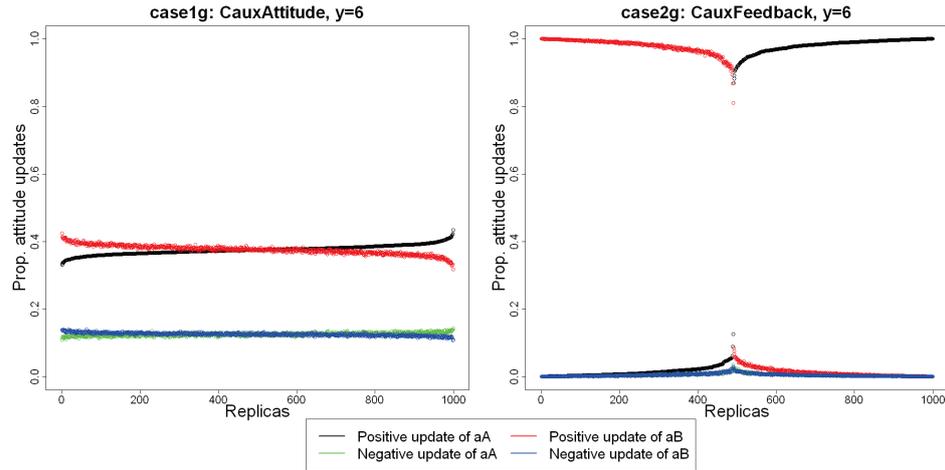
- All initiators ask receptors for the same solution.
- All receptors accept the requests.
- Receptors have no negative attitudes for both solutions (if they do, they will not initiate any solution when they take the position of initiator).
- Receptors do not verify  $x_A \times a_A \geq y$  if solution  $B$  is requested, or  $x_B \times a_B \geq y$  if solution  $A$  is requested (if agents are in one of these states, they will initiate the non-desirable solution for attitude consensus when they take the position of initiator).

Consequently, in *CauxFeedback*, agents do not have to behave necessarily according to their attitudes to reach attitude consensus. This makes attitude consensus easier to achieve because agents do not have to update the same attitude as others during the time steps that occurred before attitude consensus.

For a better understanding of the process, Figure 50 shows the proportions of positive and negative updates of attitudes for the extreme value of  $y$  ( $y = 6$ ). This is the only case in our simulations in which the condition  $x \times a \geq y$  is never fulfilled. Note that we also consider as updates of attitudes cases in which agents have already reached the extreme value of the attitude (5 or -5) and are willing to go further (by initiating or accepting or rejecting requests). In 1 250 time steps, all *CauxFeedback* agents (case2g) only update one attitude positively (and the same among the population) for most of the time steps included in each replica. Agents rapidly reach attitude consensus and converge positively toward the same attitude. They converge toward  $a_A$  for half of the replicas and toward  $a_B$  for the other half. Whereas for *CauxAttitude* agents (case1g), we observe both positive and negative updates of attitudes on both solutions: agents behave according to random rules and never reach attitude consensus.



**Figure 49** Thresholds of attitude consensus (AC) among the replicas for *CauxAttitude* and *CauxFeedback* and for each value of  $y$ . Example of reading: when  $y = 2$ , 275 replicas in *CauxAttitude* and 433 in *CauxFeedback* reached attitude consensus in fewer than 200 time steps. Replicas containing thresholds of attitude consensus plotted at 1 250 time steps are replicas in which there is no attitude consensus (because 1 250 is the length of the simulation per replica).



**Figure 50** Proportion of positive and negative updates of attitudes during negotiations in *CauxAttitude* and *CauxFeedback* and for  $y = 6$ . Replicas are ordered relatively to the positive update of  $a_A$ . Example of reading: for replica 500 in case1g, we observe approximately 38% of positive updates of  $a_A$ , 38% of positive updates of  $a_B$ , 12% of negative updates of  $a_A$  and 12% of negative updates of  $a_B$ . This means that all these attitude updates took place during the 5000 negotiations (four negotiations per time step and 1 250 time steps) of replica 500. In case2g, the green curve is covered by the blue one.

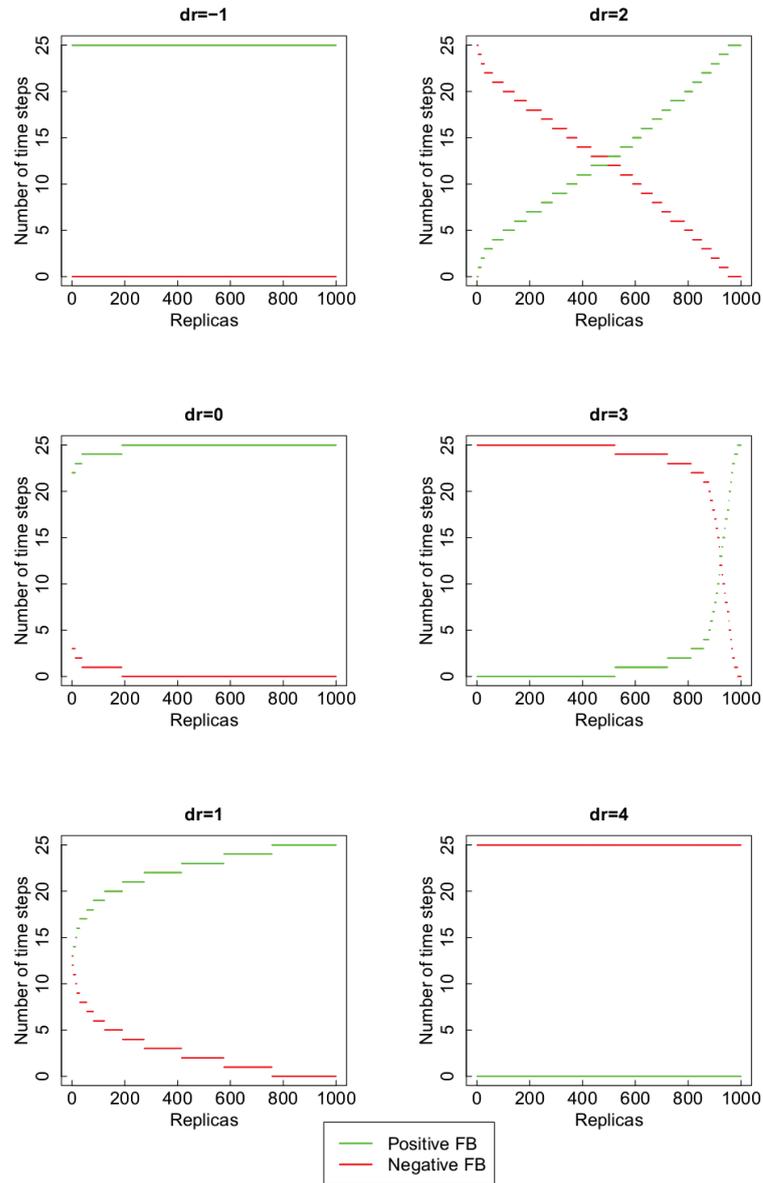
#### 4.2.2 Variation in $dr$

We ran one simulation of *CauxFeedback* for each possible initial value of  $dr$ , with  $dr$  remaining constant during the simulation. When  $dr = -1$ , feedback is always positive, when  $dr = 4$ , feedback is always negative. We initialized  $y = 6$  in order to observe the greatest effect of feedback. Table 9 lists the initialization of parameters for each condition. Figure 51 shows the proportion of positive and negative feedback within replicas for case 3. Figure 52 shows the thresholds of attitude consensus among the replicas for each value of  $dr$ .

	$n$	$x_A$	$x_B$	$a_A$	$a_B$	$y$	Steps	Replicas	$dr$
Case3a	8	0.5	0.5	0	0	6	25	1000	-1
Case3b	8	0.5	0.5	0	0	6	25	1000	0
Case3c	8	0.5	0.5	0	0	6	25	1000	1
Case3d	8	0.5	0.5	0	0	6	25	1000	2
Case3e	8	0.5	0.5	0	0	6	25	1000	3
Case3f	8	0.5	0.5	0	0	6	25	1000	4

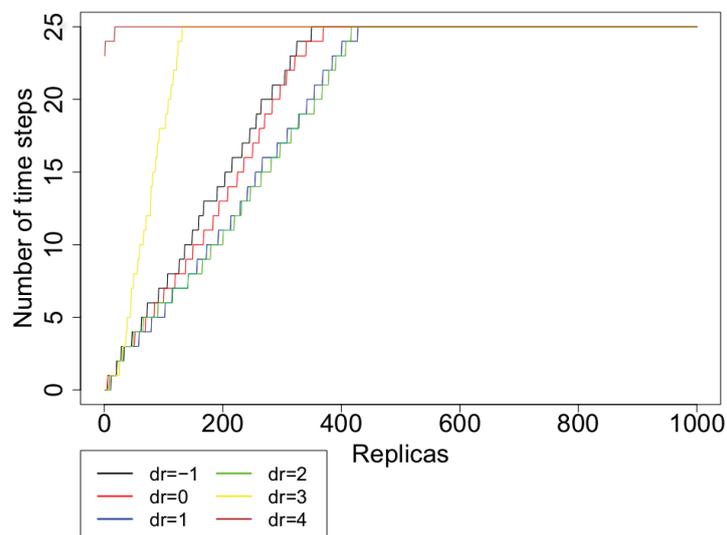
**Table 9** Initialization of parameters for  $dr$  constant during simulations.

Figure 51 reveals that even within a short simulation period, the proportion of positive and negative feedback is asymmetric: the proportion of positive feedback is higher for 3 of the 6 possible values of  $dr$ , equal to the proportion of negative feedback for  $dr = 2$ , and lower for the 2 remaining values. We also checked these proportions in the 1 250 time steps and saw that the proportion of positive feedback is higher for all  $dr$  values except  $dr = 4$ .



**Figure 51** Proportion of positive and negative feedback (FB) for each value of  $dr$  within  $\{-1;0;1;2;3;4\}$ , and  $y = 6$ . Example of reading: For replica 100 when  $dr = 1$ , 19 time steps lead to a positive feedback and 6 time steps lead to a negative feedback.

Figure 52 shows that the lowest proportions of replicas containing an attitude consensus occur when  $dr$  values favor negative feedback ( $dr = \{3,4\}$ ). Whereas when  $dr$  values favor positive feedback ( $dr = \{-1,0\}$ ), the proportions of replicas containing an attitude consensus are higher. But surprisingly, the highest proportions of attitude consensus occur with intermediate values of  $dr$  ( $dr = \{1,2\}$ ). A combination of positive and negative feedback favors both the frequency and rapidity of attitude consensus. When the feedback is always positive, agents tend to behave as they did previously: initiators of solution  $A$  and initiators of solution  $B$  are encouraged to reproduce the same behavior at the following time step. Consequently the dynamics can be slowed down to reach the equilibrium state (attitude consensus). When the feedback is always negative, agents tend to behave in the opposite way than previously. In this case, attitude consensus cannot be reached. When feedback is sometimes positive and sometimes negative, negative feedback encourages agents to switch from one solution to the other, while positive feedback encourages agents to reproduce their previous behavior. Consequently, the combination of positive and negative feedback favors both reproduction of and a switch in behaviors, which improves the achievement of the different possible states of the group's attitudes including the state that triggers attitude consensus. Once attitude consensus is reached, feedback is always positive, which prevent agents from exiting the attitude consensus situation.



**Figure 52** Thresholds of attitude consensus among the replicas for each value of  $dr$ . Example of reading: for  $dr = 3$ , there are approximately 10% of replicas (100/1000) in which attitude consensus is reached in less than 25 time steps.

## 5. Discussion

We ran simulations first to explore the effects of feedback by comparing *CauxAttitude* and *CauxFeedback* through variations in  $\gamma$ , which represents the weight of factors other than attitude in leading behaviors in *CauxAttitude* and the weight of feedback for the agent in leading behaviors in *CauxFeedback*. And second, our simulations were meant to explore how different implementations of feedback (variations in  $dr$ ) by a game designer can influence the attitude dynamics of the participants.

The first result of the study is that integrating feedback in *CauxAttitude* reduced the time required to reach attitude consensus (i.e., attitude consensus with positive polarization). And the more important feedback is in decision making compared to attitudes (i.e., the higher the value of  $\gamma$ ), the less time is needed to reach attitude consensus. This result can have a significant impact on RPG tuning since RPG sessions generally include fewer negotiations than our simulations ( $< 100$ ). If attitude consensus were reached for longer periods than the period of a RPG, this might not be problematic. Outcomes of simulations suggest that the introduction of feedback in situations like the one portrayed in *CauxOpération* sessions may encourage participants to converge toward a shared preferential attitude (attitude consensus). Moreover, our results suggest that if participants behaved based on feedback rather than based on their attitudes (e.g., because of low initial attitudes and/or because of an overexposure to feedback), the probability of attitude consensus would increase. In the models, the mechanisms underlying this phenomenon are captured by simulations that reveal the conditions for attitude consensus by comparing *CauxAttitude* with *CauxFeedback*. In the conditions in which agents behave according to either attitudes or other factors than attitudes in leading behaviors (captured by *CauxAttitude*), agents reach attitude consensus if they are in a situation with the following characteristics:

- Agents behave only according to their attitudes. This implies that the weights of the agents' attitudes are high enough to avoid behaviors based on other factors.
- Agents prefer and thus initiate the same solution.
- Agents always accept requests during negotiations.

Whereas if agents behave according to either attitudes or according to feedback, reaching attitude consensus implies agents being in a situation which appears more easily. At a given time step:

- Agents in the position of initiator ask the receptors for the same solution.
- Agents in the position of receptor accept the requests.

- Agents do not have a negative attitude to either solution.
- The weight of the attitudes of agents in the position of receptor is no higher than the weight of feedback concerning the solution they do not discuss at the given time step.

These results suggest that reaching attitude consensus does not mean that participants in simulation games have to behave according to their attitudes when they are exposed to feedback. Game designers of RPGs often decide to implement feedback in games to enable participants to learn about effects of their actions on the environment. Nevertheless, our results suggest that feedback implies a potential collateral framing on participants' attitudes in favor of homogeneity of thinking. Consequently, if a game designer wants to keep feedback in his game while paying attention to framing of attitudes, one possibility would be to design the game in such a way as to avoid situations that lead to attitude consensus or in breaking this situation if it is reached.

The second result of the study is that time to reach attitude consensus decreases when simulations contain a mix of positive and negative feedback (versus when feedback is mainly positive or mainly negative). The level of simplicity of our model enabled us to capture the underlying mechanisms of this phenomenon:

- If positive feedback leads agents to reproduce their behaviors, then different behaviors by different agents can persist.
- If negative feedback leads agents to avoid their previous behavior, then agents will always switch from one behavior to another and never reach attitude consensus.
- A mix of positive and negative feedback enables agents to reproduce or switch behaviors and facilitates attitude consensus.

Game designers of RPGs influence (when they are able to) the positive and negative probability of feedback for different reasons. For instance, the maximum intensity of the climate event over a period in *CauxOpération* is planned *ex ante* irrespective of the participants' actions: low in year one, high in year two, low in year three, and high in year four. The objective of this distribution is to enable participants to assess the effects of potential changes in their behaviors by comparing the outcomes of year one with those of year three, and those of year two with those of year four. Combining of positive and negative feedback may be appropriate and can serve the purpose of the game designer. Nevertheless, our results suggest that diversity of feedback given to participants during the course of a game session may culminate in homogeneous attitudes among participants. Again, according to our model, one solution to avoid such a framing would be for the game designer to design the game in a way that accounts for the mechanisms underlying the framing.

## 6. Conclusion

*CauxFeedback* is a modified version of an existing agent-based model, *CauxAttitude* (detailed in Dubois et al., 2013), of attitude-behavior relationships through negotiation processes as they can be performed in the RPG *CauxOpération*. We incorporated feedback in *CauxAttitude* in order to explore the effects on participants of changes in their attitudes caused by feedback given during the course of a game session. We modelled feedback in accordance with operant conditioning and reinforcement learning rules and we incorporated it in accordance with the way it is used in *CauxOpération*. We also discovered via questionnaires how participants take feedback into consideration in *CauxOpération* sessions in order to legitimize the existence of a feedback effect in a real RPG. Results of simulations showed that:

- Incorporating feedback in *CauxAttitude* reduces the time needed to reach attitude consensus.
- The more important feedback is in decision making, the less time is needed to reach attitude consensus.
- Time to reach attitude consensus decreases when the simulations contain a mix of positive and negative feedback.

In addition, the relative simplicity of the models revealed the mechanisms underlying these results:

- Feedback makes it possible to reach attitude consensus without agents having to decide according to their attitudes.
- Combined positive and negative feedback facilitates the achievement of the extension of the different possible states of the population's attitudes and hence the conditions of attitude consensus.

One goal for game designers is to produce RPGs in which the tuning does not unintentionally frame the outcomes of the game. The idea is to enable participants to proceed toward all possible outcomes. Also, the effects of framing on participants may be side effects (since a change in attitude may be not among the objectives of the game). This means that rather than just unexpected framing, there is also an unexpected target of framing. We suggest that the underlying mechanisms revealed in our results are keys for game designers to enable them to manage the framing effects of attitudes while keeping feedback in their simulation games. The conditions of attitude consensus revealed by the simulations of the model are indications for game designers to find and manage them in real RPGs. Nevertheless, as our results have only been obtained in simulations to date, it would be useful to test the underlying mechanisms we revealed in laboratory conditions with real individuals.

# Chapitre 6

## Discussion

---

## 1. Résumé du problème et des résultats

---

### 1.1 Résumé de la construction du questionnement de recherche

Dans cette thèse, nous avons développé et testé une méthode destinée à explorer des effets de cadrage provoqués par des choix d'implémentation de dispositifs dans les jeux de rôles. Nous avons traduit ce questionnement général sous forme d'objectif de thèse, en réduisant, par choix justifiés successifs, le problème en un objectif précis et réalisable dans les contraintes qu'implique une thèse. Cette réduction s'est effectuée en plusieurs niveaux :

- Parmi l'ensemble des effets de cadrage explorables à travers ce questionnement, nous nous sommes concentrés sur l'exploration des effets de cadrage sur les participants. Cette exploration permet de questionner l'effectivité des jeux en regardant par exemple s'ils permettent aux participants d'aboutir à des évolutions de représentations ou de connaissances variées, ou alors si les jeux cadrent les participants en uniformisant les pensées. Elle permet aussi de mettre en lumière des cadrages de dispositifs pouvant engendrer des problèmes éthiques à cause des influences implicites des participants engendrées pendant une session de jeu.
- Nous avons choisi d'appréhender le problème à travers une approche de modélisation et simulation multi-agent. Elle nous permet d'explorer un nombre important de situations afin de caractériser l'étendue des effets de cadrage sélectionnés, de visualiser les dynamiques d'évolutions de caractéristiques des participants au cours du temps, et d'observer des effets de cadrage au niveau global (population d'agents) émergents de la modélisation de règles locales (au niveau de chaque agent).
- Parmi les différentes interactions possibles entre les participants pendant les sessions de jeux, nous nous sommes concentrés sur les négociations. Nous avons réduit le jeu de rôles à une séquence de négociations entre participants. Les négociations sont pertinentes à explorer car, contrairement à d'autres formes d'interaction dans *CauxOpération* (e.g., transmission d'information) elles sont une expression de la méthodologie spécifique des jeux, qui consiste à mettre les participants en action dans une situation virtuelle.
- Nous avons préféré effectuer un focus sur les processus mentaux des participants plutôt que sur leurs comportements. Etant donné le contexte fictif du jeu de rôles, les comportements des participants n'ont pas d'incidence directe sur l'environnement réel, alors que des changements de représentations ne sont pas forcément limités au contexte du jeu et peuvent perdurer en dehors.
- Parmi les différents processus mentaux intéressants à explorer, telles que les évolutions de représentations ou les apprentissages de nouvelles connais-

sances, nous avons choisi les changements d'attitudes. Ce choix permet de nous ancrer à la fois dans la littérature en modélisation de dynamiques d'opinions et à la fois dans la littérature en psychologie sociale sur les processus de changements d'attitudes.

- Nous avons choisi de développer un modèle simple, de type KISS, afin de pouvoir comprendre précisément les résultats de simulations observés, i.e, caractériser les mécanismes sous-jacents aux dynamiques observées. Notre objectif étant de révéler des processus difficilement visibles qui s'exercent dans des expérimentations impliquant des êtres humains en interaction.
- La combinaison de chacune de ces réductions du problème nous a conduit à avoir comme objectif : modéliser et simuler à travers une approche multi-agent des effets de dispositifs provoqués sur les dynamiques d'attitudes des participants inscrits dans des séquences de négociations, et en déterminer les mécanismes sous-jacents.

---

## 1.2 Résumé de la stratégie de réponse au questionnement de recherche

Pour remplir cet objectif, nous avons élaboré une stratégie méthodologique en trois points :

- Nous avons recueilli et interprété des données à partir de sessions d'observations du jeu de rôles *CauxOpération*. Cette interprétation a consisté à définir des hypothèses d'effets de cadrage des dispositifs sur les dynamiques d'attitudes, définir la situation à formaliser, et à questionner la légitimité de l'hypothèse de l'existence de changements d'attitudes effectués suite à des négociations dans des jeux de rôles.
- Nous avons conçu et implémenté deux systèmes multi-agents modélisant des relations attitudes-comportements et des dispositifs de jeu provoquant des effets de cadrage dans des séquences de négociations. Pour cela, nous nous sommes appuyé sur la littérature psycho-sociale des relations attitudes/comportements, la littérature en modélisation de dynamiques d'opinions, et sur l'interprétation des données d'observations.
- Nous avons effectué des séries de simulations des modèles : nous avons implémenté différents choix d'implémentation de dispositifs par l'initialisation des valeurs des paramètres des modèles, défini des indicateurs de sorties, et analysé les mécanismes sous-jacents responsables des dynamiques observées.

---

### 1.3 Résumé des résultats

Nous avons produit deux types de résultats :

- Résultats de modélisation : Les deux systèmes multi-agents implémentés sont des outils d'exploration d'effets de cadrage. Le premier, *CauxAttitude*, est un système multi-agent de dynamiques d'attitudes dans des séquences de négociations, incluant les dispositifs essentiels à la représentation de la situation, eux-mêmes vecteurs d'effets de cadrage. Il fait figure de modèle de référence et de laboratoire virtuel dont les simulations sont à comparer avec les simulations de ce même modèle auquel est implémenté un dispositif à explorer. Le second, *CauxFeedback*, est une illustration de l'implémentation d'un dispositif à explorer dans *CauxAttitude*. *CauxFeedback* est un système multi-agent qui se distingue de *CauxAttitude* par l'implémentation d'un dispositif de feedback transmis aux agents sur les conséquences de leurs actions, pour explorer les effets de cadrage provoqués par la manière dont il est implémenté.
- Résultats de simulations : Pour les simulations de *CauxAttitude*, nous avons exploré les effets de cadrage provoqués par les choix d'implémentation des dispositifs essentiels à la modélisation, à savoir : le choix des participants, des contraintes de jeu (e.g., attribution d'argent virtuel au participant), et le nombre de participants. Pour les simulations de *CauxFeedback*, nous avons exploré les effets de cadrage d'un dispositif de feedback similaire au feedback implémenté dans *CauxOpération*.

#### 1.3.1 Résultats de modélisation

Sur la base de l'interprétation des données d'observations, la littérature en modélisation et en psychologie sociale, nous avons effectué la modélisation multi-agent en trois points :

- Nous avons formalisé et implémenté la situation définie à l'aide de l'interprétation des données : le modèle représente des séquences de négociations entre deux agents tirés aléatoirement à chaque pas de temps. Dans chaque négociation, un agent  $i$  propose une solution  $A$  ou  $B$  à un agent  $j$ , qui accepte ou refuse la proposition.
- Nous avons construit un modèle des relations attitudes-comportements en rassemblant plusieurs théories psycho-sociales : nous avons modélisé le poids de l'influence des attitudes sur les comportements en nous basant sur un modèle construit à partir d'une méta-analyse d'études sur les facteurs impliqués dans la prédiction des comportements par les attitudes (Glasman & Albarracin, 2006). Nous avons modélisé l'ensemble des facteurs exerçant une influence sur les comportements en nous basant sur la « theory of planned behavior »

(Ajzen, 1991, 2004). Nous avons modélisé l'influence du comportement sur une attitude en nous basant sur quatre théories décrivant différents chemins par lesquels les comportements peuvent prédire les attitudes et les futurs comportements répertoriés dans Albarracín & Wyer Jr. (2000).

Nous avons effectué le travail de modélisation en liant ces différentes théories et en respectant notre approche KISS :

- Nous avons agrégé les facteurs responsables du poids de l'influence des attitudes sur les comportements en un paramètre  $x$ , et l'ensemble des facteurs d'influence des comportements à l'exception des attitudes en un paramètre  $y$ .
- Nous avons supprimé le composant « intention » dans la « theory of planned behavior » car il n'était pas mathématiquement nécessaire au modèle.
- Nous avons réduit l'effet des comportements sur les attitudes à une relation entièrement déterministe, les comportements ont une influence directe sur les attitudes.
- Nous avons formalisé et implémenté des hypothèses d'effets de cadrage élaborées à l'aide de l'interprétation des données d'observations : dans une première étape, nous avons formalisé et implémenté les hypothèses d'effets de cadrage relatives aux dispositifs essentiels à la construction du modèle. Différentes initialisations des valeurs de  $x$ ,  $y$ , des attitudes, et du nombre d'agents nous ont permis de représenter différents choix de la population de participants par l'organisateur de jeu, différentes contraintes de jeux, et la variation du nombre de participants.

Dans une seconde étape, nous avons illustré l'introduction d'un nouveau dispositif (le feedback) dans le modèle pour explorer les effets de cadrage qu'il provoque. Nous avons réduit les facteurs contenus dans  $y$  au seul facteur de feedback.  $y$  est donc devenu le poids du feedback dans l'influence des comportements des agents. Pour modéliser les comportements des agents lorsqu'ils prennent leurs décisions par rapport au feedback, nous avons formalisé la règle de décision de manière consistante avec la théorie du conditionnement opérant (Skinner, 1953). Nous avons modélisé le choix d'implémentation du dispositif, i.e., le levier d'action que le concepteur de jeu a sur le feedback, par un paramètre  $dr$  qui correspond à l'intensité des événements climatiques. Le feedback devient positif ou négatif en fonction de la valeur de  $dr$  et du nombre de négociations ayant été acceptées sur un pas de temps donné. Pour permettre un calcul simple du feedback, nous avons modifié le tirage des agents pour négocier. Le nouveau tirage est un tirage de couples d'agents sans remises. Lorsque tous les agents ont été tirés, le calcul du feedback s'effectue et la population est réinitialisée.

### 1.3.2 Résultats des simulations

Nous avons exploré et expliqué les effets de cadrage retenus par des séries de simulations des deux modèles. Pour les simulations de *CauxAttitude*, nous avons exploré les effets des dispositifs en faisant varier les valeurs initiales de  $x$ ,  $y$ ,  $n$  (nombre d'agents) et en visualisant les proportions de révisions positives et négatives des attitudes des agents provoquées les comportements dans les négociations pour 1000 répliques.

