

Proposition d'un design de recherche pour l'analyse des processus complexes et émergents en systèmes d'information : De l'intérêt de combiner étude(s) de cas et simulation multi-agents

Johanna HABIB & François DE CORBIÈRE***

*Université Valenciennes, Laboratoire IDP

**IMT Atlantique, LEMNA

RÉSUMÉ

Si la simulation connaît une popularité croissante en sciences des organisations, force est de constater que les recherches en systèmes d'information (SI) emploient encore peu fréquemment cette approche méthodologique. Après avoir mis en exergue la pertinence de la simulation pour explorer des phénomènes complexes et émergents, cet article se propose de souligner l'intérêt d'un design de recherche combinant deux approches méthodologiques : l'étude de cas et la simulation multi-agents. Deux modèles de simulation en SI sont présentés pour illustrer l'apport de ce couplage méthodologique, en particulier sur la question épineuse de la validité des résultats de simulation. En effet, à travers un processus expérimentalo-abductif l'ancrage qualitatif de la simulation améliore la validité du modèle construit tout autant qu'il accroît la portée de l'interprétation des résultats de la simulation. En retour, l'ancrage simulatif permet de poser de nouvelles questions de nature plus théorique et prospective, et renforce par la même la généralisation théorique des résultats. Ce croisement méthodologique amène toutefois à revoir le positionnement de la simulation dans le design de recherche. La simulation n'occupe plus une place centrale dans la construction des connaissances scientifiques mais davantage une place complémentaire, un dépassement à l'étude de cas, permettant de renouveler les questionnements du chercheur.

Mots-clés : *Design de recherche, systèmes d'information, processus émergents et complexes, étude de cas, simulation multi-agents, validité des résultats.*

Les auteurs tiennent à remercier Amandine Pascal et Frantz Rowe pour leurs conseils avisés.

ABSTRACT

Simulation methods are more and more used in organization sciences. However, few researches in management of information systems integrate this methodological approach. In this paper, we first highlight simulation relevance to analyze complex and emergent phenomena. Then, the value of a research design combining two methodological approaches, case study and multi-agent simulation, is argued. Two simulation models are used to illustrate the contribution of combining both the methods, especially for improving validity of the simulation results. Qualitative foundations of the simulation improve the validity of the model built as well as they allow a better interpretation of simulation results. In return, simulation allows formulating new questions more theoretical and prospective, and also reinforces the theoretical generalization of results. Nevertheless this methodological combination leads to review the positioning of simulation in the research design. The simulation does not hold a central place in the scientific knowledge building but more a complementary place, allow to surpass the case study and to renew the researcher questions.

Keywords: *Research design, information systems, emerging and complex processes, case study, multi-agent simulation, validity of results.*

INTRODUCTION

La simulation est une démarche scientifique fondée sur l'abstraction, la formalisation et la modélisation d'un phénomène que l'on souhaite étudier (Le Moigne, 1990). Grâce à une popularité croissante en management, la simulation est de plus en plus reconnue comme une approche méthodologique à fort potentiel heuristique (McKelvey, 1997 ; Dooley, 2002 ; Davis *et al.*, 2007 ; Harrison *et al.*, 2007). Que ce soit dans un objectif de développement théorique ou d'aide à la décision, la simulation offre une perspective originale pour appréhender et représenter la complexité des phénomènes organisationnels. En management, son attractivité est souvent liée à celle des théories de la complexité et de la dynamique des systèmes autorisant la prise en compte des interdépendances dans l'exploration des phénomènes étudiés (Stacey, 1995 ; Eve *et al.*, 1997 ; Holland, 1998 ; Marion, 1999 ; Harrison *et al.*, 2007). L'analyse des phénomènes d'émergence et d'interdépendance est, en effet, au cœur des problématiques de simulation. Orientée vers « *la représentation d'une connaissance*

complexe sous un regard systémique » (Boland et Thiel, 2009, p.3), la simulation permet ainsi à la fois de mieux comprendre les processus complexes et de construire une connaissance actionnable pour les acteurs.

Ces quelques arguments enthousiastes ne doivent toutefois pas occulter le fait que la simulation demeure encore une approche méthodologique peu utilisée dans les recherches en systèmes d'information en comparaison aux méthodes qualitatives ou quantitatives plus traditionnelles. Si son rapport coût/avantage est souvent questionné, le principal élément d'explication de sa faible utilisation concerne certainement la validité des résultats de simulation (Kleindorfer *et al.*, 1998) et par là même son utilité réelle pour le développement de théories en sciences des organisations (Davis *et al.*, 2007). On peut dès lors s'interroger à juste titre sur les éléments susceptibles de renforcer la validité des résultats de cette approche méthodologique.

Pour construire un modèle de simulation, deux grandes approches se dégagent pour définir la question de recherche et articuler

les variables entre elles (Davis *et al.*, 2007) : (i) la construction d'un modèle sur une base théorique à partir de la littérature sur l'objet d'étude, et (ii) la construction d'un modèle sur une base empirique et l'identification d'un problème opérationnel à partir de la collecte de données qualitatives ou quantitatives sur le phénomène étudié. Dans ces deux approches, la simulation occupe une place centrale dans le design recherche. Afin de renforcer la validité des résultats de simulation, cet article s'attache à montrer l'intérêt d'un design de recherche double et itératif couplant l'étude de cas et la simulation pour l'analyse des processus complexes et émergents en systèmes d'information. En procédant par aller-retours entre les fondements théoriques et empiriques de la recherche, ce design de recherche accorde une place non plus centrale à la simulation mais complémentaire. La simulation est appréhendée dans le design de recherche comme un dépassement à l'étude de cas permettant de renouveler les questionnements du chercheur.

Dans cet article, notre objectif est ainsi triple. Le premier objectif consiste à souligner l'intérêt des méthodes de simulation en SI pour l'exploration des processus complexes et émergents. Le second objectif est de révéler l'importance du design de recherche dans la validité des résultats de simulation en justifiant les avantages du couplage méthodologique étude de cas et simulation multi-agents sur cette question épineuse. En effet, ce design de recherche autorise tout d'abord la construction d'un modèle de simulation fondé sur l'analyse d'un ou plusieurs cas réel(s) étudié(s) en profondeur ce qui renforce son caractère « réaliste ». Ensuite, l'étude cas permet un meilleur contrôle des résultats de la simulation et facilite leur analyse. Ainsi, à travers un processus experimental-abductif l'ancrage qualitatif de la simulation améliore la validité du modèle construit tout autant qu'il accroît la portée de l'interprétation

des résultats. Enfin, le troisième objectif, plus pragmatique, vise à fournir quelques repères méthodologiques pour les chercheurs désireux de s'engager dans cette expérience de la simulation.

Pour parvenir à atteindre ces objectifs, l'article est structuré de la façon suivante. La première section présente la simulation comme approche méthodologique en abordant tant son intérêt pour les recherches en systèmes d'information que les questions inhérentes à la validité de ses résultats. La deuxième section expose et justifie le design de recherche proposé ici agrégeant deux méthodologies aux espaces empiriques distincts : l'une qualitative et l'autre simulative. La troisième section illustre le design de recherche proposé à travers deux modèles de simulation en SI et discute ses aspects contributifs en termes de validité des résultats de la simulation. Le premier modèle de simulation explore l'influence des configurations d'innovation de projets SI sur les processus de création de connaissances tandis que le deuxième étudie l'influence des SI et de la qualité de l'information sur la dynamique d'adoption d'une « chaîne logistique verte ».

1. LA SIMULATION : UNE APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE ADAPTÉE À L'ANALYSE DES PHÉNOMÈNES COMPLEXES ET ÉMERGENTS EN SI

Si la simulation comme approche méthodologique semble prometteuse pour l'analyse des processus complexes et émergents, elle demeure controversée sur la question de la validité de ses résultats. Il s'agit dans cette première section d'exposer tant l'intérêt de cette méthode que ses potentielles limites dans l'activité de construction théorique.

1.1. L'intérêt de la simulation en systèmes d'information

La simulation est une démarche scientifique reposant sur un travail de modélisation du phénomène étudié. La modélisation est entendue ici, à l'instar de Le Moigne (1990, p.5), comme l'« *action d'élaboration et de construction intentionnelle (...) de modèles susceptibles de rendre intelligible un phénomène perçu complexe et d'amplifier le raisonnement de l'acteur projetant une intervention délibérée au sein du phénomène* ». Un modèle de simulation s'apparente ainsi à une représentation simplifiée du phénomène étudié à partir d'un ensemble limité de variables entrantes et sortantes (Cartier et Forgues, 2006, Gilbert et Troitzsch, 1999). La simulation peut être définie à l'instar de Davis, Eisenhardt et Bingham (2007) comme une méthode qui repose sur l'utilisation d'un logiciel informatique et permet de modéliser des opérations du « monde réel » tels des processus, des systèmes ou des événements. Il ne s'agit pas de créer une reproduction exacte d'un phénomène mais plutôt d'explorer les influences de contingences variées et de raffiner la théorie (Bonabeau, 2002).

L'approche de la simulation en sciences sociales est indissociable de l'étude des problèmes complexes pour lesquelles les méthodes traditionnelles – i.e. modèles d'optimisation, études statistiques ou qualitatives – s'avèrent limitées (Chen et Edgington, 2005). L'étude des processus dynamiques et des interdépendances est, en effet, au cœur des modèles de simulation. Comme le soulignent Boland et Thiel (2009, p.3), il s'agit de « *mieux comprendre les mécanismes imbriqués souvent non-linéaires et d'en extraire une connaissance* ». Cette compréhension améliorée est possible grâce à une démarche de recherche expérimentale permettant à la manière d'un test en laboratoire de faire varier les différents paramètres du modèle et autorisant ainsi

une exploration de la dynamique d'évolution du phénomène étudié. En effet, une fois le modèle construit les conditions d'expérimentation de la simulation sont très flexibles et permettent d'examiner l'influence d'une large variété de facteurs en peu de temps (Prietula *et al.*, 1998). Les données générées par la simulation seront ensuite confrontées à des données collectées par le chercheur. « *Simulation comes into its own when the phenomenon to be studied is either not directly accessible or difficult to observe directly.* » (Gilbert, 1996, p.2). Cette démarche de recherche, comme le souligne Axelrod (1997, p.24-25), constitue en outre un mode de raisonnement analytique à mi-chemin entre la déduction et l'induction: « *Simulation is a third way of doing science. Like deduction, it starts with a set of explicit assumptions. But unlike deduction, it does not prove theorems. Instead a simulation generates data that can be analysed inductively. Unlike typical induction, however, the simulated data comes from a rigorously specified set of rules, rather than direct measurement of the real world. While induction can be used to find patterns in data, and deduction can be used to find consequences of assumptions, simulation modeling can be used as an aid to intuition* ».

