ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

COMME EXIGENCE PARTIELLE
À L'OBTENTION DE LA
MAÎTRISE EN GÉNIE DE LA PRODUCTION AUTOMATISÉE
M. Ing.

PAR
ST-GEORGES, Kim

MODÉLISATION ET SIMULATION DU PHÉNOMÈNE DE DIFFUSION DES PROGICIELS DE GESTION INTÉGRÉE AU SEIN DE RÉSEAUX INDUSTRIELS

MONTRÉAL, LE 10 DÉCEMBRE 2007

© St-Georges, 2007

CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ

PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

M. Ali Gharbi, directeur de mémoire
Génie de la Production Automatisée, à l'École de Technologie Supérieure

M. Robert Pellerin, codirecteur de mémoire
Mathématiques et Génie Industriel, à l'École Polytechnique de Montréal

M. Marc Paquet, président du jury
Génie de la Production Automatisée, à l'École de technologie supérieure

M. Pierre-Majorique Léger, examinateur externe
Service de l'enseignement des technologies de l'information, à HEC Montréal

IL A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC

LE 22 NOVEMBRE 2007

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

REMERCIEMENTS

Cette recherche n'aurait pu être menée à terme sans l'appui de nombreuses personnes. En premier lieu, je voudrais exprimer toute ma reconnaissance à mes deux directeurs de recherche, Messieurs Robert Pellerin et Ali Gharbi, pour leur disponibilité, leur support académique et financier et leurs judicieux conseils. Leur étroite collaboration et leur grande patience m'ont permis de découvrir et de parfaire mon apprentissage du génie en ajoutant de nouvelles connaissances à mon curriculum. Un merci tout spécial à M. Pellerin pour m'avoir donné l'opportunité de faire partie du groupe de recherche ERPsim. Ce fut une expérience très enrichissante qui m'a ouvert les portes du marché du travail en technologie de l'information. Merci également à messieurs Jean-François Boulet et Adnene Hajji, pour leurs conseils et leur support technique dans l'utilisation du logiciel de simulation AweSIM.

Mes remerciements les plus sincères à M. Claudio Benedetti pour m'avoir donné la chance d'enseigner, ce fut une expérience des plus enrichissantes, tant au plan personnel que professionnel. Je tiens également à remercier l'Association des professeurs de l'ETS (APETS) pour m'avoir accordé la bourse de persévérance.

Merci à mes parents, Line et Roger St-Georges, ma sœur Janie et ma marraine Lucille, qui m'ont soutenu tout au long de mon cheminement universitaire, ce fut grandement apprécié. Merci pour toute la confiance que vous avez placée en moi tout au long de ce périple.

Finalement, j'exprime ma reconnaissance à toute l'organisation du Resto-Pub 100 génies pour m'avoir supporté moralement dans mon projet, qui vous a sans doute souvent semblé interminable! Merci plus spécialement à M. Marc Fillion, pour m'avoir donné beaucoup de flexibilité dans l'élaboration de mes horaires de travail. Et merci également à l'association étudiante de l'ETS pour offrir aux étudiants un milieu de travail flexible, réservé à la communauté universitaire. Cette opportunité de travail permet à sans doute beaucoup d'étudiants comme moi de poursuivre leurs études.

MODÉLISATION ET SIMULATION DU PHÉNOMÈNE DE DIFFUSION DES PROGICIELS DE GESTION INTÉGRÉE AU SEIN DE RÉSEAUX INDUSTRIELS

ST-GEORGES, Kim

RÉSUMÉ

Le phénomène de concurrence internationale auquel les entreprises font face aujourd'hui les pousse à optimiser leur gestion d'information. Les systèmes de gestion intégrée, soit les systèmes ERP (Enterprise Resource Planning), permettent ainsi aux entreprises d'optimiser leur gestion d'information en intégrant une grande quantité d'information en temps réel selon une structure d'affaire complexe. Actuellement, une panoplie de systèmes ERP sont disponibles et plusieurs éditeurs se livrent concurrence pour offrir un progiciel toujours plus performant.

Afin de se tailler une place parmi la concurrence, il est donc important pour les éditeurs de bien comprendre la dynamique de diffusion des systèmes ERP au sein des différents réseaux industriels. Malgré le fait que la théorie de la diffusion couvre depuis longtemps ces comportements de propagation par réseautage dans le segment des innovations logicielles, aucun modèle ne quantifie, ni ne décrit de façon dynamique par l'entremise de la simulation ce type phénomène. En réponse à cette problématique, le présent mémoire propose un modèle de propagation de progiciels de gestion intégrée au sein de réseaux d'affaires, en tenant compte des caractéristiques du réseau et de l'influence de la publicité dans son ensemble. Le modèle proposé dans ce mémoire est basé sur un modèle à influence mixte. Il utilise la modélisation par événements discrets. Le modèle présenté nous a permis de décrire la diffusion de systèmes ERP sous un angle épidémiologique, en plus de suivre le développement à chaque période de l'évolution du phénomène de diffusion, et ce, pour chacune des entreprises du réseau. Il ne s'agit là que d'une base à la modélisation de ce type de phénomène, limité à l'exploration du sujet par la structure du réseau et certaines caractéristiques principales de bases. L'étude se limite également à la propagation de systèmes ERP par adoption complète d'une solution et, par conséquent, ne tient pas compte des adoptions partielles de multiples systèmes ERP.

SIMULATION AND MODELIZATION OF ENTERPRISE RESOURCE PLANNING SYSTEMS DIFFUSION AMONG INDUSTRIAL NETWORKS

ST-GEORGES, Kim

ABSTRACT

Nowadays, the international concurrence phenomenon which every enterprise must face induces them to optimize their way of managing information. ERP systems allow enterprises to optimize their way of managing information in integrating a significant amount of information in real time according to a complex business structure. Actually, a great variety of ERP systems are available and many system editors concurrence each other to always offer a more performing system.

In order to lead the market, it is therefore important for ERP systems' editors to understand well the whole dynamic of ERP systems diffusion among the various industrial networks. Despite the fact that the diffusion of innovation theory covers such network propagation behaviour in the software innovation segment, no models quantify, neither describe dynamically via simulation this type of phenomenon. In response to this problematic, the current master thesis suggest a propagation model for the diffusion of ERP systems among business networks, taking into account networks characteristics and mass media influence as a whole. The model suggested is built on the basis of mix influence model and uses discrete events simulation modeling. The suggested model allowed us to describe ERP systems diffusion with an epidemiological angle, and keep track of periodical development of the diffusion phenomenon for each enterprise of the network. This is presented a basis in modelization of such phenomenon, and is limited to subject exploration via the network structure as well as some principal basic characteristics. This study is also limited to ERP system propagation taking into account complete adoption of a system, consequently, this study does not take into account of multiple partial ERP systems adoption.

TABLE DES MATIÈRES

Page

INTRODUCTION 1

CHAPITRE 1 REVUE DE LA LITTÉRATURE 9
1.1 Introduction 9
1.2 Les principaux concepts de diffusion de l'innovation 10
1.3 Les modèles quantitatifs de diffusion de l'innovation 18
1.4 Les modèles de diffusion réseau 34
1.5 Conclusion 47

CHAPITRE 2 ÉTUDE DES MÉCANISMES DE PROPAGATION 48
2.1 Introduction 48
2.2 Les principaux facteurs d'influence dans la diffusion d'innovation 48
2.3 L'importance du concept de masse critique dans la diffusion d'innovations interactives 51
2.4 Les principaux facteurs d'influence dans la diffusion de systèmes ERP 53
2.4.1 Les facteurs internes 54
2.4.1.1 La taille de l'entreprise et la marge des ressources 54
2.4.1.2 La volonté de changement 54
2.4.1.3 Les avantages attendus d'un système ERP 55
2.4.2 Les facteurs externes 56
2.4.2.1 La participation à la même chaîne d'approvisionnement 57
2.4.2.2 La participation financière 57
2.4.2.3 La participation administrative 57
2.4.2.4 L'appartenance à une même association 58
2.4.2.5 La structure du réseau 58
2.5 Identification des facteurs considérés dans la modélisation 59
2.6 Conclusion 61

CHAPITRE 3 MODÉLISATION DU PHÉNOMÈNE DE DIFFUSION DE SYSTÈMES ERP 62
3.1 Introduction 62
3.2 Hypothèses de modélisation 63
3.3 Modélisation du processus de diffusion 65
3.4 Modélisation de la diffusion d'un système ERP en situation de monopole 68
3.4.1 Modélisation mathématique 68
3.4.2 Modélisation par simulation 70
3.5 Modélisation de la diffusion de trois systèmes ERP simultanément 72
3.5.1 Modélisation mathématique 72
3.5.2 Modélisation par simulation 73
3.6 Conclusion 75

CHAPITRE 4 EXPÉRIMENTATIONS & DISCUSSION 76
4.1 Introduction 76
4.2 Présentation des cinq réseaux de simulation 76
4.3 Expérimentations 79
4.3.1 Analyse de l'influence de la densité sur la diffusion en situation de monopole 80
4.3.2 Analyse de l'influence de la densité sur la diffusion en situation d'oligopole 82
4.3.3 Analyse de l'influence de la densité sur la rapidité de la diffusion 84
4.3.4 Analyse de l'influence de la connectivité 85
4.3.5 Analyse de l'influence de la centralité individuelle des nœuds 87
4.3.6 Analyse de l'influence de l'exposition individuelle des nœuds 91
4.3.7 Analyse de l'influence du coût d'adoption 92
4.3.8 Analyse de l'influence des avantages attendus d'un système ERP 93
4.3.9 Analyse de l'influence de la pondération de l'exposition au réseau 94
4.4 Discussion 96
4.5 Conclusion 98

CONCLUSION 99

RECOMMANDATIONS 103

ANNEXE I RÉSEAUX DE SIMULATION AWESIM 105

ANNEXE II FICHIERS DE CONTROLE AWESIM 108

ANNEXE III LES MATRICES SOCIOMÉTRIQUES DES CINQ RÉSEAUX EXPÉRIMENTAUX 110

BIBLIOGRAPHIE 115

LISTE DES TABLEAUX

Page

Tableau 1.1 Tableau résumé des principaux modèles de diffusion 28

Tableau 1.2 Tableau résumé des principaux modèles de diffusion réseau 44

Tableau 4.1 Résultats des cumuls d'adeptes pour chacun des réseaux à chaque période 84