---

#### 1.3.2.1 Variation de $y$

Les simulations pour lesquelles nous avons fait varier les valeurs initiales du paramètre  $y$  ont montré différentes formes de cadrages de l'indicateur :

- Lorsque les agents agissent uniquement en fonction de leurs attitudes ( $y = 0$ ), nous avons observé des courbes en formes de plateaux successifs. On observe neuf zones contenant chacune deux plateaux, révélant la proportion des agents proposant seulement des solutions  $A$  et la proportion des agents proposant uniquement des solutions  $B$ . Chaque zone correspond à une proportion de répliques, et il y a autant de zones que de possibilités de situations observables (i.e., zone 1 : huit agents proposent uniquement des solutions  $B$ , zone 2 : sept agents proposent seulement des solutions  $B$  et un agent des solutions  $A$ , etc.). Cette apparition est expliquée par la difficulté des agents à initier des négociations sur les deux solutions possibles dans cette condition.
- Lorsque, pendant un réplique, les agents agissent à la fois en fonction de leurs attitudes et à la fois en fonction des autres facteurs d'influences des comportements (lorsque  $y$  est proche de sa valeur médiane), nous avons observé des courbes proches de la linéarité. Par rapport aux plateaux, la linéarité des courbes montre que ce paramétrage permet d'atteindre plus d'états finaux possibles (i.e., un même agent a pu initier sur les deux solutions, ses révisions d'attitudes ont alors été moins contraintes). Ceci est dû à l'introduction de stochasticité dans le processus de décision lorsque  $y$  est différent de zéro, qui permet aux agents d'initier plus facilement sur les deux solutions possibles.
- Lorsque  $y$  est égal à sa borne supérieure (i.e.,  $y = 6$ ), nous avons observé des courbes plus homogènes entre les répliques. Etant donné que les choix des agents se font toujours de manière aléatoire, les agents ne privilégient pas l'initiation d'une solution particulière et ne révisent donc pas une de leurs attitudes plus fréquemment que l'autre.

---

#### 1.3.2.2 Variation conjointe de $x$ de $y$

Lorsque nous avons fait varier conjointement les valeurs initiales de  $x$  et  $y$ , nous avons observé que lorsque  $x$  a une valeur initiale faible, les courbes obtenues dépendent de la variation de  $y$  et nous retrouvons des formes similaires à l'exemple précédent (pour lequel  $x$  était égal à 0,5). Par contre, les conditions pour lesquelles la valeur initiale de  $x$  est élevée favorisent l'atteinte du consensus d'attitude pour le groupe d'agents.

---

#### 1.3.2.3 Variation de $y$ entre les agents

Lorsque nous avons fait varier les valeurs initiales de  $y$  entre les agents, nous avons observé qu'un agent prenant des décisions au regard de ses attitudes ou non (i.e., quelque soit sa valeur de  $y$ ) a plus tendance à se former une attitude préférentielle lorsque les autres agents de la population agissent au regard de leurs attitudes (i.e., ayant une valeur de  $y$  faible). En prenant des décisions non aléatoires en tant que récepteurs de propositions, les autres agents facilitent la consolidation des valeurs de  $x$  de l'agent ciblé lorsqu'il est initiateur, ce qui facilite sa polarisation.

---

#### 1.3.2.4 Variation du nombre d'agents

Lorsque nous avons fait varier le nombre d'agents, nous avons observé que plus la population est faible, plus l'atteinte du consensus d'attitude est facilitée.

---

#### 1.3.2.5 Résultats des Simulations de *CauxFeedback*

Pour les simulations de *CauxFeedback*, nous nous sommes concentrés sur l'observation des temps pour atteindre le consensus d'attitude. Les simulations ont révélé que :

- Incorporer un dispositif de feedback dans *CauxAttitude* réduit le temps nécessaire pour atteindre le consensus d'attitude.
- Plus le feedback a un poids important dans la prise de décision des agents, plus le consensus d'attitude est atteint rapidement.

Ces deux résultats s'expliquent par le fait que le feedback permet à la population d'agents d'atteindre le consensus d'attitudes sans que les agents

aient à prendre des décisions au regard de leurs attitudes, ce qui n'est pas le cas pour les simulations de *CauxAttitude*.

- Le temps pour atteindre le consensus d'attitude est réduit lorsque les simulations contiennent à la fois du feedback positif et négatif. La présence de ces deux types de feedback fait augmenter les différents états d'attitudes et les différentes décisions possibles de la population d'agents, facilitant l'atteinte des états du système qui provoquent l'émergence du consensus d'attitude.

---

## **2. Portée des résultats de la thèse**

---

### 2.1 Portée des résultats pour la modélisation d'accompagnement

#### 2.1.1 *Portée des résultats de simulations*

Dans les discussions présentées section 3.7 du Chapitre 4 et section 5 du Chapitre 5 nous avons discuté chaque résultat de simulation en faisant le lien entre les modèles *CauxAttitude* et *CauxFeedback* et les jeux de rôles. Dans cette section, nous faisons le lien avec les évaluations de jeux de rôles en modélisation d'accompagnement existantes, marquons notre apport dans la méthode et les types de résultats, et montrons comment nos résultats de simulations contribuent à la conception et l'usage des jeux.

---

##### 2.1.1.1 Apports de la thèse aux évaluations de jeux existantes

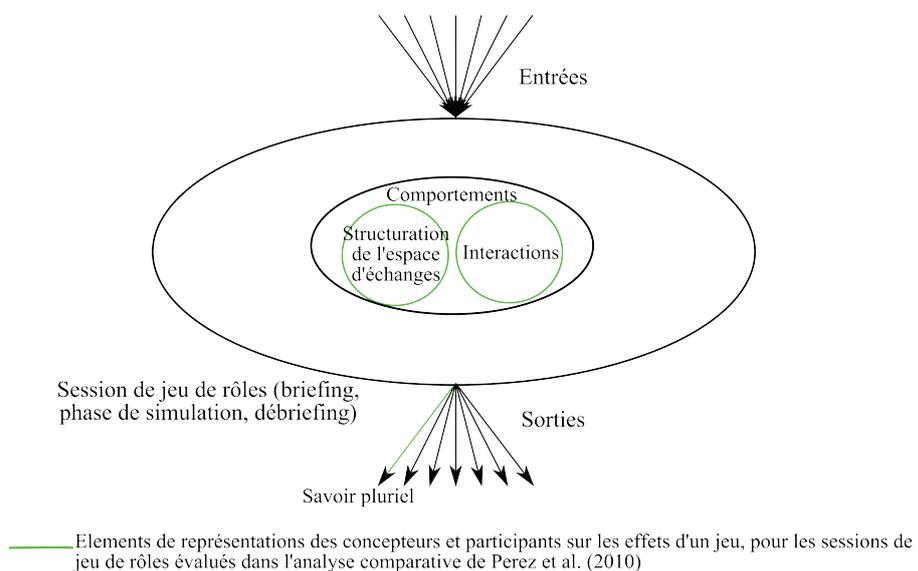
###### *Evaluations existantes*

Une analyse comparative (Perez et al., 2010) recoupant les données de dix huit cas d'études a été effectuée pour évaluer les effets de la démarche de modélisation d'accompagnement. L'évaluation inclut les effets des jeux de rôles mais se s'y restreint pas : la démarche de modélisation d'accompagnement inclut d'autres phases, telles que la conceptualisation, la modélisation et la validation collective (i.e., avec les parties prenantes) des modèles supports représentant les systèmes sociaux et écologiques étudiés. Les objectifs de cette évaluation étaient « d'estimer l'impact de la démarche en terme de mobilisation, puis d'implication des acteurs locaux dans l'apprentissage et la prise de décision collective » et « d'améliorer la méthodologie ainsi que la théorie sous-jacente à la modélisation d'accompagnement » (Etienne, 2010). La méthode d'investigation était sous forme d'entretiens individuels et collectifs auprès des concepteurs et des participants de chaque cas d'étude. Les chercheurs se sont donné pour but de recueillir des données sur le contexte sociopolitique et

biophysique, sur les objectifs et sur les processus (méthodes et artefacts utilisés) de chaque cas d'étude. Les résultats de l'analyse comparative concernant les jeux de rôles révèlent que, du point de vue de la plupart des participants et des concepteurs, les jeux de rôles sont des moments dans lesquels « l'espace d'échange se structure, les interactions se multiplient, et le savoir pluriel se développe » (Etienne, 2010).

### *Apports du travail de thèse*

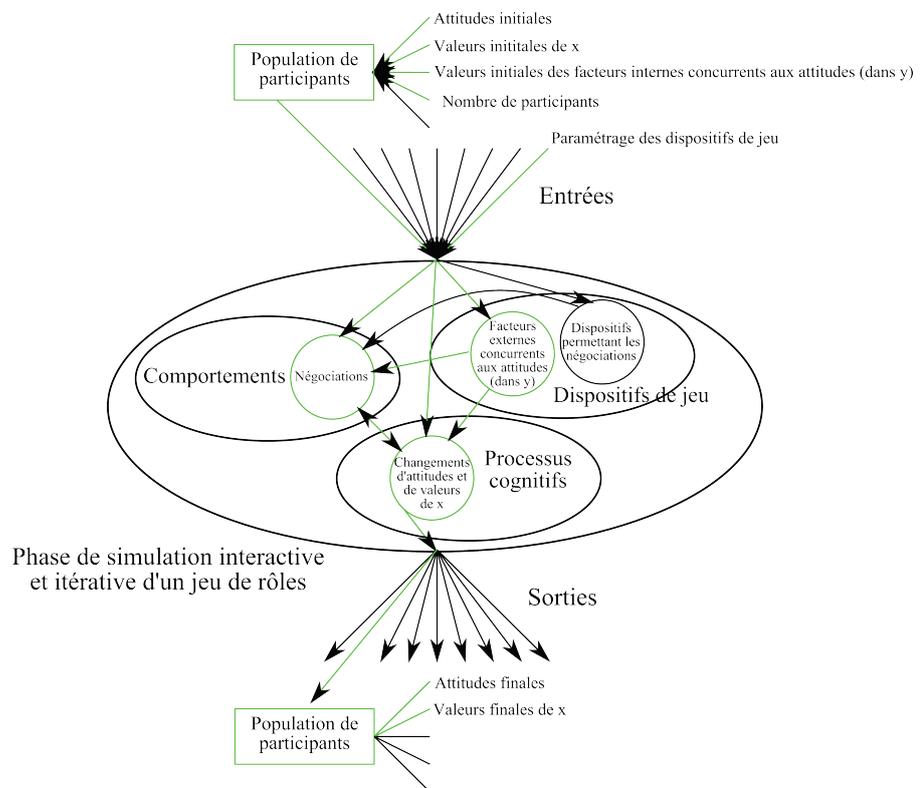
Les jeux de rôles sont des systèmes avec des entrées (participants et leurs caractéristiques, paramétrage des dispositifs...), un support de jeu (les dispositifs expérimentaux) autour duquel s'engagent des processus cognitifs et des comportements, et des sorties multiples (atteinte de solutions collectives, évolution des représentations, des attitudes etc.). Cet ensemble d'éléments des systèmes, les liens qu'ils entretiennent et les dynamiques qu'ils produisent sont mal connus. L'évaluation des effets des jeux de rôles de Perez et al. (2010) fournit des premiers éléments de connaissance en révélant le point de vue des participants et des concepteurs interrogés dans le cadre d'une analyse comparative d'entretiens ex post effectués pour les dix-huit cas d'études. Ce point de vue est une représentation des effets du jeu sur deux comportements (structuration d'un espace d'échanges, multiplication des interactions) et une sortie (émergence de savoir pluriel). La Figure 53 positionne ce qui est capturé par cette évaluation dans l'ensemble d'un processus de jeu de rôles.



**Figure 53** Positionnement du point de vue des participants et des concepteurs capturé par l'analyse comparative de Perez et al. (2010) sur les effets d'un jeu de rôles dans l'ensemble du processus de jeu.

Notre démarche se distingue sur plusieurs éléments :

- Nous apportons également un point de vue, mais celui-ci est caractérisé par des choix de modélisation (e.g., représenter une situation de *CauxOpération*, choix des théories psycho-sociales, choix de la façon de les modéliser, etc.) plutôt que par des représentations de participants.
- Nous nous focalisons uniquement sur la phase de simulation interactive et dynamique des jeux de rôles.
- Nous décrivons à travers des modèles des mécanismes internes dynamiques de cette phase des jeux, mécanismes qui intègrent des sous-éléments de chaque élément du système qui caractérise cette phase de simulation (entrées, comportements, processus cognitifs, dispositifs, sorties) (Figure 54).



**Figure 54** Mécanismes internes à la phase de simulation interactive et dynamique capturés par *CauxAttitude*.

Nous explorons des effets de cadrage provoqués par des dispositifs de jeu et leurs paramétrages sur un processus dynamique de changements d'attitudes (processus cognitifs) se réalisant à travers des comportements de négociation. Pour explorer les effets de cadrage provoqués par les dispositifs inclus dans

*CauxAttitude*, on réalise des simulations informatiques de *CauxAttitude*, chacune intégrant différents paramétrages des entrées. Pour explorer des effets de cadrage provoqués par un nouveau dispositif implémenté, tel que dans *CauxFeedback*, on effectue des simulations de *CauxAttitude* et de *CauxFeedback* avec un calibrage identique des paramètres que les modèles ont en commun. Puis, dans les deux cas, on compare les simulations dans les dynamiques et sorties qu'elles produisent sur certains indicateurs (temps pour atteindre le consensus, proportions de révisions positives et négatives des attitudes).

### *Apports de la démarche*

Les résultats de simulations de *CauxAttitude* et *CauxFeedback* mettent en lumière certains cadrages possibles provoqués par des dispositifs expérimentaux que nous avons explorés : choix de la population de participants, du nombre de participants, de certaines contraintes de jeux agissant sur les processus de décision des participants, et l'introduction d'informations sur les conséquences des actions effectuées pendant les sessions de jeu (feedback). Ils pointent les effets possibles des dispositifs sur des indicateurs psychologiques (attitudes) : cadrages des proportions de révisions positives et négatives d'attitudes, cadrages des temps pour atteindre des consensus d'attitudes. Ces dynamiques ont-elles mêmes été expliquées grâce à la modélisation de *CauxAttitude* et *CauxFeedback* en suivant une approche KISS, permettant de tracer les mécanismes sous-jacents aux dynamiques observées.

Et finalement, la démarche a permis de d'explicitier des phénomènes difficilement observables autrement que par simulation : nous avons exploré des effets de cadrage à partir de simulations exercées pour une large gamme d'initialisation de valeurs de paramètres (e.g., variation des valeurs initiales de  $x$ ,  $y$ ,  $dr$  et sur des échelles temporelles plus longues que la durée de sessions de jeu pour déceler des attracteurs : e.g., nous avons vu que l'attracteur « consensus d'attitudes » pouvait être atteint plus ou moins rapidement en fonction de chacune des valeurs possibles de  $dr$ . Nous avons observé la variabilité des sorties possibles en réalisant des répliques de simulations : e.g., les observations de proportions de révisions positives et négatives d'attitudes se faisaient sur 1000 répliques, et nous avons observé des courbes affichant une variabilité importante entre les répliques (e.g., formes de plateaux, formes linéaires). L'accès par la simulation avec des variations d'initialisations, des pas de temps longs et des répliques contribue à expliquer les mécanismes qui sous-tendent les dynamiques observables dans des sessions de jeux qui ont des périodes plus courtes et des initialisations spécifiques, non contrôlées, voire non connues.

---

### 2.1.1.2 Les résultats de simulations comme des vecteurs de réflexions

Les résultats de simulations permettent d'alimenter les réflexions sur la conception et la mise en œuvre des jeux de rôles. Ils attirent l'attention sur des phénomènes (i.e., cadrages) qui peuvent poser des problèmes d'effectivité et éthiques, et servent d'indicateurs sur lesquels les concepteurs de jeux peuvent se poser des questions. Ils sont sources de réflexions sur trois niveaux :

- Niveau des indicateurs : les simulations montrent que les jeux permettent des révisions positives et négatives des attitudes des participants et à la polarisation et au consensus d'attitudes. Les concepteurs ont la possibilité de questionner le développement de leurs jeux sachant ces contraintes : pour un jeu donné, est-il nécessaire d'exercer un contrôle sur ces indicateurs pour éviter d'altérer son effectivité ? Les attitudes mobilisées par les participants et susceptibles d'évoluer pendant une session peuvent-elles générer un problème éthique ?
- Niveau des dispositifs et de leur implémentation : les résultats de simulations fournissent la capacité de cibler les différents choix d'implémentations de dispositifs vecteurs de cadrages dans les jeux. Pour cela, les explorations de l'ensemble des dispositifs exemples que nous avons réalisées sont une source d'inspiration, à savoir : le choix de la population de participants, du nombre de participants, de certaines contraintes de jeux agissant sur les processus de décision des participants, et le feedback des conséquences des actions effectuées pendant les sessions de jeu. Par exemple, nos résultats montrent que lorsqu'on simule CauxFeedback, le temps pour atteindre le consensus d'attitude est diminué lorsque le feedback est important dans les prises de décisions des participants (i.e., valeur de  $\gamma$  élevée), et encore plus diminué lorsque l'ensemble des feedback distribués dans une simulation contient des feedback de type positif et négatif. Le poids du feedback dans les décisions est déterminé par des facteurs internes aux individus (e.g., attention aux informations externes) mais aussi par des facteurs externes (e.g., manière de présenter l'information). Aussi, le signe du feedback (positif ou négatif) dépend des comportements des joueurs mais aussi de la façon dont le calcul du feedback est modélisé dans le jeu. Le concepteur de jeu peut donc avoir un contrôle relatif sur le poids du feedback et sur son signe. Les résultats de simulations sur des implémentations de dispositifs spécifiques fournissent alors un moyen de réfléchir sur le contrôle du concepteur sur les dynamiques d'attitudes.
- Niveau des mécanismes sous-jacents : les mécanismes sous-jacents aux dynamiques observées par simulation fournissent des indications sur les sources

possibles des cadrages que les dispositifs provoquent dans les jeux. Ces sources sont des outils de réflexion pour anticiper les cadrages liés aux choix d'implémentation de dispositifs de jeux. Par exemple, nous avons mis en évidence les états du système qui mènent au consensus d'attitudes dans les simulations de *CauxFeedback*. Les agents se dirigent systématiquement vers le consensus d'attitudes si, pour un pas de temps donné :

- Tous les initiateurs proposent la même solution aux récepteurs.
- Les récepteurs acceptent les propositions.
- Toutes les attitudes des agents sont positives.
- Le poids de l'attitude des récepteurs sur la solution non discutée est inférieur au poids du feedback.

Bien que cette analyse soit propre aux simulations de *CauxFeedback* et qu'elle ne prétend pas révéler des mécanismes sous-jacents aux jeux réels, elle pointe des indicateurs sur lesquels s'appuyer dans la conception des jeux pour maîtriser les états favorisant les consensus d'attitudes provoqués par les dispositifs implémentés.

---

#### 2.1.1.3 Les résultats de simulations comme des vecteurs de discussions dans les débriefings

Un des rôles du débriefing, généralement organisé à la suite d'une session de jeu, est de mobiliser des éléments qui se sont produits dans le jeu pour engager une réflexion collective entre les parties prenantes. Selon Lerderman (1984), cité dans (Ryan, 2000), cette réflexion peut-être engagée sur trois critères :

- Critère de validité : les participants discutent des liens entre le jeu et ce qui s'y est produit et le monde réel.
- Critère de fiabilité : les participants discutent du caractère prédictif des actions qui se sont déroulées pendant la session.
- Critère d'utilité : les participants discutent des gains et des coûts que l'expérience de jeu a produite pour eux.

Selon Barreteau & al. (2010), le débriefing tel qu'utilisé dans la démarche de modélisation d'accompagnement est un « temps fort collectif » permettant de faire le chemin de retour entre le virtuel et le réel. Il est support de l'interprétation du virtuel vers le réel et est une façon de valider la démarche de modélisation d'accompagnement mise en oeuvre. Il rend explicite les différents événements produits au cours de la session afin d'en tirer des leçons. Les discussions entre les participants portent sur plusieurs aspects de la session de jeu :

- Sur les dynamiques des processus écologiques modélisés.

- Sur les décisions des participants orientant les dynamiques des processus écologiques. Les participants discutent des conséquences des solutions apportées individuellement ou collectivement pour la gestion des ressources en jeu.
- Sur des indicateurs permettant de comparer la session avec des sessions antérieures, e.g., le partage d'information entre participants, la résolution de problèmes environnementaux...
- Sur l'apprentissage généré par l'exploration collective permise par le jeu.
- Sur les comportements entre participants (e.g., types d'interaction, évolution des relations, négociations) afin de chercher à comprendre les processus individuels ou collectifs de décision.
- Sur les sentiments des participants vis-à-vis du déroulement du jeu, les points positifs et négatifs, les améliorations possibles...

Nous suggérons qu'une discussion pendant le débriefing entre les concepteurs et les participants sur les effets de cadrage produits au cours de la session de jeu aurait au moins trois atouts :

- Les changements d'attitudes des participants ayant eu lieu pendant la session de jeu peuvent être persistants dans le temps. Si ces changements ont été provoqués par des effets de cadrage, nous faisons l'hypothèse qu'une discussion rendant explicite le processus de changement peut diminuer l'effet.
- La discussion peut aider le concepteur à mieux comprendre les effets des dispositifs afin de mieux pouvoir les maîtriser pour les sessions ultérieures.
- La discussion peut apporter des hypothèses sur la source de l'effet de cadrage : est-elle un artefact propre au jeu ou alors intervient-il de la même manière dans la réalité ?

Un moyen de rendre cette discussion possible est d'utiliser les résultats de simulations pour monter des observations des dispositifs potentiellement vecteurs de cadrages dans un jeu réel afin de les mobiliser dans la séance de débriefing. Reprenons l'exemple du feedback dans la sous-section précédente : nos résultats montrent que lorsqu'on simule CauxFeedback, le temps pour atteindre le consensus d'attitude est diminué lorsque le feedback est important dans les prises de décisions des participants (i.e., valeur de  $y$  élevée), et encore plus diminué lorsque l'ensemble des feedback distribués dans une simulation contient des feedback de type positif et négatif. Un moyen d'observer ce phénomène dans une session de jeu est de recenser les corrélations entre les types de messages de feedback (positifs ou négatifs) et les décisions prises par les participants, ainsi que recenser les proportions de feedback positifs et négatifs ayant été transmis pendant la session. Si le dispositif n'est pas jugé trop lourd, l'organisateur peut aussi recenser les attitudes initiales et finales des participants afin de juger si les attitudes finales sont plus proches du consensus qu'au départ. Les données ainsi produites peuvent être mobilisées dans le débriefing par l'organisateur (le concepteur si possible) comme

vecteur de discussion sur les éventuels cadrages du feedback produits pendant la session.

---

#### 2.1.1.4 Les résultats de simulations comme des vecteurs d'hypothèses d'effets de cadrage

Les mécanismes sous-jacents expliquant les résultats observés permettent aux concepteurs de créer des hypothèses sur d'autres dispositifs de jeu qui pourraient avoir les mêmes effets de cadrage que les implémentations de dispositifs que nous avons explorés. Par exemple, nous avons vu que la présence de feedback positif et négatif dans une simulation (provoquée par une valeur moyenne de  $dr$ ) de *CauxFeedback* réduit le temps pour atteindre le consensus d'attitudes. Cette observation s'explique par le fait que la présence de ces deux types de feedback augmente le nombre d'états possibles d'attitudes et les différentes possibilités de décisions de la population d'agents sur des mêmes pas de temps, incluant les états du système qui provoquent l'émergence du consensus d'attitudes. Ce mécanisme sous-jacent permet de remonter à d'autres dispositifs capables de provoquer cette observation. Par exemple, l'insertion d'une consigne incitant les participants à explorer les effets de différentes décisions qu'ils peuvent prendre devrait produire un effet similaire à la présence de feedback positif et négatif au cours d'une simulation.

#### 2.1.2 Portée des résultats de modélisation

Les modèles *CauxAttitude* et *CauxFeedback* sont des résultats en tant que tels. Ils permettent d'explorer le choix de la population de participants par l'organisateur de jeu (en fonction de la valeur initiale de  $x$ ,  $y$  et des attitudes), certaines contraintes de jeux qui peuvent avoir une influence sur  $x$  et  $y$ , la variation du nombre de participants, les effets du feedback transmis aux participants sur les conséquences de leurs actions durant les sessions de jeu. *CauxAttitude* a été développé comme modèle de référence et sert de laboratoire virtuel pour explorer les implémentations d'autres dispositifs, comme nous l'avons illustré avec *CauxFeedback*. Ces explorations requièrent des implémentations plus ou moins importantes. À titre d'illustration, le Tableau 10 résume cinq exemples de capacités de *CauxAttitude*, mais aussi de *CauxFeedback* si on cherche à tester des implémentations particulières de feedback, pour explorer de nouveaux effets de cadrage par le biais de différents types d'implémentations. Chaque exemple est détaillé dans les sous-sections à venir.

Type d'implémentation dans <i>CauxAttitude</i> ou <i>CauxFeedback</i>	Exemple de dispositif pouvant cadrer les dynamiques d'attitudes	Choix d'implémentation du dispositif observé dans <i>CauxOpération</i>	Implémentation dans <i>CauxAttitude</i> ou <i>CauxFeedback</i>
Implémentation d'une liste de valeurs pour l'initialisation d'un paramètre	Variation séquencée des événements pluvieux en fonction de leur intensité	Alternance de l'intensité des événements pluvieux chaque année (faible, forte)	Initialisation d'une liste contenant une valeur de <i>dr</i> pour chaque pas de temps
Création d'un paramètre pour faire varier une constante fixe, et implications collatérales	Donner la possibilité de réaliser des négociations à plus de deux participants	Incitation à organiser des réunions collectives, possibilités de négociations à plus de deux participants	-Création d'un paramètre permettant d'initialiser le nombre de récepteurs entre 1 et <i>n-1</i> -Modification de la révision de la valeur de <i>x</i> de l'initiateur selon le choix de modélisation
Création de sous classes	Fiche de rôle attribuée à chaque participant	Deux rôles favorisent un comportement d'initiation. Six rôles favorisent un comportement de réception	Création d'une population d'initiateurs et d'une population de récepteurs
Création d'attributs	Localisation des parcelles des agriculteurs sur le bassin versant par rapport à un axe de ruissellement déterminé par la simulation d'un modèle informatique	Certains rôles d'agriculteurs ont plus de parcelles sur l'axe de ruissellement	Création d'un attribut aux agents qualifiant leur probabilité de tirage
Hétérogénéisation des modèles de changements d'attitudes	Types d'interactions autorisées	Les participants sont libres d'échanger tout type d'information	Développement d'un modèle de changement d'attitudes par transmission d'information et implémentation d'un tirage d'agents ayant une probabilité de négocier ou de transmettre/recevoir une information

**Tableau 10** Cinq exemples d'explorations de nouveaux effets de cadrage moyennant différentes implémentations dans *CauxAttitude* ou *CauxFeedback*.

### 2.1.2.1 Implémentation d'une liste de valeurs pour l'initialisation d'un paramètre

Jusque là, nous avons effectué des simulations avec des initialisations de valeurs des paramètres constantes au cours d'une même simulation pour explorer le comportement des modèles, mais il est aussi possible d'explorer des scénarios développés par un concepteur de jeu. Par exemple, l'implémentation de l'intensité maximale des événements climatiques (paramètre *dr* dans *CauxFeedback*) qui influence le feedback dans *CauxOpération* se déroule de

la manière suivante : chaque année, le modèle alterne entre des événements pluvieux moyens et des événements pluvieux désastreux. La première année subit des événements pluvieux standards en décembre et en juin et la seconde est exposée à des événements climatiques catastrophiques pour les mêmes périodes. Cette alternance est répétée une seconde fois, ce qui permet de comparer les deux premières années avec les deux dernières et de voir quels ont été les impacts des stratégies de gestion du ruissellement mises en œuvre par les participants. L'alternance des valeurs du paramètre  $dr$  (intensité maximale des événements climatiques sur une durée déterminée) au cours d'une même simulation permet d'explorer ce type d'implémentation avec *CauxFeedback*. Il est possible par exemple d'alterner à chaque pas de temps la valeur de  $dr$  en lui attribuant alternativement sa valeur maximale puis minimale.