Néanmoins comme le note Gilbert (2004), « *paradoxalement, l'un des principaux avantages de la simulation est qu'elle est difficile à réaliser* ». Une démarche de simulation nécessite, en effet, de suivre un certain nombre de phases distinctes et coûteuses en temps : 1) le recueil de données sur le phénomène à modéliser ; 2) la construction du modèle de simulation ; 3) l'expérimentation du modèle par une série de scénarios de simulation ; 4) la « validation » des résultats de la simulation par leur confrontation aux données réelles et 5) l'interprétation finale des résultats.

Dès lors, si l'intérêt de la simulation comme mode d'apprentissage pour l'acteur

« en termes de savoir-faire ou de savoir être » (Beaufils *et al.*, 2009) est largement reconnu, dans l'objectif d'une contribution théorique l'engagement du chercheur demande de clarifier un certain nombre points. Davis, Eisenhardt et Bingham (2007) proposent une « feuille de route » fort utile pour identifier les étapes d'une démarche

de simulation et en comprendre les implications (tableau 1).

Le point de départ d'une démarche de simulation est donc la question de recherche, c'est-à-dire le regard que l'on pose sur l'objet même de la recherche. Y a-t-il des tensions dans le phénomène étudié ? Des processus imbriqués ? Des

Tableau 1. Approche de simulation et étapes de construction théorique

Étapes	Activités	Raisonnement
Construire une question de recherche	Déterminer une question de recherche théorique Analyser les principales tensions liées à la question de recherche (i.e. structure <i>vs</i> chaos, long terme <i>vs</i> court terme)	Centrer les efforts sur une problématique théorique pertinente pour laquelle la simulation est particulièrement adaptée
Identifier une théorie	Choisir une théorie dans la littérature qui renseigne la question de recherche Chercher des processus entremêlés, non linéaires et aux effets longitudinaux	Construire les principes de base du modèle en travaillant sur les apports, propositions et hypothèses de la théorie mobilisée. Centrer les efforts sur un développement théorique qui peut être appréhendé de façon pertinente par la simulation
Choisir une approche de simulation	Choisir une méthode de simulation qui corresponde à la question de recherche, aux hypothèses et à l'approche théorique Si la recherche ne correspond pas à une approche spécifique ou si l'approche nécessite des modifications étendues, les processus stochastiques peuvent être utilisés	S'assurer que la recherche utilise une méthode de simulation appropriée à l'objectif visé
Créer un modèle de simulation	Opérationnaliser les apports théoriques Construire l'algorithme informatique qui reflète les principes théoriques du modèle Spécifier les hypothèses S'assurer que la représentation informatique permet l'expérimentation de la théorie	Exprimer la théorie en modèle de simulation Construire la validité du modèle Améliorer la validité interne en construisant des propositions et hypothèses précises
Vérifier le modèle	Répliquer les propositions de la théorie avec les résultats de la simulation Conduire des tests de robustesse du modèle Si les tests échouent, corriger la théorie et/ou la programmation du modèle	Confirmer la fidélité et la robustesse du modèle Confirmer la validité de la théorie
Expérimenter la construction d'une nouvelle théorie	Construire le design expérimental à partir de la contribution théorique mobilisée et du bon sens (i.e. plan d'expérience, scénarios, etc.)	Centrer l'expérimentation sur le développement de la théorie Construire une nouvelle théorie à partir de l'exploration et de l'extension de la théorie existante
Valider avec des données empiriques	Comparer les résultats de la simulation avec les données issues de l'observation directe du phénomène	Consolider la validité externe de la théorie

Source : Adapté de Davis, Eisenhardt et Bingham (2007)

interdépendances ? Des comportements non linéaires ?

Si les réponses à ces questions sont positives, les méthodes traditionnelles seront limitées pour analyser des processus interdépendants et opérants simultanément (Harrison *et al.*, 2007). La simulation pourra dès lors constituer un outil puissant de développement de la théorie, la programmation informatique du modèle nécessitant une formalisation approfondie du phénomène et de ses variables (Cartier et Forgues, 2006).

Comme dans les autres disciplines de la gestion, les perspectives d'utilisation de la simulation en SI sont multiples. Plusieurs champs de recherche sont, en effet, susceptibles de pouvoir bénéficier d'une modélisation systémique. En premier lieu et historiquement, les recherches sur la prise de décision collective (groupe ou organisation) ont mobilisé la simulation pour évaluer la dynamique de ces processus complexes (Bonini, 1963 ; Cyert et March, 1963 ; Rouwette *et al.*, 2004 ; Otto et Siemer, 2009). Il en va de même des recherches portant sur la création de connaissances et les flux d'information (Ow *et al.*, 1989 ; Chen et Edgington, 2005 ; Habib, 2008). En parallèle de ces travaux étudiant des processus cognitifs, la simulation semble également utile pour des recherches de nature plus macro comme la diffusion des innovations technologiques (Repenning, 2002) ou encore l'analyse des effets des technologies sur les organisations (Huber, 1990). Enfin, et c'est certainement le type de travaux où la simulation est le plus souvent employée, les recherches opérationnelles mobilisent cette méthodologie pour évaluer par exemple la dynamique d'une chaîne logistique (Bhaskaran, 1998 ; Nilsson et Darley, 2006 ; Serman, 2006 ; Wang *et al.*, 2011) ou encore pour optimiser l'organisation de centres d'appels (Panayiotou et Evangelopoulos, 2009).

Si à l'aune de ces quelques travaux de recherche, le potentiel des simulations en SI semble avéré, la faible fréquence d'utilisation peut être appréhendée par la controverse toujours d'actualité sur la validité des résultats de simulation.

1.2. Une controverse : la validité des résultats de simulation

"The type and degree of validation needed will (...) be dependent on the level of parsimony and generality claimed for the model"
(Carley, 1996, p.2)

Les modèles informatiques possèdent un avantage sur les théories verbales, leur fiabilité opérationnelle (Masuch et Lapotin, 1989). Mais cette fiabilité, c'est-à-dire la capacité à suivre les instructions de la programmation, n'est pas forcément source de validité. La validité est même la principale critique adressée aux méthodes de simulation, « la question piège de ce domaine » (Amblard *et al.*, 2006, p.103). Cette question de la validité des résultats de simulation doit être traitée selon trois axes : celui de la validité interne, celui de la représentativité des résultats et celui de la validité externe.

La validité interne des simulations

Cartier et Forgues (2006, p.132) notent que la validité interne « *est assurée à partir du moment où le modèle est correctement construit* ». D'une façon similaire, Masuch et Lapotin (1989, p.62) considèrent que les méthodes de simulation peuvent dépasser la validité interne des méthodes classiques. La validité interne d'une simulation repose sur deux éléments. Tout d'abord, il faut s'assurer de la conformité entre les spécifications du modèle (ses variables) et le programme implémenté en se posant la question suivante : le modèle programmé correspond-il aux objectifs d'implémentation ? Ensuite, il convient de s'intéresser aux propriétés du modèle.

Cela revient à évaluer dans quelle mesure le modèle possède les propriétés attendues pour explorer le phénomène étudié. Est-il suffisamment dynamique ? Permet-il d'observer des comportements émergents ? Ces deux conditions sont des prérequis à l'utilisation du modèle dans un objectif de recherche. Si des ajustements sont souvent nécessaires, la validité interne du modèle pose en général peu de difficultés. En effet, le processus d'apprentissage itératif sous-jacent à la construction d'un modèle de simulation favorise l'atteinte d'une validité interne. Les questionnements relatifs à la validité de la simulation comme approche méthodologique renvoient davantage à la représentativité du phénomène étudié et à la validité externe des résultats.

« Réalité simulée ou pour de vrai ? »¹ : la représentativité des résultats de simulation

La représentativité des résultats issus de la simulation n'est pas toujours évidente à évaluer, le rapport au réel étant parfois compliqué à estimer. « *Un modèle peut être techniquement parfait mais n'avoir aucune correspondance avec la réalité* » (Cartier et Forgues, 2006, p.133). De même, un modèle peut produire des résultats cohérents avec les données empiriques collectées sur le phénomène étudié « *alors même que son contenu est éloigné des dynamiques qu'il est supposé représenter* » (Amblard *et al.*, 2006, p.104). Cette représentativité est pourtant au cœur des préoccupations des recherches utilisant la simulation pour dépasser les limites inhérentes aux méthodologies traditionnelles. Le travail d'abstraction et de formalisation nécessaire à la spécification des variables d'un modèle de simulation peut être déroutant pour le chercheur. Le modèle, représentation simplifiée du phénomène étudié, peut s'avérer caricatural et s'assimiler à « *une simplification ravageuse* » (Durand, 2006, p.212). Au contraire, un modèle trop

complexe produit rarement des résultats satisfaisants. Tout le travail de modélisation repose finalement sur un arbitrage fin permettant de construire un modèle ni trop simple ni trop complexe. En outre, « *En quoi ce qui ressort de mes modèles est-il différent de ce que j'y ai mis ?* » (Durand, 2006, p.212). La portée des conclusions issues d'une simulation dépend pour partie de la production de résultats contre-intuitifs. Le rapport coût/avantage d'une simulation devient problématique lorsque la teneur des résultats est pauvre et de peu de relief.

La validité externe et la généralisation des résultats de simulation

Évaluer la validité externe des résultats d'une simulation revient à se poser la question de leur généralisation. Or, cette étape demande le dépassement des spécificités de l'étude et de la méthode employée. La généralisation des résultats à un univers plus vaste requiert, en effet, que la contextualisation des conclusions soit limitée. Pour atteindre cet objectif de généralisation, le recours à une autre méthode de simulation (Liarde, 2005) ou la confrontation des résultats de simulation à des données réelles statistiques peuvent être envisagés. Toutefois, comme le note Yin (1989), il ne faut pas confondre généralisation statistique et généralisation théorique. Lorsque la construction du modèle de simulation se fonde sur des éléments théoriques et que les conclusions de la recherche permettent de les questionner et de les raffiner, la généralisation théorique des résultats pourra être envisagée.

Ces trois axes d'évaluation de la validité de la simulation montrent à quel point la cohérence du design de recherche construit par le chercheur occupe une place de premier ordre. Pour répondre à ces points de critique de la simulation, nous proposons un design de recherche permettant de favoriser la validité des résultats issus d'une

¹ (Durand, 2006, p.211).

telle méthodologie. Cela nous amène à développer une approche de la simulation, où celle-ci n'est plus centrale dans le design de recherche mais complémentaire.

2. CONCEPTION ET JUSTIFICATION D'UN DESIGN DE RECHERCHE COMBINANT L'ÉTUDE DE CAS À LA SIMULATION MULTI-AGENTS

Tout travail de recherche présuppose de sélectionner une démarche de recherche susceptible de produire des connaissances. Ce choix est une étape importante du processus de recherche, il conditionne la validité des résultats. La production de résultats actionnables nécessite, en effet, que la démarche d'action soit adaptée tant au projet de connaissance du chercheur qu'à l'espace empirique de la recherche (David, 2002).