Tableau 4.2 Synthèse des résultats observés 96

LISTE DES FIGURES

Page

Figure 1.1 Le processus de diffusion 11

Figure 1.2 Catégorisation des adeptes sur la base de l'innovativité 14

Figure 1.3 Les variables déterminant le taux d'adoption des innovations 15

Figure 1.4 Les cinq stages du processus de décision d'adoption 17

Figure 1.5 Représentation du nombre d'adoption en fonction des canaux de communication 23

Figure 1.6 Représentation du nombre d'adoption en fonction du temps[5] 24

Figure 1.7 Représentation du nombre d'adoption cumulée dans le temps[5] 24

Figure 1.8 Diagramme des cinq stages d'adoption d'une innovation pour une organisation 38

Figure 2.1 Taux d'adoption cumulatif d'Internet au niveau mondial 52

Figure 2.2 Positionnement SAP vis-à-vis les entreprises du Fortune 500 59

Figure 3.1 Modèle de simulation 66

Figure 3.2 Réseau de simulation AweSIM en situation de monopole 71

Figure 3.3 Réseau de simulation AweSIM en situation d'oligopole 74

Figure 3.4 Collecte de données statistiques du réseau AweSIM en situation d'oligopole 75

Figure 4.1 Réseaux d'analyse expérimentale 78

Figure 4.2 Courbes d'adoption en fonction du temps des cinq réseaux expérimentaux 81

Figure 4.3 Courbes d'adoption en fonction du temps pour chacun des systèmes à l'intérieur de chacun des réseaux expérimentaux 83

Figure 4.4 Graphique représentant le cumul d'adeptes en fonction du temps 85

Figure 4.5 Influence de la connectivité sur la rapidité de propagation par type de réseaux 86

Figure 4.6 Représentation des réseaux selon la centralité individuelle des nœuds.....88

Figure 4.7 Effet de l'influence de la centralité des noeuds sur le temps d'adoption pour chaque type de réseaux.....90

Figure 4.8 Influence du degré de centralité d'un nœud sur le degré d'exposition individuel requis pour l'adoption. 92

Figure 4.9 Influence de la variation du coût sur la diffusion. 93

Figure 4.10 Influence de la variation de la valeur de base accordée aux systèmes ERP 94

Figure 4.11 Influence de la variation de la pondération de l'exposition au réseau.....95

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

BPICS	British Production and Inventory Control Society
CAD	Computer Assisted Drawing
cst	constante
cumul.	cumulatif
DC	Degré de Centralité
EP	ExPosition
éqn.	équation
ERP	Enterprise Ressource Planning
ÉTS	École de Technologie Supérieure
EVC	Eigenvector of Centrality
ex.	exemple
FLOG	Flexible Logistic Growth
GPA	Génie de la Production Automatisée
HEC	Hautes Études Commerciales
IIE	Institute of Industrial Engineers
IMechE	Institute of Mechanical Engineers
IPS	Institute of Purchase and Supply
ISO	International Standardization Organization
MRP	Material Requirement Planning
MRP II	Material Resources Planning
nb	nombre
no	numéro
NSRL	NonSymmetric Responding Logistic
NUI	NonUniform Influence
nwk	network
OLFQ	Office de la langue française du Québec
PGI	Progiciel de Gestion Intégrée
R	Réseau
SIDA	Syndrôme ImmunoDéficience Acquise
sln	solution
TI	Technologie de l'information

INTRODUCTION

Un progiciel de gestion intégrée, appelé plus couramment un système ERP (Entreprise Ressource Planning), est défini comme un système d'information capable d'identifier et de planifier l'ensemble des ressources d'une entreprise afin de recevoir, d'exécuter, de distribuer et de comptabiliser les demandes des clients (Pellerin, 2005). Ce type de système permet aux entreprises de gérer de grandes quantités d'information en temps réel, selon une structure d'affaire complexe. Les progiciels ERP optimisent ainsi la gestion de l'information au sein d'une entreprise en assurant l'intégration de tous ses secteurs. Originalement conçus pour une intégration interne, les systèmes actuels permettent également une intégration interorganisationnelle. Une quantité importante d'information peut donc être gérée par plusieurs usagers simultanément. Pour les entreprises, il s'agit là d'un atout majeur pour faire face à la concurrence.

Historiquement, ce type de système de gestion d'information provient des systèmes de gestion d'inventaire du début des années 1960. Entre 1970 et 1980, ces systèmes ont évolué vers la planification des besoins matériels en fonction de la planification de la production avec les systèmes de type «*Material Requirement Planning*» ou MRP. L'évolution s'est poursuivie dans les années 1980 vers la planification de ressources manufacturières avec les systèmes de «*Material Resources Planning*» ou MRP II, suivi des ajouts de fonctionnalités de gestion de finance, de ressources humaines, de gestion de projet et d'ingénierie. Aujourd'hui, la majorité des activités d'une entreprise peuvent être intégrées à un seul système géré par une base de données partagée, ces systèmes sont appelés systèmes ERP (Lee et Lee, 2000;Khan, 2002).

Depuis les années 1990, le marché des systèmes ERP n'a cessé de croître et le paysage n'a également cessé d'évoluer au fil des ans. À l'aube des années 2000, les cinq principaux vendeurs de progiciels de gestion intégrés étaient J.D. Edwards, Bann, Oracle, PeopleSoft et SAP qui détenaient 59% des revenus de l'industrie des ERP. En 2005, AMR Research prédisait un profil de marché tout à fait différent avec les cinq plus importants vendeurs suivants: SAP, Oracle, Sage Group, Microsoft et SSA Global avec une part de marché de 72% (Reilly,

2005). Parmi les grands éditeurs de systèmes ERP, SAP occupe notamment une place importante, avec 80% du marché des très grandes entreprises du Fortune 500 (SAPGroup, 2005).

Aujourd'hui, nous constatons qu'en dépit des efforts considérables requis pour implanter de tels systèmes, plusieurs entreprises remplacent toujours leurs systèmes patrimoniaux par un système ERP. Elles comptent ainsi augmenter la productivité de leurs employés, améliorer leur gestion des opérations et l'accès à l'information nécessaire à la prise de décision rapide (Pellerin et al., 2006). Suite à l'adoption de systèmes ERP par les plus grandes entreprises mondiales du Fortune 500, les enjeux demeurent toujours aussi importants pour les éditeurs de progiciel. Les éditeurs de systèmes ERP se tournent maintenant vers le marché des grandes et moyennes entreprises. Ces solutions sont dorénavant une priorité des éditeurs de systèmes ERP. Elles représentent la clé d'accès aux pays en plein développement industriel, telles l'Inde et la Chine. Devant tous ces efforts en recherche et développement, on constate un marché des progiciels ERP toujours en pleine effervescence (Reilly, 2005), avec ceux-ci toujours au sommet des priorités des entreprises (Rangan et al., 2006).

Actuellement, des milliers de solutions de gestion intégrées sont disponibles et plusieurs éditeurs se livrent concurrence pour offrir un progiciel toujours plus performant. Fait anecdotique : un phénomène sous-jacent du type «*winner-takes-all*» semble caractériser la diffusion de système ERP dans plusieurs secteurs industriels, tels les secteurs pharmaceutiques, aérospatiaux et pétroliers (Pellerin et al., 2006). La rapidité de pénétration d'un marché représenterait la clé du succès pour les éditeurs ERP puisqu'elle permettrait l'acquisition rapide de connaissances spécifiques aux procédés d'un secteur. Ces connaissances étant nécessaires à l'adaptation et l'optimisation de leur solution ERP pour le marché visé. Plus une application arrive à pénétrer un secteur industriel, plus l'éditeur peut en améliorer son contenu et en accroître l'intérêt. Conséquemment, plus d'entreprises seront enclines à l'adopter et à influencer les autres membres du secteur à adopter cette solution. Afin de se tailler une place parmi la concurrence, il est donc important pour les éditeurs de bien comprendre la dynamique de diffusion des ERP au sein de réseaux industriels.

Du point de vue académique, la diffusion d'une innovation semble d'abord influencée par le processus de communication de cette innovation à travers certains canaux dans le temps, parmi les membres d'un système social (Rogers, 2003). On considère ici une innovation comme un ensemble de processus créatifs qui sont appliqués à l'introduction de biens, de services ou de procédés nouveaux ou améliorés (OLFQ, 2006). Dans le cas présent, les innovations qui nous intéressent sont les systèmes ERP. Le système social, ou l'ensemble composé d'éléments interdépendants en interaction constante (OLFQ, 2006), correspond ici au réseau d'entreprises d'un secteur industriel donné. En d'autres termes, le réseau industriel est défini comme étant un diagramme complexe en toile d'araignée d'entreprises connectées par liens directs et indirects avec leurs partenaires et leurs actionnaires. Les liens sont définis comme des conduits à travers lesquels l'information est véhiculée d'un nœud à un autre. Ces liens sont, en fait, un ensemble d'interactions humaines et électroniques par lesquelles de l'information de différentes natures est échangée. Autant l'information circulant dans les liens est diverse, autant les liens qui unissent les entreprises le sont également. Les firmes peuvent être interconnectées directement par droits de propriété ou indirectement par des membres communs au sein de conseils d'administration.

Les liens peuvent aussi relever de la chaîne d'approvisionnement, directement par liens clients/fournisseur, ou indirectement par les liens de leurs partenaires d'affaires. Un réseau industriel complet peut donc lier des centaines d'entreprises directement et des milliers indirectement. L'échange d'information à l'intérieur de réseaux industriels se produit tant aux niveaux tactique que stratégique entre les partenaires du réseau, influençant, par conséquent, la prise de décisions des membres du réseau. D'évidence empirique, la diffusion de l'innovation dans le marché des logiciels semble fortement caractérisée par l'influence du secteur industriel ou l'influence dite réseau (*network effects*). Ce phénomène économique émerge lorsque la valeur du produit est directement liée au nombre d'entreprises ayant adopté le produit. Plus on augmente la masse critique d'utilisateurs, plus le produit prendra de la valeur auprès des consommateurs.

Les systèmes ERP sont exposés à ce type d'influence réseau pour les raisons suivantes :

- Les standards technologiques : les divisions d'une même entreprise et les partenaires industriels dans la même chaine d'approvisionnement profitent de bénéfices opérationnels lorsqu'ils adoptent le même progiciel ERP. La nécessité d'échanger des données et des documents au sein d'une même entreprise, mais également avec d'autres entreprises est notamment plus facile lorsqu'un système d'information commun est utilisé.
- Incorporation des meilleures pratiques d'affaires : l'augmentation du nombre d'adeptes augmente la rétroaction permettant l'amélioration du progiciel. Ce qui signifie qu'un adepte tardif bénéficierait des modifications apportées au progiciel ERP en fonction des implantations successives au sein d'entreprises similaires.
- Diffusion de l'information : Les systèmes ERP offrent une vaste gamme de modules et de solutions. La majorité des entreprises considérant l'adoption d'un système ERP n'ont aucune expérience préalable avec ce type de système d'information. Leurs connaissances sont souvent limitées à l'information obtenue lors de conversation avec différents partenaires d'affaires. L'influence de leur réseau d'affaires est donc un facteur important dans la diffusion de système ERP.