---

#### 2.1.2.2 Création d'un paramètre pour faire varier une constante fixe, et implications collatérales

*CauxAttitude* comprend un certain nombre de constantes fixes qui nécessitent d'être modifiées pour explorer les effets de nouveaux dispositifs. Par exemple, en intervenant sur la structure d'interaction du modèle, il est possible d'explorer les cadrages provoqués par certains dispositifs, tels que donner la possibilité aux participants de réaliser des négociations à plus de deux. Dans *CauxOpération*, le nombre de participants par négociation n'est pas restreint, et l'animateur de jeu intervient même parfois pour inciter l'organisation de réunions collectives au cours desquelles des négociations de groupe sont possibles. Un moyen d'implémenter ce type de dispositif dans *CauxAttitude* est de modéliser des négociations avec un initiateur et plusieurs récepteurs, en remplaçant la constante fixe (un seul récepteur) par un paramètre permettant d'initialiser le nombre de récepteurs par négociation (compris entre 1 et  $n - 1$ ).

Par contre, ce type d'implémentation peut entraîner un besoin d'effectuer des modifications plus conséquentes impliquant des choix de modélisation particuliers. Dans cet exemple, si les négociations se déroulent à plus de deux agents, il faut repenser le mécanisme d'influence sociale du modèle : dans le cas d'une négociation à deux participants, l'initiateur révisé sa valeur de  $x$  à l'issue de la négociation, en fonction de la réponse du récepteur. Dans un cas à plusieurs récepteurs, il faut commencer par déterminer les conditions qui caractérisent une négociation conclue. La proposition faite par l'initiateur doit-elle être acceptée par tous les récepteurs ou alors un seul suffit pour qu'une implémentation de la proposition s'ensuive? Si on fait le choix que tous les récepteurs doivent accepter, une solution de modélisation est de

considérer une révision positive de la valeur de  $x$  par l'initiateur si tous acceptent, et une révision négative sinon. Mais ce choix reste subjectif : si un seul récepteur refuse, la solution proposée par l'initiateur n'est pas mise en place, mais il n'est pas impossible d'envisager que l'initiateur puisse considérer l'échange comme un début de succès, puisque tous les autres ont accepté. Une solution à ce type de problème est de justifier les choix faits à l'aide de la littérature, ou alors d'introduire un nouveau paramètre dont l'ensemble des valeurs représentent l'ensemble des interprétations possibles de l'initiateur. Cette seconde solution nécessiterait par contre d'effectuer une série de simulations pour chaque valeur initiale du nouveau paramètre afin de tracer l'éventail des sorties possibles.

---

### 2.1.2.3 Création de sous classes

Certaines explorations d'effets de dispositifs nécessitent la création de sous classes. Par exemple, nous avons explicité dans la section 4 du Chapitre 4 que dans *CauxOpération*, certains rôles incitent à initier des solutions (maire et animateur de syndicat de bassin versant) et certains à recevoir des propositions (agriculteurs). Pour explorer l'effet de ce dispositif (rôles) et du choix d'implémentation associé (deux rôles d'initiateurs, six rôles de récepteurs), il faut créer une sous classe d'initiateurs et une sous classe de récepteurs à la superclasse population. On pourra ensuite effectuer des simulations en initialisant par exemple deux initiateurs et six récepteurs.

---

### 2.1.2.4 Création d'attributs

D'autres explorations d'effets de dispositifs nécessitent la création d'attributs. Par exemple, nous avons explicité dans la section 4 du Chapitre 4 que, dans *CauxOpération*, suivant la localisation des parcelles des participants en fonction de l'axe de ruissellement, l'initiateur a tendance à aller voir en priorité des participants qui ont des parcelles pour lesquelles l'implémentation d'un type de solution particulier est plus efficace (e.g., l'implémentation d'un bassin de rétention n'est efficace que si elle est située sur une parcelle qui est sur l'axe de ruissellement et proche du village). Un moyen d'implémenter ce dispositif (localisation des parcelles) dans *CauxAttitude* est d'attribuer des probabilités de sélection de chaque agent pour être récepteur en fonction de chaque solution. Par exemple, un agent peut avoir une forte probabilité d'être sélectionné pour l'implémentation d'une solution de type  $A$  et une faible probabilité pour une solution de type  $B$ .

---

### 2.1.2.5 Hétérogénéisation des modèles de changements d'attitudes

Il est également possible d'explorer les effets de dispositifs en intégrant d'autres modèles d'attitudes dans *CauxAttitude* (i.e., intégration d'autres types d'interactions entre agents et les processus cognitifs qu'ils demandent de mobiliser). Par exemple, dans les jeux de rôles, d'autres canaux générant des changements d'attitudes existent et la coexistence de différents canaux peut engendrer des cadrages particuliers. Dans les sessions de *CauxOpération*, les attitudes des participants n'évoluent pas exclusivement au sein des négociations entre les joueurs, mais peuvent se réaliser par transmission d'information (e.g., discussions informelles, arguments de négociations). Un moyen d'explorer l'effet de ce canal en interaction avec la dynamique des attitudes qui se produit dans *CauxAttitude* est d'intégrer un modèle de changements d'attitudes basé sur la transmission d'informations. Par exemple on peut réaliser une variante du « voter model » (voir détails dans la section 1.2.1.1 du Chapitre 3) adaptée à des opinions continues et non spatialisée : on tire un couple d'agents à chaque pas de temps et un des deux agents se rapproche d'une des deux attitudes de l'autre. Pour intégrer ce modèle à *CauxAttitude*, un moyen est d'attribuer une probabilité de réaliser une négociation ou une transmission d'information pour les couples tirés à chaque pas de temps.

---

## 2.2 Portée des résultats pour la modélisation de dynamiques d'opinions

*CauxAttitude* est le premier système multi-agent de relations réciproques entre attitudes et comportements. Il s'inscrit dans un sous-champ de littérature des modèles de dynamiques d'opinions que nous avons qualifié « modèles de simulation de théories psycho-sociales intégrant des relations attitudes/comportements » et que nous avons illustré par la description des modèles de Richetin et al. (2010), Mosler (2002), Mosler & Brucks (2001), Janssen & Jager (1999) en section 2.2.2 du Chapitre 3. Relativement à la famille des modèles de dynamiques d'opinions, les changements d'opinions ou d'attitudes dans les principaux modèles d'opinions de la littérature vu en section 1.2 du Chapitre 3 sont basés sur des mécanismes d'influence sociale (e.g., mimétisme, conformisme). *CauxAttitude* conserve un mécanisme d'influence sociale caractérisé par l'effet de la décision du récepteur de négociation sur la valeur du paramètre  $x$  de l'initiateur, mais les changements d'attitudes d'un agent sont régulés par ses propres comportements. L'initiateur influence néanmoins indirectement le récepteur, car le choix de la solution qu'il propose définit l'attitude révisée par le récepteur.

*CauxAttitude* participe aussi au développement de l'intégration de théories psycho-sociales dans les modèles de dynamiques d'opinions. La méthodologie du développement des relations attitudes/comportements dans le modèle repose sur un assemblage de différentes théories psycho-sociales pour lesquelles nous avons effectué des simplifications suivant deux critères :

- Suppression des facteurs n'ayant pas d'incidence mathématique sur les dynamiques du modèle à développer (e.g. suppression de la boîte « intention » de la « theory of planned behavior »).
- Agrégation des facteurs ayant les mêmes effets (création des paramètres  $x$  et  $y$ ).

En conséquence, *CauxAttitude* est un modèle de dynamiques d'attitudes fondé sur un mécanisme de changements d'attitudes nouveau dans le domaine des modèles de dynamiques d'opinions. Il participe aussi, avec les théories psycho-sociales dont il est inspiré et la méthodologie d'implémentation de ces théories dans un système multi-agent développée dans cette thèse, au développement des liens entre psychologie sociale et modélisation de dynamiques d'opinions. Comme proposé par Xia et al. (2011), Mason et al. (2007), Smith & Conrey (2007), Mosler & Brucks (2001), cette implémentation est une voie prometteuse pour développer des modèles d'opinions plus précis autant pour les modélisateurs de modèles dynamiques que les psychologues.

---

## 2.3 Portée des résultats pour la psychologie-sociale

### 2.3.1 *Portée des résultats de simulations : hypothèses pour enrichir la connaissance des relations attitudes/comportements par des liens intra- et inter-disciplinaires*

Les résultats de simulations fournissent des hypothèses sur des processus dynamiques engageant des relations attitudes/comportements, dont les hypothèses du modèle sous-jacent sont basées sur des théories psycho-sociales. Les relations attitudes-comportements sont étudiées de manière statique en psychologie sociale : on s'intéresse par exemple au changement d'attitude après un comportement spécifique (e.g., Festinger, 1957) ou à la responsabilité d'une attitude dans l'influence d'un comportement (e.g., Ajzen, 1991). Les expériences réalisées sont de type « one shot », il n'y pas d'itération des processus. Nos résultats montrent qu'envisager ces relations sous un angle dynamique en condition d'interaction de groupe permet de lier l'étude des relations attitudes/comportements avec l'exploration de phénomènes tels que le consensus et la polarisation de groupe et fournit des hypothèses sur leurs causes (e.g., état du système menant au consensus et à la polarisation). Cet angle dyna-

mique fournit des pistes de recherche en faisant des liens entre psychologie sociale et simulation sociale : il fournit au psychologue social des pistes pour étendre la compréhension des liens entre attitudes et comportements au niveau des phénomènes que ces liens provoquent sur des groupes (consensus, polarisation) en utilisant éventuellement la simulation multi-agent.

L'association entre la recherche sur les relations attitudes-comportements avec l'étude de phénomènes tels que la polarisation et le consensus fournit aussi des pistes de recherche pour faire des liens intra-disciplinaires. On peut citer par exemple les recherches de Moscovici & Faucheux, (1972) sur la polarisation de groupe et l'influence des minorités, ainsi que les travaux caractérisant des modèles de l'influence sociale développés pour identifier les mécanismes sous-jacents à la diffusion des opinions (e.g., Katz & Lazarsfeld, 1955; French Jr, 1956; Latané, 1996). Ces travaux étudient entre autre la polarisation et le consensus par le biais de mécanismes d'influence sociale, et nos résultats montrent que d'autres mécanismes (i.e., mécanismes régissant les relations attitudes/comportements) sont possibles pour faire émerger ces phénomènes.

### 2.3.2 *Portée des résultats de modélisation : hypothèses pour le développement d'un modèle de dynamique de relations attitudes/comportement justifié par l'expérimentation*

La mise en lien des différentes théories psycho-sociales dans *CauxAttitude*, l'agencement des théories entre elles pour représenter une dynamique de séquences de négociations, fournit un modèle de base à mettre à l'épreuve par l'expérimentation pour développer une théorie des relations attitudes/comportements dans un cadre dynamique et avec interactions répétées entre individus. *CauxAttitude* peut être considéré comme une base pour élargir le champ d'étude fondamental des relations attitudes/comportements ainsi que le domaine de validation des théories fondées dans des contextes statiques. Le type d'expérimentation que nous suggérons est détaillé dans la section 4.1.3. Notons que le recours à l'expérimentation commence également à être réalisé dans l'étude de la formation d'opinions par influence sociale dans un cadre dynamique (e.g., Moussaïd et al., 2013).

---

## **3. Limites des résultats de la thèse pour la modélisation d'accompagnement**

Nous avons vu qu'une partie de la portée des résultats de simulations des modèles *CauxAttitude* et *CauxFeedback* permettent d'alimenter des réflexions dans la conception et la mise en œuvre des jeux en modélisation d'accompagnement. Par contre, des problèmes engagés par des choix subjek-

tifs de modélisation ainsi que des problèmes d'évaluation des modèles empêchent les résultats d'être des vecteurs de conseils de conception et de mise en œuvre.

Aussi, la portée des résultats de modélisation montre les capacités des modèles à être des outils d'exploration d'effets de cadrage. Néanmoins cette exploration concerne des effets de cadrage exclusivement inclus dans le questionnement de recherche de la thèse, construit par des réductions successives du problème général des effets de cadrage dans les jeux de rôles.

Les trois sous-sections à venir décrivent respectivement les choix subjectifs de modélisation, les problèmes d'évaluation des modèles et la limite des types d'effets de cadrage observables par le biais de *CauxAttitude* et *CauxFeedback*.

---

### 3.1 Choix subjectifs de modélisation

Un modèle est un point de vue sur le fonctionnement d'un système réel et comprend la plupart du temps au moins trois niveaux de subjectivité :

- Il contient des axiomes, i.e. des vérités non démontrables. Un modèle est développé par un cerveau humain à l'aide d'outils scientifiques que l'homme a développé qui permettent d'accéder seulement à des représentations du réel, lui-même un axiome.
- Il contient généralement des postulats, i.e., principes non démontrés mais tenus pour légitimes, e.g., l'approche cognitive postule l'existence d'opérations cognitives pour traiter l'information entre un stimulus et une réponse. Un modèle contenant des opérations cognitives fait alors ce postulat.
- Il peut aussi contenir des hypothèses de modélisation non justifiées ou justifiées par des théories n'expliquant pas la totalité des observations qu'elles ciblent. Les modèles contiennent alors des propositions d'explications subjectives de processus du système représenté, qu'on doit chercher à mettre à l'épreuve si on veut améliorer la confiance des modèles. Par exemple nous faisons l'hypothèse que les théories psycho-sociales choisies pour la modélisation de *CauxAttitude* caractérisent correctement les processus impliqués dans des séquences de négociations.

Si les deux premiers niveaux de subjectivité sont du ressort de réflexions épistémologiques plus larges que le cadre de la thèse, il nous est nécessaire par contre de qualifier les choix subjectifs qui n'existent que dans le cadre de la thèse, à savoir les choix faits au troisième niveau, pour définir le domaine de validité des résultats de simulations.

Notons que nous ne considérons pas comme des choix subjectifs le fait d'avoir exclu des modèles des dispositifs pouvant avoir des impacts sur les changements d'attitudes. Par exemple, considérons le choix que nous avons

fait dans *CauxAttitude* en modélisant une relation déterministe entre comportements et attitudes : dans le modèle, un comportement implique nécessairement une révision de l'attitude correspondante, dans la limite de ses bornes. Lorsqu'une attitude est révisée à la suite d'un comportement, on parle de rationalisation en psychologie sociale. Si la seule façon de discréditer ce choix est de dire que le comportement d'un individu n'influence pas son attitude lorsqu'il peut justifier son comportement à l'aide d'un dispositif le lui permettant (e.g., gain d'argent par la réalisation du comportement), alors ce choix n'est pas subjectif car le choix est valide dans le contexte minimal de *CauxAttitude*. Alors que si par contre personne n'a prouvé que dans un contexte minimal tel que celui de *CauxAttitude* un comportement implique nécessairement une révision d'attitude, alors nous considérons le choix comme subjectif. Ci-dessous, nous listons les choix subjectifs que nous avons recensés dans la modélisation de *CauxAttitude* (description du modèle dans la section 3.4 du Chapitre 4) et de *CauxFeedback* (description du modèle dans la section 3 du Chapitre 5).

### 3.1.1 Liste des choix subjectifs recensés

Choix 1. *Un contexte minimal engendre la rationalisation* : comme nous venons de le décrire dans l'exemple précédent, nous considérons que les comportements ont une influence déterministe sur les attitudes dans le contexte minimal de *CauxAttitude* : les agents rationalisent en révisant leurs attitudes conformément à tous les comportements qu'ils effectuent. Nous avons justifié ce choix de modélisation par le fait que nous voulions explorer des effets de cadrage à travers un premier modèle simple et parce que nous voulions observer par simulation les effets les plus élevés possibles provoqués par des choix de dispositifs spécifiques (cf. section 3.4.2.2 et section 4.2 du Chapitre 4). *CauxAttitude* est donc un cas particulier d'un modèle plus générique pour lequel l'influence des comportements sur les attitudes est relative.

Choix 2. *Hypothèse d'indépendance entre  $x$  et les changements d'attitudes* : dans *CauxAttitude* comme dans *CauxFeedback*, les attitudes des agents évoluent de la même manière quelle que soit la valeur de  $x$ . Or, étant donné que  $x$  contient des facteurs tels que la confiance et la stabilité dans l'attitude, nous avons introduit l'hypothèse selon laquelle la confiance et la stabilité dans l'attitude sont indépendantes d'une résistance au changement d'attitude provoqué par un comportement.

Choix 3. *Hypothèse d'absence d'effets des comportements sur  $x$  et  $y$*  : dans *CauxAttitude* et *CauxFeedback*, seules les valeurs des attitudes sont influen-

cées par les comportements. Nous avons alors introduit l'hypothèse que les comportements n'ont aucun impact sur les autres facteurs des modèles.

Choix 4. *Influence sociale sur  $x$*  : dans *CauxAttitude* et *CauxFeedback* les agents en position d'initiateur influencent les récepteurs : le choix de l'initiateur de proposer une solution  $A$  ou  $B$  force le récepteur à effectuer un choix et en conséquence un changement d'attitude sur cette solution. Cependant, nous avons également implémenté une influence sociale du récepteur vers l'initiateur en faisant l'hypothèse que les réponses des récepteurs aux propositions influencent la valeur de  $x$  de l'initiateur.

Choix 5. *Initiation de solution et négativité d'une ou plusieurs attitudes* : dans *CauxAttitude* et *CauxFeedback*, il n'est pas possible pour l'initiateur de proposer une solution pour laquelle son attitude est négative, et ce quel que soit le poids des autres facteurs que l'attitude dans l'influence des comportements (i.e., valeur de  $y$ ).

Choix 6. *Initiation de solution et positivité des deux attitudes* : lorsqu'un initiateur choisit une solution en fonction de ses attitudes, il choisit systématiquement la solution pour laquelle son poids d'attitude ( $x \times a$ ) est le plus élevé, même s'ils sont tous les deux positifs.

Choix 7. *Effet direct du feedback sur les comportements et indirect sur les autres facteurs* : dans *CauxFeedback*, lorsque le poids du feedback est suffisamment élevé, il influence les comportements des agents et les comportements influencent à leur tour les attitudes. Le modèle contient alors l'hypothèse que le feedback a un impact direct sur les comportements et l'hypothèse qu'il n'a pas d'influence directe sur les attitudes ni sur les autres facteurs de *CauxAttitude*.

Choix 8. *Le conditionnement opérant comme réaction au feedback* : pour la modélisation de *CauxFeedback*, nous avons suivi des règles simples de conditionnement opérant pour modéliser les effets du feedback sur les agents : si un agent reçoit un feedback positif il agit dans le sens de son comportement précédent, s'il reçoit un feedback négatif, il agit à l'opposé de son comportement précédent. Les agents ne peuvent pas tenter de persévérer en cas de feedback négatif et ne peuvent pas tenter d'explorer de nouveaux comportements en cas de feedback positif.

Choix 9. *Un calcul de feedback global pour une perception locale* : dans *CauxFeedback*, la probabilité de feedback positif ou négatif dépend de

l'ensemble des actions des agents. Plus les négociations ont été acceptées par les récepteurs, plus la probabilité de feedback positif est importante. Par contre, les agents sont modélisés de telle sorte qu'ils associent la conséquence de positivité ou négativité du feedback à leur seul comportement individuel précédent.

Choix 10. *Incrément des attitudes et de  $x$*  : nous avons fixé un incrément d'une unité sur une plage de dix unités pour chaque changement d'attitude ou de valeur de  $x$ . Nous supposons donc que les comportements de négociation tels que nous les avons représentés ont toujours le même poids sur les révisions d'attitudes (e.g., les agents ne peuvent pas passer d'une attitude de valeur 0 à une attitude de valeur 5 à la suite d'un seul comportement).

Choix 11. *Changements d'attitudes selon un processus « on-line »* : les travaux sur la persuasion, i.e., changements d'attitudes provoqués par des messages persuasifs, montrent que les changements d'attitudes peuvent être de type « on-line », i.e., pas à pas, ou « memory based », i.e., traitement a posteriori par rappel des informations en mémoire. Les travaux de Mackie & Asunacion (1990) suggèrent par exemple que le traitement « on-line » est favorisé lorsque les individus sont motivés à traiter l'information. Dans *CauxAttitude* et *CauxFeedback*, nous faisons l'hypothèse que les changements d'attitudes des agents interviennent immédiatement après chaque comportement effectué, donc suivant un traitement « on-line ».

Choix 12. *La « theory of planned behavior » transformée en un modèle de prise de décision* : l'objectif de la « theory of planned behavior » (Ajzen, 1991, 2004) est de prédire l'exécution d'un comportement ou un choix entre plusieurs comportements à partir de la connaissance des états de différents facteurs : attitudes, contrôle perçu du comportement, normes subjectives, intentions. Les expériences mettant à l'épreuve la théorie (Ajzen, 2004) montrent par exemple que lorsqu'un individu a le sentiment de bien contrôler la réalisation du comportement, les intentions sont des bons prédicteurs de ce comportement (i.e., bonne corrélation entre intention et comportement). Cependant, la théorie n'offre pas un modèle cognitif de choix comportemental dont nous avons eu besoin pour modéliser les prises de décisions dans *CauxAttitude*. Nous avons donc conçu un modèle de choix comportemental basé sur la « theory of planned behavior » et avons du faire des choix de modélisation parmi différentes possibilités. Pour caractériser le processus de choix dans *CauxAttitude* et *CauxFeedback*, nous avons supprimé le facteur intention et placé les attitudes en opposition avec le poids des autres facteurs d'influence des comportements. Ce choix d'opposition vient du fait que nous

avons voulu développer un modèle centré sur les dynamiques d'un seul composant de la « theory of planned behavior », à savoir les attitudes.

Nous faisons l'hypothèse que dans un contexte de choix entre deux comportements :

- Un initiateur de négociation compare les poids de ses attitudes (i.e.,  $x \times a$ ) sur les différentes propositions qu'il peut faire ( $A$  ou  $B$ ) si et seulement si l'un de ces poids est supérieur au poids des autres facteurs d'influences des comportements (i.e.,  $y$ ) incluant le contrôle perçu du comportement et les normes subjectives.
- Un récepteur de proposition accepte ou refuse la proposition en fonction du signe de son attitude si et seulement si le poids de son attitude est supérieur au poids des autres facteurs d'influence du comportement.

Choix 13. *Simplification des liens entres les facteurs de la « theory of planned behavior »* : la « theory of planned behavior » suggère l'existence de liens entre les différents facteurs impliqués. La théorie fait des liens directs entre les attitudes, le contrôle perçu du comportement et les normes subjectives, et elle suggère un des liens de feedback du comportement sur ces facteurs. Dans *CauxAttitude* et *CauxFeedback* nous avons supprimé ces liens sauf celui du feedback du comportement sur les attitudes.

Choix 14. *Non consistance du choix aléatoire dans  $y$*  : dans *CauxAttitude*, lorsque les agents se comportent en fonction des autres facteurs que les attitudes dans l'influence des comportements ( $y$ ), ils décident de manière aléatoire. Ce choix a été fait car nous ne connaissons pas l'ensemble des facteurs inclus dans  $y$ , ainsi que leurs poids et valeurs. Nous avons fait l'hypothèse que ce choix est toujours aléatoire, même lorsque les agents se retrouvent plusieurs fois devant les mêmes choix à réaliser au cours d'une même simulation.

Choix 15. *Rationalité très limitée des agents* : nous avons développé des modèles très simples pour représenter une situation incluant le moins de dispositifs possibles afin d'obtenir un modèle de référence (*CauxAttitude*) auquel on peut ultérieurement implémenter de nouveaux dispositifs (e.g., *CauxFeedback*) pour tester leurs effets. Cependant, nous avons également souhaité respecter le principe de parcimonie pour la modélisation de chaque processus impliqué, y compris les processus qui ne sont pas des dispositifs (e.g., rationalité des agents). Certains modèles, e.g., modèle de ségrégation de (Schelling, 1978), contiennent des hypothèses très simples afin de provoquer par simulation des phénomènes observés dans la réalité avec des facteurs suffisants à leur génération. Dans notre cas, nous n'avons pas de phénomènes observés auxquels nous rattacher, les dynamiques produites par nos modèles sont des effets possibles

qui participent à la formation de dynamiques plus complexes, produites en interaction avec d'autres facteurs impliqués dans les sessions de jeux de rôles. Les observations que nous avons faites des sessions de *CauxOpération* ne permettent pas d'extraire les dynamiques relatives aux dynamiques observées par les simulations des modèles. Notre objectif était aussi d'intégrer seulement des paramètres suffisants, mais suffisants pour représenter une situation permettant l'exploration et la compréhension d'effets de cadrage sur les dynamiques d'attitudes.

Le critère de suffisance pour la modélisation de processus autres que des dispositifs a pour nous l'objectif de faciliter la compréhension des dynamiques produites par les simulations des modèles. Il s'agit selon nous et selon nos objectifs d'une étape nécessaire avant d'envisager une éventuelle complexification des modèles, notamment en attribuant une mémoire des événements passés aux agents. Car pour l'instant, dans *CauxFeedback* par exemple, à un pas de temps donné, les agents ont seulement mémorisé leur dernier comportement, qu'ils associent au feedback qu'ils reçoivent, puis agissent en conséquence. En conséquence, la modélisation simplifiée de processus tels que la rationalité des agents, même si elle est justifiée par une volonté de compréhension des dynamiques, reste un choix subjectif pouvant augmenter l'écart entre les dynamiques observées par la simulation des modèles et les dynamiques réelles qui se déroulent dans les jeux de rôles.

*Choix 16. Adaptation de théories non basées sur des comportements de négociation* : les théories sur lesquelles nous nous sommes inspirées pour développer *CauxAttitude* et *CauxFeedback* ont elles mêmes été fondées sur des expériences impliquant des comportements autres que des comportements de négociations. Nous faisons donc l'hypothèse dans les modèles que ces théories sont transférables à un contexte de négociation.

### 3.1.2 Conclusion sur les choix subjectifs

Dans cette partie, nous avons tenté de rassembler l'ensemble des choix subjectifs inclus dans *CauxAttitude* et *CauxFeedback*. Sur chacun des choix recensés, il est très facile de caractériser une ou plusieurs hypothèses alternatives (plausibles mais toutes aussi subjectives) qui modifieraient sensiblement les résultats de simulations. Par exemple, prenons le Choix 6 selon lequel quand les deux attitudes sont positives, la solution choisie est systématiquement celle à laquelle correspond le poids d'attitude le plus élevé. Si on modifiait cette hypothèse en attribuant des probabilités de choix pour chacune des solutions, probabilités dépendantes du poids des attitudes, on verrait s'effondrer les proportions de révisions exclusives d'une seule attitude dans les résultats de si-

mulations. La dépendance des résultats à ces hypothèses subjectives nous forcent à bien considérer que le domaine de validité des résultats est exclusivement réduit aux modèles. Si on veut étendre ce domaine, il faut procéder à une évaluation des modèles. Nous montrons dans la sous-section suivante les problèmes liés à la mise en œuvre d'une telle démarche.