2.1. Justification d'un design de recherche combinant deux méthodologies aux espaces empiriques distincts

Définir un design de recherche revient à élaborer « *la trame qui permet d'articuler les différents éléments d'une recherche : problématique, littérature, données,*

analyse et résultats » (Royer et Zarlowski, 2003, p.139). Ossature de la recherche, il conditionne sa cohérence et sa pertinence. La qualité d'un design de recherche s'évalue à l'aune de la problématique de recherche – *Quoi ?* –, de sa finalité – *Pourquoi ?* – et des choix méthodologiques opérés – *Comment ?* – (Lauriol, 2003). De même, les liaisons établies entre ces éléments déterminent la pertinence et la cohérence de la démarche générale de la recherche. Il s'agit de veiller à rechercher un équilibre dynamique entre les différents choix relatifs au *quoi*, *pourquoi* et *comment*. « *D'une manière générale, l'évaluation de la qualité d'un design repose, d'une part sur la logique de l'ensemble de la démarche de recherche et, d'autre part, sur la cohérence de tous les éléments qui la constituent.* » (Royer et Zarlowski, 2003, p.140).

Si l'on se réfère à la proposition de Yin (1994) relative à la sélection d'une stratégie de recherche, il convient dans ce choix de se poser trois questions (tableau 2) : le type de questions de recherche, la nécessité de contrôler ou non les événements considérés et leur caractère contemporain.

Les espaces empiriques des méthodologies de l'étude de cas et de la simulation (expérience ou expérimentation) se rejoignent sur le type de questions de recherche traité (comment et pourquoi)

Tableau 2. Les principales stratégies de recherche et leur utilisation

Stratégie de recherche	Type de questions de recherche	Nécessité de contrôler les événements	Nécessité de se focaliser sur des événements contemporains
Etude statistique	Qui, quoi, où, combien	Non	Oui
Etude d'archives	Qui, quoi, où, combien	Non	Oui/Non
Etude historique	Comment, pourquoi	Non	Non
Etude de cas	Comment, pourquoi	Non	Oui
Expérience - Expérimentation	Comment, pourquoi	Oui	Oui

Source: Traduit et adapté de Yin (1994, p.6)

ainsi que sur le caractère contemporain des phénomènes étudiés. Ce qui distingue ces deux méthodologies, c'est finalement le contrôle des événements. Absent d'une approche par étude de cas, ce contrôle est possible dans une approche de simulation. Ce contrôle des événements permet d'appréhender la description et l'explication du phénomène étudié par le prisme de questionnements plus prospectifs du type « qu'est-ce qui se passerait si ? ». En couplant ces deux approches méthodologiques, il devient envisageable de proposer tant une compréhension approfondie du phénomène étudié par l'étude de cas et son approche terrain qu'une exploration de ses dynamiques complexes d'évolution par la simulation. *Le* comment et *le* pourquoi de la question de recherche ne peuvent être que mieux explorés et mieux discutés avec un tel croisement méthodologique.

Ce couplage amène néanmoins à reconsidérer la place de la simulation dans la construction des connaissances scientifiques. En effet, les recherches mobilisant la simulation lui octroient une place centrale dans le processus de recherche. Bien souvent les modèles de simulation sont construits à partir de fondements théoriques (une théorie simple) ou à partir de fondements empiriques (collecte de données primaires ou secondaires sur le phénomène). La simulation constitue dès lors la méthodologie de recherche principale, la finalité du design de recherche. Ces deux approches de la simulation se distinguent finalement sur les objectifs assignés à la recherche, le raffinement des théories ou la résolution d'un problème pratique. Beaucoup plus rarement les recherches simulatives intègrent une analyse approfondie du phénomène sur des bases à la fois théoriques et empiriques. Or, les fondations exclusivement théoriques ou empiriques de la simulation ne permettent pas forcément d'appréhender le phénomène sous l'angle de ses interdépendances

et de produire une modélisation proche des « réalités observables ». Il en va de même pour la confrontation « au réel » des résultats de simulation. Les recherches fondées sur la simulation complètent fréquemment les données simulées par des données statistiques afin de démontrer l'adéquation des deux méthodes ou d'illustrer les résultats par un phénomène contemporain. Là encore, la connaissance approfondie du phénomène tant sur le plan théorique qu'empirique n'est pas au cœur de la recherche et du projet de simulation.

Le design de recherche que nous proposons relève d'une autre logique. Il place l'étude de cas, qu'elle soit unique ou multiple, au centre du design de recherche. En effet, l'analyse fine de la littérature et la qualité des données qualitatives collectées impactent tant celle des données simulées que la pertinence de l'interprétation des résultats. En retour, la simulation est appréhendée comme une méthodologie complémentaire, un dépassement à l'approche qualitative, permettant de poser des questions de nature plus prospective et/ou plus théorique. Ainsi, dans ce design l'étude de cas contribue à la simulation en l'ancrant dans le réel tout autant que la simulation contribue à l'étude de cas en la complétant par d'autres questionnements. D'autres approches qualitatives, comme par exemple les entretiens d'experts (de Corbière *et al.*, 2010) ou la recherche-intervention (David, 2000), pourraient tout autant que l'étude de cas contribuer à ancrer la simulation dans le réel. Toutefois, l'étude de cas a l'avantage d'être particulièrement adaptée à l'analyse en profondeur d'un phénomène empirique contemporain (Yin, 2003), et se présente donc comme la méthodologie qualitative la plus adaptée pour l'analyse des processus complexes et émergents en SI. En effet, l'étude de cas autorise une analyse fine des acteurs, de leurs caractéristiques et de leurs interactions, ce qui peut constituer un point

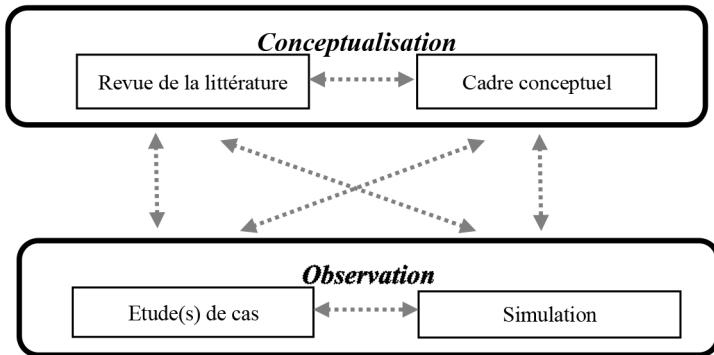
de départ à l'exploration des dynamiques du phénomène organisationnel étudié.

L'enjeu du design de recherche proposé est finalement de faciliter le passage de l'investigation du réel à sa construction à partir de modèles. La nature du raisonnement s'en trouve, de fait, impactée. Ni la déduction ni l'induction ne peuvent, judicieusement, constituer à elles seules le socle du mode de raisonnement. Il s'avère nécessaire d'inscrire la recherche dans une démarche abductive au sens de Charles Sanders Pierce (1958). Définie comme la logique du pragmatisme ou la logique contextualisée, l'abduction est une conjecture fondée sur l'expérience permettant l'explication de certains faits. *«La déduction prouve que quelque chose doit être, l'induction montre que quelque chose est*

réellement agissant, l'abduction suggère simplement que quelque chose peut être.» (Pierce, 1958, V. 5, p.171). L'abduction invite le chercheur à procéder, tout au long du processus de recherche, par aller-retours entre les observations empiriques et les connaissances théoriques. Ce processus d'interprétation et de création de sens est qualifié d'exploration hybride (Allard-Poesi *et al.*, 2003 ; Charreire et Durieux, 2003). Il s'agit de réévaluer constamment le projet de connaissances du chercheur afin de construire une nouvelle représentation du phénomène par l'association d'une connaissance théorique approfondie à une attention empirique redoublée (Bachelard, 1971).

Finalement, notre design de recherche peut être représenté par la figure 1 :

Figure 1. Un design de recherche double et itératif



«Dans la boucle ternaire modélisation-simulation-confrontation au réel, la connaissance progresse de façon significative » (Beaufils *et al.*, 2009). Dans la phase de construction du modèle, l'abstraction et la formalisation sont en prise avec l'observation d'un phénomène réel et, non déconnectées de celui-ci. Les données qualitatives offrent, en effet, la possibilité d'élaborer un modèle de simulation au plus proche du phénomène étudié en servant de fondement à la spécification des variables. Dans la phase d'expérimentation, les résultats issus de la

simulation sont confrontés à ceux de l'analyse de l'étude de cas dans l'objectif d'enrichir l'interprétation des résultats de simulation et de renforcer la validité de chacune des méthodes (Denzin, 1984 ; Patton, 2002).

2.2. Le choix d'une simulation multi-agents combinée à l'étude de cas

S'il existe une grande variété de méthodes de simulation, quatre grandes familles

structurent traditionnellement le champ des simulations informatiques : la dynamique des systèmes, les algorithmes génétiques, les automates cellulaires et les systèmes multi-agents (SMA). La sélection d'une méthode plutôt qu'une autre est une question importante car celle-ci « *contraint la logique théorique, les hypothèses et les questions de recherche qui peuvent être explorées* » (Davis *et al.* 2007, p.486). Notre objectif n'étant pas de présenter chacune de ces méthodes, leurs avantages et leurs inconvénients, seule la méthodologie des systèmes multi-agents est exposée et justifiée. Si nous considérons les simulations multi-agents comme particulièrement adaptées à l'étude des phénomènes complexes et émergents dès lors que la modélisation des acteurs est fondamentale, notre design de recherche pourrait tout à fait être transposé à l'utilisation d'autres méthodes de simulation en

fonction des spécificités du phénomène étudié et des objectifs de recherche. Dit autrement, toutes les méthodes de simulation pourraient être mobilisées comme approche méthodologique complémentaire à l'étude de cas.

Les modélisations multi-agents sont particulièrement pertinentes lorsque la recherche nécessite la prise en compte des interdépendances entre les variables du modèle (Epstein et Axtell, 1996). Elles permettent de conceptualiser et de simuler un ensemble d'agents en interaction. Les agents peuvent représenter des individus, des groupes ou des organisations. Ils se déplacent dans leur environnement et sont capables de s'organiser pour accomplir collectivement leurs fonctionnalités. « *Les perspectives de sophistication ouvertes sont immenses. Par exemple, un agent peut adopter un certain comportement en fonction de l'endroit où il se trouve, d'interactions avec d'autres agents, de son comportement passé, d'anticipation et même fréquemment d'intentions* » (Cartier et Forgues, 2006, p.29).

Encadré n°1 : Principaux postulats des systèmes multi-agents

Le paradigme des systèmes multi-agents repose sur plusieurs postulats :

- Le système est constitué d'une multitude d'agents hétérogènes et autonomes en interaction.
- Les agents proactifs perçoivent leur environnement interne et externe et ajustent leurs comportements.
- Les interactions sont influencées par l'ensemble des composantes du système (les agents, l'environnement et les structures sociales). Elles sont donc imprévisibles et interdépendantes.
- La dynamique du système provient des actions et des décisions décentralisées des agents.