Malgré le fait que la théorie de la diffusion reconnaît depuis longtemps ce genre de comportement de propagation par réseautage dans le segment des innovations logicielles, aucun modèle ne quantifie spécifiquement ce phénomène. Si un éditeur ERP cherchait à mesurer différentes stratégies de pénétration de marché, comment pourrait-il prédire le comportement de diffusion de son innovation au sein d'un secteur industriel ?

En réponse à cette problématique, nous cherchons ici à proposer un modèle de propagation de progiciels de gestion intégrée au sein de réseaux d'affaires, en tenant compte des caractéristiques du réseau et de l'influence de la publicité. Les caractéristiques réseaux correspondent aux relations entre l'entreprise et le secteur industriel où elle évolue (les relations

clients/fournisseurs, les liens inter-sociétés, les compétiteurs, etc.). En ce qui concerne les caractéristiques publicitaires, il s'agit surtout d'ajouter au modèle l'influence des médias de masse sur la décision d'adoption. Le but du modèle de diffusion est de décrire la croissance du nombre d'adeptes et de prédire la progression d'un processus de diffusion déjà en cours (Mahajan, Muller et Bass, 1990). C'est principalement sur ce dernier aspect de la modélisation de la diffusion que porte l'intérêt de ce projet de recherche. Cette habileté à modéliser ce processus de propagation permettra aux éditeurs ERP de mieux comprendre la dynamique de sélection d'un système ERP.

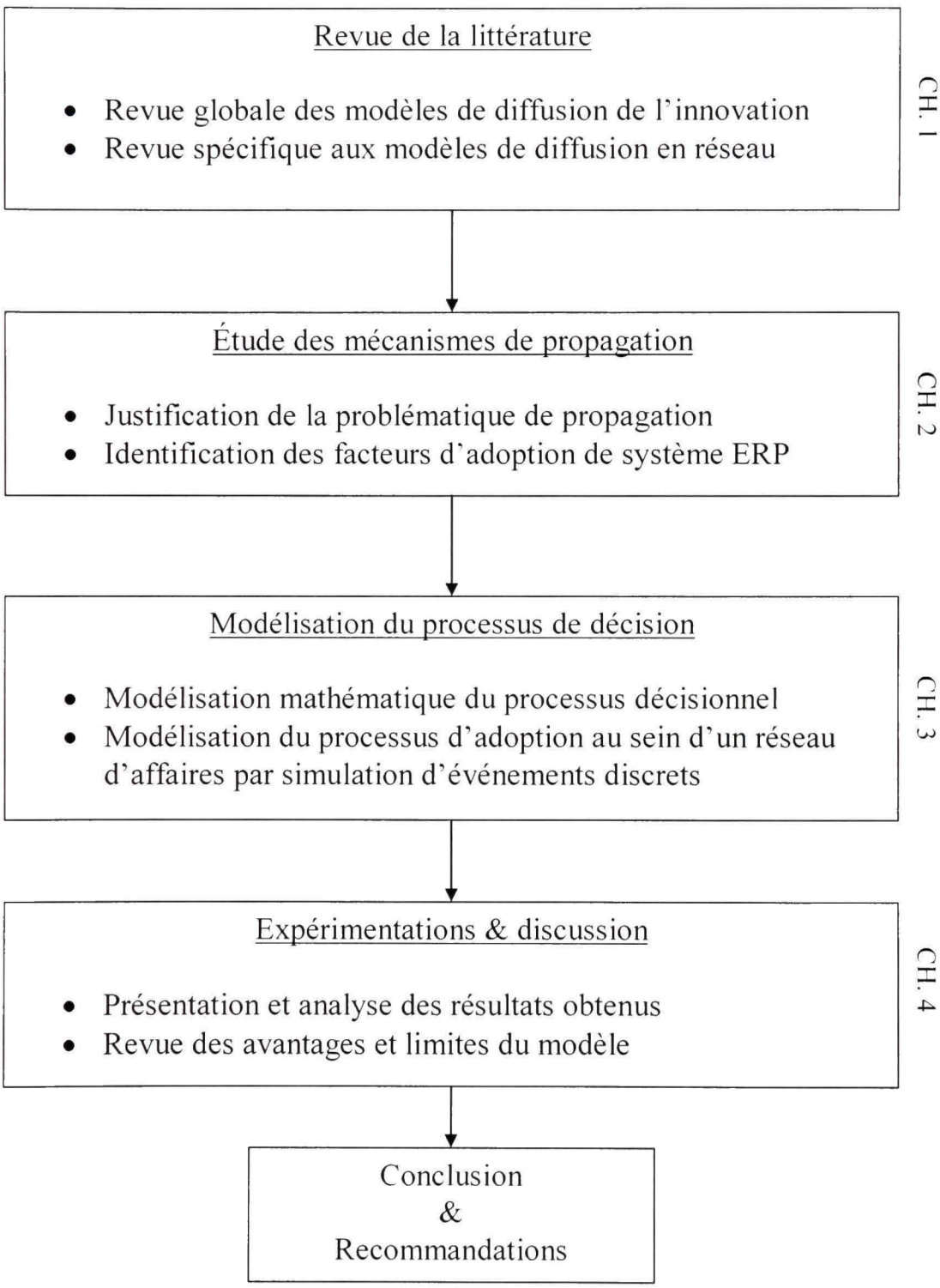
L'originalité de ce projet réside dans l'approche d'analyse de la diffusion de ces systèmes ERP. Nous considérons aborder ces systèmes du point de vue de la propagation épidémiologique à l'intérieur de réseaux industriels définis. C'est-à-dire que nous comptons analyser le comportement d'adoption des entreprises de façon similaire à celle où l'on contracte un virus à l'aide de la simulation. Une entreprise peut donc être infectée (possédant un système ERP) ou non (susceptible d'en posséder un). Si une entreprise ne possède toujours pas de système ERP, elle est donc susceptible d'en adopter un (d'être infecté) sous l'influence d'un de ses contacts immédiats.

L'étude et l'analyse de la dynamique de la trajectoire d'adoption représentent donc les objets de recherche principaux de ce mémoire. Cette meilleure compréhension du phénomène, intégrée à un modèle de simulation de propagation en milieu industriel, favorisera l'identification des adeptes. De cette façon, l'éditeur de système ERP pourra déterminer comment orienter ses efforts de commercialisation.

La réalisation de ce projet de maîtrise est composée de quatre chapitres principaux correspondant aux objectifs généraux : la revue des modèles existants, l'étude des mécanismes de propagation, la modélisation du processus de décision, l'expérimentation et l'analyse. Pour chacun de ces chapitres, une série d'activités répondant aux objectifs spécifiques sera accomplie (réf. figure p.7). Le premier chapitre correspond à la revue de la littérature. Cette revue permet de mettre en évidence les modèles de diffusion de l'innovation existants, leurs carac-

téristiques et les liens existant entre ces modèles et le présent projet de recherche. Le deuxième chapitre présente d'abord une justification de la problématique de propagation pour ensuite présenter, l'identification et la pondération des facteurs d'adoption propres aux systèmes ERP. Toujours en continuité avec les modèles de diffusion identifiés dans la revue littéraire et la modélisation du processus décisionnel, le chapitre 3 consiste à développer et à modéliser le processus de propagation d'un système ERP dans un réseau donné, tant mathématiquement que par simulation. En ce qui concerne le dernier chapitre, il s'agit essentiellement d'expérimentations par la simulation de phénomènes de propagation dans divers types de réseaux et de l'interprétation des résultats obtenus. Une analyse des avantages et limitations du modèle développé y sera finalement effectuée. Finalement, un résumé des résultats de recherche sera exposé en conclusion et quelques recommandations seront formulées pour de futurs développements.

Méthodologie du projet de recherche



En conclusion, il est important de noter que ce projet s'intègre à un projet de plus grande envergure portant sur la diffusion des systèmes d'entreprises, impliquant l'École de Technologie Supérieure (ÉTS), l'École des Hautes Études Commerciales (HEC) ainsi que l'École Polytechnique de Montréal. C'est grâce à cette collaboration que les compétences particulières de chacun seront mises à profit. Ce projet multidisciplinaire s'articule autour de deux phases. Une première phase d'acquisition et de validation de données est d'abord faite par le HEC. De cette façon, un réseau de connexions industrielles sera mis sur pied et une identification des éléments d'adoption influents d'un système sera menée. Ensuite arrive la phase de modélisation et d'expérimentations. Cette phase sera traitée conjointement par le département de génie de la production automatisée (GPA) de l'ÉTS et le département de Mathématiques et Génie Industriel de l'École Polytechnique de Montréal. Le modèle développé dans le cadre de ce projet sera utilisé en phase deux, comme base à l'élaboration d'un modèle de simulation plus complexe permettant l'expérimentation de différents secteurs industriels en temps réel.

Ce mémoire se veut donc un travail exploratoire sur lequel s'appuieront des recherches subséquentes permettant d'amener une nouvelle façon d'aborder la mise en marché d'une innovation de type ERP. Les résultats de ce projet seront utilisés en dernière phase du projet, où un modèle de simulation en temps réel robuste sera mis sur pied. À la fin du projet global, un nouvel outil d'optimisation de stratégie de commercialisation de progiciel ERP sera disponible. Dans l'immédiat, ce projet apportera une contribution scientifique aux modèles réseaux quantitatifs. L'analyse statistique de réseaux sociaux est difficile en raison de la complexité des structures réseaux constituant leur développement. En modélisant par simulation d'une série d'événements discrets, ce projet permettra une meilleure compréhension de la dynamique des modèles longitudinaux, en apportant un support visuel au développement du réseau.