---

### 3.2 Problèmes d'évaluation des modèles

Pour améliorer la crédibilité d'un modèle multi-agent, surtout s'il contient des choix subjectifs, il est recommandé d'effectuer une évaluation. Plusieurs sont possibles et se complètent :

- Comparer les simulations avec des données réelles issues du système représenté. Selon Zeigler, Praehofer, & Kim (2000) cités dans Bonté (2011) il est possible dans ce cas mettre le modèle à l'épreuve par : la comparaison de couples d'entrées/sorties de simulations avec des couples entrées/sorties du système réel ; la prédiction des sorties du système cible via la simulation quelle que ce soit l'entrée ; la prédiction de successions d'états du système cible à partir de la simulation de la succession des états du modèle pour un même signal d'entrée. Cette évaluation permet de réfuter la validité du modèle si les sorties du système représenté et du système simulé diffèrent, ou si les prédictions des états ou des sorties s'avèrent erronées, et permet d'améliorer la confiance dans le modèle sinon.
- Mettre expérimentalement à l'épreuve les hypothèses subjectives des processus individuels et d'interaction contenus dans le modèle. Cette évaluation permet de réfuter la validité du modèle si les hypothèses sont rejetées par l'expérience, et d'améliorer la confiance dans le modèle sinon.
- Comparer les sorties du modèle avec les sorties de modèles représentant des systèmes similaires. On parle alors d'alignement de modèles ou « docking » (Axtell et al., 1996, cité dans Bommel, 2009). Cette évaluation permet d'améliorer la confiance dans le modèle si des modèles similaires fournissent les mêmes types de résultats.

Pour l'évaluation de *CauxAttitude* et *CauxFeedback*, ces méthodes sont difficiles à mettre en œuvre à cause de limites imposées par la question de recherche, du pouvoir explicatif des données issues des observations de *CauxOpération* et du caractère unique de notre modèle au sein de la littérature (i.e., pas d'alignement possible). Nous discutons les deux premières difficultés dans les deux sous-sections qui suivent.

### 3.2.1 Non pertinence des comparaisons de données observées/simulées

---

#### 3.2.1.1 Difficulté d'estimation des paramètres des modèles

Pour faire des comparaisons entre les résultats de simulations avec des données au sens de Zeigler, Praehofer, & Kim (2000), le moyen est dans un premier temps de recueillir les attitudes des participants avant et après chaque session de *CauxOpération*. On recueille ensuite des données pour estimer les valeurs des paramètres de *CauxAttitude* à initialiser afin de simuler la condition la plus proche de la condition observée. Il faut donc estimer les valeurs de  $x$  et  $y$  pour chaque participant, et noter le nombre de participants ( $n$ ), l'ordre des négociations effectuées, et qualifier chaque couple de participants par négociation. Ensuite, on effectue des simulations en initialisant les attitudes des agents, les valeurs de  $x$ ,  $y$ ,  $n$  et l'ordre de tirage des couples relativement aux données recueillies, puis on compare les attitudes finales des agents avec celles des participants.

Cette étape pose un premier problème : il est difficile voire impossible d'estimer correctement la valeur des paramètres  $x$  et  $y$  pour les participants aux sessions de *CauxOpération*. Par exemple,  $y$  dans *CauxAttitude* incorpore l'ensemble des facteurs, connus mais aussi non connus, ayant une influence sur les comportements. Il faudrait alors pouvoir contrôler le contexte du jeu à travers différentes conditions ou avoir une connaissance précise des facteurs inclus dans  $y$  et pouvoir quantifier le poids de ces facteurs dans la prise de décision. De plus, dans *CauxAttitude*, les décisions des agents suivant  $y$  sont aléatoires, il faudrait pouvoir effectuer des sessions de jeux de rôles sur un grand nombre de pas de temps pour qu'une comparaison soit pertinente.

---

#### 3.2.1.2 Différents types de révisions d'attitudes dans les jeux de rôles

Le second problème est lié au questionnement de recherche dans la thèse : nous avons choisi d'explorer les effets des comportements sur les attitudes, qui sont seulement un moyen de changement d'attitudes parmi d'autres dans un jeu. Dans *CauxOpération*, les participants peuvent également réviser leurs attitudes suite à des transmissions d'informations, à des argumentations ou encore à des feedbacks du support de jeu. Dans la conception de modèles, on retrouve souvent une volonté d'incorporer uniquement les paramètres les plus importants dans les modèles pour représenter l'évolution d'un système. Dans ce cas, même si le facteur choisi n'est pas exclusif dans l'explication du mécanisme réel qu'on étudie, on fait l'hypothèse que le poids du facteur dans le

modèle simulé sera suffisant pour approximer les données réelles. Dans cette thèse, nous ne faisons aucune hypothèse postulant que le changement d'attitude causé par un comportement est le vecteur majeur de changements d'attitudes dans *CauxOpération*. L'argument derrière notre choix d'investiguer uniquement des changements d'attitudes dans les jeux de rôles à travers les relations attitudes/comportements est que nous avons voulu nous concentrer sur les effets produits par une spécificité des jeux de rôles par rapport à d'autres méthodes, à savoir la mise en situation fictive, qui donne lieu à des comportements de la part des participants. En conséquence comparer les attitudes finales des agents avec les attitudes finales des participants pour des mêmes entrées est non pertinent.

---

### 3.2.1.3 Exclusion des dispositifs facteurs d'influences des attitudes dans les modèles

Le troisième problème est que *CauxAttitude* représente une situation incluant uniquement les dispositifs essentiels à la formalisation d'une situation. Nous avons volontairement évité d'intégrer d'autres dispositifs pouvant avoir un impact sur les révisions d'attitudes, dans le but de donner la capacité au modèle de les implémenter ultérieurement pour les explorer un à un, tel que nous l'avons fait avec le feedback dans *CauxFeedback*. Une comparaison entre les sorties de simulations d'un modèle ne contenant que la formalisation de dispositifs essentiels avec un jeu de rôles contenant d'autres dispositifs ayant un impact sur les révisions d'attitudes est alors non pertinent.

## 3.2.2 Limites des capacités d'observation de *CauxOpération* pour mettre à l'épreuve les choix subjectifs

---

### 3.2.2.1 Difficultés de réunir une quantité de données suffisante pour une exploitation statistique

La mise à l'épreuve des choix subjectifs ne requiert pas nécessairement un recueil de données provenant de sessions de jeux avec une population de parties prenantes. Les hypothèses suggèrent des mécanismes universels de changements d'attitudes. Différencier des étudiants de parties prenantes à l'intérieur des modèles *CauxAttitude* et *CauxFeedback* doit pouvoir être fait par l'initialisation des paramètres des agents. Cependant, participer à une session de *CauxOpération* requiert d'avoir une connaissance non négligeable des règles agronomiques et de gestion économique d'exploitation pour les rôles d'agriculteurs, une connaissance de gestion du budget communal pour le rôle

de maire, et une connaissance de la gestion de l'érosion pour le rôle d'animateur de bassin versant. Envisager une validation des hypothèses des modèles avec une population d'étudiants est donc risqué.

Nous avons réussi à réaliser seulement trois sessions avec des parties prenantes (pour raison de manque de disponibilités de ces derniers), et recueilli un taux non négligeable de non réponses dans nos questionnaires, ce qui compromet un soutien statistique à des tests d'hypothèses.

---

### 3.2.2.2 Un terrain trop contextualisé pour tester un modèle peu contextualisé

*CauxOpération* contient un ensemble de dispositifs qui ont des impacts sur les changements d'attitudes des participants. Il est donc difficile de mettre à l'épreuve les hypothèses suggérant des mécanismes opérant dans un contexte minimal ainsi les hypothèses suggérant des mécanismes qui peuvent être confondus avec des effets de dispositifs. Par exemple, dans les sessions de jeux que nous avons observées, nous avons constaté 38 non changements d'attitudes sur 60 possibilités, mais nous ne sommes pas en mesure de connaître les causes de ces non changements. Nous ne savons pas si les non changements sont dus à des dispositifs de jeu favorisant la justification du comportement, s'ils sont dus à un effet de  $x$  agissant comme un filtre de résistance (Choix 2), et nous ne pouvons pas réfuter l'hypothèse selon laquelle la rationalisation est systématique dans un contexte minimal (Choix 1).

---

### 3.2.2.3 Biais introduit par le recueil des changements d'attitudes

Nous avons exercé un recueil des changements d'attitudes à l'issue de chaque négociation dans les sessions de jeux observées pour légitimer le développement d'un modèle sur les changements d'attitudes à travers des séquences de négociations. Ce type de recueil est aussi nécessaire pour une phase d'évaluation. A l'issue de chaque négociation, nous avons demandé aux participants de remplir un mini-questionnaire leur demandant si la négociation leur avait provoqué un changement d'attitude et de confiance dans leur attitude (annexe 1.2). L'avantage de ce type de questionnaire par rapport à des questionnaires distribués avant et après les sessions de jeux est qu'il permet d'éviter d'inclure les changements d'attitudes effectués en dehors des négociations. Par contre ce recueil contient au moins un biais, car il force une révision d'attitude par un processus de type « on-line » (cf. Choix 11), et nous ne sommes pas certains que ce type de processus soit le processus mis en œuvre par les participants lorsqu'ils n'ont pas de questionnaires à remplir (Choix 11).

Ce même problème se retrouve également pour la mise à l'épreuve de l'hypothèse selon laquelle le feedback a seulement un lien indirect sur les attitudes (Choix 7), si on envisage ce test par un recueil d'attitudes après chaque feedback reçu.

Ce type de questionnaire peut aussi provoquer un autre biais : forcer le rappel des attitudes entraîne leur accessibilité, et l'accessibilité est un des facteurs inclus dans  $x$  (cf. section 3.4.2.2 du Chapitre 4). Le questionnaire peut donc entraîner une augmentation des valeurs de  $x$  des participants.

---

#### 3.2.2.4 Difficulté à isoler l'effet des comportements sur les attitudes

Les changements d'attitudes révélés par les mini-questionnaires distribués à l'issue de chaque négociation ne garantissent pas que les comportements sont les causes des changements. Dans une négociation, il y a des échanges d'arguments, des transmissions d'information et des forces de persuasion qui concurrencent les comportements dans l'influence des attitudes. Il est donc difficile de savoir quels sont les poids des comportements dans les changements d'attitudes recueillis.

---

#### 3.2.2.5 Difficulté d'estimation des paramètres $x$ et $y$

Pour tester les hypothèses des modèles, il faut comme pour l'évaluation par comparaison de données observées et simulées (cf. section 3.2.1), estimer les paramètres  $x$  et  $y$ . Par exemple, si on veut tester l'hypothèse de notre ajustement de la « theory of planned behavior » en un modèle cognitif de choix comportemental (Choix 12), il nous faut pouvoir comparer le poids des attitudes ( $x \times a$ ) avec les valeurs de  $y$  respectives de participants réels. Cette comparaison permettrait d'observer si le modèle est cohérent avec les choix des participants relativement à leurs valeurs d'attitudes, de  $x$  et de  $y$ . Nous vous renvoyons à la sous-section 3.2.1.1 pour les détails des difficultés des estimations.

---

#### 3.2.2.6 Recueil de données limité

Les sessions de *CauxOpération* sont avant tout destinées aux participants. Elles ont pour but de faciliter la gestion collective des phénomènes de ruissellement érosif en Haute-Normandie.

Le jeu possède une dynamique soutenue, les participants sont impliqués dans différentes tâches et doivent rester impliqués dans leur rôle. Le re-

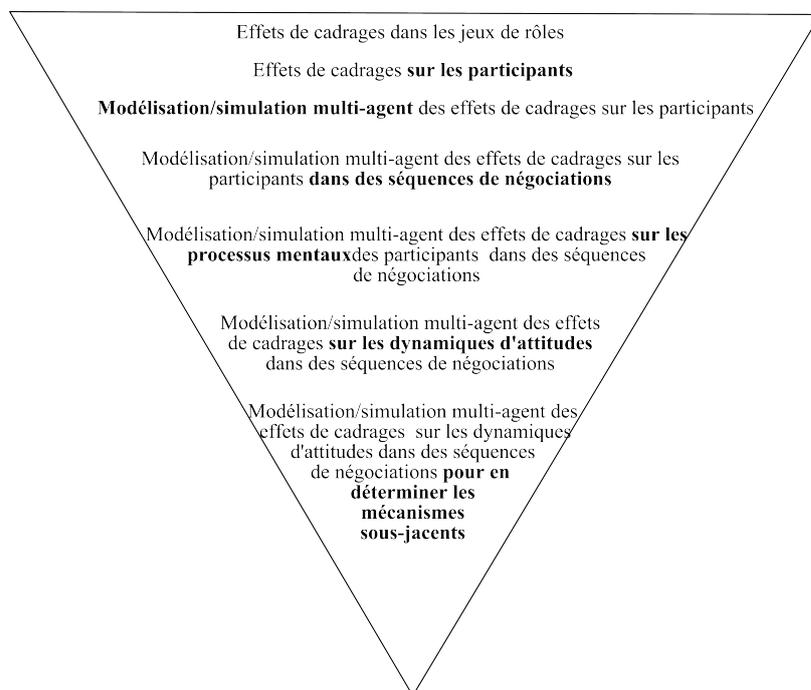
cueil de données qui demandent une implication des participants (e.g., via des questionnaires) reste alors très limité.

### 3.2.2.7 Les observations ne contiennent pas l'ensemble de la variabilité inter-individuelle

En plus de l'impossibilité d'effectuer des analyses statistiques par manque de données, nous n'avons pas accès à l'ensemble de la variabilité inter-individuelle de la population cible. Par exemple, si aucun participant n'a initié de solution pour laquelle son attitude était négative dans les sessions que nous avons observé (en accord avec le Choix 5), il n'est pas exclu que d'autres individus de la population puissent proposer une solution de ce type.

## 3.3 Effets de cadrage situés en amont dans l'entonnoir de la problématique

Dans le Chapitre 1 nous avons construit la problématique en partant des questionnements des chercheurs sur l'existence d'effets de cadrage dans les jeux de rôles, et avons aboutit à notre questionnement de recherche par réductions successives décrites sous la forme d'un entonnoir (Figure 55).



**Figure 55** Réductions successives du problème jusqu'au questionnement de recherche.

*CauxAttitude* permet d'explorer uniquement les effets de dispositifs qui rentrent dans le questionnement qui se situe au niveau le plus bas de l'entonnoir. Ainsi, l'exploration de cadrages tels que les effets de dispositifs limitant l'ensemble des solutions collectives réalisables dans les jeux, ou les détournements de jeux à d'autres fins par des participants sont des questionnements qui sortent du cadre de la thèse.

---

## 4. Perspectives

---

### 4.1 Pour la modélisation d'accompagnement et la psychologie sociale

La prochaine étape nécessaire selon nous pour poursuivre ce travail pour la modélisation d'accompagnement et la psychologie sociale est de mettre expérimentalement à l'épreuve les choix subjectifs des modèles. Si la sensibilité des résultats de simulations est ambiguë pour un choix subjectif donné, nous suggérons au préalable de l'analyser en simulant le modèle avec différentes hypothèses alternatives. Si on observait une faible sensibilité des résultats, alors le choix subjectif pourrait éventuellement être conservé dans le modèle.

A terme, pour la modélisation d'accompagnement, l'objectif est de pouvoir concevoir et utiliser des modèles de ce type comme des outils de conseils à la conception et l'usage des jeux de rôles. Pour cela, les résultats de simulations doivent pouvoir aider le concepteur dans ses choix d'implémentations de dispositifs, de manière à ce qu'il évite de provoquer des cadrages sur les dynamiques d'attitudes. Les conseils possibles prennent au moins trois formes :

- Renoncer à un dispositif estimé trop cadrant par les simulations.
- Implémenter un dispositif de telle manière à ce qu'il ne provoque pas de cadrages. Si on connaît comment un dispositif provoque un cadrage, on peut agir sur la façon dont on l'implémente et on peut aussi anticiper la façon dont il va s'adapter dans un système plus complexe tel qu'un jeu de rôles. Par exemple, si le dispositif de feedback favorise le consensus d'attitudes dans les dynamiques attitudes/comportements mais qu'il existe plusieurs vecteurs de changements d'attitudes dans le jeu de rôles, alors on peut chercher à anticiper si le cadrage peut être évité sans effectuer de modifications. Cette anticipation est éventuellement possible par la simulation du modèle auquel est implémenté un autre vecteur de changement d'attitudes (cf. section 2.1.2.5).
- Implémenter consciemment un dispositif cadrant en corrigeant ses effets de cadrage éventuels par l'implémentation d'un autre dispositif agissant sur les mécanismes sous-jacents aux effets du premier dispositif. Par exemple, supposons que les choix subjectifs dans *CauxAttitude* ou *CauxFeedback* sont tous

vérifiés. Considérons une session de jeu qui contient des dispositifs favorisant l'atteinte du consensus d'attitudes et que les relations attitudes/comportements sont le seul vecteur de changements d'attitudes. Si les participants atteignent un état du système qui les dirige vers le consensus d'attitudes (cf. section 5 du Chapitre 5), l'organisateur peut intervenir et inciter un initiateur à proposer la solution qui n'est plus proposée, afin que la dynamique ne soit plus attirée par l'attracteur. Notons que jusqu'ici nous avons considéré que les cadrages sont indésirables pour l'organisateur, mais les conseils potentiels délivrés par les modèles pourraient également être utilisés pour forcer des cadrages. Par exemple, un organisateur de jeu pourrait éventuellement vouloir forcer l'émergence d'un consensus afin de se servir de cet effet comme support de réflexion collective entre les participants en l'explicitant dans le débriefing qui suit le jeu.

Mettre à l'épreuve les choix subjectifs des modèles a aussi un intérêt pour la recherche fondamentale en psychologie sociale, car c'est une première étape pour développer une théorie des relations attitudes/comportements dans un cadre dynamique. Dans la sous-section suivante, nous donnons des pistes pour envisager les expérimentations.

#### 4.1.1 *Pré-requis aux expérimentations*

Pour modéliser *CauxAttitude* et *CauxFeedback*, nous nous sommes appuyés sur les grandes lignes de théories psychologiques pour représenter des processus cognitifs impliqués dans des séquences de négociations simples. Nous avons « pioché » des éléments dans plusieurs théories issues d'études effectuées dans des contextes différents du notre, que nous avons ensuite mis en relations pour développer un modèle dynamique de relations attitudes/comportements. Par contre nous avons interprété les théories relativement à notre contexte, ce qui nous a conduit à faire des choix subjectifs. Avant d'entreprendre une expérimentation pour mettre à l'épreuve un de ces choix, nous suggérons de revenir vers la littérature en psychologie sociale pour préciser l'état des connaissances sur le choix subjectifs en question. Même s'il n'existe pas forcément d'études spécifiques à l'analyse du choix subjectif en question, des études sur les changements d'attitudes et sur les relations attitudes/comportements peuvent apporter des éléments pour préciser des hypothèses, valider, réfuter, corriger, ou aider à mettre à l'épreuve le choix. Nous développerons quelques exemples d'études en liens avec les choix subjectifs dans la section 4.1.3. Une fois le choix subjectif correctement situé dans la littérature il faut décider si l'expérimentation est nécessaire, et si oui, décider de mettre seulement à l'épreuve le choix subjectif tel qu'il est défini dans

*CauxAttitude* ou *CauxFeedback* ou mettre également à l'épreuve le choix subjectif partiellement corrigé par la littérature.

#### 4.1.2 Difficultés générales à surmonter pour la mise en œuvre des protocoles expérimentaux

Une fois le choix subjectif à mettre à l'épreuve clairement défini par la caractérisation d'une hypothèse théorique, il faut la transformer en hypothèse opérationnelle (i.e., qu'on peut directement mettre à l'épreuve), moyennant le développement d'un protocole expérimental. En psychologie on utilise généralement la démarche hypothético-déductive. Le protocole expérimental doit donc suivre la procédure standard : isoler au maximum le phénomène à étudier pour limiter l'effet de variables parasites (à mesure de comparaison, si *CauxAttitude* est une simplification drastique de *CauxOpération*, le protocole expérimental doit être une simplification drastique de *CauxAttitude*), déterminer les variables dépendantes (mesures), permettre un recueil de données suffisant pour produire une analyse statistique, ou encore contenir des conditions contrôles si besoin.

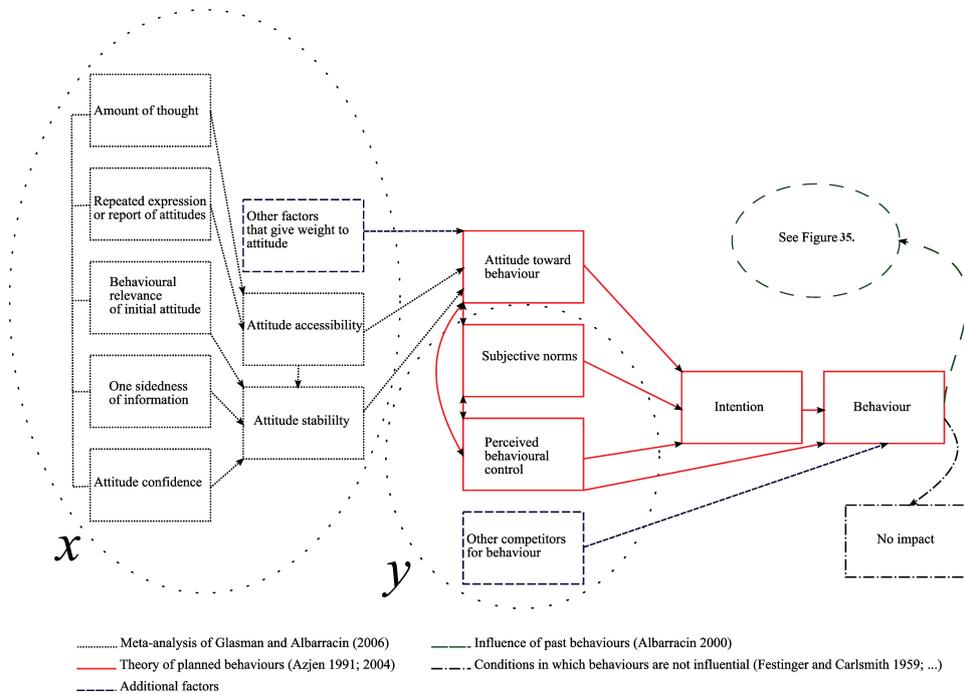
---

##### 4.1.2.1 Isoler le vecteur de changements d'attitudes cible

Une négociation entre deux participants inclut plusieurs vecteurs de changements d'attitudes : l'échange d'arguments et d'informations, l'effet de son propre comportement, et peut-être l'effet du comportement de l'autre ainsi que le feedback des conséquences du comportement (hypothèses alternatives des Choix 4 et Choix 7). Chaque protocole expérimental doit alors comporter au moins une condition pour laquelle le participant est confronté à un seul vecteur de changement (effet de son propre comportement). Dans la mesure du possible, il est préférable que les comportements des participants soient similaires aux comportements effectués dans *CauxAttitude* afin d'éviter de reproduire la même induction faite pour la modélisation de *CauxAttitude* (Choix 16). Un début de solution serait de monter des conditions pour lesquelles les participants initient ou reçoivent des propositions sans argumentations possibles, via un ordinateur. Il est même possible dans cette configuration de faire interagir chaque participant avec des participants virtuels, afin de maîtriser le contrebalancement des possibilités d'interaction.

4.1.2.2 Estimation des paramètres  $x$  et  $y$

Pour mettre à l'épreuve la plupart des choix subjectifs de *CauxAttitude* et *CauxFeedback*, il est nécessaire d'estimer les valeurs des paramètres  $x$  et  $y$  des modèles. Etant donné que dans la modélisation nous sommes restés à un niveau agrégé de l'ensemble des facteurs contenus dans chaque paramètre et que dans les simulations nous avons fait varier les valeurs de ces paramètres sur l'ensemble de leur plage, nous avons pu jusque là écarter la difficulté de caractériser les mécanismes des sous-facteurs. La Figure 56 rappelle les sous-facteurs que nous avons estimé inclus dans les paramètres  $x$  et  $y$  de *CauxAttitude*.



**Figure 56** Rappel des sous-facteurs inclus dans  $x$  et  $y$ .

$x$  regroupe l'accessibilité et la stabilité des attitudes et leurs déterminants (e.g., confiance dans l'attitude), ainsi que les facteurs non présents dans la méta-analyse de Glasman & Albarracín (2006) qui expliquent la part de variance non expliquée par l'accessibilité et la stabilité. Plus les attitudes sont accessibles et stables, plus elles sont des bons prédicteurs des comportements, donc plus la valeur de  $x$  est élevée.

$y$  regroupe le contrôle perçu du comportement, les normes subjectives, ainsi que les facteurs non présents dans la « theory of planned beha-

« vior » qui explique la part de variance non expliquée par les attitudes, le contrôle perçu du comportement et les normes subjectives. Contrairement à  $x$ , il n'est pas nécessaire que les valeurs du contrôle perçu du comportement et des normes subjectives soient élevées pour que la valeur de  $y$  soit élevée. Par exemple, si je me sens incapable de réaliser un comportement (i.e., valeur du contrôle perçu du comportement faible), alors il y a de fortes chances que je ne réalise pas le comportement. Dans ce cas  $y$  a une valeur forte car le contrôle perçu du comportement prédit que le comportement requis va être rejeté par l'individu. Nous formulons les questionnements qui se posent pour les estimations de ces paramètres dans les sous-sections qui suivent.

#### *Valeurs et poids des sous-facteurs*

La littérature en psychologie fournit de multiples exemples de recueil des valeurs de l'accessibilité (en mémoire) et stabilité des attitudes, des normes subjectives et du contrôle perçu du comportement (e.g., Doll & Ajzen, 1992). Ce qui est moins évident par contre est de chercher à caractériser le poids de chaque sous-facteur participant à produire la valeur globale de  $x$  et  $y$ . Il faut commencer par questionner la valeur des poids respectifs des sous-facteurs. Par exemple, dans  $x$ , la stabilité est-elle autant importante que l'accessibilité ? Beaucoup d'études montrent l'importance des deux facteurs (Glasman & Albarracin, 2006) mais certaines montrent des poids différents. Par exemple Doll & Ajzen (1992) ne trouvent pas d'effet significatif de l'accessibilité dans une étude portant sur des comportements de choix entre différents jeux vidéos.

Ensuite il faut questionner la relation de dépendance ou d'indépendance entre les valeurs et les poids des sous-facteurs. Une valeur trop faible d'un sous-facteur pourrait affecter son poids : par exemple, dans  $y$ , imaginons qu'un comportement soit bien vu socialement par l'individu, mais qu'il se sente incapable de le réaliser. Ou inversement, qu'il se sente complètement capable de le réaliser mais que ce soit mal perçu. Peut-on dire que la valeur de  $y$  est la moyenne des valeurs des deux facteurs ? Ou alors un facteur égal à zéro prend-il tout le poids pour représenter  $y$  ?

Aussi, certains comportements de choix entre plusieurs options rendent le contrôle perçu du comportement ou les normes subjectives non pertinents (i.e., qui induisent un poids faible des sous-facteurs) car leurs valeurs ne diffèrent pas selon les choix. Doll & Ajzen (1992) montrent que, dans leur expérience qui consiste à proposer aux participants de faire un ou des choix de jeux vidéos à expérimenter pendant la durée de l'expérience, les valeurs des normes subjectives (i.e., représentations des participants sur le jugement de l'expérimentateur quant aux choix des jeux) sont les mêmes pour chaque jeu.

Aussi Watters (1989) montre que pour un choix de vote à une élection, le contrôle perçu du comportement est non pertinent car chaque choix de vote ne posait aucun problème de contrôle pour les participants.

Dans  $y$ , en plus de la potentielle dépendance entre valeurs des sous-facteurs et leur poids, d'autres déterminants existent. Comme pour les attitudes, le contrôle perçu du comportement et les normes subjectives se forment à partir de croyances (Ajzen, 1991) qui sont plus ou moins accessibles et stables (e.g., Doll & Ajzen, 1992). Il faut donc considérer un paramètre  $x'$  et  $x''$  à l'intérieur de  $y$ , et donc un poids de l'accessibilité et de la stabilité à l'intérieur de ces sous-paramètres.