Un modèle multi-agents est un « *système comportant plusieurs entités informatiques, les "agents", qui interagissent entre eux dans un environnement commun. Les agents sont dotés de propriétés (perceptives, cognitives, computationnelles)* » (Roggero, 2005). C'est dans ce dernier point, la définition et la programmation des attributs des agents, que réside la grande différence des SMA avec les autres méthodes précédemment citées. Les agents peuvent être dotés de capacités plus ou moins développées allant de l'agent réactif à l'agent cognitif. Les SMA sont ainsi particulièrement appropriés lorsque le système à simuler doit intégrer des agents autonomes et décisionnels (ex : capacité de décision et d'action sur la chaîne

² *L'agent réactif* n'a pas de représentation de son environnement ou des autres agents en interaction. Au contraire, *l'agent cognitif* peut être capable de « raisonner » à partir de la connaissance qu'il a de son environnement et des autres agents. Ici, l'agent est caractérisé par ses croyances, ses objectifs (tâches) et ses intentions.

Tableau 3. Les principales caractéristiques des systèmes multi-agents

Méthode	Focus	Nature des questions de recherche	Principales hypothèses	Logique théorique
Modèle multi-agents	Emergence de structures macro à partir des interactions micro d'agents autonomes et hétérogènes	<ul style="list-style-type: none"> - Comment les structures émergent, s'auto-organisent et co-évoluent ? - Comment l'autonomie et la décentralisation influencent les interactions entre les niveaux micro et macro ? 	<ul style="list-style-type: none"> - Multitude d'agents autonomes en interaction - Localité de la perception et de l'action - Système de contrôle décentralisé - Phase de création à la frontière du chaos 	<ul style="list-style-type: none"> - Description et exploration - Les interactions locales d'agents autonomes permettent l'émergence de structures globales

Source : traduit et adapté de Davis, Eisenhardt et Bingham (2007)

logistique) ainsi qu'hétérogènes (ex : fournisseurs, distributeurs, prestataires logistiques). *“Agent-based model is definitely the right choice in simulating the individual decisions and their variation based on different coordination mechanisms and different levels of information sharing.”* (Datta et Christopher, 2011). L'intérêt des SMA semble donc avéré pour représenter un phénomène social où les acteurs impliqués ont des rôles et des périmètres de décision différents.

Ensuite, les SMA offrent une approche de simulation intéressante pour appréhender les systèmes complexes (Macy et Willer, 2002). Le comportement du système est ici appréhendé comme une propriété émergente des interactions entre les agents. La simulation porte au niveau micro sur le comportement des agents et la façon dont ils interagissent tant entre eux qu'avec leur environnement et analyse au niveau macro les dynamiques d'émergence de structures sociales. Les modèles multi-agents formalisent des systèmes décentralisés d'action et de décision où les structures globales résultent des interactions multiples au niveau individuel (les entités agents). Cette approche méthodologique d'exploration et d'expérimentation bottom-up (Beaufils *et al.*, 2009) semble donc tout à fait complémentaire à celle de l'étude de cas qui

se situe davantage dans la compréhension des dynamiques collectives à un niveau organisationnel ou inter-organisationnel.

Ces deux premiers principes de modélisation permettent d'observer une gestion dynamique des ressources des agents. L'agent agit tant sur ses ressources que sur les ressources globales, et simultanément celles-ci l'influencent.

La simulation multi-agents est ainsi tout particulièrement recommandée : (1) quand l'autonomie et l'hétérogénéité des agents, ou plus généralement leurs attributs, sont fondamentaux à la compréhension de la dynamique du système, 2) quand l'interaction réciproque entre les niveaux micro et macro est au centre de l'exploration, et (3) quand les processus d'émergence, d'auto-organisation et de co-évolution souhaitent être analysés.

Les principales caractéristiques des systèmes multi-agents sont synthétisées dans le tableau 3. Au vu de leurs différents avantages, les modèles multi-agents sont mobilisés tant pour la résolution de problèmes concrets – i.e. applications multi-agents pour la recherche d'information sur internet, le commerce électronique, les systèmes industriels distribués, etc. – que pour l'exploration conceptuelle et théorique. A titre d'exemple, March (1991) utilise un système

multi-agents pour modéliser les comportements d'apprentissage organisationnel et examiner l'effet de l'exploration et de l'exploitation sur la connaissance organisationnelle et l'obtention d'un avantage concurrentiel. Rivkin et Siggelkow (2003) modélisent, quant à eux, les comportements de décision des top managers pour identifier les interdépendances entre les éléments du design organisationnel, les phases de stabilité ou d'instabilité et les caractéristiques de la décision. D'autres travaux mobilisent la simulation multi-agents pour analyser par exemple les processus de diffusion des innovations (Abrahamson et Rosenkopf, 1997), les processus d'influence sociale sous l'angle de l'imitation et de la conformité aux normes (Kitts *et al.*, 1999), l'impact de la médiation électronique sur la culture et la performance organisationnelle (Canessa et Riolo, 2006), ou encore la dynamique des réseaux sociaux selon leur degré d'ouverture (Desmond, 2004), etc.

L'intérêt de combiner l'étude de cas à la simulation multi-agents repose ainsi sur la possibilité de centrer l'exploration de la dynamique organisationnelle sur l'analyse des acteurs, leur type, leur rôle et leur interaction. L'étude de cas permet une connaissance approfondie de ces acteurs et de leur participation dans le phénomène étudié tandis que la simulation multi-agents autorise la modélisation de leurs caractéristiques différenciantes ainsi que leurs

modalités d'interaction. Ce couplage s'avère donc particulièrement adapté à l'analyse de l'influence d'acteurs multiples et hétérogènes dans l'émergence de phénomènes organisationnels complexes.

De nombreuses plateformes³ de simulation multi-agents *open source* sont disponibles et largement enrichies de modélisations déjà opérationnelles. Les plus connues sont certainement les plateformes Netlogo⁴, Swarm⁵, Repast⁶, etc. Ces plateformes ainsi que les communautés d'experts associées facilitent la modélisation et la simulation multi-agents des chercheurs en sciences sociales, la plupart du temps novices en programmation informatique.

3. ILLUSTRATION ET DISCUSSION DU DESIGN DE RECHERCHE COMBINANT L'ÉTUDE DE CAS À LA SIMULATION MULTI-AGENTS

Afin d'illustrer le potentiel de ce design de recherche, cette section présente deux recherches en SI l'ayant appliqué pour explorer des processus émergents et complexes. La première simulation explore l'influence des configurations d'innovation de projets SI sur les processus de création de connaissances (Habib, 2008) tandis que la deuxième étudie l'influence des SI et de

³ Une plateforme de développement des systèmes multi-agents est une infrastructure logicielle utilisée comme environnement pour le déploiement et l'exécution d'un ensemble d'agents.

⁴ Netlogo est un environnement de programmation pour la modélisation et la programmation des phénomènes naturels ou sociaux. Il a été développé par Uri Wilensky en 1999. Ce logiciel est particulièrement bien adapté pour modéliser l'évolution des systèmes complexes dans le temps. Des milliers d'agents peuvent être programmés pour opérer indépendamment et interagir entre eux et avec leur environnement. (<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>).

⁵ Swarm est une plateforme multi-agents permettant la modélisation d'agents réactifs. L'inspiration du modèle d'agents utilisé vient de la vie artificielle. C'est l'outil privilégié de la communauté américaine et des chercheurs en vie artificielle. (http://www.swarm.org/index.php/Main_Page).

⁶ Repast (Recursive Porous Agent Simulation Toolkit) est une plateforme générique multi-agents pour la modélisation des comportements d'agents, de sociétés, d'organisations et d'institutions, qui est particulièrement adaptée à la simulation en sciences sociales. (<http://repast.sourceforge.net/>).

la qualité de l'information sur la dynamique de transformation d'une chaîne logistique (de Corbière *et al.*, 2016). Il convient d'ores et déjà de préciser que l'objectif n'est pas ici de rentrer dans le détail de ces deux recherches mais davantage de présenter la démarche ainsi que le type de résultats que le chercheur peut obtenir avec ce croisement méthodologique pour discuter ses apports en termes de validité des connaissances scientifiques produites.

3.1. Une simulation pour explorer l'influence des configurations d'innovation de projets SI sur le processus de création de connaissances

Ce premier modèle de simulation vise à mieux comprendre une problématique organisationnelle, celle du management des projets d'innovation SI et à explorer la dynamique d'influence des configurations d'innovation sur la création de connaissances. Les innovations considérées ici sont fondées sur les technologies et systèmes d'information et appréhendées comme des processus complexes de création de connaissances. Le modèle de simulation est construit à partir de l'analyse de quatre études de cas dans le secteur de la santé numérique. Ces études de cas ont permis de développer une connaissance approfondie des communautés d'innovation, des types d'acteurs et de leurs interactions. Elles ont, en outre, autorisé l'identification et la compréhension des interdépendances et des tensions paradoxales entre les principales dimensions de ces communautés

d'innovation. La gestion de ces équilibres est au cœur de la problématique de simulation.

À l'issue du travail de modélisation, et après avoir effectué les tests de fiabilité du modèle, nous avons défini et simulé différents scénarios de simulation⁷ pour évaluer l'influence de plusieurs configurations d'innovation sur la création de connaissances. Les résultats ont, en premier lieu, permis de relever la forte sensibilité aux conditions initiales de la création de connaissances. Le moindre changement dans la configuration d'innovation fait évoluer différemment la trajectoire de création de connaissances. Les résultats de chaque scénario prenant en considération une dimension spécifique ont été commentés et les interdépendances interprétées à l'aune des études de cas. La simulation a permis de mettre en lumière un dilemme intéressant entre l'apprentissage et la création de connaissances dans le processus d'innovation SI. Dit autrement, les configurations d'innovation qui facilitent l'apprentissage ne sont pas forcément celles qui favorisent la création de connaissances.

Prenons quelques exemples pour illustrer ce dilemme. Les collectifs restreints (moins de 12 agents) favorisent un apprentissage rapide mais la création de connaissances y est faible. À l'inverse les collectifs très élargis (plus de 36 agents) favorisent une forte création de connaissances mais l'apprentissage y est plus lent. Ces collectifs nécessitent un temps d'exploration plus long. Une présence continue des agents durant la simulation favorise la création de connaissances mais provoque en corollaire un essoufflement de l'apprentissage. À l'inverse une présence discontinue limite la création de connaissance

⁷ Le modèle est programmé avec la plateforme multi-agents Madkit. Développée en 1996 par Olivier Gutknecht et Michel Ferber, MadKit (Multi-Agents Development Kit) est une plateforme multi-agents modulaire écrite en Java et utilisée par plusieurs équipes de recherche françaises. L'architecture de la plateforme repose sur trois principes fondamentaux : les agents, les groupes et les rôles. Les agents sont définis comme des entités actives et communicantes jouant un certain nombre de rôles dans un ou plusieurs groupes. Les groupes s'apparentent à des agrégations d'agents qui en liaison avec les rôles endossés par ceux-ci permettent la mise en œuvre des simulations. Les rôles, enfin, sont des fonctions ou services offerts par les agents au sein d'un ou plusieurs groupes.