CHAPITRE 1

REVUE DE LA LITTÉRATURE

1.1 Introduction

On réfère généralement à la diffusion d'innovations lorsque l'on traite de la propagation d'idées, d'opinion ou de produits (Valente, 1995). De façon plus formelle, la diffusion d'une innovation est définie comme un processus de communication de cette innovation à travers certains canaux, parmi les membres d'un système social donné et défini dans le temps (Rogers, 2003). Selon cette définition, le processus de diffusion est constitué de quatre éléments clés, soit : l'innovation, les canaux de communication, le temps et le système social. On considère ici comme une innovation un ensemble de processus créatifs qui sont appliqués à l'introduction de biens, de services ou de procédés nouveaux ou améliorés (OLFQ, 2006). Le système social est l'ensemble composé d'éléments interdépendants en interaction constante (OLFQ, 2006) dont les membres peuvent correspondre tant à des individus, qu'à des groupes informels, qu'à des organisations reconnues ou des sous-systèmes (Rogers, 2003).

La diffusion au sein de divers réseaux a été grandement étudiée au fil des ans. Les racines de la littérature concernant la diffusion d'une innovation sont issues de domaines divers dont l'économie, la sociologie, le marketing, l'anthropologie et la gestion des technologies (Valente, 1995; Rogers, 2003). Jusqu'à présent, plusieurs chercheurs dans ces domaines ont étudié la diffusion d'innovation au sein de réseaux en se concentrant surtout sur les facteurs d'adoption et les modèles prévisionnels. Plusieurs études originent également du domaine de l'épidémiologie. Dans ce domaine, les influences réseaux sont décrites à l'intérieur de modèle de propagation de maladies contagieuses par la probabilité de contraction de la maladie de chaque individu.

Tel que mentionné en introduction, un système de gestion ERP présente également des caractéristiques réseaux. Ces caractéristiques font en sorte que l'adoption de système ERP par une entreprise est influencée par la dynamique d'adoption du réseau dont elle fait partie. C'est en

s'inspirant des découvertes en sciences économiques, sociales et médicales que nous construirons un modèle prenant en compte les aspects d'adoption de type réseaux et publicitaires. Ce chapitre présente donc les bases du modèle avec une revue de la littérature touchant la diffusion d'une innovation. Cette revue littéraire est organisée en trois parties : la première comporte une revue des principaux concepts de diffusion, la deuxième traite des modèles quantitatifs importants et la troisième propose une revue spécifique des modèles de diffusion en réseau.

1.2 Les principaux concepts de diffusion de l'innovation

Dans ce qui suit, nous présentons une synthèse des principaux concepts définissant la diffusion de l'innovation. En effet, depuis la publication des premiers travaux de Rogers et de Bass durant les années 60-70, la modélisation et la prévision de la diffusion d'une innovation sont devenues des sujets d'intérêts ; non seulement du point de vue académique, mais également du point de vue pratique. C'est donc à ce moment que la recherche en modélisation de diffusion d'innovation a pris son envol. On trouve une littérature abondante traitant tant des paramètres d'adoption que du processus d'estimation de la diffusion lui-même. Le tableau 1.1, présenté en page 28, résume bien l'évolution dans le temps des principaux concepts et modèles de diffusion de l'innovation. Les principaux concepts sont traités en détails dans cette section et le développement des modèles quantitatifs caractérisant la diffusion d'innovations sera couvert dans la prochaine section.

Débutons d'abord avec la revue des concepts élaborés au cours du dernier siècle visant à définir le processus de diffusion de l'innovation. C'est en 1903 que Gabriel Tarde, le père de la sociologie française, traça les premières lignes de la diffusion de l'innovation. Pour Gabriel Tarde, l'étude de la diffusion de l'innovation était à la base de l'explication des changements de comportements humains, ce qui était très avant-gardiste pour l'époque. M. Tarde tentait de comprendre pourquoi sur 100 innovations diffusées au même moment, seulement 10 d'entre elles perçaient le marché, alors que 90 étaient oubliées. Ces recherches l'ont menées à

l'élaboration de la courbe d'adoption en S. Cette courbe décrivait ce dont il appelait la «Loi de l'imitation». Cette Loi correspond maintenant à la Loi de l'adoption telle que définie dans la terminologie actuelle (voir la Figure 1.1). Tarde reconnaissait alors le phénomène de «*Take-Off*» ou démarrage dans le processus de diffusion d'une innovation. Selon lui, ce phénomène se produisait lorsque les personnes influentes d'un système social adoptaient une innovation (Rogers, 2003). L'importance de ses découvertes est considérable en termes d'influence sur les développements futurs des recherches en diffusion. La grande majorité des modèles mathématiques développés concernant la diffusion de l'innovation seront basés sur cette prémisse.

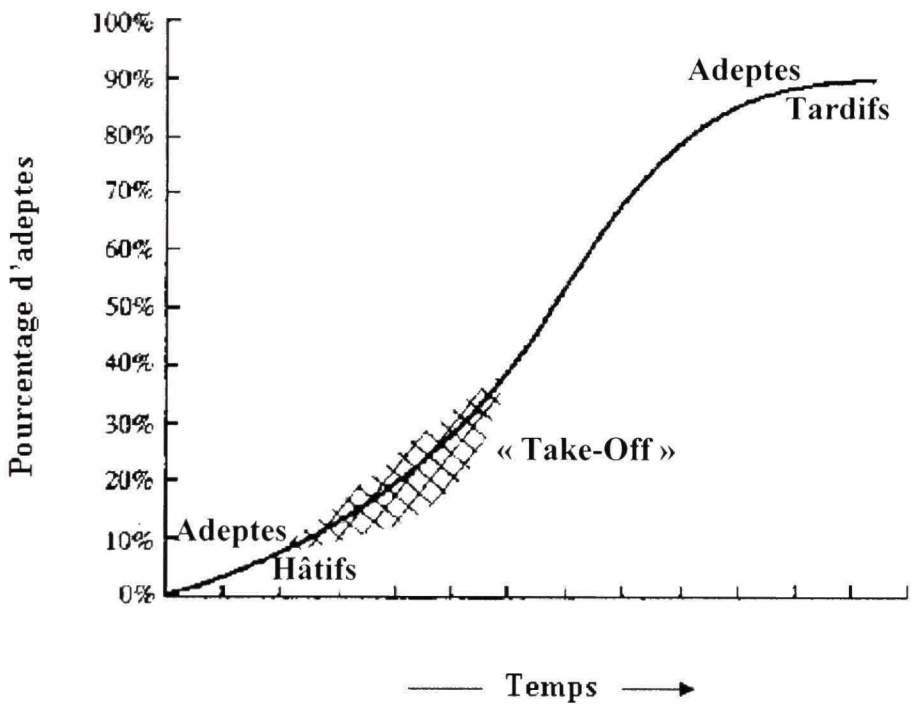


Figure 1.1 Le processus de diffusion[1]

Approximativement au même moment (1908), Georg Simmel, le père de la sociologie allemande, a défini le concept d'étranger qui sera réutilisé plus tard dans la compréhension de la

[1] Figure adaptée de Borgatti, Stephen P., et Pacey C. Foster. (2003)

diffusion de l'innovation au sein d'un réseau social. Simmel définit un étranger comme un individu membre d'un système social, mais qui n'y est pas fortement rattaché. Simmel postule donc que ce type d'individu plutôt désengagé possède un point de vue unique du système. Ses recherches apportaient là un outil conceptuel utile à la sociologie étudiant les réseaux de communication. Le parallèle entre le comportement des «innovateurs» (décrit plus tard) et le concept d'étranger deviendra évident. L'innovateur, tel un étranger, peut dévier plus facilement des normes en étant le premier à adopter de nouvelles idées (Rogers, 2003).

Les prochains développements ne seront présentés qu'en 1943 grâce aux efforts de recherche en sociologie rurale de Ryan et Gross. C'est grâce à ses études que les paradigmes de bases ont pu être mis en place. Les intérêts principaux de ces chercheurs sont les problèmes sociaux de la vie rurale, très présente dans les années 1940. L'agriculture occupant une grande place dans l'économie à cette époque, les sociologues ruraux sont particulièrement mis à contribution lors de la diffusion d'innovation permettant une augmentation de la production. L'étude de Ryan et Gross (1943) est l'une des études les plus influentes dans le domaine. Elle traite de la diffusion de semences de maïs hybrides en Iowa. À cette époque, les fermiers devaient récupérer les semences de leurs meilleurs plants pour les plantations subséquentes. Les semences hybrides, développées par les scientifiques de l'Université d'Iowa, permettaient une augmentation de la production de 20% par rapport à la méthode traditionnelle, en plus d'offrir des semences plus résistantes à la sécheresse. Le changement majeur de cette innovation, est qu'avec l'arrivée des semences hybrides, les gens devenaient dépendants du commerce agricole. Cette étude a été effectuée sur une période de treize ans (1928-1941) au sein de la communauté agricole de l'Iowa, et au-delà de 345 entrevues ont été menées. Les chercheurs ont cherché à déterminer l'année d'adoption, le moyen de communication de l'innovation (vendeur ou fermier voisin), le pourcentage de la plantation utilisant la semence hybride et certaines caractéristiques personnelles du fermier (âge, éducation, taille de la ferme, revenus, fréquence de voyage, abonnement à un magazine agricole). Au terme de cette étude et à la lumière des résultats obtenus, Ryan et Gross ont constaté en traçant le cumulatif des adoptions chaque année, que le taux d'adoption suivait bien la courbe en S décrite par Trade en 1903. Leurs découvertes suggéraient également que les vendeurs repré-

sentaient un canal de communication plus important pour les premiers adeptes, alors que les adeptes tardifs étaient plus influencés par leur voisinage (Rogers, 2003). Suite à ces observations, ils sont parvenus à catégoriser les adeptes en quatre différents groupes, soit : les innovateurs, les adeptes hâtifs, la majorité hâtive/tardive et les retardataires (Mason, 2003).

En 1954, la compagnie Pfizer cherchait à savoir l'influence des publicités dans les journaux médicaux sur l'adoption de nouveaux médicaments. Suite aux travaux de recherche sur la diffusion de la tétracycline comme antibiotique pour la compagnie Pfizer, Katz (1957) a pu apporter une distinction entre les adeptes de type «*opinion leader*» ou les prescripteurs (OLFQ, 2007b), et les adeptes de type «*opinion follower*» ou les disciples d'avis (Softissimo, 2007). Cette recherche, en plus de confirmer les découvertes de Ryan et Gross, a permise de mettre en lumière la nature des relations interpersonnelles dans un réseau. Les découvertes confirmaient l'importance de l'influence des relations entre les médias et ces prescripteurs (soit ces innovateurs définis plus tôt), en plus d'établir l'importance du rôle que jouent les «*opinion leader*» dans le démarrage de la courbe d'adoption. À partir de ce moment, ce sont surtout les relations interpersonnelles qui influencent les disciples d'avis.