#### *La « theory of planned behavior » n'explique pas tout*

Comme toute théorie en psychologie, « la theory of planned behavior » n'explique pas la totalité des données produites dans les expérimentations. Pour qualifier cette inconnue dans *CauxAttitude*, nous avons ajouté une composante « other factors » à l'intérieur des paramètres  $x$  et  $y$ . Un début de solution est de regarder du côté du « model of goal-directed behavior » (Perugini & Bagozzi, 2001) qui étend et approfondit la « theory of planned behavior » en introduisant une composante affective, une composante motivationnelle et des processus automatiques. Le « model of goal-directed behavior » prend en compte l'anticipation de l'émotion lié au succès ou à l'échec à réaliser le comportement, le désir de réaliser le comportement, et la fréquence et l'ancienneté des comportements précédents.

#### *Liens entre les sous-facteurs*

La Figure 56 montre aussi des liens entre les différents sous-facteurs : dans  $y$ , le contrôle perçu du comportement, les normes subjectives et les attitudes sont interconnectés. Dans  $x$ , l'accessibilité à une influence sur la stabilité. Pour effectuer une estimation correcte de  $x$  et  $y$ , il faut chercher à qualifier précisément la nature de ces liens.

#### *Besoin d'un sous modèle de prise de décision dans $y$*

Etant donné qu'être initiateur ou récepteur d'une négociation implique des comportements différents (l'initiateur effectue un choix entre deux propositions, le récepteur accepte ou refuse une proposition), les processus de décision lorsque l'individu décide selon les sous-facteurs de  $y$  sont différents. L'initiateur compare les valeurs et les poids des sous-facteurs d'influence du comportement de proposer la solution  $A$  avec celles et ceux du comportement

de proposer la solution *B*. Le récepteur compare les valeurs et les poids des sous-facteurs du comportement d'accepter la solution proposée avec celles et ceux des sous-facteurs du comportement de refuser. Comme nous l'avons mentionné plus haut, la « theory of planned behavior » tente de prédire des comportements à partir des facteurs impliqués mais ne fournit pas un modèle précis de prise de décision. Il serait donc utile de développer un sous modèle de prise de décision dans *y* pour déterminer quel comportement le participant va adopter quand il ne choisit pas en fonction de ses attitudes. Ce sous modèle aurait la fonction de vérifier si les estimations du poids de *y* sont cohérentes avec les comportements des participants pendant les expérimentations lorsqu'ils n'agissent pas selon leurs attitudes.

A partir de ce sous modèle, il faut également déterminer si *y* prend la valeur du poids du sous-facteur le plus élevé dans *y* ou si c'est un produit d'interaction entre les poids de plusieurs sous-facteurs. Le sous modèle doit alors à la fois fournir un moyen de comparaison entre les sous-facteurs d'*y* et à la fois fournir un moyen de comparaison entre les sous-facteurs d'*y* avec le poids des attitudes. Des indications pour développer ce sous modèle peuvent se trouver dans la littérature, notamment dans les études de tests de la « theory of planned behavior » pour des comportements de choix (e.g., Watters, 1989; Doll & Ajzen, 1992). Par contre, dans ces études, les auteurs relèvent directement les intentions de comportements des participants, ce qui les exempt de modéliser les règles de décisions pour prédire les choix. Des expérimentations pour qualifier ce sous modèle sont alors à envisager.

---

#### 4.1.2.3 Eviter les biais introduits par le dispositif de recueil de données

Nous avons vu dans la section 3.2.2.3 qu'un recueil d'attitudes après chaque comportement effectué par un individu force celui-ci à effectuer un traitement « on-line ». Il peut arriver que la mise à l'épreuve d'un choix subjectif nécessite un protocole invitant les participants à réaliser au moins deux comportements liés à une même attitude. Si on souhaite recueillir les changements d'attitudes, il faut alors se poser la question si forcer ce traitement introduit un biais dans l'hypothèse que l'on cherche à tester. Si oui, alors il faut surmonter ce problème. Un moyen serait de demander aux participants à la fin de l'expérimentation seulement s'ils ont changé d'attitude à la suite de chaque comportement effectué.

---

#### 4.1.2.4 Maitriser le contexte

Les valeurs des sous-facteurs de  $x$  et les poids des sous-facteurs et  $y$  sont aussi dépendants du contexte. Par exemple, Doll & Ajzen (1992) montrent que l'accessibilité et la stabilité des attitudes sont favorisées dans des tâches impliquant une expérience directe avec le comportement plutôt qu'indirecte, et lorsque la consigne incite à l'amusement plutôt qu'à la performance. En plus de devoir prendre en compte ces poids pour l'estimation des poids de  $x$  et  $y$ , il faut aussi que le protocole expérimental soit conçu au regard de ces éléments pour maitriser l'effet de contexte sur l'accessibilité et la stabilité.

---

#### 4.1.2.5 Recueil de la variabilité intra-individuelle

Lorsqu'un individu effectue un comportement, les valeurs et les poids des attitudes, du contrôle perçu du comportement, des normes subjectives ainsi que des autres facteurs explicatifs de la variance peuvent évoluer. Si le protocole expérimental invite les participants à réaliser plusieurs comportements, il devient difficile pour l'expérimentateur de relever ces évolutions sans induire différents biais. Dans la mesure du possible il est préférable de faire faire le minimum de comportements aux participants et de recueillir la variabilité inter-individuelle pour effectuer une analyse statistique des résultats. Si le recueil de la variabilité intra-individuelle est jugé nécessaire, alors il est important de réfléchir à la maitrise de l'ensemble de ces variations.

---

#### 4.1.2.6 Mieux définir le feedback

Dans *CauxOpération*, les participants reçoivent des informations sur le ruissellement produit sur le bassin versant virtuel et sur la satisfaction des habitants du village situé à l'exutoire du bassin vis-à-vis de la politique du maire sur la gestion du ruissellement. La quantité de ruissellement produite est dépendante des événements climatiques, des paramètres inclus dans le modèle de calcul de ruissellement, de la quantité et la qualité des solutions mises en place par les participants pour lutter contre le ruissellement. Aussi, les participants ne sont pas forcément informés des actions des autres.

A partir de ce type d'information, il est difficile pour un participant de saisir l'effet de son propre comportement sur le feedback produit.

Dans *CauxFeedback*, nous avons voulu modéliser un calcul de feedback proche de celui de *CauxOpération* : plus les participants font des actions

de lutte contre le ruissellement, plus la probabilité d'obtenir un feedback positif est élevée, cette probabilité dépend aussi de la qualité des actions des participants et de l'intensité des événements climatiques.

Par contre, en modélisant la réaction des agents selon les règles du conditionnement opérant (cf. Choix 8), nous avons implicitement introduit une perception spécifique des agents du feedback et de leur comportement :

- Les agents réagissent à ce feedback comme s'ils étaient chacun uniques responsables du calcul global.
- Les agents pensent que leur comportement ne peut pas être amélioré. S'ils reçoivent un feedback négatif, ils considèrent que leur comportement n'était pas adapté et ne peut pas être amélioré, donc ils changent de stratégie.
- Les agents ne perçoivent aucun intérêt à explorer d'autres solutions si une solution fonctionne.

De plus, nous avons choisi de limiter la rationalité des agents et ils n'ont pas de mémoire des événements passés.

Pour poursuivre l'exploration des effets du feedback, plutôt que de mettre à l'épreuve cet ensemble d'hypothèses, nous suggérons de redéfinir précisément l'information de feedback et redéfinir les réactions des agents en conséquence. Plusieurs éléments sont à considérer, il faut définir :

- Si le comportement peut-être amélioré pour augmenter la probabilité de recevoir un feedback positif. Par exemple, si un enfant se brûle les doigts au contact du feu, son cerveau lui transmet un feedback négatif (douleur) et l'enfant aura tendance à éviter le contact direct avec le feu dans ses expériences ultérieures car il va s'attendre à ressentir à nouveau une douleur s'il réitère le comportement. Dans ce cas le comportement de mettre ses doigts en contact direct avec le feu n'est pas améliorable et des règles de conditionnement opérant peuvent suffire pour modéliser l'apprentissage de l'enfant. Si par contre on considère un coureur de course à pieds qui effectue sa première compétition et arrive dernier (feedback négatif sur sa performance). Dans ce cas le coureur peut renoncer aux courses ultérieures par perte de motivation ou par perte de confiance dans ses performances ultérieures. Il peut aussi décider de persévérer et de réitérer le comportement, car il a un contrôle relatif sur le comportement qu'il peut améliorer par l'entraînement. Dans ce cas le comportement est améliorable, de nouvelles règles de décisions sont nécessaires, et on peut également faire l'hypothèse que le feedback exerce un impact sur le contrôle perçu du comportement (donc sur  $y$ ).
- Si le feedback renseigne d'un comportement précis d'un individu ou de l'ensemble des comportements d'un groupe.
- Si un même comportement peut aboutir parfois à un feedback positif et parfois à un feedback négatif en fonction de facteurs externes (e.g., intensité des événements climatiques).

- Si l'individu qui reçoit le feedback est conscient de l'ensemble des éléments qui affectent le calcul du feedback ou n'en a qu'une connaissance partielle.

Le choix entre chacune de ces alternatives engendre des réactions différentes d'un individu face au feedback. Par exemple, si le feedback renseigne de l'ensemble des comportements d'un groupe et que l'individu est renseigné du comportement des autres, il risque d'intégrer cette information dans son processus de décision. On se retrouve dans ce cas dans une situation proche des dilemmes sociaux (e.g., Dawes, 1980).

La réaction au feedback peut également être différente selon les individus, notamment à travers la situation virtuelle de jeu qui est appropriée différemment par les participants. Daré (2005) montre par exemple que lors de sessions du jeu de rôles *Njoobaari ilnoowo* utilisé dans les systèmes irrigués de la vallée du fleuve Sénégal, certains participants jouent plus que d'autres. Pour certains le jeu est complètement ludique et pour d'autres le jeu est une simulation de la réalité, ce qui entraîne des choix comportementaux différents. On peut donc faire l'hypothèse que la manière de percevoir le jeu entraîne des réactions différentes selon les participants face au feedback reçu sur les conséquences de leurs actions.

Nous suggérons d'explorer expérimentalement les effets du feedback en commençant par un feedback très simple (feedback qui renseigne précisément des conséquences d'un comportement d'un individu qui ne peut pas être amélioré), puis de le complexifier au fur et à mesure pour retrouver une situation similaire à celle de *CauxOpération*. Nous suggérons également de mettre en place différentes conditions expérimentales pour tester l'effet de la perception de l'expérimentation par les participants sur leurs comportements (e.g., réaliser une condition incitant les participants à se comporter comme ils le feraient dans la réalité et une autre les incitant à explorer des comportements qu'ils n'ont pas l'habitude de réaliser).

Pour modéliser les effets du feedback sur les comportements il est possible de s'appuyer sur des modèles existants. Selon le modèle de Ilgen, Fisher, & Taylor (1979) par exemple, la réponse au feedback par un individu est influencée par la nature du feedback (général ou spécifique à un objet particulier), la source de celui-ci, comment il est perçu et accepté par l'individu, la motivation de l'individu à répondre au feedback, l'intention de réponse en fonction du but de l'individu (général ou spécifique à un objet), et par des contraintes externes.

### 4.1.3 Pistes de littérature et suggestions pour concevoir des protocoles expérimentaux afin de mettre à l'épreuve les choix subjectifs

Avant d'envisager une expérimentation pour mettre à l'épreuve un choix subjectif de CauxAttitude ou CauxFeedback, il faut avoir rempli les pré-requis de la section 4.1.1 et avoir surmonté les difficultés énoncées dans la sous-section précédente, incluant elles mêmes de potentielles expérimentations. Dans cette section, nous fournissons des pistes de littérature et des suggestions pour concevoir des protocoles expérimentaux afin de mettre à l'épreuve les différents choix subjectifs que nous avons recensés. Les sous-sections qui suivent reprennent dans l'ordre les choix subjectifs recensés, et chaque sous-section comprend des suggestions pour la mise à l'épreuve de chaque choix subjectif.

---

#### 4.1.3.1 Un contexte minimal engendre la rationalisation

L'hypothèse selon laquelle un comportement de négociation simple provoque une révision systématique de l'attitude dans un contexte minimal n'est, à notre connaissance, pas supportée par la littérature. Ce choix subjectif était destiné à simuler les effets maximums de changements d'attitudes que des dispositifs peuvent provoquer, mais il est difficilement considérable qu'un comportement entraîne nécessairement un changement d'attitude. Les travaux de référence sur la dissonance cognitive, ainsi que des travaux sur la dissonance cognitive dans des négociations (e.g., Bendersky & Curhan, 2009) montrent des changements d'attitudes seulement lorsque les individus ont un comportement dissonant avec leur attitude, et ces changements ne sont pas systématiques. La rationalisation par la réduction de dissonance peut aussi nécessiter des conditions particulières : par exemple, Cooper & Worchel (1970) ont répliqué l'expérience de Festinger & Carlsmith (1959) pour laquelle les participants avaient à informer un étudiant qu'une tâche ennuyeuse qu'ils venaient de réaliser était en fait excitante. Ils ont montré que les participants changeaient d'attitudes seulement lorsqu'on leur confirmait qu'ils avaient réussi à persuader l'étudiant.

Les travaux de Janis & King (1954) montrent des effets de comportements sur les attitudes dans une condition de jeu de rôles dans laquelle les individus ne sont pas forcément en état de dissonance mais les arguments qu'ils doivent « vendre » en public sont plus extrêmes que leurs attitudes. Et encore une fois, les changements ne sont pas systématiques.

Afin d'anticiper la réfutation du choix subjectif par l'expérimentation, nous suggérons de monter un protocole expérimental qui puisse éclaircir les conditions pour lesquelles le comportement va provoquer

une révision de l'attitude ou non, ainsi que les éventuels effets des comportements sur d'autres facteurs de *CauxAttitude*. Ce qui nous renvoie directement à la mise à l'épreuve du Choix 2 et du Choix 3.

---

#### 4.1.3.2 Hypothèse d'indépendance entre $x$ et les changements d'attitudes

Pour la mise à l'épreuve de choix subjectifs incluant le besoin d'analyser les effets des comportements sur les attitudes, il faut prendre soin de ne pas introduire un dispositif favorisant l'effet de justification externe des comportements, i.e., résister à un changement d'attitude en attribuant une cause externe à la réalisation du comportement. Le dispositif doit permettre au participant de se sentir libre d'effectuer le comportement, le participant ne doit pas être rémunéré ou très peu etc.

Pour tester l'effet de  $x$  sur la résistance au changement d'attitudes, il est nécessaire d'expérimenter avec un échantillon de participants ayant des valeurs hétérogènes de  $x$ , de recueillir les valeurs de  $x$  initiales, les attitudes initiales et les attitudes finales. Dans la mesure du possible, il est préférable de créer deux conditions avec des échantillons indépendants, chaque échantillon effectuant l'un des deux comportements de la négociation (initiation ou réception). Les participants ne doivent pas avoir une attitude initiale polarisée pour permettre un changement dans un sens ou dans l'autre. L'effet de  $x$  sur la résistance au changement d'attitude se calcule en recensant les proportions de changements et non changements d'attitudes en fonction de la valeur initiale de  $x$  des participants. Pour préciser l'analyse, il est également possible de recenser les proportions de changements et non changements d'attitudes en fonction des poids des attitudes des participants ( $x \times a$ ).

---

#### 4.1.3.3 Hypothèse d'absence d'effets des comportements sur $x$ et $y$

La littérature sur les relations attitudes/comportements montre qu'une expérience directe avec un comportement lié à l'objet de l'attitude influence la stabilité et l'accessibilité de l'attitude, du contrôle perçu du comportement et des normes subjectives (e.g., Ajzen, 1996; Ajzen & Sexton, 1999; Glasman & Albarracín, 2006; Doll & Ajzen, 1992). Cependant, les auteurs expliquent que cet effet est lié au feedback que procure le comportement par sa réalisation. La réalisation d'un comportement procure généralement des informations sur ses conséquences positives ou négatives, sur les ressources requises, et sur la réac-

tion des autres. On peut donc supposer qu'un comportement puisse avoir un effet direct sur le poids du contrôle perçu du comportement puisqu'on peut juger de la difficulté d'une tâche en la réalisant. Par contre, suivant ces études, on peut aussi supposer que l'effet d'un comportement sur les normes subjectives soit retreint à un comportement public et que l'effet d'un comportement sur  $x$  nécessite un feedback sur ses conséquences. Janis & King (1954) montrent cependant que, les individus ayant changé d'attitudes suite à un comportement dans un jeu de rôles ont aussi augmenté la confiance dans leurs attitudes, donc sur  $x$ . Néanmoins, nous n'avons pas d'information sur l'éventuel feedback reçu par les participants pendant la session.

Pour ce choix subjectif de *CauxAttitude*, nous suggérons de mettre à l'épreuve les hypothèses suivantes:

- Un comportement privé et sans feedback sur ses conséquences entraîne une révision des poids et valeurs du contrôle perçu du comportement.
- Ce même comportement entraîne une révision de  $x$  lorsque l'attitude du participant change.
- Ce même comportement n'entraîne pas d'effet sur les normes subjectives.

Cette expérimentation peut servir à quantifier les effets potentiels des comportements sur les sous-facteurs de  $x$  et de  $y$  pour une éventuelle implémentation ultérieure dans *CauxAttitude*. Nous suggérons de séparer les participants en deux échantillons indépendants pour chaque type de comportement, un recueil des valeurs initiales et finales des attitudes, de l'accessibilité et la stabilité des attitudes, du contrôle perçu du comportement et des normes subjectives. L'effet du comportement se calcule en recensant les proportions de changements de valeurs d'accessibilité et de stabilité des attitudes, du contrôle perçu du comportement et des normes subjectives.

---

#### 4.1.3.4 Influence sociale sur $x$

Nous suggérons ici de mettre à l'épreuve l'effet de la réponse d'un récepteur sur la valeur de  $x$  et de l'attitude de l'initiateur. Le protocole doit comprendre un échantillon de participants proposant chacun une solution à un récepteur. Les récepteurs peuvent être virtuels tant que c'est à l'insu du participant. Une partie des participants reçoit un message d'acceptation ( $G1$ ), une autre reçoit un message de refus ( $G2$ ) et une autre ( $Gcontrôle$ ) ne reçoit pas de réponse. Les valeurs de  $x$  et des attitudes doivent être recueillies avant et après la tâche. L'effet de la réponse des récepteurs sur les valeurs de  $x$  et des attitudes des initiateurs est calculé en comparant les valeurs de  $x$  et des attitudes du  $G1$  et  $G2$  avec celles du  $Gcontrôle$ .

On peut aussi compléter cette expérimentation en introduisant de la dissonance en demandant à une partie de l'échantillon de proposer une solution contrattitudinale, i.e., opposée au signe de l'attitude (tel que dans Bendersky & Curhan, 2009). L'objectif serait de comparer l'effet des récepteurs sur des initiateurs dissonants et non dissonants.

---

#### 4.1.3.5 Initiation de solution et négativité d'une ou plusieurs attitudes

Dans *CauxAttitude*, on suppose un dispositif de négociation minimal donc sans consigne demandant explicitement aux participants d'initier sur une proposition contrattitudinale. Pour réfuter le choix subjectif selon lequel aucun agent n'initie sur une solution contrattitudinale (i.e., contraire à son attitude) dans *CauxAttitude*, il faut alors que le protocole expérimental ne contienne pas d'autres dispositifs que ceux inclus dans *CauxAttitude*. Par exemple, on peut faire l'hypothèse selon laquelle des individus se sentent obligés d'initier un type de solution, sous peine d'être mal perçu par les autres (poids élevé des normes subjectives dans  $y$ ). Pour tester cette hypothèse nous suggérons d'établir un protocole expérimental qui permet d'obtenir un échantillon de participants ayant à la fois une attitude négative et un poids des normes subjectives élevé sur l'objet décidé. Chaque participant doit avoir la possibilité d'initier une solution pour laquelle ces conditions sont remplies, d'initier une solution pour laquelle son attitude est négative et avec un poids faible des normes subjectives, ou de ne rien initier. La réfutation de l'hypothèse est observée si on obtient une proportion significativement supérieure à zéro de participants initiant une solution.

---

#### 4.1.3.6 Initiation de solution et positivité des deux attitudes

Pour tester si un individu choisit toujours la solution pour laquelle son poids d'attitude est le plus fort dans une position d'initiateur, plusieurs conditions sont à respecter :

- Le modèle de prise de décision développé sur la base de la « theory of planned behavior » ne doit pas être réfuté (Choix 12).
- Il faut construire un protocole expérimental pour lequel les participants initient des propositions en se référant à leurs attitudes (i.e., valeur de  $y$  faible).
- Les participants doivent initier plusieurs propositions car leur stratégie peut évoluer dans le temps. Cela implique donc une maîtrise des difficultés liées au recueil de la variabilité intra-individuelle (cf. section 4.1.2.5).

- Le protocole expérimental doit permettre aux participants de proposer au moins deux solutions pour lesquelles leurs attitudes sont positives.

La réfutation du choix subjectif est observée si on obtient une proportion significativement supérieure à zéro de participants initiant sur la solution pour laquelle leur poids d'attitude est le plus faible.

---

#### 4.1.3.7 Effet direct du feedback sur les comportements et indirect sur les autres facteurs

Pour mettre à l'épreuve les éventuels effets du feedback sur les attitudes,  $x$  et éventuellement sur  $y$ , il faut au préalable avoir défini précisément une condition de feedback plus simple que celle que nous avons modélisée dans *CauxFeedback* (cf. section 4.1.2.6). Ensuite, il faut chercher à obtenir une situation pour laquelle le poids de l'information de feedback dans les décisions est supérieur aux poids des attitudes, du contrôle perçu du comportement, des normes subjectives, voire du poids d'autres facteurs tels que ceux inclus dans le « model of goal-directed behavior ». Un moyen est de monter un protocole expérimental pour lequel les comportements portent sur un objet peu connu des participants (pour obtenir un poids d'attitudes faible) et pour lequel le contrôle perçu du comportement et les normes subjectives sont non pertinents (tels que dans les études discutées en section 4.1.2.2).

Selon les études citées dans la section 4.1.3.3 un feedback des conséquences d'un comportement devrait avoir un effet sur  $x$ . De plus Davidson (1995) suggère que ce type de feedback a aussi un impact direct sur les attitudes du fait que les individus se forment en partie une attitude à propos d'un comportement à l'aide des attentes positives ou négatives qu'ils ont face aux conséquences du comportement (Ajzen & Fishbein, 1980).

Pour ce choix subjectif, il y a donc trois effets du feedback à tester :

- Son effet direct sur les comportements.
- Son effet sur  $x$ .
- Son effet sur les attitudes.

Pour le test de l'effet direct du feedback sur les comportements, il semble difficile d'empêcher un participant de mobiliser son attitude pour décider d'un comportement après l'obtention d'une information de feedback. De plus, si après la réception d'un feedback, un participant maintient une valeur d'attitude à zéro, il n'est pas certain qu'il utilise l'information de feedback dans sa prise de décision. Un nouveau type de paradigme reste donc à développer. Pour tester l'effet du feedback sur  $x$  et sur les attitudes, nous suggérons de monter un protocole expérimental avec un échantillon indépendant de participants pour chaque type de comportement (initiation, réception). Le pro-

protocole doit permettre des comportements qui provoquent une conséquence positive ou négative. Un seul comportement par participant est nécessaire. Le recueil des attitudes et de  $x$  doit être fait avant le comportement, après le comportement, et à la suite de la présentation de l'information de feedback.

L'effet de feedback s'obtient en calculant la proportion de participants ayant changé d'attitude et/ou de valeur de  $x$  après la diffusion de l'information.

Notons que s'il était décidé de monter une expérience pour laquelle les comportements des individus sont améliorables (cf. section 4.1.2.6), il serait également intéressant de mettre à l'épreuve les effets éventuels du feedback sur le contrôle perçu du comportement (dans  $y$ ). Il faudrait dans ce cas monter un protocole expérimental pour lequel le contrôle perçu du comportement est un facteur pertinent.

---

#### 4.1.3.8 Le conditionnement opérant comme réaction au feedback

Suite à nos propos de la section 4.1.2.6, la mise à l'épreuve de ce choix subjectif n'est plus pertinente. Cependant, les hypothèses sur les réactions des individus au nouveau feedback défini devront être mises à l'épreuve si la littérature existante ne suffit pas à déterminer des règles de décisions précises. Le protocole expérimental nécessiterait au moins la réalisation de deux comportements par un même participant (un comportement pour recevoir un feedback et un autre pour observer la réaction). Si le nouveau modèle inclut différentes stratégies de réponses au feedback, la variabilité intra-individuelle sera peut-être autant importante à capturer que la variabilité inter-individuelle. Dans ce cas, il faudra au préalable résoudre les problèmes évoqués dans la section 4.1.2.5.

---

#### 4.1.3.9 Un calcul de feedback global pour une perception locale

Suite à nos propos de la section 4.1.2.6, la mise à l'épreuve de ce choix subjectif n'est plus pertinente pour le moment. Nous suggérons dans un premier temps la redéfinition d'un feedback plus simple (feedback personnalisé) pour réduire la difficulté de modélisation de règles de décisions pertinentes.

---

#### 4.1.3.10 Incrément des attitudes et de $x$

Le recueil des valeurs d'incrément d'attitudes et de valeurs de  $x$  sont réalisables dans les expérimentations citées précédemment qui requièrent un relevé

des changements d'attitudes et des valeurs de  $x$ . Nous suggérons de comparer ces incréments (moyennes et écart types) pour les deux types de comportements (initiation, réception) et si possible de faire en sorte que les sujets de négociations ne soient pas toujours sur le même objet. Aussi, un recueil de changements d'attitudes et de valeurs de  $x$  (voire de  $y$  si  $y$  évolue aussi) sur des échelles continues (les mesures de changements sont effectués a posteriori à l'aide d'une règle) sont à préférer pour permettre aux participants d'effectuer un jugement plus précis de leurs changements.

---

#### 4.1.3.11 Changements d'attitudes selon un processus « online »

Nous avons suggéré dans la section 4.1.2.3 de recueillir les changements d'attitudes à l'issue de l'expérimentation, même si celle-ci requiert plusieurs comportements par participants. L'idée est de demander a posteriori aux participants s'ils ont le sentiment d'avoir changé d'attitude à la suite de chaque comportement effectué pendant la session. Un autre moyen serait de faire un recueil des changements d'attitudes à l'issue de chaque comportement pour un échantillon, et de faire un recueil à l'issue de l'expérimentation pour un autre échantillon en leur demandant simplement la valeur de leur attitude. Si une différence significative apparaît entre les deux échantillons, alors le forçage de traitement « on-line » aura eu un impact et on pourra faire l'hypothèse que le traitement « on-line » ne s'effectue pas naturellement dans ce type de situation.

---

#### 4.1.3.12 La « theory of planned behavior » transformée en un modèle de prise de décision

Pour vérifier si le modèle de prise de décision basé sur la « theory of planned behavior » est pertinent, il faut préalablement estimer les valeurs des attitudes, de  $x$  et de  $y$ . Le protocole expérimental doit comprendre des échantillons de participants ayant chacun des valeurs initiales des paramètres différentes, afin d'observer les prises de décisions selon que le poids des attitudes est plus fort ou plus faible que la valeur de  $y$ . Pour préciser la recherche, il est important de manipuler la valeur de  $x$  et  $y$  selon les différentes possibilités (e.g., une condition avec un poids fort du contrôle perçu du comportement, une autre condition avec un poids fort des normes subjectives etc.).