Encadré n°2 : Les étapes de construction du premier modèle de simulation

La première étape de construction du modèle a consisté à sélectionner les variables entrantes du modèle. Nous avons fait le choix de limiter la modélisation à six dimensions clés des configurations d'innovation : 1. l'expertise et le nombre d'acteurs impliqués, 2. la densité et la nature des interactions sociales (internes et externes), 3. les structures d'interactions (formelles vs informelles), 4. la densité et la nature des flux d'information, 5. l'intensité des liens entre les membres de la communauté d'innovation et 6. la diversité des acteurs. Le couplage de ces six dimensions permet de caractériser des « configurations » d'innovation.

La deuxième étape de construction du modèle visait à créer l'environnement de la simulation. Le modèle est composé d'agents qui interagissent pour diffuser et créer des connaissances. Ces agents représentent des individus impliqués dans un processus d'innovation. Ils échangent leurs connaissances selon deux modalités d'interaction ; des rencontres formelles et programmées avec un ordre du jour (interaction de type réunion) et des rencontres informelles et non programmées. Ces espaces d'interactions induisent des différences en termes de flux d'information et de nombre d'agents. Les agents appartiennent à des groupes internes ou externes qui reflètent la structure organisationnelle du projet. L'appartenance à ces différents groupes permet de définir l'intensité des liens entre les agents. L'objectif des agents est la maximisation de leurs actifs de connaissances. Pour chaque agent, un fonds individuel de connaissances est modélisé, qui capitalise l'ensemble de ses actifs de connaissances. A partir de ce fonds de connaissances, nous pouvons calculer la valeur des connaissances créées par groupe, par rôle, par type d'interactions et par simulation. La valeur des connaissances créées permet d'évaluer la capacité de création de connaissances de la communauté d'innovation et ainsi la pertinence de la configuration d'innovation simulée.

Enfin, **la troisième étape de construction du modèle** concernait la modélisation des processus de diffusion et de création de connaissances. Le modèle propose ici une représentation originale de la connaissance fondée sur la théorie de graphes. Les actifs de connaissances de chaque agent sont représentés sous forme de graphes composés de concepts (sommet étiqueté d'un graphe) et de liaisons entre ces concepts (arêtes orientées). Le processus d'échange de concepts lors des interactions entre agents est assimilé à la diffusion des connaissances. En effet, à ce stade on ne sait pas si l'échange va permettre la création de connaissances. Les concepts et liaisons peuvent être redondants ou non reliables aux autres composants du graphe de l'agent. La création de connaissances se produit lorsque les agents assimilent de nouveaux concepts en créant de nouvelles liaisons dans leur graphe de connaissances. Soulignons que jusqu'alors la création de connaissances avait été très peu explorée avec ce type de méthodologie. Le modèle construit autorise une abstraction intéressante des processus de diffusion et de création de connaissances. Il permet également une mesure de la valeur des connaissances créées par les agents. Un autre avantage de ce modèle réside dans le paramétrage de la diversité cognitive des agents. Notre modélisation mesure la diversité cognitive des agents à partir d'une distance entre leurs graphes de connaissances. Cette diversité évolue au cours de la simulation.

mais permet de conserver une richesse des interactions. Enfin, pour dernière illustration, une forte proportion de rencontres formelles favorise la création de connaissances mais induit un essoufflement de l'apprentissage. Seules quelques configurations d'innovation

favorisent à la fois la création de connaissances et l'apprentissage en maintenant des interactions riches et créatives.

Finalement, ces résultats mettent en exergue les points suivants : 1. l'importance de la taille du collectif (nombre d'acteurs

suffisant – ni trop faible ni trop élevé), 2. le rôle essentiel des acteurs externes, 3. la nécessité de conjuguer, voire d'équilibrer, en fonction de la taille du collectif, les espaces formels et informels ainsi que les flux d'information associés, 4. la supériorité des liens faibles, et enfin 5. l'importance de la diversité des acteurs dans la création de connaissances.

Ces résultats ont permis la construction de configurations d'innovation « idéales-types » (Weber, 1965). L'objectif n'était pas de proposer des configurations d'innovation représentant le réel, l'innovation étant par essence un panachage complexe, mais bien une construction théorique servant de grille de lecture à l'explicitation de certains aspects empiriques du phénomène étudié. Ces configurations « idéales-types » proposent ainsi une combinaison des caractéristiques de la communauté d'innovation et de ses modalités de structuration susceptibles de favoriser les activités de création de connaissances dans un projet d'innovation SI. Outre leur portée théorique, ces configurations idéales-types peuvent concrètement aider à la réflexion, *a priori* et continue, des managers de projets d'innovation SI. Elles permettent, en effet, de proposer des implications managériales pour chacune des dimensions importantes d'une communauté d'innovation. Ces résultats ont enrichi ceux issus des études de cas. Ils ont permis d'approfondir la compréhension des dimensions liées à la constitution et la structuration d'une communauté d'innovation favorisant les activités de création de connaissances et d'explorer les phénomènes d'interdépendance. Les tensions et les paradoxes inhérents aux activités de conception des innovations SI ont, en effet, été largement renseignés par la simulation. D'un point de vue théorique, cette recherche corrobore

ainsi les modèles flexibles de l'innovation (Kline et Rosenberg, 1986 ; Akrich *et al.*, 1988 ; Nonaka et Takeuchi, 1995, Iansiti et MacCormack, 1997 ; Van de Ven *et al.*, 2000).

3.2. Une simulation pour explorer l'influence des SI et de la qualité de l'information dans la transformation d'une chaîne logistique

Ce deuxième modèle de simulation repose sur la même démarche de construction que celui présenté précédemment ; « aller-retours » entre théorie, terrain et modélisation. Il se fonde toutefois sur l'analyse d'un cas unique exemplaire (Yin, 1989), celui de la transformation d'une chaîne logistique dans la grande distribution reposant sur la mise en place de centres de consolidation et de collaboration (entrepôts mutualisés). L'étude de cas a ici autorisé une compréhension fine du fonctionnement de la chaîne logistique, de ses acteurs et de leurs caractéristiques spécifiques et différenciantes ainsi que des configurations inter-organisationnelles associées et des informations logistiques mutualisées (de Corbière et Rowe, 2013).

Après l'étape de vérification de la fiabilité du modèle, nous avons élaboré puis simulé plusieurs scénarios de simulation⁸. Le premier résultat qui n'était pas directement recherché montre que lorsque les fournisseurs adoptent majoritairement la nouvelle chaîne logistique, l'impact écologique est moindre. La simulation révèle, en outre, que globalement les caractéristiques du SI et les niveaux de qualité de l'information associés influencent la dynamique d'adoption des fournisseurs de la nouvelle chaîne logistique. Les erreurs liées aux commandes (SI faiblement intégré) augmentent la dynamique d'adoption alors que celles liées à la

⁸ Le modèle est programmé sur la plateforme multi-agents Netlogo.

Encadré n°3 : Les étapes de construction du second modèle de simulation

La première étape de construction du modèle a consisté à identifier les variables entrantes du modèle. La première dimension se rapporte à la chaîne logistique elle-même, c'est-à-dire aux acteurs impliqués, leur nombre et leur position dans la chaîne logistique. Fondé sur l'analyse de l'étude de cas, le modèle se concentre sur l'analyse du distributeur avec ses 21 entrepôts régionaux, des deux prestataires logistiques gérant les centres de consolidation, et de 350 fournisseurs qui doivent choisir entre la configuration logistique traditionnelle et la nouvelle configuration logistique des centres de consolidation. La seconde dimension concerne les caractéristiques des fournisseurs, à qui revient la décision de changer ou non de configuration logistique. A ce titre, trois catégories de fournisseurs sont distinguées, en fonction principalement du volume et de la fréquence des commandes. La troisième dimension se réfère aux coûts logistiques. L'étude de cas a confirmé les résultats de la littérature sur la performance des chaînes logistiques dans le sens où il est accepté que le choix d'une organisation logistique repose avant tout sur une question de coûts. Trois formes de coûts sont distinguées : la première au prorata des kilomètres parcourus et du nombre de palettes à livrer ; la seconde est liée au stockage des palettes dans les centres de consolidation, et la dernière se réfère au coût de transport entre le centre de consolidation et les entrepôts régionaux⁹. Pour calculer ces coûts, les positions géographiques des différentes entités (fournisseurs et entrepôts) participant aux flux physiques sont intégrées au modèle. La quatrième dimension concerne l'importance des flux d'information et notamment des caractéristiques du système d'information. D'un côté, le SI existant pour gérer les commandes, reposant sur les systèmes EDI, est analysé au prisme du degré d'intégration du SI qui détermine la qualité de l'information transmise en termes de temporalité, complétude et exactitude. De l'autre côté, adopter la nouvelle configuration logistique des centres de consolidation revient également à adopter un nouveau SI qui permet au fournisseur de gérer les niveaux de stocks dans le centre de consolidation. Dans ce cas, c'est le degré d'assimilation du SI qui détermine la qualité de l'information partagée en termes d'accessibilité, exactitude et compréhension mutuelle.

La deuxième étape de construction du modèle visait à créer l'environnement de la simulation. Le modèle est composé d'agents qui interagissent pour partager et gérer les flux physiques et informationnels de la chaîne logistique. Ces agents représentent les organisations impliquées dans le processus de commande et de livraison des produits (fournisseurs, prestataires logistiques et distributeur). Pour opérationnaliser notre modèle, nous avons positionné les centres de consolidation et les entrepôts régionaux au plus près de leurs positions réelles, et positionné les fournisseurs aléatoirement dans un secteur géographique plausible. En fonction des volumes de commandes demandées par chaque entrepôt aux différentes catégories de fournisseurs, le modèle de simulation calcule et compare les coûts des deux configurations logistiques. A partir de ce calcul de coûts, nous avons introduit dans le modèle un facteur représentant un pourcentage de chance de changer de mode de livraison. Ainsi plus le différentiel de coût est élevé en faveur de l'autre configuration logistique, plus forte est la probabilité que le fournisseur change de configuration logistique. Dans un objectif de meilleure compréhension de l'influence de l'environnement sur le choix des fournisseurs, les pressions institutionnelles sont modélisées et intégrées à la probabilité que le fournisseur change de configuration logistique. Au démarrage de la simulation, tous les fournisseurs débutent avec le mode de livraison traditionnel.

La troisième étape de construction du modèle concerne les variables de sorties. Les deux principales variables de sortie, liées à la problématique de recherche, sont les effets économiques et environnementaux de la chaîne logistique. Pour bien interpréter les résultats, il est nécessaire aussi d'intégrer comme variable de sortie le nombre de fournisseurs qui utilise la nouvelle configuration logistique à chaque cycle de simulation pour appréhender la dynamique d'adoption.