Ce sera cependant, seulement en 1962 que l'on commencera plus officiellement à parler de la diffusion de l'innovation avec la définition plus complète et formelle fournie par Rogers (Mason, 2003; Wikipedia, 2006). Rogers définit ainsi la diffusion de l'innovation comme étant un processus par lequel une innovation est communiquée dans le temps par certains moyens de communication parmi les membres d'un système social (Rogers, 2003). Il définit le procédé de diffusion par le biais de quatre éléments clés : l'innovation, les moyens de communications, le temps et le système social (Mahajan, Muller et Bass, 1990). Rogers catégorise alors les moyens de communication en deux groupes : les médias de masse et les communications interpersonnelles. Les médias de masse permettent de rejoindre rapidement une vaste audience d'adeptes potentiels, alors que les communications interpersonnelles sont plus persuasives. Il a été noté que dans la majorité des cas, les gens ne se basent pas sur les évaluations objectives de l'adoption d'une innovation, mais plutôt sur l'évaluation subjective de leurs semblables (Rogers, 2003). La définition de la diffusion de l'innovation de Rogers

poursuit le travail de ses prédécesseurs en incluant une catégorisation des types d'adeptes basée sur l'innovativité selon une distribution normale.

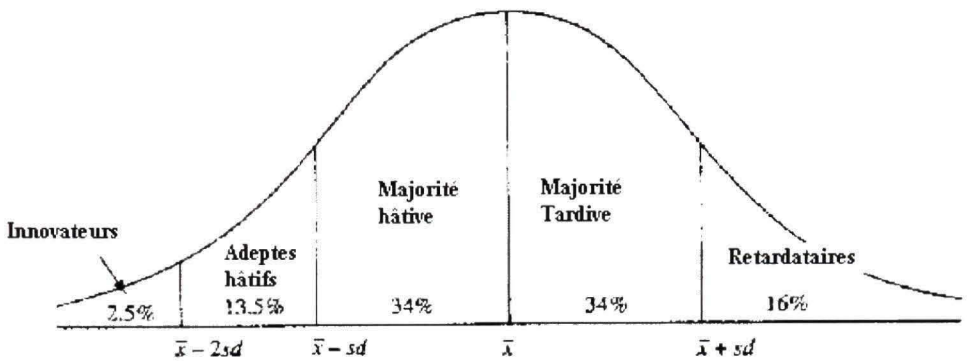


Figure 1.2 Catégorisation des adeptes sur la base de l'innovativité[2]

Dans la théorie de la diffusion de l'innovation, le terme innovativité ou potentiel d'innovation est employé afin de décrire le degré auquel un individu adopte une innovation plus tôt par rapport aux autres membres du système social. Sur la base de l'innovativité, Rogers (1962) partitionne les adeptes en cinq catégories distancées par une déviation standard (sd) du temps d'adoption moyen ($\bar{x}$). Cette répartition des types d'adeptes en fonction du moment d'adoption met en lumière les caractéristiques dominantes de chacun. Ainsi, les innovateurs sont perçus comme des personnes aventurières souvent visionnaires et prêtes à assumer les risques de l'adoption d'une innovation. En plus, ils sont capables de comprendre et d'appliquer les nouvelles connaissances technologiques. Leur satisfaction face à leur nouvelle adoption joue un rôle crucial dans la diffusion de cette innovation. Les adeptes hâtifs sont des membres bien informés et très respectés pour leurs prises de positions judicieuses. Ils servent de modèles et sont souvent des personnes influentes ou ces prescripteurs définis plus tôt. Leur évaluation de l'adoption donne le ton à la diffusion de l'innovation en réduisant l'incertitude face à celle-ci lorsqu'ils en ont une opinion favorable. La majorité hâtive correspond aux membres prenant des décisions délibérées ne voulant pas être ni les premiers ni les derniers à adopter. La majorité tardive est septique et prend souvent de décision sous le poids

[2] Figure adapté de Rogers, Everett M. (2003)

de la pression sociale et de la nécessité économique. Les retardataires sont des personnes conservatrices et rébarbatives aux changements. Les études recensées dans le livre de Rogers (2003) indiquent également que les premiers adeptes (innovateurs et hâtifs) ont généralement un statut socioéconomique plus élevé que les adeptes dits tardifs. Ils voyagent plus et sont actifs socialement. Quant aux retardataires, ils ont souvent été identifiés comme des membres isolés du système social, entre autres, à cause de leur situation économique précaire. Pour compléter sa théorie de la diffusion de l'innovation, Rogers a défini les variables déterminant le taux d'adoption en fonction des quatre éléments clés : l'innovation, les moyens de communication, le temps et le système social.

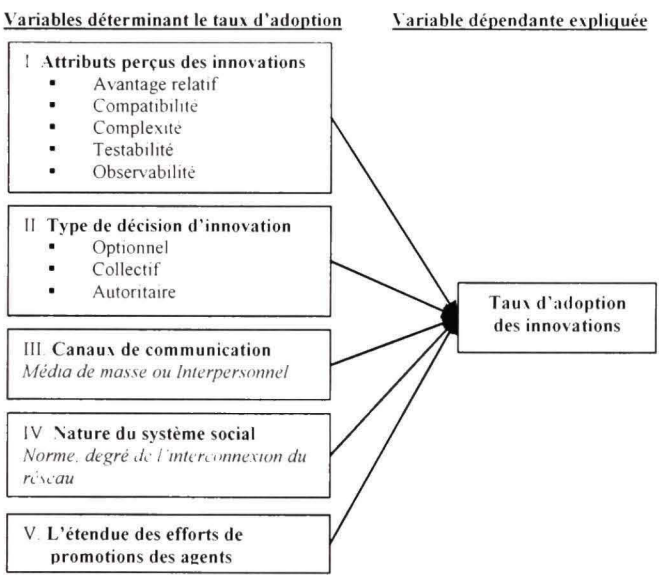


Figure 1.3 Les variables déterminant le taux d'adoption des innovations[3]

Il y définit le taux d'adoption comme étant la vitesse relative à laquelle une innovation est adoptée pas les membres d'un système social. Parmi les cinq variables déterminant le taux d'adoption, les variables les plus complexes à mesurer sont les attributs perçus des innovations. Ce sont ces attributs qui permettent de comprendre comment les adeptes potentiels perçoivent les nouvelles idées par rapport aux précédentes. L'individu fait donc une analyse

[3] Figure adaptée de Ibid.

comparant le coût et les bénéfices de l'innovation et se laisse influencer par la perception des attributs suivants :

- L'avantage relatif : À quel point ce changement m'avantagera par rapport à ce qui est utilisé maintenant ?
- La compatibilité : Cette innovation est-elle consistante avec mes besoins, mes valeurs et mes expériences passées ?
- La complexité : L'innovation, est-elle difficile à utiliser, à comprendre ?
- La testabilité : Puis-je expérimenter cette innovation avant de l'adopter ?
- L'observabilité : Comment sera-t-il possible d'observer les résultats de l'adoption ?

En ce qui a trait à l'évolution conceptuelle de la théorie de la diffusion, il a fallu attendre les années 1990-2000 pour que plusieurs modifications considérables voient le jour. L'enjeu à l'aube des années 2000 étant plus du côté de la diffusion d'innovation au sein d'organisation, la grande majorité des découvertes faites de 1990 à aujourd'hui traite de cette problématique. L'historique de ces découvertes sera traité en deuxième partie de cette revue de la littérature. Un dernier apport considérable à la théorie de la diffusion de l'innovation du point de vue individuel consiste à la formalisation du processus de décision de l'adoption d'une nouvelle innovation faite par Rogers en 1995. Cette formalisation du processus s'effectue en cinq étapes (Mason, 2003). Ce processus en est un à travers lequel un individu passe de la connaissance d'une innovation, à la formation d'une opinion, à la décision d'adoption ou de rejet pour terminer par l'implantation et la confirmation de la décision (voir figure 1.41).

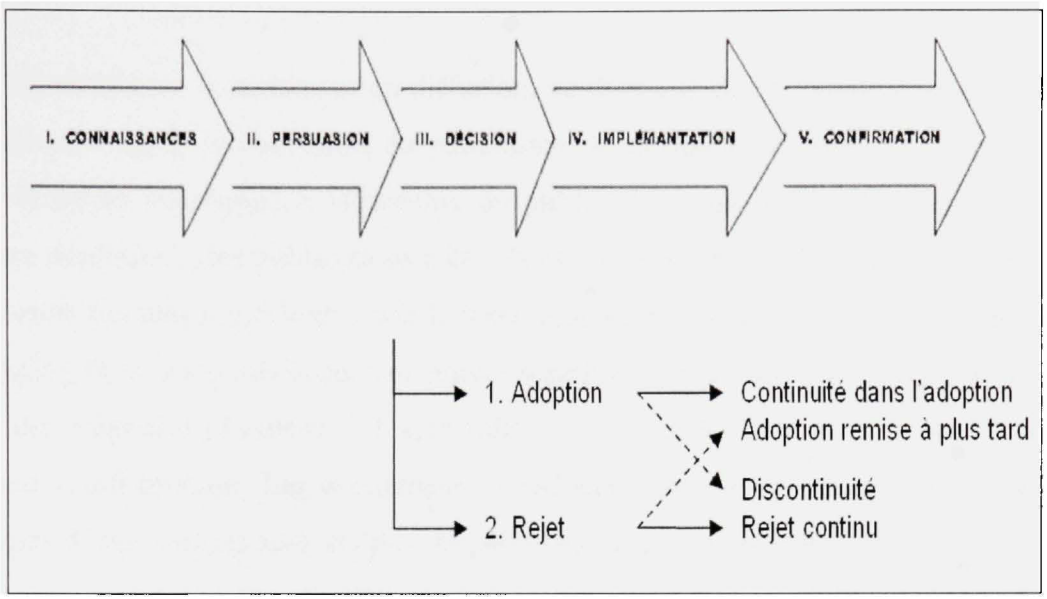


Figure 1.4 Les cinq stages du processus de décision d'adoption[4]

Quelques conditions sont généralement préalables à la mise en marche du processus d'adoption d'une innovation. Il existe un stade où ce besoin de changement se fait ressentir que ce soit à cause de problèmes encourus au travail, d'une nouvelle norme dans l'industrie ou d'un besoin d'amélioration pour faire face à la concurrence. Chacune des cinq étapes est définie par une série de caractéristiques lui étant propres. Le stage de la connaissance (I) correspond à une accumulation d'information, une compréhension du message permettant une adoption effective de l'innovation. Le second stage, la persuasion (II), relève de l'acceptation du message, de l'échange d'opinions avec d'autres membres du système, de la formation d'une image positive de l'innovation et de l'assurance de support du système face à l'adoption de comportements innovateurs. La prise de décision (III) met en lumière l'intention d'en savoir plus sur l'innovation et de mettre en pratique les connaissances acquises. L'action se situe au stage d'implantation (IV) où l'on procède à l'acquisition et à l'utilisation. Puis finalement, arrive la phase de maintenance ou le stage de confirmation (V), c'est à ce moment que les bénéfices de l'adoption commencent à être tangibles et que l'on débute la promotion de l'innovation (Rogers, 2003).