Pour obtenir des échantillons de participants avec des valeurs initiales différentes des paramètres, un moyen est de monter un protocole expérimental dont l'objet des comportements est bien connu pour des étudiants d'une discipline (échantillon avec un poids d'attitudes fort) et mal connu pour

des étudiants d'une autre discipline (échantillon avec un poids des attitudes faible et un possible poids de  $y$  fort).

Le modèle de prise de décision est considéré comme pertinent si, lorsque l'estimation du poids des attitudes est plus élevé que celle de  $y$ , alors les comportements sont correctement prédits au regard des attitudes, et inversement si  $y$  est plus élevé.

---

#### 4.1.3.13 Simplification des liens entre les facteurs de la « theory of planned behavior »

Nous suggérons de consulter les détails de la « theory of planned behavior », et particulièrement telle qu'elle est présentée dans Ajzen (1988). Dans ce livre la théorie est décrite précisément tandis que les autres articles affichent des versions simplifiées et ne décrivent peut être pas assez précisément les liens entre les sous-facteurs tels que les feedback possibles des comportements vers les facteurs antécédents. La compréhension de la théorie dans ses détails devrait permettre de caractériser plus précisément les liens entre les sous-facteurs afin de juger s'ils sont nécessaires à implémenter dans *CauxAttitude*.

---

#### 4.1.3.14 Non consistance du choix aléatoire dans $y$

Dans la configuration actuelle de *CauxAttitude*, ce choix est inconsistant avec la « theory of planned behavior ». Si la valeur de  $y$  est plus élevée que le poids des attitudes, un individu confronté deux fois au même comportement décidera dans les deux cas de ne pas le réaliser s'il a le sentiment de ne pas contrôler le comportement ou s'il juge que le comportement va mal être perçu par autrui. Pour une configuration de *CauxAttitude* dans laquelle  $y$  n'évolue pas, nous suggérons que le choix d'un agent selon  $y$  doit se faire de manière aléatoire lors de sa première confrontation à une proposition, puis l'agent conservera le choix réalisé lorsqu'il sera de nouveau confronté à la même décision à prendre. Si par contre il est jugé nécessaire d'implémenter une valeur de  $y$  qui évolue (voir les expérimentations 4.1.3.3 pour *CauxAttitude* et 4.1.3.7 pour *CauxFeedback*), alors il faudra peut-être complexifier *CauxAttitude* par la modélisation des détails des sous-facteurs de  $y$ . Car par exemple, si un individu décide d'effectuer un comportement car c'est un comportement bien vu socialement, il réalise alors le comportement mais se rend compte qu'il ne le contrôle pas bien, le poids de son contrôle perçu du comportement peut augmenter et il risque donc de ne pas reproduire le comportement ultérieurement.

---

#### 4.1.3.15 Rationalité très limitée des agents

La redéfinition du feedback (cf. section 4.1.2.6) ainsi que la clarification des liens non représentés entre les facteurs de *CauxAttitude* à l'aide de la littérature et des expérimentations citées dans les sous-sections précédentes écartent le problème de rationalité limitée des agents dans les modèles.

---

#### 4.1.3.16 Adaptation de théories non basées sur des comportements de négociation

L'ensemble des suggestions d'expérimentations des sous-sections précédentes impliquent des comportements de négociations. Elles impliquent donc la mise à l'épreuve de ce point.

#### 4.1.4 Utilité des résultats d'expérimentations

Les résultats des expérimentations sont capables de réfuter les choix subjectifs et de révéler des liens avec plus ou moins de précision entre les facteurs des modèles (sous réserve que les expérimentations ne contiennent pas de biais). Cependant, ils ne fournissent pas nécessairement des solutions précises à implémenter dans les modèles. Par exemple prenons la suggestion d'expérimentation 4.1.3.2, et imaginons que l'expérimentation révèle que 70% des participants ayant une valeur de  $x$  élevée n'ont pas changé d'attitude suite à la réalisation du comportement tandis que 80% des participants ayant une valeur de  $x$  faible ont changé d'attitudes. Dans ce cas l'hypothèse d'indépendance entre  $x$  et la résistance au changement d'attitudes sera réfutée mais il restera à expliquer les 30% qui ont changé d'attitudes et les 20% qui n'ont pas changé.

Il faudra alors établir de nouvelles hypothèses et déterminer de nouveaux protocoles expérimentaux pour les mettre à l'épreuve. En fonction des résultats, les hypothèses sont plus ou moins faciles à déterminer. Dans l'exemple ci-dessus, les résultats sont difficiles à interpréter car les différences inter-individuelles observées doivent être expliquées par des facteurs qui n'ont pas été mesurés. Si par contre cette expérimentation montrait que les participants ne changent pas d'attitudes dans cette condition peu importe les valeurs de  $x$ , alors des hypothèses viennent plus facilement à l'esprit : le changement d'attitude nécessite-t-il un feedback ? Ou encore, nécessite-il une dissonance ?

En conséquence, caractériser un modèle de dynamiques attitudes/comportements est plus qu'une étape, mais un champ de recherche à part entière. Si on cherche à poursuivre la recherche sur les effets de dispositifs par simulation des modèles, il ne faut donc pas attendre de caractériser un modèle « parfait ». Au moins deux solutions sont possibles :

- À partir des résultats de la première vague d'expérimentations sur les choix subjectifs, nous suggérons de créer des paramètres qui représentent l'agrégation de sous-facteurs dont les mécanismes sont mal connus. Comme nous avons fait avec  $y$  en agréant l'ensemble des facteurs autres que les attitudes dans l'influence des comportements, un paramètre  $z$  pourrait déterminer la résistance au changement d'attitudes si les résultats le suggèrent.
- Suite à la correction des modèles sur la base des expérimentations et de la littérature, nous suggérons de monter un protocole expérimental pour comparer les résultats de simulations avec des données. L'objectif étant de déterminer si les modèles non parfaits représentent de manière suffisamment correcte les données. Il faut réfléchir à un protocole expérimental qui serait une version réelle de *CauxAttitude* ou de *CauxFeedback*. En plus de tous les éléments nécessaires aux expérimentations précédentes (e.g., estimer  $x$  et  $y$ ), il faudra calibrer manuellement les variables aléatoires des modèles. Par exemple, il faudra faire correspondre l'itération des couples d'agents négociants avec les couples de participants. Pour cela, soit on fixe à l'avance dans l'expérimentation qui doit négocier avec qui et quand, soit on recueille les couples et leur ordre d'apparition dans l'expérimentation et on calibre la sélection des couples en conséquence pour la simulation. On comparera finalement les dynamiques d'attitudes ainsi que les attitudes finales des expérimentations avec celles des simulations.

---

#### 4.2 Pour la modélisation de dynamiques d'opinions

Nous avons développé *CauxAttitude* pour explorer des effets de dispositifs tels qu'ils sont implémentés dans des jeux de rôles. Pour cela nous avons modélisé une situation que nous avons jugée pertinente pour représenter des séquences de négociations dans des jeux. Nous avons effectué des simulations et observé des indicateurs que nous avons jugés pertinents pour répondre à la question de recherche. En conséquence, les choix de modélisation, les indicateurs sélectionnés, et les résultats produits ne correspondent pas forcément aux intérêts de la communauté de modélisation de dynamiques d'opinions (cf. section 1.2 du Chapitre 3 pour les modèles de dynamiques d'opinions de références et leurs enjeux).

Le point fort de *CauxAttitude* pour cette communauté est qu'il est le premier à caractériser des dynamiques d'opinions selon des relations atti-

tudes/comportements, qui en plus ont été caractérisées sur la base de théories fondées sur des résultats issus d'expérimentations avec des participants réels (cf. section 2.2). Pour mieux cibler le champ de cette communauté et approfondir ce nouveau territoire, nous suggérons deux pistes d'investigation :

- Un principe des modèles de dynamiques d'opinions est d'analyser les dynamiques qui émergent de simulations de modèles représentant des situations très simples qui par la suite peuvent être complexifiées pour représenter des situations particulières (on parle alors de variantes des modèles initiaux). Nous suggérons alors de simplifier au maximum la situation représentée dans *CauxAttitude* afin d'obtenir un modèle initial de base. *CauxAttitude* est déjà relativement simple mais il existe des situations plus basiques intéressantes à investiguer. Par exemple, nous suggérons le développement d'une version de *CauxAttitude* dans laquelle une seule solution est proposée (dans ce cas l'initiateur décide entre proposer la solution ou ne rien proposer).
- L'exploration des proportions de révisions d'attitudes ainsi que les temps pour atteindre le consensus et la polarisation d'attitudes ont été des indicateurs suffisants pour explorer les effets de dispositifs que nous avons ciblés. Pour comparer précisément les dynamiques du modèle avec les différents modèles existants, nous suggérons d'analyser les propriétés des dynamiques sur la base d'indicateurs issus de la physique, tel que le calcul des états stables, des équilibres et la solvabilité analytique du modèle (plus de détails dans Castellano et al., 2009).

# Conclusion

Dans cette thèse nous nous sommes questionnés sur la recherche d'un moyen d'explorer les effets de cadrage provoqués par des dispositifs de jeux de rôles dans leur conception et leur mise en œuvre. Nous avons développé et testé une méthode basée sur un ensemble réduit des problématiques possibles liées à ce questionnement : nous avons adopté une démarche de modélisation et simulation KISS (i.e., développement de modèles simples) pour explorer des effets de dispositifs sur les dynamiques d'attitudes des participants, et ces dynamiques sont restreintes aux changements d'attitudes provoqués par des comportements de négociations. L'objectif était de rendre compte des mécanismes sous-jacents aux dynamiques observées par la simulation, afin d'explorer les effets de cadrage et leurs causes précises. Le premier modèle que nous avons développé, *CauxAttitude*, représente une séquence de négociations deux à deux entre les différents participants d'un jeu de rôles. Le modèle caractérise volontairement une situation de négociations isolées de tout autre dispositif de jeu et inclut seulement les dispositifs essentiels à la représentation de la situation. L'objectif de cette approche était de développer un laboratoire virtuel pour explorer les cadrages provoqués par des dispositifs choisis, en les implémentant un à un dans le modèle. Nous avons d'abord exploré les effets des dispositifs essentiels, déjà inclus dans le laboratoire virtuel, en comparant des simulations pour différents paramétrages du modèle. Puis nous avons illustré l'implémentation d'un nouveau dispositif en intégrant des informations de feedbacks dans le modèle sur les conséquences des actions des participants (modèle *CauxFeedback*). Les effets produits par le feedback ont été explorés par la comparaison de simulations avec et sans feedback.

La démarche a permis de caractériser les effets des différents dispositifs explorés sur les proportions de révisions positives et négatives d'attitudes, ainsi que sur les temps pour atteindre le consensus et la polarisation d'attitudes. Cette caractérisation a été faite par la réalisation de simulations sur des pas de temps élevés pour capturer des attracteurs, et par l'explicitation des mécanismes sous-jacents aux dynamiques observées.

Pour la modélisation d'accompagnement, les résultats de simulations fournissent des sources pour alimenter les réflexions autour de la conception et la mise en œuvre des jeux. Ils sont également des sources de discussions pour les sessions de débriefing et facilitent la formalisation de nouvelles hypothèses d'effets de cadrage. Les résultats de modélisation, i.e., les modèles *CauxAttitude* et *CauxFeedback*, fournissent des laboratoires virtuels pour explorer les effets de nouveaux dispositifs à implémenter. *CauxAttitude* contribue également à des recherches relatives à d'autres disciplines. Il contribue à la modélisation de dynamiques d'opinions en caractérisant le premier modèle multi-agent de relations réciproques entre attitudes et comportements, et en participant à l'intégration de théories psycho-sociales dans la modélisation des

règles individuelles et d'interaction des agents. Il contribue à la psychologie sociale en fournissant une base pour développer une théorie des relations attitudes/comportements dans un cadre dynamique. La contribution pour la psychologie sociale est également apportée par les résultats de simulations. Ils fournissent des pistes de recherche sur les liens entre l'étude statique des relations attitudes/comportements et des indicateurs dynamiques tels que le consensus et la polarisation.

Cependant, bien que *CauxAttitude* soit basé sur des théories psychosociales et que ce soit un modèle représentant une situation très basique, nous avons fait un nombre important de choix subjectifs pour représenter l'ensemble des processus. Nous avons également pris le risque de développer un modèle sans expérimentations conjointes et sans possibilités de comparaisons de données simulées/observées. Les résultats ne sont donc pas suffisamment fiables pour se servir des modèles comme des outils de conseils pour la conception et l'usage des jeux. Pour poursuivre cette recherche en empruntant la voie que nous avons ouverte, nous suggérons alors de développer des modèles conjointement à des expérimentations et de se donner les moyens de comparer les simulations avec des jeux de données.

Pour conclure cette thèse je repasse au « je » pour évoquer mon ressenti sur l'utilisation conjointe de différents modèles dans ce travail et mon point de vue sur le statut de l'explicitation de mécanismes sous-jacents à des dynamiques en simulation sociale. Les modèles mobilisés proviennent de plusieurs champs disciplinaires et sont le fruit de questionnements scientifiques différents. Bien que les modèles en modélisation d'accompagnement, en dynamiques d'opinions et en psychologie sociale mobilisés dans la thèse puissent être utilisés de manières différentes et pour différents propos à l'intérieur de leur discipline respective, j'ai perçu des tendances épistémologiques similaires entre les modèles provenant de la même discipline. Ce qui m'a particulièrement frappé a été la diversité des relations qu'entretiennent les modèles avec le « réel » en fonction des utilisations qui en sont faites. Par réel, j'entends le sens auquel il fait référence à l'intérieur du modèle du monde décrit par le courant cartésien ou le courant positiviste. Le terme est à considérer dans ce cadre uniquement, qui contient différents postulats, comme l'existence d'une réalité indépendante de ses observateurs et que celle-ci soit approchable à l'aide des instruments de mesures développés par l'esprit humain.

En modélisation d'accompagnement, les modèles développés par la communauté *Commod* (incluant *CauxOpération*) représentent des systèmes sociaux et écologiques et sont souvent destinés à être des supports de réflexions collectives entre parties prenantes. Les hypothèses contenues dans ces modèles n'endossent pas la nécessité d'être confrontées au réel. Leur objectif

est uniquement de faire sens pour les parties prenantes. Quand ils prennent la forme de jeux de rôles, ils peuvent même être conçus de manière volontairement distanciée du système cible représenté afin de susciter des réflexions collectives lors de la phase de débriefing.

En modélisation de dynamiques d'opinions, les principaux modèles d'opinions (e.g., « voter model », « bounded confidence model »,...), vus dans le Chapitre 3 section 1.2 montrent l'émergence et la robustesse (i.e., persistance d'un phénomène à travers différentes initialisations ou à travers des variantes du modèle) de phénomènes sociaux (e.g., émergence de groupes d'individus partageant une même opinion) à partir d'hypothèses très simples. Ces hypothèses sont souvent développées sur un critère subjectif de plausibilité reposant sur le jugement du modélisateur. Par contre, leur simplicité permet de montrer l'émergence de phénomènes sociaux complexes en faisant des économies d'hypothèses. Ces modèles révèlent des causes suffisantes pour expliquer des phénomènes complexes. Comme pour les modèles de la modélisation d'accompagnement les hypothèses n'ont pas la nécessité d'être confrontées au réel.

En psychologie sociale, les modèles et théories mobilisés dans la thèse ont été construits à partir d'une approche cognitive et expérimentale. La modélisation suivant une approche cognitive est basée sur la tentative de description des processus de traitement de l'information en jeu lorsqu'un individu produit une réponse face à un stimulus. Les stimuli et les réponses sont observables mais ce n'est pas le cas pour les processus cognitifs de traitement de l'information, d'où le recours à des modèles. Le principe de l'approche est de développer des modèles du fonctionnement cognitif à l'aide d'expérimentations contrôlées, puis de les préciser, les infirmer, ou les modifier continuellement à l'aide de nouvelles expérimentations. Contrairement aux deux approches précédentes, on est dans une conquête de description des processus cognitifs réels dans les hypothèses mêmes du modèle.

Dans la thèse, j'ai cherché à développer un modèle d'attitudes pour explorer les effets de cadrages de choix de conception et de mise en œuvre de jeux de rôles en modélisation d'accompagnement. L'idée était de développer un modèle simple pour pouvoir analyser les mécanismes sous-jacents aux dynamiques observées lors des simulations. Par contre, pour que les mécanismes sous-jacents révélés soient pertinents, les hypothèses du modèle doivent dans l'idéal rendre compte de processus réels. L'idée était alors de développer un modèle dont les hypothèses sont une simplification du réel, mais que l'ensemble des facteurs représentés soient suffisants pour rendre compte de mécanismes sous-jacents à des dynamiques réelles. C'est pourquoi j'ai décidé de construire des hypothèses simples sur la base de théories psycho-sociales.

Dans l'état de l'art j'ai décrit plusieurs exemples de systèmes multi-agents dotés d'hypothèses qui tentent de rendre compte de processus réels (Chapitre 3 section 2). Ces études ont différents objectifs, e.g., comparer les résultats de simulations avec des modèles plus théoriques (Salzarulo, 2006), comparer le pouvoir d'estimation de données entre un modèle cognitivement réaliste et un modèle plus théorique (Sun, 2007), montrer des effets d'interaction (Dubois, Huet, & Deffuant, 2007; Caticha & Vicente, 2011), ou encore préciser des conditions d'initialisation pour l'émergence d'un phénomène social par rapport à des modèles plus théoriques (Janssen & Jager, 1999). Le point commun que j'ai perçu entre ces études est que lorsque les modèles sont suffisamment simples pour analyser les mécanismes sous-jacents aux dynamiques sociales, les auteurs les révèlent pour expliquer les résultats de simulations. Dans la thèse, j'ai essayé de mettre les mécanismes sous-jacents révélés au même rang de résultat que les sorties de simulations. À partir du moment où les hypothèses du modèles cherchent à représenter un processus réel, il devient pertinent à mon sens de penser les mécanismes sous-jacents comme des finalités de recherche. Ils deviennent à la fois des vecteurs de compréhension fondamentale des dynamiques sociales et à la fois des vecteurs d'aide à la décision.

# Bibliographie

- Ajzen, I.** (1985). From intentions to actions: A theory of planned behavior. Heidelberg: Springer
- Ajzen, I.** (1988). Attitudes, personality, and behavior. Chicago: Dorsey Press.
- Ajzen, I.** (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50, 179-211.
- Ajzen, I.** (1996). The directive influence of attitudes on behavior. In P. M. Gollwitzer & J. A. Bargh (Eds.), *The psychology of action: Linking motivation and cognition to behavior* (pp. 385-403). New York: Guilford Press.
- Ajzen, I.** (2004). Theory of planned behavior. In A. N. B. (Ed.), *Encyclopedia of health and behavior* (Vol. 2, pp. 793-796). Thousand Oaks: Sage Publications.
- Ajzen, I., & Fishbein, M.** (1980). Understanding attitudes and predicting social behavior. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Ajzen, I., & Madden, T. J.** (1986). Prediction of goal-directed behavior: Attitudes, intentions, and perceived behavioral control. *Journal of experimental social psychology*, 22(5), 453-474.
- Ajzen, I., & Sexton, J.** (1999). Depth of processing, belief congruence, and attitude-behavior correspondence. In S. Chaiken & Y. Trope (Eds.), *Dual-process theories in social psychology* (pp. 117-138). New York: Guilford Press.
- Albarracín, D., & Wyer Jr., R. S.** (2000). The cognitive impact of past behavior: influences on beliefs, attitudes, and future behavioral decisions. *Journal of Personality and Social Psychology*, 79(1), 5-22.
- Amblard, F., Rouchier, J., & Bommel, P.** (2006). Evaluation et validation de modèles multi-agents. In F. Amblard & D. Phan (Eds.), *Modélisation et simulation multi-agents. Applications pour les Sciences de l'Homme et de la Société* (pp. 103-140) Hermès.
- Amodio, D. M., Jost, J. T., Master, S. L., & Yee, C. M.** (2007). Neurocognitive correlates of liberalism and conservatism. *Nature neuroscience*, 10(10), 1246-1247.
- Andersen, S. M., & Cole, S. W.** (1990). "Do I know you?": The role of significant others in general social perception. *Journal of Personality and Social Psychology*, 59(3), 384.
- Asch, S. E.** (1956). Studies of independence and conformity: A minority of one against a unanimous majority. *Psychological monographs: General and applied*, 70(9), 1-70.
- Axelrod, R.** (1997). The dissemination of culture a model with local convergence and global polarization. *Journal of conflict resolution*, 41(2), 203-226.

- Axtell, R., Axelrod, R., Epstein, J. M., & Cohen, M. D.** (1996). Aligning simulation models: A case study and results. *Computational & Mathematical Organization Theory*, 1(2), 123-141.
- Bagnoli, F., Carletti, T., Fanelli, D., Guarino, A., & Guazzini, A.** (2007). Dynamical affinity in opinion dynamics modeling. *Physical Review E*, 76(6), 066105.
- Bandura, A.** (1977). *Social learning theory*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Bandura, A.** (1986). *Social foundations of thought and action*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Barreteau, O.** (1998). Un Système multi-agent pour explorer la viabilité des systèmes irrigués: dynamique des interactions et modes d'organisation (thèse de doctorat).
- Barreteau, O., & Abrami, G.** (2007). Variable time scales, agent-based models, and role-playing games: the PIEPLUE river bassin management game. *Simulation and Gaming*, 38(3), 364-381.
- Barreteau, O., Bots, P. W. G., & Daniell, K. A.** (2010). A framework for clarifying "participation" in participatory research to prevent rejection of participation for bad reasons. *Ecology and Society*, 15(2), 22.
- Barreteau, O., Bousquet, F., & 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., Bousquet, F., Étienne, M., Souchère, V., & d'Aquino, P.** (2010). La modélisation d'accompagnement: une méthode de recherche participative et adaptative. In M. Etienne (eds), *La modélisation d'accompagnement : une démarche participative en appui au développement durable*. Paris, France: QUAE.
- Barreteau, O., Le Page, C., & Perez, P.** (2007). Contribution of simulation and gaming to natural resource management issue. *Simulation and Gaming*, 38(2), 185-194.
- Bem, D. J.** (1965). An experimental analysis of self-persuasion. *Journal of experimental social psychology*, 1(3), 199-218.
- Bem, D. J.** (1972). Self-perception theory. In L. Berkowitz (Ed.), *Advances in experimental social psychology* (Vol. 6, pp. 2-57). New York: Academic press.
- Bendersky, C., & Curhan, J. R.** (2009). Cognitive Dissonance in Negotiation: Free Choice or Justification? *Social Cognition*, 27(3), 455-474.
- Bentler, P. M., & Speckart, G.** (1979). Models of attitude-behavior relations. *Psychological review*, 86(5), 452-464.

- Bernardes, A. T., Stauffer, D., & Kertész, J.** (2002). Election results and the Sznajd model on Barabasi network. *The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems*, 25(1), 123-127.
- Bizer, G. Y., Tormala, Z. L., Rucker, D. D., & Petty, R. E.** (2006). Memory-based versus on-line processing: Implications for attitude strength. *Journal of experimental social psychology*, 42(5), 646-653.
- Bommel, P.** (2009). Définition d'un cadre méthodologique pour la conception de modèles multi-agents adaptée à la gestion des ressources renouvelables. Université Montpellier II-Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier.
- Bonté, B.** (2011). Modélisation et simulation de l'interdépendance entre l'objet, l'observateur et le modèle de l'objet dans la Triade de Minsky. Application à la surveillance épidémiologique en santé animale. Université Montpellier II-Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier.
- Carley, K. M., Prietula, M. J., & Lin, Z.** (1998). Design versus cognition: The interaction of agent cognition and organizational design on organizational performance. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 1(3), 1-19.
- Castellano, C., Fortunato, S., & Loreto, V.** (2009). Statistical physics of social dynamics. *Reviews of modern physics*, 81(2), 591.
- Caticha, N., & Vicente, R.** (2011). Agent-based social psychology: From neurocognitive processes to social data. *Advances in Complex Systems*, 14(05), 711-731.
- Cialdini, R. B.** (1988). *Influence: Science and practice*. Glenview: Scott, Foresman.
- Cialdini, R. B., Kallgren, C. A., & Reno, R. R.** (1991). A focus theory of normative conduct: A theoretical refinement and reevaluation of the role of norms in human behavior. In L. Berkowitz (Ed.), *Advances in experimental social psychology* (Vol. 24, pp. 1-243).
- Clifford, P., & Sudbury, A.** (1973). A model for spatial conflict. *Biometrika*, 60(3), 581-588.
- Collectif ComMod** (2005). La modélisation comme outil d'accompagnement. *Natures, Sciences, Sociétés*, 13(2), 165-168
- Cooper, J., & Worchel, S.** (1970). Role of undesired consequences in arousing cognitive dissonance. *Journal of Personality and Social Psychology*, 16(2), 199.
- Costa, L. A., & De Matos, J. o. A.** (2002). Towards an organizational model of attitude change. *Computational & Mathematical Organization Theory*, 8(4), 315-335.
- D'Aquino, P., Barreteau, O., Etienne, M., Boissau, S., Aubert, S., Bousquet, F. o.** (2002). The Role Playing Games in an ABM participatory modeling process: outcomes from five different experiments carried out in the last five years. Paper presented at the Integrated assessment and decision sup-

port. iEMSs. 1st biennial meeting of the International Environmental Modelling and Software Society, Lugano, Switzerland.

**Daré, W. S.** (2005). Comportements des acteurs dans le jeu et dans la réalité: indépendance ou correspondance? Analyse sociologique de l'utilisation de jeux de rôles en aide à la concertation. ENGREF, AgroParisTech.

**Davidson, A. R.** (1995). From attitudes to actions to attitude change: The effects of amount and accuracy of information. In R. Petty & Krosnick (Eds.), *Attitude strength: Antecedents and consequences* (Vol. 4, pp. 315-336). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.

**Dawes, R. M.** (1980). Social dilemmas. *Annual review of psychology*, 31(1), 169-193.

**De Caluwé, L., Geurts, J., & Kleinlugtenbelt, W. J.** (2012). Gaming Research in Policy and Organization An Assessment From the Netherlands. *Simulation & Gaming*, 43(5), 600-626.

**Deffuant, G., Neau, D., Amblard, F., & Weisbuch, G.** (2000). Mixing beliefs among interacting agents. *Advances in Complex Systems*, 3(1-4), 87-98.

**Deffuant, G., Neau, D., Amblard, F., & Weisbuch, G.** (2001). Mixing beliefs among interacting agents. *Advances in Complex Systems*, 3(1-4), 87-98.

**DeGroot, M. H.** (1974). Reaching a consensus. *Journal of the American Statistical Association*, 69(345), 118-121.

**Désolé, M.** (2011). Théorie des jeux, jeux de rôles, expérimentation pour la gestion de l'eau: étude expérimentale des effets de contexte sur les résultats d'un jeu de rôles. Montpellier, SupAgro.

**Devine, P. G.** (1989). Automatic and controlled processes in prejudice: The role of stereotypes and personal beliefs. In A. R. Pratkanis, S. J. Breckler & A. G. Greenwald (Eds.), *Attitude structure and function* (pp. 181-212). Hillsdale: Erlbaum.

**Dickenberger, D., Gniech, G., & Grabitz, H.-J.** (1993). Die Theorie der psychologischen Reaktanz. In D. Frey & M. Irle (Eds.), *Theorien der Sozialpsychologie* (Vol. 1, pp. 243-273). Bern: Hans Huber.

**Doll, J., & Ajzen, I.** (1992). Accessibility and Stability of Predictors in the Theory of Planned Behavior. *Journal of Personality and Social Psychology*, 63(5), 754-765.