⁹ Le modèle est programmé sur la plateforme multi-agents Netlogo.

gestion des stocks (SI faiblement assimilé) la diminuent au contraire. Cependant, et c'est ce qui est intéressant dans les résultats, tous les fournisseurs ne suivent pas la même trajectoire d'adoption et ne sont pas influencés de la même façon par les SI et la qualité de l'information. Par exemple, la nouvelle chaîne logistique est davantage plébiscitée par les fournisseurs livrant un petit volume fréquemment que par les autres, et ce quel que soit le niveau de qualité d'information associé au SI. Les fournisseurs qui doivent livrer un important volume de commandes peu fréquemment sont les plus influencés par la qualité d'information des commandes. En synthèse, plus le SI existant pour gérer leur commande est intégré, moins la nouvelle chaîne logistique est adoptée. Et moins le nouveau SI pour gérer les stocks est assimilé, moins la nouvelle chaîne logistique est adoptée.

D'un point de vue théorique, ces résultats enrichissent les recherches ayant souligné l'impact des SI sur la performance des chaînes logistiques. Pour la gestion des opérations courantes basées sur les échanges de commandes, la littérature a mis en exergue l'apport de l'intégration du SI sur la performance dans l'optimisation d'une configuration logistique existante (Rai *et al.*, 2006 ; Prajogo et Olhager, 2012). Nous la complétons en montrant que l'intégration du SI ancre les entreprises dans leur configuration logistique existante. De plus, l'adoption de la chaîne logistique verte est très influencée par l'assimilation du SI (Huigang *et al.*, 2007) qui permet de gérer l'information complémentaire qu'est le niveau de stocks dans le centre de consolidation.

D'un point de vue managérial, les managers des différentes organisations impliquées dans une chaîne logistique peuvent se saisir de ces résultats pour les adapter à leur propre décision d'adoption d'une nouvelle configuration logistique ou de déploiement d'un SI intégré permettant

la mutualisation des informations liées aux commandes et à la gestion des stocks. Par ailleurs, la nouvelle configuration logistique agencée autour des centres de consolidation offrant une meilleure performance environnementale sans augmenter les coûts d'une partie des petits et moyens fournisseurs, les pouvoirs publics pourraient inciter ce type de fournisseurs à l'adopter.

3.3. Apports du design de recherche

D'un point de vue général, ces deux illustrations de notre design de recherche soulignent l'importance de ne pas considérer la collecte de données sur le phénomène étudié comme secondaire ou accessoire. La simulation sans ancrage approfondi et une connaissance fine du phénomène soulève légitimement des interrogations sur la validité de ces résultats. Il en va de même pour les modélisations fondées quasi exclusivement sur des abstractions théoriques. Les développements qui suivent s'attachent à mettre en exergue l'originalité du design de recherche proposé en discutant en quoi celui-ci permet le dépassement de chacune des méthodes prises isolément.

Ce que l'étude de cas apporte à la simulation

Dans le design de recherche que nous avons présenté et illustré, l'étude de cas qu'elle soit unique ou multiple (en fonction de l'objectif de recherche) est au cœur de la simulation. Elle constitue la pierre angulaire de cette démarche scientifique de modélisation/simulation. L'encadré 4 résume ce que les études de cas ont apporté à la simulation dans les deux recherches précédemment exposées.

Premièrement, le recueil de données qualitatives par la méthodologie de l'étude de cas autorise la construction d'un modèle de simulation proche des réalités observables.

Encadré n°4 : Apports respectifs de l'étude de cas à la simulation multi-agents dans les deux recherches

Dans la première recherche (section 3.1), l'étude de cas a permis de :

- développer une connaissance approfondie des communautés d'innovation, des acteurs impliqués et leurs modalités d'interaction,
- identifier les facteurs interdépendants influençant les activités de création de connaissances,
- repérer les phases de création de connaissances,
- mettre en lumière les tensions paradoxales à l'œuvre dans un projet d'innovation SI,
- structurer le travail de modélisation et d'enrichir l'interprétation des résultats de la simulation.

Dans la seconde recherche (section 3.2), l'étude de cas a permis de :

- développer une connaissance approfondie de la chaîne logistique et de son fonctionnement, de la transformation des flux physiques et des flux informationnels dans la chaîne logistique verte,
- comprendre le type d'acteurs impliqués, leur rôle, leur positionnement et leurs modalités d'interaction,
- identifier les facteurs interdépendants susceptibles d'influencer la transformation de la chaîne logistique,
- structurer le travail de modélisation et enrichir l'interprétation des résultats de la simulation.

La compréhension approfondie du phénomène étudié favorise l'arbitrage fin qu'impose la simulation entre « simplification ravageuse » et modèle trop complexe. Cette activité d'arbitrage dans le choix des variables du modèle est essentielle pour produire des résultats susceptibles de renseigner le projet de connaissances du chercheur.

Deuxièmement, la démarche préalable de l'étude de cas facilite également l'évaluation de la fiabilité du modèle. Lorsqu'il convient de tester la conformité du modèle et de procéder aux ajustements inhérents à une démarche scientifique de modélisation, la connaissance d'un ou plusieurs cas constitue une aide précieuse.

Troisièmement, les étapes de formulation des propositions théoriques et d'élaboration du plan d'expérience associé s'en trouvent également simplifiées et leur pertinence renforcée. Tout d'abord, en procédant par aller-retours entre les observations empiriques et les connaissances théoriques, la démarche d'exploration hybride (Allard-Poesi *et al.*, 2003 ; Charreire et Durieux, 2003) au cœur de ce design de recherche permet la construction progressive de propositions théoriques adaptées à l'étude du phénomène étudié et susceptibles d'être renseignées par la simulation. Ensuite, la construction des différents scénarios de simulation se fonde sur la connaissance d'une ou plusieurs configurations organisationnelles. Ces scénarios ne sont donc pas élaborés uniquement à partir d'un exercice d'abstraction théorique, ils résultent d'observations empiriques redoublées d'une connaissance théorique approfondie. Dans les deux recherches présentées, les premiers scénarios du plan d'expérience s'inspiraient de la connaissance du ou des cas réels en essayant d'en reproduire les principales caractéristiques. Dans un second temps seulement, d'autres scénarios plus fins ont été construits au fur et à mesure de l'analyse des résultats.

Quatrièmement, l'étude de cas unique ou multiple sert de fil conducteur à l'interprétation des résultats et à l'identification des implications managériales de la recherche. Les résultats de la simulation, notamment ceux qui sont le plus contre-intuitifs, sont analysés à travers le prisme des connaissances empiriques du chercheur, ce qui

permet de les illustrer et de les contextualiser. Par ce travail de confrontation des données simulées aux données qualitatives, le chercheur est ainsi plus à même de formuler des propositions managériales.

Ces différentes contributions de l'étude de cas pour la simulation se révèlent d'autant plus importantes que la méthodologie sélectionnée est de type multi-agents. En effet, la dynamique étant le principe même de fonctionnement d'une modélisation multi-agents, des variations doivent être observées dans les séries statistiques relatives aux principales variables de sortie du modèle. Comment dès lors s'assurer de la fiabilité du modèle ? Seule une compréhension approfondie de la problématique organisationnelle peut permettre d'évaluer ces variations et d'expliquer les écarts types.

Ce que la simulation apporte à l'étude de cas

Dans notre design itératif en deux phases, la simulation d'un modèle multi-agents est appréhendée comme une méthode de recherche complémentaire à l'étude de cas permettant de poser de nouvelles questions de nature plus prospective et/ou plus théorique. L'encadré 5 résume ce que la simulation multi-agents apporte à l'étude de cas dans les deux recherches présentées précédemment.

Premièrement, la simulation permet de dépasser la connaissance empirique issue de l'approche qualitative en se centrant sur l'exploration de la dynamique du phénomène étudié. L'objectif des deux modèles de simulation était d'étudier l'influence d'interdépendances variées et l'émergence de processus non-linéaires, la méthode de l'étude de cas achoppant sur ce niveau d'analyse. *"Traditional approaches to theory development are limited in their ability to analyze multiple interdependent processes operating simultaneously."* (Harrison *et al.*, 2007, p.1229). La simulation constitue

Encadré n°5 :
Apports respectifs
de l'étude de cas et
de la simulation multi-agents
dans la seconde recherche

Dans la première recherche (section 3.1), la simulation multi-agents a autorisé à :

- poser de nouvelles questions de recherche (ex : Quelles sont les configurations d'innovation les plus favorables à la création de connaissances ?, Quelles sont les tensions observables ?...),
- tester l'influence de plusieurs configurations d'innovation et d'observer leurs effets sur la création de connaissances,
- isoler l'influence de certains facteurs pour analyser la dynamique sous différentes facettes et en comprendre leur importance respective,
- renseigner les tensions paradoxales inhérentes aux activités innovantes,
- construire des configurations idéales-types.

Dans la seconde recherche (section 3.2), la simulation multi-agents a autorisé à :

- poser de nouvelles questions de recherche (ex : Quelle est la dynamique d'adoption de la chaîne logistique ?, Quel(s) type(s) de fournisseurs ont intérêt à adopter la nouvelle configuration logistique ? Comment la qualité de l'information et les SI influencent-ils la dynamique d'adoption ?),
- tester l'influence de plusieurs configurations d'environnement institutionnel, d'intégration du SI existant et d'assimilation d'un nouveau SI sur la dynamique d'adoption de la nouvelle configuration logistique,
- comprendre le poids relatif des différents facteurs d'influence sur la transformation de la chaîne logistique.

un complément robuste aux méthodes de recherche classiques, dès lors que le projet de connaissances vise cette compréhension

des dynamiques d'influences complexes et émergentes. Le choix de la méthode de simulation s'opère ensuite en fonction des caractéristiques de la dynamique qu'il convient de modéliser. Cette analyse des interdépendances avec une simulation multi-agents offre la possibilité d'analyser les phénomènes d'émergence qui relient les niveaux micro et macro d'une problématique organisationnelle. Des phénomènes de structuration collectifs se produisent à partir des interactions des agents et de leurs caractéristiques.

Deuxièmement, la simulation permet à la manière d'un microscope d'isoler l'influence d'une ou plusieurs variables sur le phénomène étudié. Une fois le modèle construit et programmé, la simulation permet la manipulation quasi gratuite des paramètres du modèle. "*Computational models are generally less noisy, easier to control, more flexible, more objective, and can be used to examine a larger variety of factors within less time.*" (Prietula *et al.*, 1998). Elle complète donc la démarche de l'étude de cas par une logique d'expérimentation sur le phénomène étudié. Or, l'expérimentation directe s'avère extrêmement difficile, voire impossible au niveau des phénomènes organisationnels.

Troisièmement, l'utilisation de la simulation comme méthode de recherche complémentaire autorise le raffinement des théories mobilisées. L'activité de modélisation et la spécification des variables nécessitent, en effet, une formalisation approfondie des fondements théoriques du modèle. Elle représente donc potentiellement une méthode susceptible de favoriser l'émergence de nouvelles propositions théoriques.