[4] Figure adaptée de Ibid.

Depuis les débuts de la recherche en diffusion, ce domaine de recherche a pris de l'ampleur principalement après la formation du paradigme de diffusion de Ryan et Gross (1943). À chaque décennie subséquente, le nombre de publications ont augmenté jusqu'en 1980. En 1980, une diminution des publications a été observée (Rogers, 2003). Les recherches ont touché plusieurs domaines différents, soit la sociologie rurale, la géographie, la communication, le marketing et la santé publique. Les phénomènes tels l'Internet, les épidémies de SIDA et les grandes tragédies (Tsunami, 11 septembre, etc.) stimulent cet intérêt pour la diffusion d'innovation/information. Les événements mondiaux, jusqu'à un certain point, déterminent quels types d'innovations sont les plus importantes et, par conséquent, quelles disciplines de recherche seront impliquées dans l'étude de leur diffusion (Rogers, 2003).

1.3 Les modèles quantitatifs de diffusion de l'innovation

Afin de compléter cette revue globale de la diffusion de l'innovation, la présente section propose une synthèse des modèles quantitatifs constituant la base ainsi que les principales extensions développées par la suite. L'ensemble des modèles retenus sont présentés sous forme de tableau résumé à la fin de la présente section (voir le Tableau 1.1). Les articles de Mahajan, Muller et Bass (1990) et de Nigel et Islam (2006) ont permis de retracer les principaux développements de 1960 à aujourd'hui.

La mise en place des principaux modèles de base s'est effectuée au cours des années 1960. Le besoin de modélisation visait à décrire la croissance du nombre d'adeptes et prédire la progression d'un processus de diffusion déjà en cours. On retrouve parmi les premières modélisations, celles de Von Bertalanffy (1957), Fourt et Woodlock (1960), Mansfield (1961), Floyd (1962), Nelder (1962), Rogers (1962), Chow (1967) et Bass (1969). Ces modèles de diffusion de l'innovation se sont concentrés sur le développement de courbes de cycle de vie d'une innovation dans le but de prédire les ventes de premier achat d'une innovation. Lorsque l'on parle de modèle de diffusion de premier achat, on suppose que sur l'horizon de pla-

nification, il n'y a pas de répétition, c'est-à-dire qu'on adopte l'innovation/technologie qu'une seule fois par adepte. Le nombre d'adeptes correspond donc aux ventes. Ce type de modèle est particulièrement important dans la modélisation de la diffusion de système ERP, comme c'est le cas du présent rapport. En fait, étant donné le prix, les délais d'implantations et les efforts de changements, la diffusion de système ERP peut être considérée comme une diffusion de premier achat. Les premiers modèles de diffusion de l'innovation ont pour but principal de décrire les aspects de pénétration de marché (facteurs qui inhibent ou favorisent l'adoption) et de saturation de marché d'un processus de diffusion. Du point de vue mathématique, l'estimation des paramètres de ces modèles se faisait principalement par la méthode classique des moindres carrés basée sur des données antérieures. Par la suite, l'estimation sans donnée antérieure disponible pourra être effectuée par procédés d'estimation par attributs. Ces procédés utilisent les attributs de produits ou de marchés analogues afin d'estimer les valeurs des paramètres d'équations. D'autres méthodes seront également développées dans le cas d'estimation avec recourt à des données antérieures, soit : une estimation des paramètres statiques dans le temps (maximum likelihood, moindres carrés non linéaire) ou variable dans le temps (estimation Bayesienne, filtres rétroactifs).

Au cours des deux décennies suivantes (70-80), plusieurs extensions et généralisation des premiers modèles de base ont été mises de l'avant. Selon l'article de Mahajan, Muller & Bass (1990), ces modifications se regroupent en trois catégories principales, soit :

1. l'introduction de variables de marketing (Robinson & Lakhani en 1975, Lattin & Robert en 1989)
2. la généralisation/extension de modèles existants (Sharif & Kabir en 1976, DodsonJr & Muller en 1978, Bass & Norton en 1987)
3. l'ajout de flexibilité aux modèles existants (Easingwood, Mahajan & Muller en 1981, Easingwood, Mahajan & Muller en 1983, Bewley & Fiebeg en 1988).

En ce qui concerne la modélisation du phénomène de diffusion d'une innovation, Von Bertalanffy, en 1957, fût l'un des premiers à représenter le phénomène sous forme mathématique. Il proposa un modèle visant à définir la diffusion d'innovations agricoles, décrit comme suit :

$$dF/dt = \frac{q}{1-\theta} F^{\theta} \left(1 - F^{\theta-1}\right) \tag{1.1}$$

où

$F(t)$: fraction cumulative d'adeptes au temps t

q : influence interne (interpersonnelle) ou effet d'imitation

θ : cst de pondération

Ce type de modèle offre une solution fermée permettant d'exprimer le nombre d'adoption cumulatif en fonction du temps, tout en assumant une influence interne diminuant avec le temps. Ce modèle permet également une diffusion de type symétrique ou non symétrique par rapport au point d'inflexion. Un modèle identique à celui proposé par Bertalanffy a été proposé en 1962 par Nelder avec comme variante l'utilisation d'une constante ϕ qui correspond à $\phi = \theta - 1$ (Mahajan, Muller et Bass, 1990).

En 1960, Fourt et Woodlock ont proposé un modèle de diffusion de produits alimentaires en basant leur processus de diffusion sur l'influence des médias de masse (p). L'année suivante, Mansfield a proposé un processus de diffusion pour une famille de produits industriels et de haute technologie basé sur l'influence du bouche-à-oreille (q). Suivant le même raisonnement que Mansfield, Floyd a proposé en 1962 un modèle de diffusion basé sur l'influence des communications interpersonnelles dont le comportement du coefficient d'influence interne diffère du modèle logistique proposé par Mansfield. Le modèle de Floyd suppose une diminution de l'influence interne dans le temps alors que le modèle de Mansfield assume une influence interne constante. Le taux d'adoption d'une innovation au sein d'une population y est donc représenté comme suit (Mahajan, Muller et Bass, 1990) :

$$dF/dt = qF\left(1 - F\right)^2 \tag{1.2}$$

En 1976, Sharif et Kabir ont proposé une combinaison de ces deux modèles en y ajoutant une variable reliée à la fonction de densité d'adoption afin de caractériser la diffusion d'innovations industrielles (Mahajan, Muller et Bass, 1990; Nigel et Islam, 2006). Une autre extension du modèle de Mansfield que l'on retrouve dans le tableau résumé de la fin de la présente section est le modèle de diffusion flexible proposé par Easingwood, Mahajan & Muller (1981). Cette extension (NSRL – *NonSymmetric Responding Logistic*) ajoute de la flexibilité au modèle en permettant à l'effet de l'influence interne d'augmenter, de diminuer ou de demeurer constant sur la période de temps considérée. Cette latitude a été fort utile dans la modélisation de la diffusion d'innovations médicales. Finalement, un dernier modèle dérivé du modèle de Mansfield est celui de Bewley et Fiebeg utilisé en télécommunications. Le modèle FLOG – *Flexible Logistic Growth*, permet une variation systématique du coefficient d'influence interne en fonction du temps et offre également une solution fermée, ce qui permet d'exprimer le nombre cumulatif d'adeptes en fonction du temps (Mahajan, Muller et Bass, 1990).

Suivant le même courant de pensées, Bass (1969) a proposé un modèle, sans doute le plus connu en matière de diffusion d'une innovation, combinant les modèles de Mansfield et de Fourt et Woodlock. Ainsi, le modèle de Bass suppose que les futurs adeptes sont influencés par les médias de masse et le bouche-à-oreille (Mahajan, Muller et Bass, 1990). Il catégorisa les médias de masse comme influences dites externes et le bouche-à-oreille comme influences internes. Les coefficients d'influence externe et interne sont définis ici par p et q respectivement. Les adeptes d'une innovation s'inscrivent dans deux groupes, l'un influencé par des facteurs externes (médias de masse) nommés les innovateurs et l'autre groupe, les imitateurs, étant influencé par des facteurs internes (bouche-à-oreille). Des forces comportementales innovatrices et imitatives sont supposées comme étant les mécanismes opérateurs du marché. La période d'analyse lors de l'utilisation de ce type de modèle est restreinte de façon à inclure seulement l'intervalle du premier achat, il n'y a donc pas de répétition d'achat dans le modèle de Bass (Dodds, 1973). Ce modèle de Bass en est un de type probabiliste, c'est-à-dire qu'on trouve la probabilité qu'une adoption qui n'est pas arrivée encore, arrive au temps t. La prémisse de base du modèle de Bass est donc la suivante :

$$\frac{f(t)}{[1-F(t)]} = p + qF(t) \tag{1.3}$$

où

$f(t)$: fonction de densité au temps d'adoption t

$F(t)$: fraction cumulative d'adeptes au temps t

p: effet de l'influence externe

q: effet de l'influence interne

Le taux d'adoption d'une innovation correspond alors à:

$$f(t) = dF/dt = (p + qF)(1 - F) \tag{1.4}$$

Si l'on considère un nombre ultime d'adeptes m représentant le marché potentiel et l'on pose les équivalences suivantes :

$mf(t) = n(t)$	le nombre d'adeptes au temps t
$mF(t) = N(t)$	le cumul d'adeptes au temps t
$n(0) = pm$	le nombre d'adeptes initiaux achetant le produit en début de processus.