**Dornic, I., Chaté, H., Chave, J., & Hinrichse, H.** (2001). Critical coarsening without surface tension: The universality class of the voter model. *Physical Review Letters*, 87(4), 045701.

**Dubois, E., Barreteau, O., & Souchere, V.** (2013). An agent-based model to explore game setting effects on attitude change during a role playing game session. *Jasss-the Journal of Artificial Societies and Social Simulation*.

- Dubois, E., Huet, S., & Deffuant, G.** (2007). Primacy effect with symmetric features propagating in a population *ESSA, The fourth conference of European Social Simulation Association* (pp. 71-82): Frédéric Amblard.
- Dubois, E., Souchère, V., & Barreteau, O.** (2009). A conceptual agent-based model to explore biases in a role playing game outcomes. Paper presented at the the 40th Conference ISAGA 2009, Singapore.
- Duke, R. D., & Geurts, J.** (2004). Policy games for strategic management: Rozenberg Publishers.
- Eagly, A. H., & Chaiken, S.** (Eds.). (1993). *The psychology of attitudes*. Orlando: Harcourt Brace Jovanovich College Publishers.
- Etienne, M.** (2009). Co-construction d'un modèle d'accompagnement selon la méthode ARDI: guide méthodologique. *Cardère éditions, Laudun*.
- Etienne, M.** (2011). Companion modelling: A participatory approach to support sustainable development. Versailles.
- Etienne, M.** (Ed.). (2010). *La modélisation d'accompagnement : une démarche participative en appui au développement durable*. Paris, France: QUAE.
- Etienne, M., Du Toit, D. R., & Pollard, S.** (2011). ARDI: A Co-construction Method for Participatory Modeling in Natural Resources Management. *Ecology & Society, 16*(1).
- Ferber, J., & Perrot, J. F.** (1995). Les systèmes multi-agents: vers une intelligence collective. InterEditions.
- Festinger, L.** (1954). A theory of social comparison processes. *Human relations, 7*(2), 117-140.
- Festinger, L.** (1957). A theory of cognitive dissonance. Stanford: Stanford University Press.
- Festinger, L., & Carlsmith, J. M.** (1959). Cognitive consequences of forced compliance. *Journal of Abnormal Psychology, 58*(2), 203-210.
- Fishbein, M., & Ajzen, I.** (1975). Belief, attitude, intention and behavior: An introduction to theory and research. Reading: Addison-Wesley.
- Frachebourg, L., & Krapivsky, P. L.** (1996). Exact results for kinetics of catalytic reactions. *Physical Review E, 53*(4), R3009.
- French Jr, J. R.** (1956). A formal theory of social power. *Psychological review, 63*(3), 181.
- Frey, D., Dauheimer, D., Parge, O., & Haisch, J.** (1993). Die Theorie sozialer Vergleichsprozesse. In D. Frey & M. Irle (Eds.), *Theorien der Sozialpsychologie* (Vol. 2, pp. 81-122). Bern: Hans Huber.
- Friedman, T.** (1999). Civilisation and its discontents: Simulation, subjectivity and space. In G. M. Smith (Ed.), *On a silver platter: CD-ROMs and the promises of a new technology*. New York: New York University Press.

- Galam, S.** (2000). Real space renormalization group and totalitarian paradox of majority rule voting. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 285(1), 66-76.
- Galam, S.** (2002). Minority opinion spreading in random geometry. *The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems*, 25(4), 403-406.
- Galam, S.** (2003). Modelling rumors: The no plane pentagon french hoax case. *Physica A.*, 320, 571-580.
- Galam, S.** (2008). Sociophysics: A review of Galam models. *International Journal of Modern Physics C*, 19(03), 409-440.
- Galam, S., & Moscovici, S.** (1991). Towards a theory of collective phenomena: Consensus and attitude changes in groups. *European Journal of Social Psychology*, 21(1), 49-74.
- Galam, S., & Wonzak, S.** (2000). Dictatorship from majority rule voting. *The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems*, 18(1), 183-186.
- Glasman, L. R., & Albarracín, D.** (2006). Forming attitudes that predict future behaviors: A meta-analysis of the attitude-behavior relation. *Psychological Bulletin*, 132(5), 778-822.
- Graham, J., Haidt, J., & Nosek, B. A.** (2009). Liberals and conservatives rely on different sets of moral foundations. *Journal of Personality and Social Psychology*, 96(5), 1029.
- Granovetter, M.** (1978). Threshold models of collective behavior. *American journal of sociology*, 83(6), 1420.
- Grice, H. P.** (1975). Logic and conversation. In P. Cole & J. Morgan (Eds.), *Syntax and semantics*, vol 3. New York: Academic Press.
- Grieve, W.** (2001). Traps and gaps in action explanation: Theoretical problems of a psychology of human action. *Psychological review*, 108(2), 435-451.
- Haidt, J.** (2007). The new synthesis in moral psychology. *Science*, 316(5827), 998-1002.
- Haidt, J., & Graham, J.** (2009). Planet of the Durkheimians, where community, authority, and sacredness are foundations of morality. In J. Jost, A. Kay & H. Thorisdottir (Eds.), *Social and psychological bases of ideology and system justification* (pp. 371-401). Oxford: Oxford University Press.
- Haidt, J., & Joseph, C.** (2004). Intuitive ethics: How innately prepared intuitions generate culturally variable virtues. *Daedalus*, 133(4), 55-66.
- Hamilton, D., & Sherman, J. W.** (1994). Stereotypes. In R. S. Wyer & T. K. Srull (Eds.), *Handbook of social cognition* (Vol. 2). Hillsdale: Erlbaum.
- Haney, C., Banks, W. C., & Zimbardo, P. G.** (1973). Study of prisoners and guards in a simulated prison. *Naval Research Reviews*, 9(1-17).

- Haugtvedt, C. P., & Wegener, D. T.** (1994). Message order effects in persuasion: An attitude strength perspective. *Journal of Consumer Research*, 205-218.
- Hegselmann, R., & Krause, U.** (2002). Opinion dynamics and bounded confidence models, analysis, and simulation. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 5(3).
- Higgins, E. T.** (1996). Knowledge activation: Accessibility, applicability, and salience. In E. T. Higgins & A. W. Kruglanski (Eds.), *Social psychology: Handbook of basic principles* (pp. 133-168). New York: Guilford Press.
- Hogarth, R. M., & Einhorn, H. J.** (1992). Order effects in belief updating: The belief-adjustment model. *Cognitive Psychology*, 24(1), 1-55.
- Holley, R. A., & Liggett, T. M.** (1975). Ergodic theorems for weakly interacting infinite systems and the voter model. *The annals of probability*, 643-663.
- Holroyd, C. B., & Coles, M. G.** (2002). The neural basis of human error processing: reinforcement learning, dopamine, and the error-related negativity. *Psychological review*, 109(4), 679.
- Ilgen, D. R., Fisher, C. D., & Taylor, M. S.** (1979). Consequences of individual feedback on behavior in organizations. *Journal of applied psychology*, 64(4), 349.
- Ising, E.** (1925). Beitrag zur theorie des ferromagnetismus. *Zeitschrift für Physik A Hadrons and Nuclei*, 31(1), 253-258.
- Jager, W., & Amblard, F.** (2005). Uniformity, Bipolarization and Pluriformity Captured as Generic Stylized Behavior with an Agent-Based Simulation Model of Attitude Change. *Computational & Mathematical Organization Theory*, 10(4), 295-303.
- Jager, W., & Amblard, F.** (2007). Guess you're right on this one too: Central and peripheral processing in attitude changes in large populations. In S. Takahashi, D. Sallach & J. Rouchier (Eds.), *Advancing Social Simulation* (pp. 249-260): Springer.
- Janis, I. L., & King, B. T.** (1954). The influence of role playing on opinion change. *J Abnorm Psychol*, 49(2), 211-218.
- Janis, I. L., & Mann, L.** (1977). Decision making: A psychological analysis of conflict, choice, and commitment. New York/London: Free Press.
- Janssen, M., & Jager, W.** (1999). An integrated approach to simulating behavioural processes: A case study of the lock-in of consumption patterns. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2(2), 21-35.
- Katz, E., & Lazarsfeld, P. F.** (1955). Personal Influence: The Part Played by People in the Flow of Mass Communications. Glencoe, Illinois: The Free Press.
- Kelman, H. C.** (1953). Attitude change as a function of response restriction *Human relations*, 6(3), 185-214.

- Keynes, J. M.** (1936, reprint 2006). General theory of employment, interest and money: Atlantic Publishers & Dist.
- Klandermans, B.** (1984). Mobilization and participation: Social-psychological expansions of resource mobilization theory. *American sociological review*, 583-600.
- Klucharev, V., Hytönen, K., Rijpkema, M., Smidts, A., & Fernandez, G.** (2009). Reinforcement learning signal predicts social conformity. *Neuron*, 61(1), 140-151.
- Lambiotte, R., Saramäki, J., & Blondel, V. D.** (2009). Dynamics of latent voters. *Physical Review E*, 79(4), 046107.
- Latané, B.** (1981). The psychology of social impact. *American psychologist*, 36(4), 343.
- Latané, B.** (1996). Dynamic social impact: The creation of culture by communication. *Journal of Communication*, 46(4), 13-25.
- Le Bon, G.** (1896, reprint 2011). The Crowd: A study of the popular mind: Macmillan New York.
- Lehrer, K.** (1975). Social consensus and rational agnology. *Synthese*, 31(1), 141-160.
- Lerderman, L.** (1984). Debriefing: a critical re-examination of the post-experience analytic process with implications for its effective use. *Simulation and games*, 15(4), 415-431.
- Lewicki, P.** (1985). Nonconscious biasing effects of single instances on subsequent judgments. *Journal of Personality and Social Psychology*, 48(3), 563.
- Likert, R.** (1932). A technique for the measurement of attitudes. *Archives of psychology*.
- Lorenz, J.** (2007). Continuous opinion dynamics under bounded confidence: A survey. *International Journal of Modern Physics C*, 18(12), 1819-1838.
- Mackay, C.** (1841, reprint 2004). Extraordinary popular delusions and the madness of crowds: Barnes & Noble Publishing.
- Mackie, D. M., & Asuncion, A. G.** (1990). On-line and memory-based modification of attitudes: determinants of message recall-attitude change correspondence. *Journal of Personality and Social Psychology*, 59(1), 5.
- Mason, W. A., Conrey, F. R., & Smith, E. R.** (2007). Situating social influence processes: Dynamic, multidirectional flows of influence within social networks. *Personality and social psychology review*, 11(3), 279-300.
- Mathevet, R., Page, C. L., Etienne, M., Lefebvre, G., Poulin, B., Gigot, G.** (2007). BUTORSTAR: a role playing game for collective awareness of wise reedbed use. *Simulation and Gaming*, 38(2), 233-242.
- Miller, N., & Campbell, D. T.** (1959). Recency and primacy in persuasion as a function of the timing of speeches and measurements. *The Journal of Abnormal and Social Psychology*, 59(1), 1.

- Mobilia, M.** (2003). Does a single zealot affect an infinite group of voters? *Physical review letters*, *91*(2), 028701.
- Moreno, Y., Nekovee, M., & Pacheco, A. F.** (2004). Dynamics of rumor spreading in complex networks. *Physical Review E*, *69*(6), 066130.
- Moscovici, S., & Faucheux, C.** (1972). Social influence, conformity bias, and the study of active minorities. *Advances in experimental social psychology*, *6*, 149-202.
- Moscovici, S., Lage, E., & Naffrechoux, M.** (1969). Influence of a consistent minority on the responses of a majority in a color perception task. *Sociometry*, *32*(4), 365-380.
- Moscovici, S., & Zavalloni, M.** (1969). The group as a polarizer of attitudes. *Journal of Personality and Social Psychology*, *12*(2), 125.
- Mosler, H.-J.** (2002). Agent-based simulation of an environmental action campaign: Changing people's behaviour via their inner contradictions. Paper presented at the Integrated assessment and decision support. Proceedings of the 1st biennial meeting of the International Environmental Modelling and Software Society.
- Mosler, H.-J., & Brucks, W.** (2001). The simulation of social psychological theories. In N. J. Saam & B. Schmidt (Eds.), *Cooperative agents: Applications in the social sciences* (Vol. 32): Springer.
- Mosler, H.-J., Schwarz, K., Ammann, F., & Gutscher, H.** (2001). Computer simulation as a method of further developing a theory: Simulating the Elaboration Likelihood Model. *Personality and social psychology review*, *5*(3), 201-215.
- Mosler, H. J., Shwarz, K., Ammann, F., & Gutcher, H.** (2001). Computer simulation as a method of further developing a theory: Simulating the Elaboration Likelihood Model. *Personality and social psychology review*, *5*(3), 201-215.
- Moussaïd, M., Kämmer, J. E., Analytis, P. P., & Neth, H.** (2013). Social influence and the collective dynamics of opinion formation. *PLoS ONE*, *8*(11), e78433.
- Newell, A.** (1994). *Unified theories of cognition*: Harvard University Press.
- Nowak, A., Szamrej, J., & Latané, B.** (1990). From private attitude to public opinion: A dynamic theory of social impact. *Psychological review*, *97*(3), 362-376.
- Oakes, P. J., Haslam, S. A., & Turner, J. C.** (1994). *Stereotyping and social reality*: Blackwell Publishing.
- Oakes, P. J., Turner, J. C., & Haslam, S. A.** (1991). Perceiving people as group members: The role of fit in the salience of social categorizations. *British Journal of Social Psychology*, *30*(2), 125-144.

- Ouelette, J. A., & Wood, R.** (1998). Habit and intention in everyday life: the multiple processes by which past behavior predicts future behavior. *Psychological Bulletin*, *124*(1), 54-74.
- Pasquier, P., & Chaib-Draa, B.** (2005). Agent communication pragmatics: The cognitive coherence approach. *Cognitive Systems Research*, *6*(4), 364-395.
- Pavlov, I. P.** (1927, reprint 2003). *Conditioned reflexes*: Courier Dover Publications.
- Perez, P., Aubert, S., Daré, W., Ducrot, R., Jones, N., Queste, J., Trébuil, G., Van Passen, A.** (2010). Evaluation et suivi de la démarche. In M. Etienne (eds), *La modélisation d'accompagnement : une démarche participative en appui au développement durable*. Paris, France: QUAE.
- Perugini, M., & Bagozzi, R. P.** (2001). The role of desires and anticipated emotions in goal-directed behaviours: Broadening and deepening the theory of planned behaviour. *British Journal of Social Psychology*, *40*(1), 79-98.
- Perugini, M., & Bagozzi, R. P.** (2004a). An alternative view of pre-volitional processes in decision making. In G. Haddock & G. R. Maio (Eds.), *Contemporary perspectives on the psychology of attitudes: The Cardiff symposium* (pp. 169-201). Hove: Psychology press.
- Perugini, M., & Bagozzi, R. P.** (2004b). The distinction between desires and intentions. *European Journal of Social Psychology*, *34*(1), 69-84.
- Perugini, M., & Conner, M.** (2000). Predicting and understanding behavioral volitions: The interplay between goals and behaviors. *European Journal of Social Psychology*, *30*(5), 705-731.
- Peters, V., & Vissers, G. A. N.** (2004). A simple classification model for debriefing simulation games. *Simulation & Gaming*, *35*(1), 70-84.
- Petty, R., & Cacioppo, J. T.** (1986). *Communication and persuasion: Central and peripheral routes to attitude change*: New York: Springer-Verlag.
- Redner, S.** (2001). *A guide to first-passage processes*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Reynolds, C. W.** (1987). Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model. Paper presented at the ACM SIGGRAPH Computer Graphics.
- Richard-Ferroudji, A., & Barreteau, O.** (2006). Concert'eau : un outil de sociologie expérimentale pour l'étude de dispositifs de gestion locale et concertée de l'eau. *Congrès de l'Association Française de Sociologie, RT Méthode*, 17.
- Richetin, J., Sengupta, A., Perugini, M., Adjali, I., Hurling, R., Greetham, D.** (2010). A micro-level simulation for the prediction of intention and behavior. *Cognitive Systems Research*, *11*(2), 181-193.
- Rittel, H. W. J., & Weber, M. M.** (1973). Dilemmas in a general theory of planning. *Policy sciences*, *4*(2), 155-169.

- Ronis, D. L., Yates, J. F., & Kirscht, J. P.** (1989). Attitudes, decisions, and habits as determinants of repeated behavior. In A. R. Pratkanis, S. J. Breckler & A. G. Greenwald (Eds.), *Attitude structure and function*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Ryan, T.** (2000). The role of simulation gaming in policy making. *Systems Research and Behavioral Science*, 17(4), 359-364.
- Salzarulo, L.** (2006). A Continuous Opinion Dynamics Model Based on the Principle of Meta-Contrast. *Journal of Artificial Societies & Social Simulation*, 9(1).
- Sapp, S. G.** (2001). Non-rationality in belief sets: Implications for the theory of rational expectations. *Social Behavior and Personality*, 29(4), 337-345.
- Schelling, T. C.** (1978, reprint 2006). *Micromotives and macrobehavior*: WW Norton & Company.
- Sherif, M.** (1936). *The psychology of social norms*. New York: Harper.
- Sherif, M., & Hovland, C. I.** (1961). *Social judgment: Assimilation and contrast effects in communication and attitude change*. New haven: Yale University Press.
- Simon, H. A.** (1954). Bandwagon and underdog effects and the possibility of election predictions. *Public Opinion Quarterly*, 18(3), 245-253.
- Simon, H. A.** (1955). A behavioral model of rational choice. *Quarterly Journal of Economics*, 69(1), 99-118.
- Simon, H. A.** (1976). *Administrative Behavior: A Study of Decision-making Processes in Administrative Organization*. New York: Harper.
- Skinner, B. F.** (1938). *The behavior of organisms: An experimental analysis*. Oxford: Appleton-Century.
- Skinner, B. F.** (1953). *Science and human behavior*. Oxford: Macmillan.
- Smith, E. R., & Conrey, F. R.** (2007). Agent-based modeling: A new approach for theory building in social psychology. *Personality and social psychology review*, 11(1), 87-104.
- Smith, E. R., & DeCoster, J.** (1998). Knowledge acquisition, accessibility, and use in person perception and stereotyping: simulation with a recurrent connectionist network. *Journal of Personality and Social Psychology*, 74(1), 21.
- 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.
- 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.

- Sperber, D., & Wilson, D.** (1995). *Relevance: Communication and Cognition*: Wiley.
- Stauffer, D.** (2005). Sociophysics simulations II: opinion dynamics. *arXiv preprint physics/0503115*.
- Steinzor, B.** (1950). The spatial factor in face to face discussion groups. *The Journal of Abnormal and Social Psychology*, 45(3), 552.
- Sun, R.** (2002). *Duality of the mind*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Sun, R.** (2003). A tutorial on CLARION: Cognitive science department, Rensselaer polytechnic institute.
- Sun, R.** (2007). Cognitive social simulation incorporating cognitive architectures. *Intelligent Systems, IEEE*, 22(5), 33-39.
- Sun, R., Merrill, E., & Peterson, T.** (2001). From implicit skills to explicit knowledge: A bottom-up model of skill learning. *Cognitive Science*, 25(2), 203-244.
- Sun, R., & Naveh, I.** (2004). Simulating organizational decision-making using a cognitively realistic agent model. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 7(3).
- Sutton, R. S., & Barto, A. G.** (1998). *Reinforcement learning: An introduction*. MIT press.
- Sznajd-Weron, K., & Sznajd, J.** (2000). Opinion evolution in closed community. *International Journal of Modern Physics C*, 11(06), 1157-1165.
- Sznajd-Weron, K., & Sznajd, J. z.** (2005). Who is left, who is right? *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 351(2), 593-604.
- Sznajd-Weron, K., & Weron, R.** (2002). A simple model of price formation. *International Journal of Modern Physics C*, 13(01), 115-123.
- Sznajd-Weron, K., & Weron, R.** (2003). How effective is advertising in duopoly markets? *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 324(1), 437-444.
- Tajfel, H.** (1982). *Social identity and intergroup relations*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Thorndike, E. L.** (1901). Animal intelligence: an experimental study of the associative processes in animals. *Psychological review monograph supplement*, 2(4), 1-109.
- Triandis, H. C.** (1977). *Interpersonal behavior*. Monterey: Brooks/Cole.
- Triandis, H. C.** (1980). Values, attitudes, and interpersonal behavior. In H. E. Howe Jr. & M. M. Page (Eds.), *Nebraska symposium on motivation* (Vol. 27, pp. 65). Lincoln: University of Nebraska Press.
- Tsuchiya, S.** (1998). Simulation/gaming as an essential enabler of organizational change. *Simulation & Gaming*, 29(4), 400-408.

- Turner, J. C., Hogg, M. A., Oakes, P. J., Reicher, S. D., & Wetherell, M. S.** (1987). Rediscovering the social group: A self-categorization theory: Basil Blackwell.
- Tversky, A., & Kahneman, D.** (1981). The framing of decisions and the psychology of choice. *Science*, *211*(4481), 453-458.
- Tversky, A., & Kahneman, D.** (1986). Rational Choice and the Framing of Decisions. *The Journal of Business*, *59*(4), 251-278.
- Urbig, D.** (2003). Attitude dynamics with limited verbalisation capabilities. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation (JASSS)*, *6*(1), 1-23.
- Van Der Henst, J.-B.** (2002). La perspective pragmatique dans l'étude du raisonnement et de la rationalité. *L'Année Psychologique*, *102*, 65-108.
- Van Overwalle, F., & Labiouse, C.** (2004). A recurrent connectionist model of person impression formation. *Personality and social psychology review*, *8*(1), 28-61.
- Van Rooy, D., Van Overwalle, F., Vanhoomissen, T., Labiouse, C., & French, R.** (2003). A recurrent connectionist model of group biases. *Psychological review*, *110*(3), 536.
- Vennix, J. A.** (1996). Group model building: Facilitating team learning using system dynamics: J. Wiley.
- Vlek, C.** (1989). Modellen en methoden voor het begrijpen en verbeteren van beslissingen (Models and methods to understand and improve decision making). *Handboek Sociale Verkeerskunde (Handbook of social traffic science)*. Assen/Maastricht: Van Gorcum.
- Voinov, A., & Bousquet, F.** (2010). Modelling with stakeholders. *Environmental modelling and software*, *25*(11), 1168-1191.
- Watters, A. E.** (1989). Reasoned/intuitive action: An individual difference moderator of the attitude-behavior relationship in the 1988 US presidential election. University of Massachusetts at Amherst.
- Williams, R. H., & Williams, A. J.** (2010). One for All and All for One: Using Multiple Identification Theory Simulations to Build Cooperative Attitudes and Behaviors in a Middle Eastern Conflict Scenario. *Simulation & Gaming*, *41*(2), 187-207.
- Xia, H., Wang, H., & Xuan, Z.** (2011). Opinion Dynamics: A Multidisciplinary Review and Perspective on Future Research. *International Journal of Knowledge and Systems Science*, *2*(4), 72-91. doi: 10.4018/jkss.2011100106
- Zeigler, B. P., Praehofer, H., & Kim, T. G.** (2000). Theory of modeling and simulation: integrating discrete event and continuous complex dynamic systems: Academic press.
- Zillio, T., Volkov, I., Banavar, J. R., Hubbell, S. P., & Maritan, A.** (2005). Spatial scaling in model plant communities. *arXiv preprint q-bio/0508033*.

# Annexes

## 1. Matériel d'observation de jeu

### 1.1 Grille d'observation des négociations

Description	Type de solution discuté	Perturbation externe ? (O/N) Si oui, laquelle ?	Acceptation ? (O/N/Avor-tisee), hypothèse de la cause	Initiateur(s)	Récepteur(s)	Temps suffisant (O/N) Si non, pourquoi ?	Parcelles impliquées (n°:)	Notes

---

1.2 Questionnaire de recueil des changements d'attitudes à remplir à l'issue de chaque négociation

Numéro de la négociation :    Rôle :    Statut (Initiateur, Récepteur) :

Type de solution discutée :

Issue de la négociation (acceptée, refusée, avortée) :

La négociation a-t-elle modifié votre opinion sur la solution que vous venez de discuter, par rapport à votre opinion sur la solution la plus correspondante proposée dans le questionnaire de départ ?

Oui

Non

**Si oui**, votre opinion est-elle plus favorable ou plus défavorable que précédemment ?

+ favorable

+défavorable

La négociation a-t-elle modifié votre confiance sur cette opinion ?

Oui

Non

**Si oui**, votre confiance est-elle plus forte ou moins forte que précédemment ?

+forte (je suis + certain de mon opinion que précédemment)

-forte (je suis – certain de mon opinion que précédemment)

---

1.3 Questionnaire de départ à remplir par les participants « parties prenantes »

Questionnaire départ.

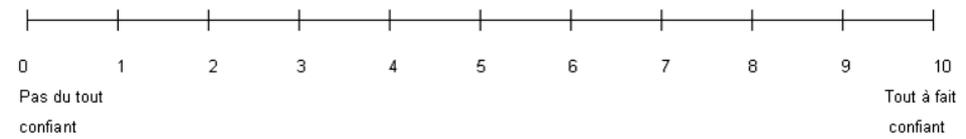
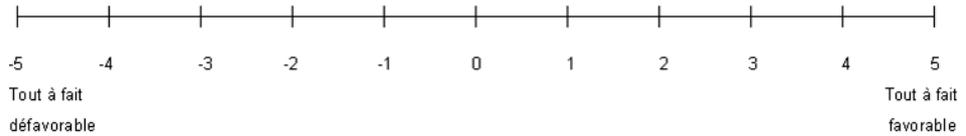
ROLE :

Essayez de répondre le plus sincèrement possible à l'ensemble des questions ci-dessous. Répondez en fonction de ce que vous pensez vraiment et non en fonction de ce qui vous semble bien vu. Vos réponses sont confidentielles et leur usage est d'ordre scientifique seulement. Elles ne seront pas divulguées à qui que ce soit.

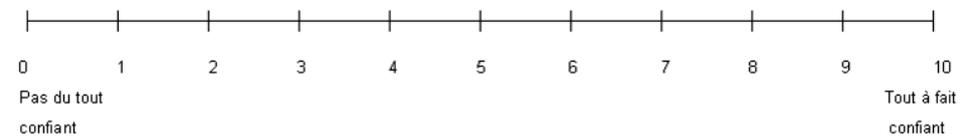
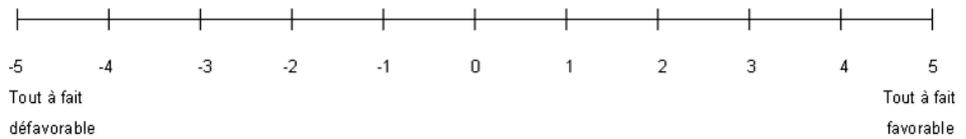
**Question :** En vous concentrant sur les **coûts\*** que cela engendre **pour vous**, que pensez-vous des solutions suivantes de gestion du ruissellement érosif ? Indiquez aussi votre confiance en cette opinion sur la seconde échelle

\*Exemples de coûts : monétaires, surcharge de travail, perte de productivité, perte de temps, perte de la proximité du corps de ferme...