Un design de recherche double favorisant la validité des résultats

A notre sens, et c'est le propos de l'article, ce design de recherche double et équilibré renforce la validité des résultats

de la simulation. Ce couplage étudie de cas / simulation suit les recommandations de Denzin (1984) et Patton (2002) en s'attachant à une triangulation des théories mobilisées, des données et des méthodes de recherche.

Tout d'abord, la validité interne de la simulation (conformité des spécifications du modèle) est grandement facilitée dans le cadre d'une modélisation contextualisée. La description du modèle et l'explicitation des différents niveaux de son implémentation constituent toutefois une étape essentielle de la validation interne. «*De manière à s'assurer de la reproductibilité des expériences ou a minima des résultats d'expériences, il faut donc s'assurer que le modèle est décrit formellement avec les détails suffisants qui en permettent la répllication.*» (Amblard *et al.*, 2006)

Ensuite, la représentativité du modèle s'en trouve également renforcée. Comme nous l'avons évoqué précédemment, l'arbitrage fin auquel le chercheur doit procéder dans la construction du modèle entre simplification caricaturale et modélisation trop complexe est rendu plus aisé lorsque ce dernier a une compréhension en profondeur du phénomène étudié. Sur cette question de la représentativité du modèle, il convient en outre de s'abstraire de la recherche exclusive de résultats contre-intuitifs susceptibles lorsqu'ils ne sont pas obtenus de remettre en cause le bien-fondé de la simulation. Pour éviter cet écueil, la simulation doit, à notre sens, être appréhendée comme un dépassement aux méthodes classiques capable d'offrir non pas systématiquement des résultats contre-intuitifs mais plus simplement des résultats d'une autre nature axés sur la compréhension des interdépendances et l'exploration des phénomènes d'émergence et de coévolution.

Enfin, la validité externe sous l'angle de la généralisation théorique (et non statistique)

profite elle aussi de ce croisement méthodologique. Combiner étude de cas et simulation s'avère tout à fait intéressant pour questionner les théories et identifier de nouvelles problématiques et de nouvelles réponses.

Ce design de recherche combine ainsi les avantages des deux méthodologies, la richesse de l'étude de cas en termes de compréhension du phénomène et l'exploration des dynamiques complexes d'influences avec la simulation. D'autres couplages méthodologiques entre approches qualitative et simulative pourraient néanmoins être potentiellement pertinents pour l'analyse des processus complexes et émergents en SI et le renforcement de la validité des résultats de simulation. Alors que certaines approches qualitatives sont plus adaptées pour appréhender des questions de type « quoi » ou « quel », l'étude de cas permet une analyse en profondeur d'un phénomène empirique contemporain par des problématiques de type « comment » ou « pourquoi ». L'étude de cas permet, en effet, une analyse approfondie des acteurs, de leur diversité et de leurs interactions, qui constituent le point focal d'une simulation multi-agents. L'analyse complémentaire autorisée par la simulation permet alors de reboucler sur la construction du modèle et ouvrir à d'autres questionnements sur le phénomène étudié par un meilleur contrôle des événements.

CONCLUSION

Peu de recherches en systèmes d'information croisent les méthodologies de l'étude de cas et de la simulation. Bien souvent les modèles de simulation sont construits sur une approche théorique, parfois couplée à quelques données secondaires ou encore sur une approche très opérationnelle visant la résolution d'un problème. Or, ces approches de la simulation n'autorisent pas une compréhension fine des problématiques organisationnelles

étudiées. Le design de recherche proposé et illustré dans cet article relève d'une autre approche de la simulation. L'étude de cas qu'elle soit unique ou multiple est au cœur de la simulation. La simulation se déplace d'une place centrale, la finalité méthodologique, à une place complémentaire dans le design de recherche. Les espaces empiriques de ces méthodologies bien que distincts sur le contrôle des événements, s'inscrivent dans une démarche similaire de description et d'explication du phénomène étudié. Simulation et étude de cas permettent, en effet, d'adresser le même type de problématique sur la compréhension de phénomènes empiriques contemporains en répondant à des questions de type « comment » et « pourquoi ». Associées à une connaissance théorique du phénomène, les deux approches ne peuvent que s'enrichir mutuellement. Les données qualitatives conditionnent tant la qualité des données simulées que la pertinence de leur analyse. En retour, la simulation est appréhendée comme une méthodologie complémentaire, un dépassement à l'approche qualitative, permettant de poser des questions de nature plus prospective et/ou plus théorique (« qu'est-ce qui se passerait si ? »). Ainsi, dans ce design de recherche l'étude de cas contribue à la simulation en l'ancrant dans le réel tout autant que la simulation contribue à l'étude de cas en la complétant par d'autres questionnements.

Dans les deux recherches présentées, l'étude de cas s'est ainsi avérée être un fondement empirique indispensable : à l'exercice d'abstraction et de construction du modèle de simulation, à l'évaluation de la fiabilité du modèle, à la construction des scénarios de simulation, à l'analyse et à l'interprétation des résultats, et à l'identification des implications managériales de la recherche.

Notre design de recherche se fonde ainsi sur la construction progressive de modèles

visant à explorer un phénomène organisationnel complexe, appréhendé dans sa globalité et ses interdépendances. Dans une démarche experimentalo-abductive procédant par « aller-retours » entre théorie, terrain et modélisation, l'ancrage qualitatif renforce la validité interne et la représentativité des résultats de simulation tandis que l'ancrage simulatif renforce la généralisation théorique des résultats.

A ce titre, la méthodologie que nous proposons permet de réduire l'écart entre la production de connaissances théoriques et « opérationnelles » à destination des professionnels. Elle rejoint ainsi le rang des courants méthodologiques qui visent la construction de design de recherche mixte et équilibré en termes de fondements théoriques et empiriques comme les approches de design science par exemple. Pascal, Thomas et Romme (2013) proposent, en effet, une méthodologie de design science intégrative qui combine deux démarches pour élaborer les règles de design, à savoir celle fondée sur la science et les théories existantes, et celle centrée sur l'analyse des besoins des usagers. Comme le soulignent Pascal, Thomas et Romme (2013), chacune de ces démarches comporte des lacunes qu'une approche méthodologique intégrative est susceptible de limiter. Dans le design de recherche que nous avons proposé, l'intégration renforce ainsi la validité de la méthodologie de simulation et par la même son utilité tant d'un point de vue théorique que pratique.

Ce travail méthodologique présente toutefois certaines limites. Celles-ci concernent en premier lieu, la valeur des modèles de simulation que nous avons présentés pour illustrer notre design de recherche. Si ces recherches sont utiles pour montrer l'intérêt du couplage études de cas/simulation et les types de résultats qui peuvent être obtenus, une revue de la littérature plus systématique, visant à identifier et analyser

des travaux employant ce design, permettrait en complément de mettre en lumière les éléments communs et différenciants des recherches mobilisant ce couplage. Après une première analyse de la littérature des travaux en SI couplant étude de cas et simulation, nous avons toutefois rapidement constaté à la fois leur nombre très limité et leur très grande diversité en termes de nature de recherche (opérationnelle, théorique et à visée pédagogique) et de méthodes de simulation (dynamique des systèmes, automates cellulaires, algorithmes génétiques, etc.). Ces difficultés de comparaison nous ont donc incités à mobiliser principalement nos propres travaux pour illustrer l'intérêt de ce design de recherche.

La seconde limite de ce travail porte sur l'absence de comparaison avec d'autres couplages d'approche qualitative à la simulation comme par exemple une démarche d'ethnographie complétée d'une simulation de type dynamique des systèmes. Dit autrement, est-ce que d'autres couplages pourraient offrir les mêmes types de résultats et ainsi les mêmes avantages en termes de validité des résultats ? Il est fort probable que ce soit le cas dès lors que la méthode qualitative permet de développer une connaissance approfondie du phénomène simulé et que la méthode de simulation est appropriée aux objectifs visés et à l'approche théorique mobilisée. Comme expliqué précédemment, la combinaison de l'étude de cas à la simulation multi-agents est particulièrement bien adaptée à l'analyse multi-acteurs d'un phénomène organisationnel complexe. Pour aider les chercheurs à construire un design de recherche approprié à leur projet de connaissances couplant une approche qualitative à une démarche de simulation, une recherche future pourrait s'attacher à proposer une typologie des phénomènes étudiés en SI, de leurs caractéristiques et de leur point central d'analyse dans l'objectif d'y associer un couplage méthodologique pertinent.

BIBLIOGRAPHIE

- Abrahamson, E., Rosenkopf, L. (1997), "Social Network Effects on the Extent of Innovation Diffusion: A Computer Simulation", *Organization Science*, vol. 8, n°3, p.289-309.
- Akrich, M., Callon, M., Latour, B. (1988), « A quoi tient le succès des innovations? L'art de l'intéressement », *Gérer et comprendre*, Annales des Mines, vol. 11, p. 4-17.
- Allard-Poesi, F., Drucker-Godard, C., Ehlinger, S. (2003), « Analyses de représentations et de discours », in R.-A. Thiétart *et al.* (Eds.), *Méthodes de Recherche en Management*, Dunod, Paris, 2^e éd., p. 449-475.
- Amblard, F., Rouchier, J., Bommel, P. (2006), « Evaluation et validation de modèles multi-agents », in F. Amblard et D. Phan (Eds.), *Modélisation et simulation multi-agents, applications pour les sciences de l'Homme et de la Société*, Hermès Science, Lavoisier, Paris, p. 103-140.
- Axelrod, R. (1997), "Advancing the Art of Simulation in the Social Sciences", *Complexity*, vol. 3, n°2, p. 16-22.
- Bachelard, G. (1971), *Epistémologie*. Textes choisis par Dominique Lecourt, PUF, Paris.
- Bhaskaran, S., (1998), Simulation Analysis of a Manufacturing Supply Chain, *Decision Sciences*, vol. 29, n°3, p. 633-657.
- Beaufils, B., Brandouy, O., Ma, L., Mathieu, P. (2009), Simuler pour comprendre : un éclairage sur les dynamiques de marchés financiers à l'aide des systèmes multi-agents, *Systèmes d'Information et Management*, vol. 14, n°4, p. 51-70.
- Boland, R.J. Jr., Thiel, D. (2009), éditorial « un numéro spécial consacré aux simulations », *Systèmes d'Information et Management*, vol. 14, n°4, p. 3-5
- Bonabeau, E. (2002), "Agent-Based Modeling: Methods and Techniques for Simulating Human Systems", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, p. 7280-7287.
- Bonini, C. (1963), *Simulation of Information and Decision Systems in the Firm*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Canessa, E., Riolo, R. (2006), "An agent-based model of the impact of computer-mediated communication on organizational culture and performance: an example of the application of complex systems analysis tools to the study of CIS", *Journal of Information Technology*, vol. 21, n°4, p. 272-283.
- Carley, K. M. (1996), "Validating Computational Models", *WP, Social and Decision Sciences*, Carnegie Mellon University, Pittsburg, PA.
- Cartier, M., Forgues, B. (2006), « Simulation et recherche en gestion. Intérêt de la simulation pour les sciences de gestion », *Revue Française de Gestion*, n°165, p.125-138.
- Charreire, S., Durieux, F. (2003), « Explorer et tester : deux voies pour la recherche », in R.-A. Thiétart *et al.* (Eds.), *Méthodes de recherche en management*, Dunod, Paris 2^e éd., p. 57-81.
- Chen, A., Edgington, T. (2005), "Assessing Value in Organizational Knowledge Creation: Considerations for Knowledge Workers", *MIS Quarterly*, vol. 29, n°2, p. 279-309
- Cyert, R.M., March, J.M. (1963), *A Behavioral Theory of the Firm*. Prentice Hall, Englewood cliffs, NJ.
- David, A. (2002), « Décision, conception et recherche en gestion », *Revue Française de Gestion*, n°139, p. 173-185.
- Datta, P.P., Christopher, M.G. (2011), "Information Sharing and Coordination Mechanisms for Managing Uncertainty in Supply Chains: a simulation study", *International Journal of Production Research*, vol. 49, n°3, p. 765-803.
- David, A. (2000), « La recherche-intervention, cadre général pour la recherche en management ? », in A. David, A. Hatchuel et R. Laufer (Eds.), *Les nouvelles fondations des sciences de gestion*, Vuibert, coll. FNEGE, Paris, p. 193-213.
- Davis, J., Eisenhardt, K., et Bingham, C. (2007), "Developing theory through simulation methods," *Academy of Management Review*, vol. 32, n°2, p. 480-499.
- de Corbière, F., Durand, B., Rowe, F. (2010), Effets économiques et environnementaux de la mutualisation des informations logistiques de distribution: avis d'experts et voies de recherche, *Management & Avenir*, n°39, p. 233-249