On obtient une équation différentielle de premier ordre nous permettant de distinguer l'effet de chacun des deux types de canaux de communication (voir la figure 1.5) :

$$n(t) = \frac{dN(t)}{dt} = \underbrace{p[m - N(t)]}_{\text{adoptions d'influences externes}} + \underbrace{\frac{q}{m} N(t)[m - N(t)]}_{\text{adoptions d'influences internes}} \tag{1.5}$$

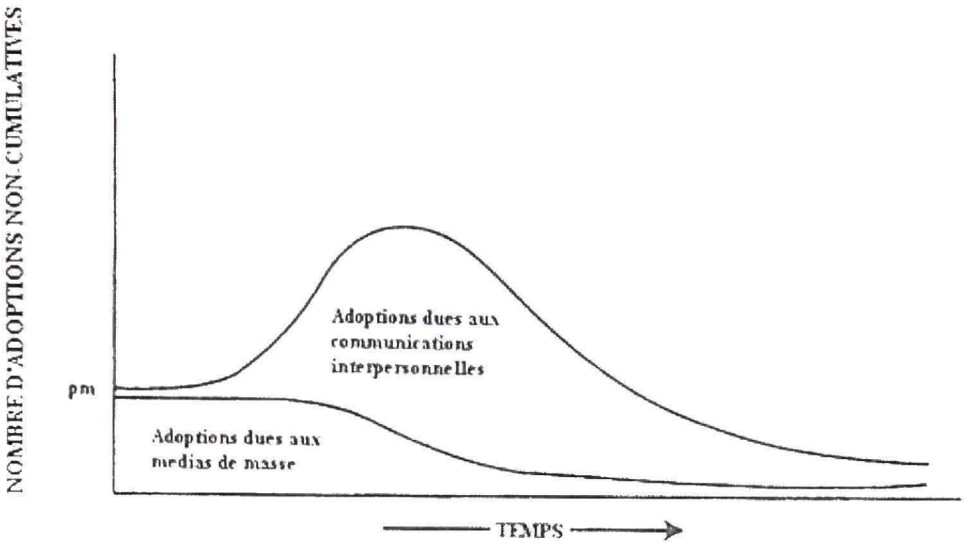


Figure 1.5 Représentation du nombre d'adoption en fonction des canaux de communication[5]

Si l'on résout pour *n(t)* et *N(t)* en fonction des paramètres d'adoption *m*, *p*, *q*, on obtient :

$$N(t) = m\left[\frac{1-e^{-(p+q)t}}{1+\frac{p}{q}e^{-(p+q)t}}\right] \tag{1.6}$$

$$n(t) = m\left[\frac{p(p+q)^2 e^{-(p+q)t}}{(p+qe^{-(p+q)t})^2}\right] \tag{1.7}$$

Et finalement, si l'on prend la différentielle de ces deux équations, on obtient le temps T^*, où survient la masse critique d'adoption :

$$N(T^*) = m\left(\frac{1}{2}-\frac{p}{2q}\right) \tag{1.8}$$

[5] Figures adaptée de Ibid.

$$n(T^*) = \frac{1}{4q}(p+q)^2 \tag{1.9}$$

$$T^* = -\frac{1}{(p+q)}\ln\left(\frac{p}{q}\right) \tag{1.10}$$

Les figures Figure 1.6 et Figure 1.7 illustrent bien les courbes d'évolution de ces deux fonctions.

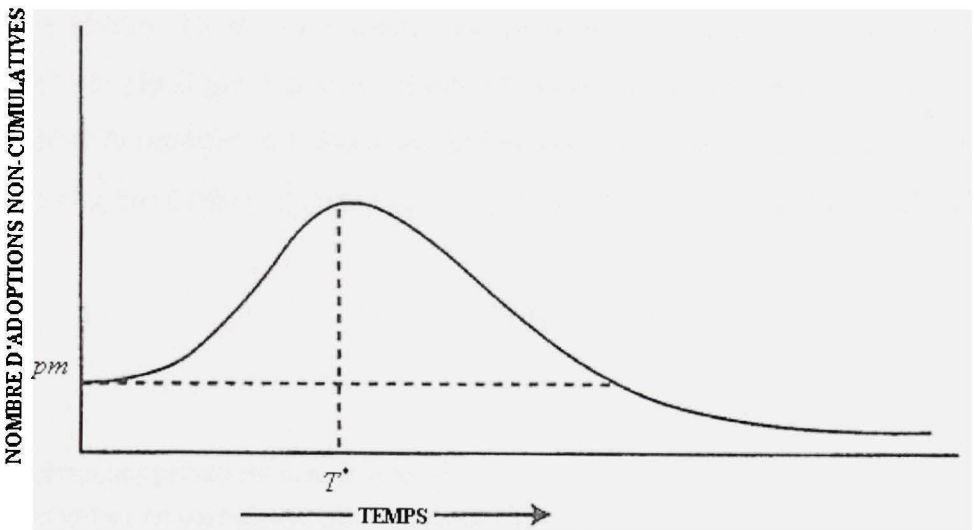


Figure 1.6 Représentation du nombre d'adoption en fonction du temps[5]

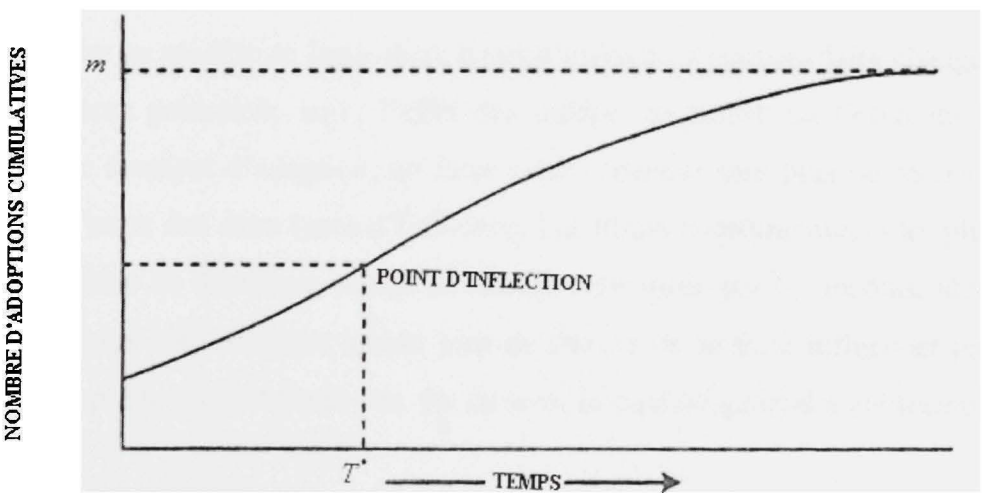


Figure 1.7 Représentation du nombre d'adoption cumulée dans le temps[5]

Le modèle de Bass a fait l'objet d'une multitude de projets de recherche et, par conséquent, de modifications. Le présent rapport ne présente que les extensions et modifications les plus fréquemment utilisées. L'ensemble de ces extensions sont résumées au Tableau 1.1. L'une des premières modifications au modèle de Bass fut apportée par Robinson et Lakhani en 1975, en ajoutant l'impact du coût d'adoption dans la diffusion d'un produit (Nigel et Islam, 2006). Trois ans plus tard, Joe A. Dodson et Eitan Muller ont développé un modèle généralisé de diffusion destiné aux produits de consommation durables, inspiré du modèle de Bass (DodsonJr et Muller, 1978). Le modèle développé permet de bien synthétiser les modèles antérieurs mis en place par Frank M. Bass (1969) et par conséquent de Fourt et Woodlock (1960). Ce modèle représente d'abord les différentes étapes du processus de diffusion par les variables x, y et z qu'il relie au nombre de personnes présentent dans le marché (N).

$$N(t) = x(t) + y(t) + z(t) \tag{1.11}$$

où

$N(t)$: nb de personnes présentent dans le marché

$x(t)$: nb de personnes ne connaissant pas l'existence du produit

$y(t)$: nb de consommateur potentiel connaissant le produit, mais ne l'ayant pas acheté

$z(t)$: nb de consommateur ayant acheté le produit

De façon similaire au modèle de Bass, deux types d'influences peuvent faire changer le statut des consommateurs potentiels, soit : l'effet des médias de masse ou l'effet du bouche-à-oreilles. Selon le moment d'adoption, un futur consommateur sera plus ou moins influencé par l'une et/ou l'autre des deux types d'influence. Les futurs consommateurs les plus innovateurs dans leur prise de décisions, seront davantage influencés par les médias, alors que les consommateurs plus conservateurs auront plus de chance de se faire influencer par les personnes ayant adopté le produit avant eux. En ce sens, le modèle général a été formulé comme suit :

$$\dot{x}(t) = -\beta x(t)\big(y(t) + z(t)\big) - \mu x(t) \tag{1.12}$$

$$\dot{y}(t) = \beta x(t)\big(y(t) + z(t)\big) + \mu x(t) - \gamma y(t) \tag{1.13}$$

$$\dot{z}(t) = \gamma y(t) \tag{1.14}$$

où

β : coefficient quantifiant l'impact de l'effet bouche-à-oreille

μ : coefficient quantifiant l'impact des médias de masse sur la diffusion d'information

γ : coefficient quantifiant l'impact de l'influence du marketing sur l'achat du produit

Dans le cas de l'introduction d'une nouvelle innovation impliquant une amélioration tellement significative comparativement aux autres alternatives, que toute personne devenant au fait de l'existence du produit l'adopterait, on peut considérer $y(t) = 0$ en tout temps. Ce qui correspond au modèle de base de Bass, avec comme coefficients d'innovation et d'imitation, β et μ. Ce cas particulier s'est avéré plus que satisfaisant dans la prédication d'une dizaine de bien de consommation durables. La généralisation du modèle de Bass est également illustrée par ce système d'équations si l'on applique $\mu = 0$ et $z(t) \ll y(t)$. Ce qui correspond à l'introduction d'un nouveau produit faisant face à une résistance considérable. Finalement, le modèle de Fourt et Woodlock correspond à l'application du cas spécial où $y(t) = 0$ (toute personne prenant conscience du produit, l'adopte) et $\beta = 0$ (aucune influence ne provient des autres consommateurs). Ce qui suppose que la seule influence dans le processus de décision correspond au média de masse, créant ainsi une proportion constante de consommateurs potentiels qui achètent le produit à chaque période.

Trois autres modifications aux modèles de Bass sont aussi couramment utilisées. La première a été mise en place en 1983 par Easingwood, Mahajan et Muller. Le modèle NUI – *Non Uniform Influence* - consiste à l'ajout d'un aspect temporel à la nature de l'influence interne (bouche-à-oreille) rendant le modèle de Bass plus flexible. Afin de bien saisir la diffusion de générations successives d'une innovation, Norton et Bass (1987) ont également proposé une modification au modèle original (Mahajan, Muller et Bass, 1990). Lattin et Robert (1989), quant à eux, ont proposé une répartition uniforme de la différence de perception des bénéfi-

ces associés au produit par les futurs adeptes. Cette extension permet d'obtenir une meilleure correspondance avec les prédictions sur les données réelles dans un horizon à court terme comparativement au modèle de Bass. Et finalement, en 2002, Jonathan D. Linton met au point une généralisation du modèle de Bass permettant de modéliser un processus de diffusion de multiples produits, avec un marché constant et un effet d'apprentissage (Linton, 2002). Cette généralisation est utile lorsque l'on vise à connaître le comportement de diffusion d'une innovation apportant un avantage substantiel, mais causant un grand changement nécessitant un apprentissage considérable (*discontinuous and disruptive innovations*).