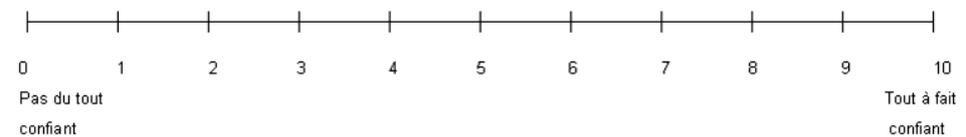
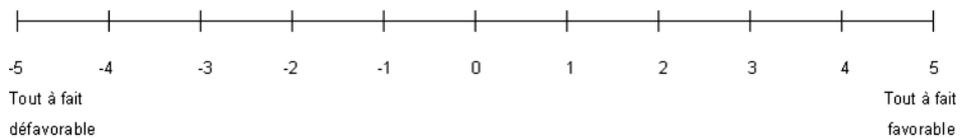
**Mise en place de bandes enherbées**



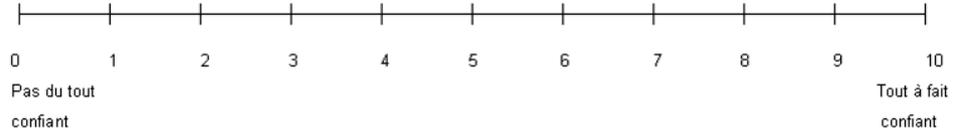
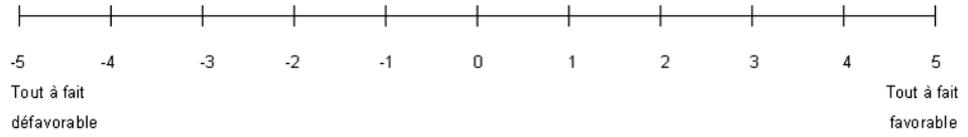
**Placement de bandes enherbées en relation avec celles du (des) voisin(s)**



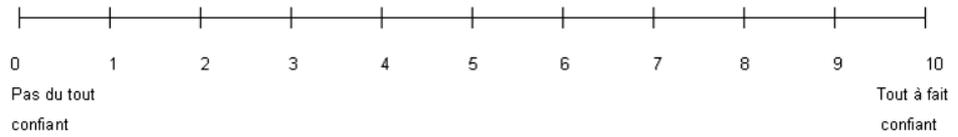
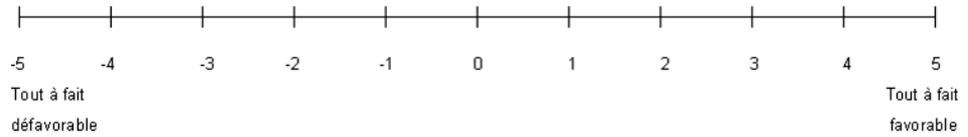
**Pratiques alternatives (semis plus grossier, passage de houe rotative...)**



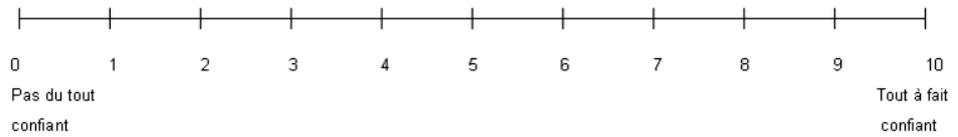
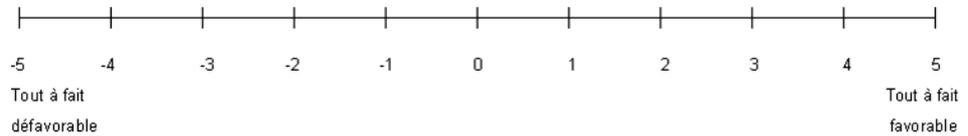
### Implantation d'un bassin de rétention (par la mairie ou le syndicat)



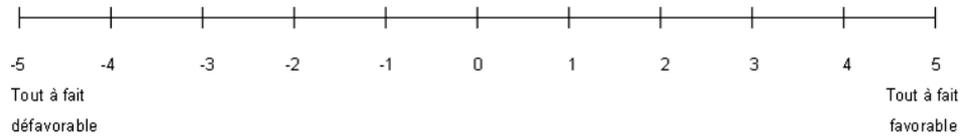
### Echange de parcelles avec un autre agriculteur

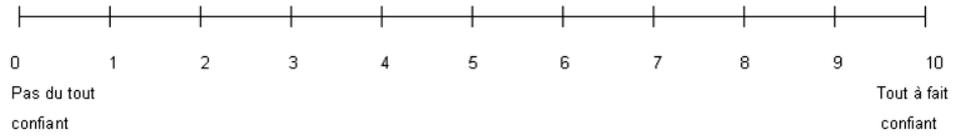


### Echange de parcelles avec l'animateur de bassin versant

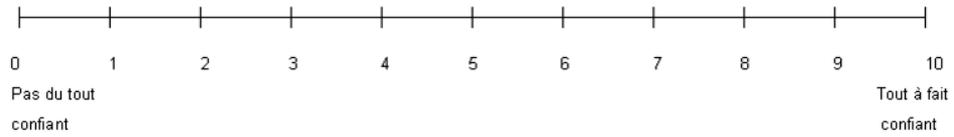
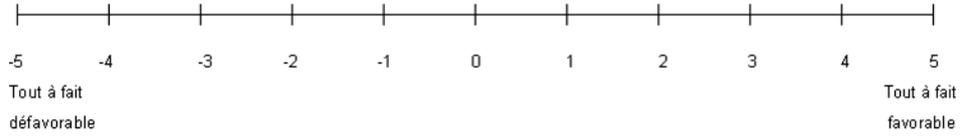


### Echange de parcelles avec le maire

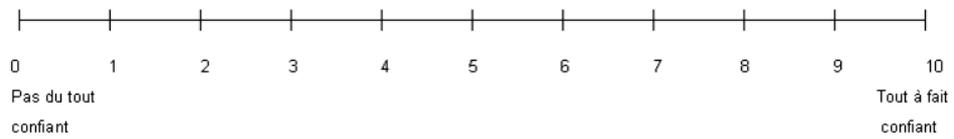
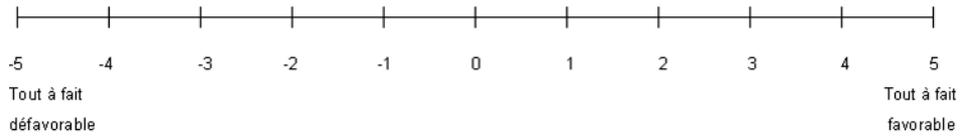




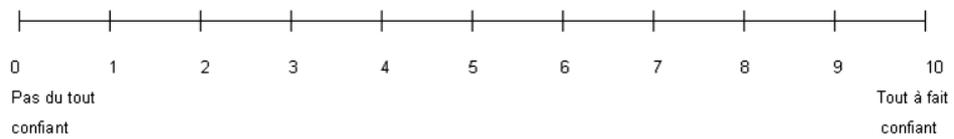
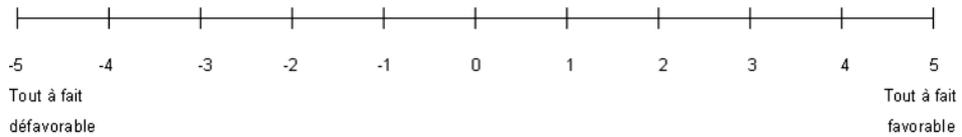
**Achat d'une de vos parcelles par le syndicat ou la mairie**



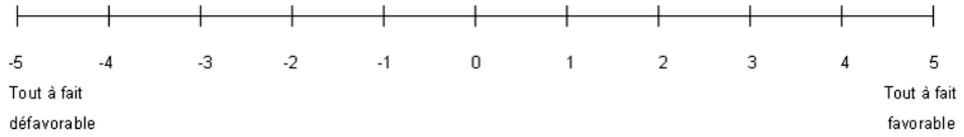
**Agencer les choix de cultures (ruisselantes/non ruisselantes) sur les parcelles en fonction des choix des voisins sur le territoire**



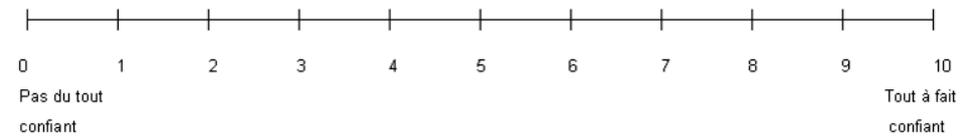
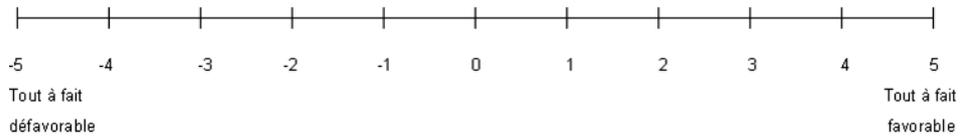
**Cultures intermédiaires aux frais de l'agriculteur**



### Cultures intermédiaires aux frais du syndicat ou de la mairie



### Travail du sol



#### 1.4 Questionnaire de départ à remplir par les participants étudiants

Questionnaire départ.                      ROLE :

*Essayez de répondre le plus sincèrement possible à l'ensemble des questions ci-dessous. Répondez en fonction de ce que vous pensez vraiment et non en fonction de ce qui vous semble bien vu. Vos réponses sont confidentielles et leur usage est d'ordre scientifique seulement. Elles ne seront pas divulguées à qui que ce soit.*

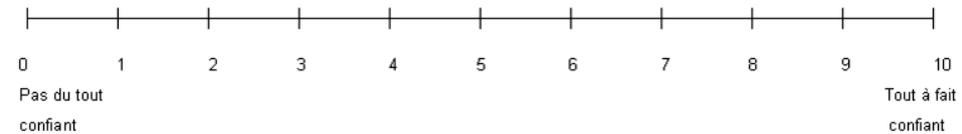
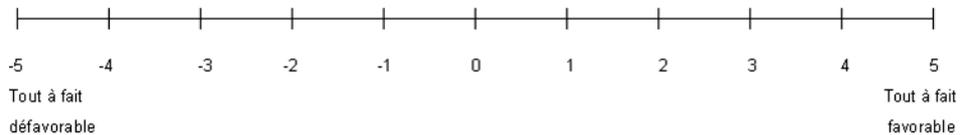
**Question :** En vous concentrant sur les **coûts**<sup>\*</sup> que cela engendre, que pensez-vous des solutions suivantes de gestion du ruissellement érosif ?  
Indiquez aussi votre confiance en cette opinion sur la seconde échelle, c'est-à-dire votre degré de **certitude sur la valeur de votre opinion**.

<sup>\*</sup>Exemples de coûts : monétaires, surcharge de travail, perte de productivité, perte de temps, perte de la proximité du corps de ferme...

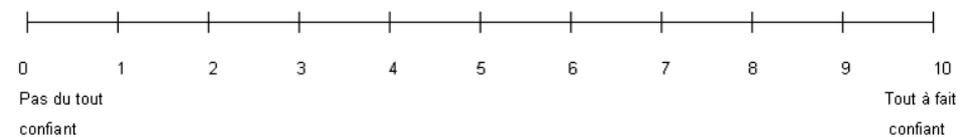
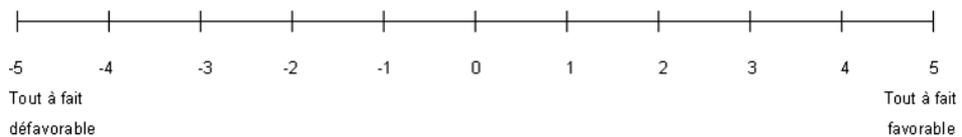
Exemples de réponse : Concernant la première proposition « bandes enherbées » :

- Si vous ne savez pas ce que c'est, alors votre opinion sur celle-ci va être égale à 0 (vous n'êtes ni favorable ni défavorable). Par contre vous êtes sûr que vous ne connaissez pas les bandes enherbées, alors votre confiance dans votre réponse va être égale à 10.
- Par contre, si vous n'aimez pas du tout les bandes enherbées et que vous êtes sûrs de ne pas aimer, alors votre opinion va être égale à -5 et votre confiance sera aussi égale à 10.
- Aussi, si vous trouvez que les bandes enherbées sont une solution assez bien (opinion égale à 2 par exemple), mais que vous ne connaissez pas trop les coûts que ce la engendre et des effets que cela produit, alors votre confiance va être faible (entre 0 et 4).

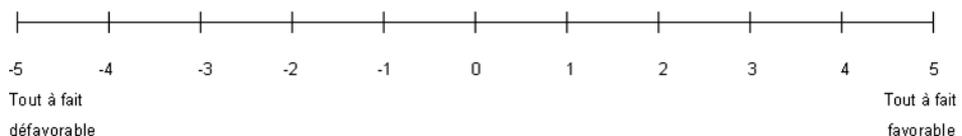
**Mise en place de bandes enherbées**

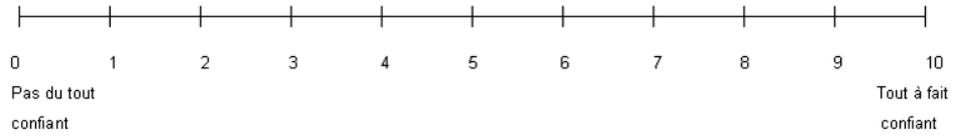


**Placement de bandes enherbées en relation avec celles du (des) voisin(s)**

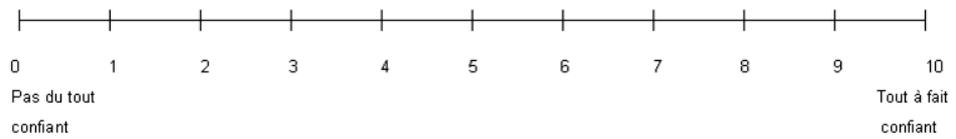
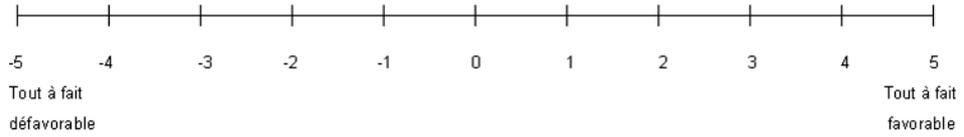


**Pratiques alternatives (semis plus grossier, passage de houe rotative...)**

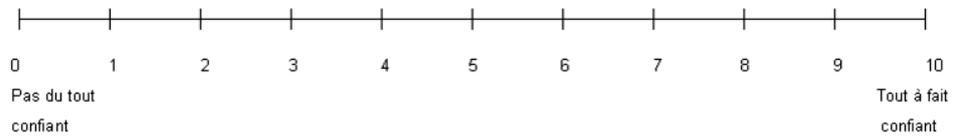
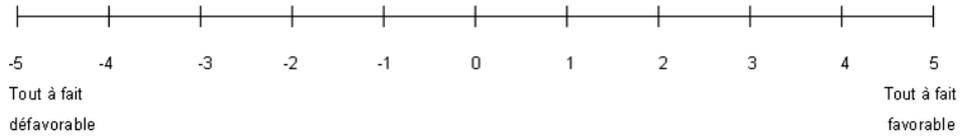




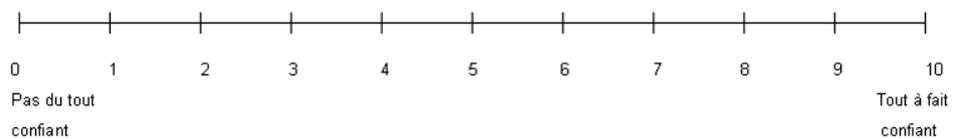
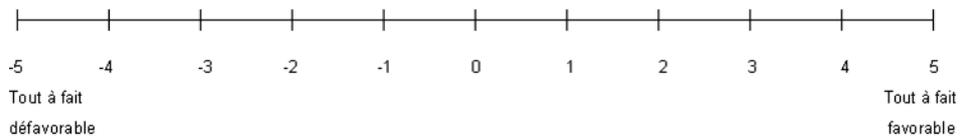
**Implantation d'un bassin de rétention (par la mairie ou le syndicat)**



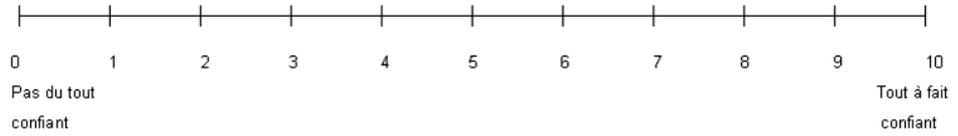
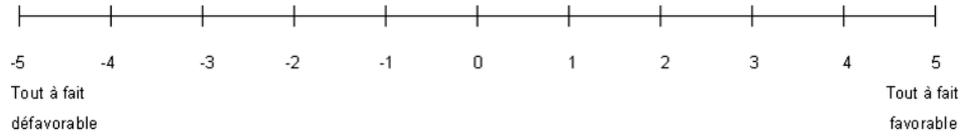
**Echange de parcelles avec un autre agriculteur**



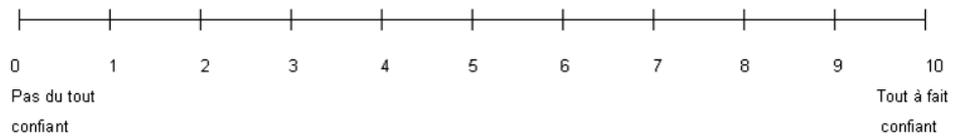
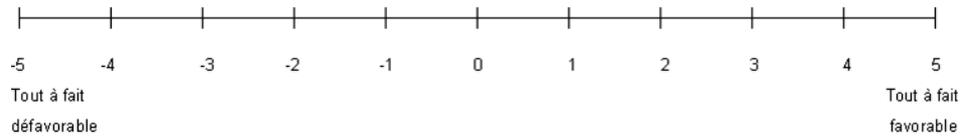
**Echange de parcelles avec l'animateur de bassin versant**



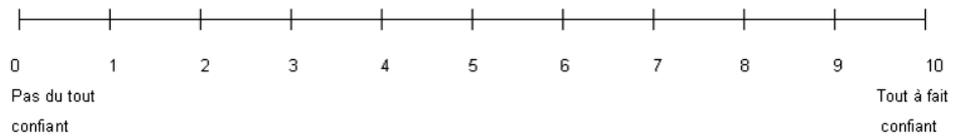
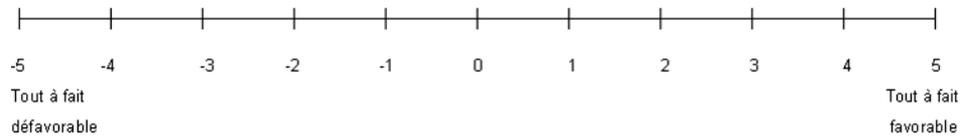
### Echange de parcelles avec le maire



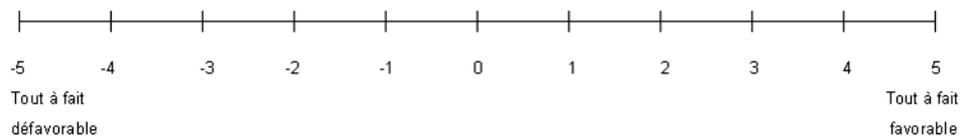
### Achat d'une de vos parcelles par le syndicat ou la mairie

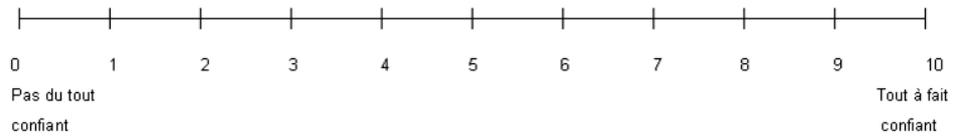


### Agencer les choix de cultures (ruisselantes/non ruisselantes) sur les parcelles en fonction des choix des voisins sur le territoire

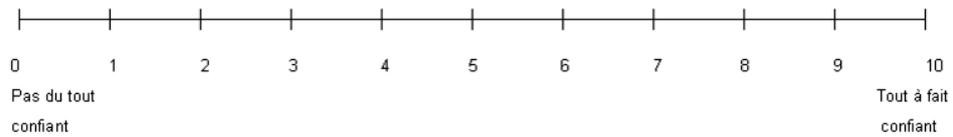
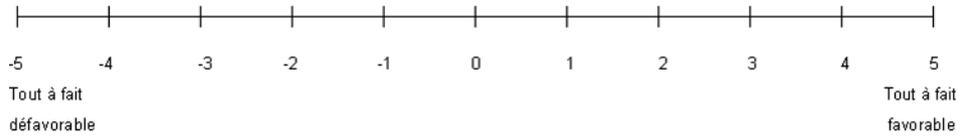


### Cultures intermédiaires aux frais de l'agriculteur

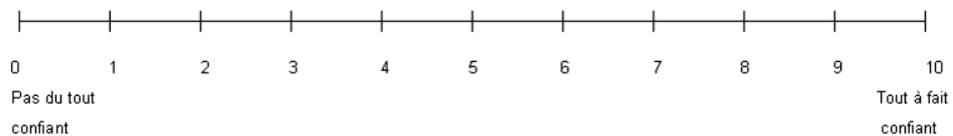
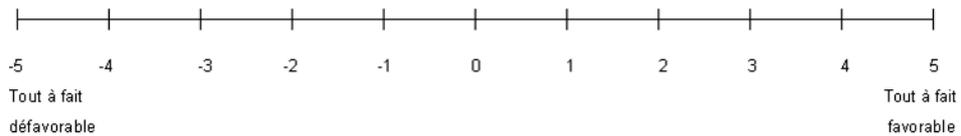




### Cultures intermédiaires aux frais du syndicat ou de la mairie



### Travail du sol



---

#### 1.5 Questionnaire à remplir à l'issue de la session de jeu

Rôle joué :

#### Questionnaire à remplir à l'issue de la session de jeu

*Répondez le plus sincèrement possible à l'ensemble des questions. Ce questionnaire reste anonyme et sera traité pour usage scientifique uniquement. Merci beaucoup pour votre contribution à cette recherche*

1/ Pour les rôles d'agriculteur, quelles ont été vos stratégies de rotation de cultures ?

Pour le rôle de maire et d'animateur de bassin versant, pouvez-vous résumer votre stratégie globale de lutte ?

2/ Avez-vous été initiateur d'une ou plusieurs négociations ?

Si oui, pouvez-vous indiquer le type de négociation, vos motivations, la raison d'avoir choisi tel joueur plutôt qu'un autre etc.

Si non, pouvez-vous préciser la raison ?

La localisation des parcelles a-t-elle influencé vos choix ? Si oui, en quoi ?

3/ D'autres joueurs sont-ils venus initier une négociation avec vous ? Si oui, pouvez-vous m'indiquer le type de négociation ? Avez-vous accepté la proposition qui vous a été faite ? Pourquoi ?

4/ Le fait de connaître les autres joueurs vous a-t-il influencé dans les choix faits dans les négociations (choix de la personne avec qui négocier, acceptation/refus de la proposition...) ? Si oui, pouvez-vous justifier ?

5/ Avez-vous changé d'opinion et/ou de confiance dans votre opinion (indiquez s'il s'agit de l'opinion ou de la confiance ou des deux) sur les solutions de lutte contre le ruissellement par rapport à vos réponses dans le questionnaire de départ ? Pourquoi ? Justifiez.

6/ Les négociations dans lesquelles vous avez été impliqué ont-elles eu un impact dans votre changement d'opinion et/ou confiance dans votre opinion (indiquez s'il s'agit de l'opinion ou de la confiance ou des deux) ? Justifiez.

En tant qu'initiateur ?

En tant que récepteur de proposition ?

Si certaines négociations n'ont pas eu d'impact sur votre opinion ou votre confiance, pouvez-vous justifier pourquoi ?

7/ Avez-vous initié des négociations sur une solution dont votre opinion était négative (dans le questionnaire de départ) ? Pouvez-vous justifier votre réponse ?

8/ Avez-vous accepté des propositions sur une solution dont votre opinion était négative (dans le questionnaire de départ) ? Pouvez-vous justifier votre réponse ?

9/ Les informations sur le ruissellement délivrées par l'animateur de jeu ou par le maire (cartes de ruissellement, cartes de satisfaction des habitants, carte village inondé...) ont-elles eu un impact pour vous sur les solutions de lutte que vous avez mis en place ultérieurement ? Justifiez.

10/ Lorsqu'on vous a dit que l'ordinateur avait calculé un taux de ruissellement faible sur le bassin versant, cela vous a-t-il influencé dans les initiations de négociation ou dans l'acceptation/refus des propositions faites ultérieurement dans la session de jeu ? Justifiez.

Si oui, avez-vous pris en compte **vos précédentes actions** qui ont mené à ce volume de ruissellement dans vos choix ultérieurs pendant les négociations ? Avez-vous pris en compte le **choix des autres** qui ont mené à ce volume de ruissellement dans vos choix ultérieurs pendant les négociations ? Si oui, pouvez-vous justifier ?

11/ Quand on vous a dit que l'ordinateur avait calculé un taux de ruissellement élevé sur le bassin versant, cela vous a-t-il influencé dans les initiations ou dans l'acceptation/refus des propositions faites ultérieurement dans la session de jeu ? Justifiez.

Si oui, avez-vous pris en compte **vos précédentes actions** qui ont mené à ce volume de ruissellement dans vos choix ultérieurs pendant les négociations ? Avez-vous pris en compte le **choix des autres** qui ont mené à ce volume de ruissellement dans vos choix ultérieurs pendant les négociations ? Si oui, pouvez-vous justifier ?

12/ Les informations sur vos revenus données par l'ordinateur chaque année ont-elles eu un impact pour vous sur les solutions que vous avez mis en place ultérieurement ? Justifiez.

Si oui, avez-vous pris en compte **vos précédentes actions** qui ont mené à ce revenu dans vos choix ultérieurs? Avez-vous pris en compte le **choix des autres** qui ont mené à leur revenu dans vos choix ultérieurs?

13/ Etes vous confrontés à des problèmes de ruissellement sur votre territoire ? Si oui, pouvez-vous indiquer la fréquence des problèmes ?

Mettez- vous en place des actions pour y faire face ? Lesquelles ?

Pouvez-vous, sur une échelle de 0 (pas du tout impliqué) à 10 (tout à fait impliqué) dire quel est votre degré d'implication dans la lutte contre le ruissellement dans la vie réelle ?

14/ Sur une échelle de 0 à 10, pouvez indiquer votre motivation pendant la session de jeu (0 : pas du tout motivé, 10 : tout à fait motivé).

## 2. Liens pour télécharger les codes des modèles

Les codes de *CauxAttitude* et de *CauxFeedback* sont disponibles ici :

<https://www.openabm.org/model/4202/version/1/view>

Le code de *CauxFeedback* inclue également la version modifiée de *CauxAttitude* pour comparer les simulations entre les deux modèles.

Remarque : pour effectuer une simulation, une partie des paramètres doit être initialisée dans un fichier .csv. Dans le fichier, une ligne correspond à un réplique et chaque colonne correspond à :

- Colonne 1 : valeur initiale de  $x_A$ .
- Colonne 2 : valeur initiale de  $x_B$ .
- Colonne 3 : ignorer.
- Colonne 4 : nombre d'agents.
- Colonne 5 : nombre d'itérations. Une itération correspond à une négociation, y compris pour les simulations de *CauxFeedback*. Pour les simulations de *CauxFeedback* et de la version modifiée de *CauxAttitude*, ce paramètre devra être initialisé par une valeur multiple de  $n/2$  dans le cas de négociations à deux agents.
- Colonne 6 : valeur minimale des attitudes.
- Colonne 7 : valeur maximale des attitudes.
- Colonne 8 : ignorer.
- Colonne 9 : valeur initiale de  $a_A$ .
- Colonne 10 : valeur initiale de  $a_B$ .
- Colonne 11 : nombre d'initiateurs par négociation.
- Colonne 12 : nombre de récepteurs par négociation.

Les autres paramètres sont à initialiser dans la section « Initialisation des paramètres » de chaque code. Seule la valeur initiale de  $y$  pour chaque agent est à initialiser dans la méthode `population()`.