- de Corbière, F., Rowe, F. (2013), Systèmes d'information et gouvernance des chaînes logistiques : le cas des Centres de Consolidation et de Collaboration, *Logistique & Management*, vol. 21, n°2, p. 47-56.
- de Corbière, F., Takeda, H., Habib, J., Rowe, F., Thiel, D. (2016), A simulation approach for analyzing the influence of information quality on the deployment of a green supply chain. *24th European Conference on Information Systems (ECIS)*, Istanbul.
- Denzin, N.K. (1984), *The research act*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Desmond, N.G., (2004), "The social dynamics of diverse and closed networks", *Human Systems Management*, Vol. 23, Issue 2, pp.111-122.
- Dooley, K. (2002), Simulation research methods, in J.A.C. Baum (Eds.) *Companion to organizations*, Blackwell, Oxford.
- Durand, R. (2006), « Essai : réalité simulée ou "pour de vrai" ? », *Revue Française de Gestion*, n°165, p. 211-217.
- Epstein, J.M., Axtell, R.L. (1996), *Growing artificial societies. Social science from the Bottom Up*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Eve, R.A., Horsfall, S., Lee, M.E. (1997), *Chaos, Complexity and Sociology*. Sage, London.
- Gilbert, N. (1996), "Computer Simulation of Social Processes", *Social Research Update*, Issue Six, <http://www.soc.surrey.ac.uk/sru/SRU6.html>.
- Gilbert, N., Troitzsch, K.G. (1999), *Simulation for the Social Scientist*. Open University Press, London.
- Gilbert, N. (2004), "Quality, quantity and the third way", In J. Holland & J. Campbell (Eds.), *Methods in development research: Combining qualitative and quantitative approaches*. ITDG Publications, London.
- Habib J., (2008), « The dynamics of Knowledge Creation within Innovation Processes: From Case studies to Agent-based Modelling », *Annual Conference of ICIS - International Conference on Information Systems*, December, Paris.
- Harrison, J.R., Lin, Z., Carroll, G.R., Carley, K.M. (2007), "Simulation modelling in organizational and management research", *Academy of Management Review*, vol. 32, n°4, p. 1229-1245.
- Holland, J.H. (1998), *Emergence: From Chaos to Order*. Oxford University Press, Oxford.
- Huber, G. (1990), "A Theory of the Effects of Advanced Information Technologies on Organizational Design, Intelligence, and Decision Making", *Academy of Management Review*, vol. 15, n°1, p. 47-71.
- Huigang, L., Saraf, N., Qing, H., Yajiong, X. (2007), "Assimilation of Enterprise Systems: The Effect of Institutional Pressures and the Mediating Role of Top Management." *MIS Quarterly*, vol. 31, n°1, p. 59-87
- Iansiti, M., MacCormack, A. (1997), "Developing Products on Internet Time", *Harvard Business Review*, septembre-octobre, p. 108-117.
- Kitts, A.J, Michael, M.W, Flache, A. (1999), "Structural Learning : Attraction and Conformity in Task-Oriented Groups", *Computational & Mathematical Organization Theory*, vol. 5, n°2, p. 129-145.
- Kleindorfer, G.B., O'Neill, L., Ganeshan, R. (1998), "Validation in Simulation: Various Positions in the Philosophy of Sciences", *Management Science*, vol. 44, n°8, p. 1087-1099.
- Kline, S.J., Rosenberg, N. (1986), "Innovation: an overview", in R. Landau, and N. Rosenberg, *The Positive Sum Strategy*, The National Academies Press, Washington, DC.
- Lauriol, J. (2003), « La Recherche Doctorale en Management Stratégique: Quelques Propositions pour Définir et Apprécier une Bonne Thèse », Cahier de recherche N° 02-01, *Les Cahiers de la Chaire de management stratégique international*.
- Le Moigne, J.L. (1990), *La modélisation des systèmes complexes*, Éd. Dunod. Réédité en 1995.
- Liarte, S. (2005), *Stratégies d'implantation et interactions concurrentielles : le cas des entreprises multi-unités multi-marchés*, Thèse de Doctorat en Sciences de Gestion, Université Paris Dauphine, 2005.
- Macy, M.W, Willer, R. (2002), "From factors to actors: Computational sociology and agent-based modelling", *Annual Review of Sociology*, vol. 28, p. 143-166.

- March, J.G. (1991), "Exploration and exploitation in organizational learning", *Organization Science*, vol. 2, n°1, p. 71-87.
- Marion, R. (1999), *The Edge of Organization: Chaos and Complexity Theories of Formal Social Systems*. Sage, Thousand Oaks, CA.
- Masuch, M., Lapotin, P. (1989), "Beyond Garbage Cans: An AI Model of Organizational Choice", *Administrative Science Quarterly*, vol. 34, n°1, p. 38-67.
- McKelvey, B. (1997), "Quasi-natural organization science", *Organization Science*, vol. 8, n°4, p. 352-380.
- Nilsson, F., Darley, V. (2006), "On complex adaptive systems and agent-based modelling for improving decision-making in manufacturing and logistics settings: Experiences from a packaging company", *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 26, n°12, p. 1351-1373
- Nonaka, I., Takeuchi, H. (1995), *The Knowledge-creating company: how japanese companies create the dynamics of innovation*, Oxford University Press, New York, NY.
- Otto, P., Siemer, W. (2009), « Learning from cognitive feedback mapping and simulation: A group modeling intervention », *Systèmes d'Information et Management*, vol. 14, n°4, p. 9-30.
- Ow, P.S., Prietula, M., Hsu, W. (1989), "Configuring Knowledge-based Systems to Organizational Structures: Issues and Examples in Multiple Agent Support," in L.F. Pau, Y.H. Pao, J. Motiwalla and H.H. Teh (Eds.), *Proceedings of the Second International IFIP/IFAC/IFORS Workshop on Artificial Intelligence in Economics and Management*, Elsevier, Amsterdam.
- Panayiotou, N., Evangelopoulos, N. (2009), "Simulation applied to Evaluate and Improve the Operation of a Soccer Ticket Club Call Centre", *Systèmes d'Information et Management*, vol. 14, n°4, p. 31-50
- Pascal, A., Thomas, C., Romme, A.G.L. (2013), "developing a human-centered and science-based approach to design: the knowledge management platform project", *British Journal of Management*, vol. 24, n°2, p. 264-280.
- Patton, M.Q. (2002), *Qualitative research & evaluation methods* (3rd ed.). Sage Publications, Thousand Oaks, CA.
- Pierce, C.S. (1958), *The Collected Works of Charles Sanders Peirce*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Prajogo, D., Olhager, J. (2012), "Supply chain integration and performance: The effects of long-term relationships, information technology and sharing, and logistics integration," *International Journal of Production Economics*, vol. 135, n°1, p. 514-522.
- Prietula, M.J., Carley, K.M, Gasser, L. (1998), *Simulating Organizations*. M.I.T. Press, Menlo Park, Ca.
- Rai, A., Patnayakuni, R., Seth, N., (2006), "Firm Performance Impacts of Digitally Enabled Supply Chain Integration Capabilities", *MIS Quarterly*, vol. 30, n°2, p. 225-246.
- Repenning, N. (2002), "A simulation-based approach to understanding the dynamics of innovation implementation", *Organization Science*, vol. 13, n°2, p. 109-127.
- Rivkin, J.W., Siggelkow, N. (2003), "Balancing search and stability: Interdependencies among elements of organizational design", *Management Science*, vol. 49, n°3, p. 290-311.
- Roggero, P. (2005), *De la complexité des politiques locales. Systèmes d'action et, enseignement supérieur dans les villes moyennes de Midi-Pyrénées*. L'Harmattan, coll. Pratique de la systémique, Paris.
- Rouwette, E.A.J.A, Vennix, J.A.M., Thijssen, C.M. (2000), "Group model building: a decision room approach", *Simulation and Gaming*, vol. 31, n°3, p. 359-379.
- Royer, I., Zarlowski, P. (2003), Le design de la recherche, in R.-A. Thiétart *et al.* (Eds.) *Méthodes de recherche en management*. Dunod, Paris, 2^e éd., p. 139-168.
- Stacey, R.D. (1995), "The science of complexity: an alternative perspective for strategic change processes", *Strategic Management Journal*, vol. 16, p. 477-495.
- Sterman, J.D. (2006), Operational and Behavioural Causes of Supply Chain Instability, in O. Carranza and F. Villegas (Eds.), *The Bullwhip*

- Effect in Supply Chain*. Palgrave MacMillan, Basingtoke.
- Van de Ven, A.H., Angle, H.L., Poole, M.S. *et al.* (2000), *Research on the Management of Innovation: the Minnesota Studies*. Oxford University Press, Oxford.
- Yin, R.K. (1989). *Case study research: Design and methods*. Applied Social Research Series. Vol 5. London. Sage.
- Yin, R.K. (1994), *Applications of case study research, Design and methods*. Sage Publications, Newbury Park, CA.
- Wang, S.J., Wang, W.L., Huang, C.T., Chen, S.-C. (2011), "Improving inventory effectiveness in RFID-enabled global supply chain with Grey forecasting model", *The Journal of Strategic Information Systems*, vol. 20, n°3, p. 307-322
- Weber, M. (1965), *Essais sur la théorie de la science*. Plon, Paris.