Parmi les modèles de références en diffusion de l'innovation, il faut aussi mentionner ceux de Rogers (1962) et Chow (1967). Ces modèles ont été toutefois moins utilisés dans l'application de modèle visant à caractériser la diffusion d'une innovation. Le modèle de Rogers est l'un des premiers à utiliser l'argument de population hétérogène comme propice à l'innovation (voir le Tableau 1.1). Les différents profils d'innovateurs sont distribués selon une distribution normale telle que vu à la Figure 1.2. Dans ce contexte, Rogers (2003) spécifie que la diffusion d'une innovation n'aura pas lieu tant qu'une masse critique d'adepte (innovateur et adeptes hâtifs) ne sera pas atteinte. Chow, quant à lui, proposa un modèle basé sur la courbe de Gompertz (Mahajan et Peterson, 1985) afin de caractériser la demande concernant les ordinateurs. Il décrit la croissance de la demande selon deux facteurs, soit : le nombre d'adeptes existant et le nombre ultime d'adeptes potentiels. Chow pose comme hypothèse que le nombre d'adeptes existant exerce une influence positive sur la demande (Chow, 1967).

Cette revue globale des modèles en diffusion de l'innovation démontre à quel point il s'agit d'un vaste domaine de recherche. Un fait important à souligner, tout au long de ces décennies de recherche, le but principal de l'élaboration de ces divers modèles était le développement d'une expertise en prévision de marché. En somme l'évolution de la recherche présentée au tableau suivant se résume en deux domaines de recherche, soit : la recherche comportementale et la recherche commerciale. En recherche comportementale, l'intérêt est de bien caractériser les différents comportements d'adoption des consommateurs. Du côté recherche en ges-

tion commerciale, le focus est principalement mis sur l'application des hypothèses mises de l'avant en recherche comportementale pour développer de nouvelles stratégies de commercialisation. Finalement, c'est en sciences de la gestion et en commerce que la majorité des développements concernant la théorie de la diffusion de l'innovation se sont réalisés. Ces recherches contribuent à l'élaboration de divers modèles visant à décrire et prévoir la diffusion d'innovation à l'intérieur de systèmes sociaux (Mahajan, Muller et Bass, 1990).

Tableau 1.1

Tableau résumé des principaux modèles de diffusion[6]

	Auteur(s)	Modèles	Caractéristiques	Applications	Références
		dF/dt =			
1903	Tarde	Courbe en S	Rôle des personnes influentes sur le démarrage de la diffusion d'une innovation.	Procédés de diffusion	(Mason, 2003; Rogers, 2003)
1908	Simmel	Définition du concept d'étranger dans un système social	Parallèle entre le concept d'étranger et le comportement d'innovateur.	Théorie de la diffusion	(Rogers, 2003)
1943	Ryan et Gross	Définition des catégories d'adeptes	Innovateur Adeptes hâtifs Adeptes tardifs Retardataires	Théorie de la diffusion Agriculture	(Mason, 2003)

[6] Adapté de l'article de Mahajan, Muller et Bass (1990).

1957	Katz	«*opinion leaders*» vs «*opinion followers*»	Distinction en fonction de leur relation avec les médias.	Théorie de la diffusion	(Mason, 2003)
	Von Bertalanffy	$\frac{q}{1-\theta}F^{\theta}\left(1-F^{\theta-1}\right)$	Sln fermée Hypothèse : effet de bouche-à-oreille décroissant	Innovation en agriculture	(Mahajan, Muller et Bass, 1990)
1960	Fourt et Woodlock	$p(1-F)$	Processus de diffusion déterminé par les médias de masse.	Produits Alimentaires	(Fourt et Woodlock, 1960)
1961	Mansfield	$qF(1-F)$	Processus de diffusion déterminé par les communications interpersonnelles	Innovations Industrielles Haute technologies Administration	(Mansfield, 1961; Mahajan, Muller et Bass, 1990)
1962	Rogers	Définition de la diffusion de l'innovation $N(t)=$ $a\int_0^t \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}}\exp\left(\frac{(y-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)dy$	Procédé par lequel une innovation est communiquée à travers certains canaux dans le temps parmi les membres d'un système social.	Théorie de la diffusion	(Rogers, 2003; Nigel et Islam, 2006)
	Floyd	$qF\left(1-F\right)^2$	Processus de diffusion ayant une influence interne décroissante.	Innovations Industrielles	(Floyd, 1962; Mahajan, Muller et Bass, 1990)
1967	Chow	$\frac{dy}{dt} = \alpha y(\log y^* - \log y)$	y : nb d'adepte y* : nb ultime d'adeptes potentiels	Informatique	(Chow, 1967)

1969	Bass	$(p+qF)(1-F)$	$f(t)$: fonction de densité au temps d'adoption t $F(t)$: fraction cumulative d'adeptes au temps t p: effet de l'influence externe q: effet de l'influence interne	Produits de consommation Service au détail Agriculture Éducation Électronique Procédé industriels Photographie	(Erickson, 2003; Bass, 2005)
1975	Robinson et Lakhani	$h(t)=(\beta_0+\beta_1 F(t)) \cdot \exp(-\beta_2 P(t))$ *avec* $P(0)=1$ $h(t)$: probabilité d'adoption $\beta 0$: infl.externe $\beta 1$: infl. interne $\beta 2$: infl. du coût $P(t)$: index du coût	Extension du modèle de Bass en incluant l'impact du prix de l'innovation.	Produits de consommation durables	(Mahajan, Muller et Bass, 1990)
1976	Sharif et Kabir	$\frac{qF(1-F)^2}{1-F(1-\sigma)}$	Combinaison des modèles de Mansfield (1961) et Floyd (1962) utilisant σ comme paramètre relié à la fonction de densité.	Innovations industrielles	(Mahajan, Muller et Bass, 1990; Nigel et Islam, 2006)
1978	Dodson jr. et Muller	$\dot{x}(t)=-\beta x(t)(y(t)+z(t)) - \mu x(t)$ $\dot{y}(t)=\beta x(t)(y(t)+z(t)) + \mu x(t)-\gamma y(t)$ $\dot{z}(t)=\gamma y(t)$	Élaboration d'un modèle de diffusion de l'innovation général, pour les produits de consommation durables.	Produits de consommation durables	(DodsonJr et Muller, 1978)

1981	Easingwood, Mahajan et Muller	NSRL[7] $qF^{\delta}(1-F)$	Ajout de flexibilité au modèle de Mansfield en donnant un aspect temporel à l'influence interne. δ : une cst p=0 de l'éqn. NUI	Innovations médicales	(Mahajan, Muller et Bass, 1990)
1983	Easingwood, Mahajan & Muller	NUI[8] $\left(p+qF^{\delta}\right)(1-F)$	Ajout de flexibilité au modèle de Bass en donnant un aspect temporel à l'influence interne.	Innovations de type: Produits de consommation Service au détail Éducation	(Easingwood, 1987; Mahajan, Muller et Bass, 1990)
1987	Norton & Bass	$S_1 = m_1F_1(t) - m_1F_1(t)F_2(t-\tau_2)$ $S_1 = m_2F_2(t-\tau_2) + m_1F_1(t)F_2(t-\tau_2)$	Généralisation du modèle de Bass pour un processus de diffusion avec générations successives	Produits de consommation durables	(Mahajan, Muller et Bass, 1990)

[7] NSRL : *NonSymmetric Responding Logistic*

[8] NUI: *NonUniform Influence*

1988	Bewley & Fiebeg	FLOG[9] $q\left[\left(1+kt\right)^{\frac{1}{k}}\right]^{\mu-k}$	Processus de diffusion permettant une variation systématique du coefficient d'influence interne en fonction du temps. Sln fermée k & μ : cst	Innovations en télécommunications	(Mahajan, Muller et Bass, 1990)
1989	Lattin & Robert	$N(t) = a + bN(t-1) - \frac{d}{c + N(t-1)}$	a,b,c,d : cst Meilleure correspondance des données sur un horizon à court terme.		(Nigel et Islam, 2006)
1995	Rogers	Définition des différents stages dans l'adoption d'une innovation	Conscience Intérêt Évaluation Essai Adoption	Théorie de la diffusion	(Rogers, 2003)

[9] FLOG : *Flexible Logistic Growth*

2002	Linton	$n(t) = \sum_{1}^{n} i \cdot \left(a_i + b_i \left(\frac{N_i(t)}{m_i} \right)^{(l+d_i)} \right) \cdot \left(m_i - N_i(t) \right) \left(\frac{N_i(t)}{N_i(0)} \right)^{-f_i}$	Généralisation du modèle de Bass pour un processus de diffusion de multiples produits, avec un marché constant et un effet d'apprentissage *a* : cst innovation *b* : cst imitation *c* : cst proportion adepte potentiels *d* : paramètre d'influence non uniforme *N(t)* : cumul. adeptes *Ni(0)* : nb adeptes initiaux *m(t)* : taille du marché *l* : cst *n* : nb de marchés *i* : indice du marché f_i : amélioration due a l'apprentissage du marché i	Innovations complètement différentes, offrant un grand avantage, mais nécessitant un apprentissage considérable.	(Linton, 2002)

De 1990 à aujourd'hui, on assiste surtout à la recherche en diffusion d'innovation sous une perspective dite réseau. On s'intéresse maintenant davantage aux comportements des organisations aux seins de réseaux. La prochaine section de la revue de la littérature porte donc sur les différentes découvertes en propagation d'innovation au sein de réseaux.

1.4 Les modèles de diffusion réseau

Le présent mémoire cherche à analyser le comportement d'adoption des organisations au sein des réseaux et s'intéresse, par conséquent, à la phase décisionnelle du processus d'adoption. Une première étape dans la compréhension de ce phénomène est de réaliser que la diffusion d'une innovation est d'abord un processus social, à l'intérieur duquel les membres prennent une décision suite à discussions avec les membres ayant déjà adoptés (Valente, 1995). C'est pourquoi nous avons jugé essentiel de consacrer une partie de la revue littéraire à la diffusion réseau plus spécifiquement.

Contrairement aux modèles de diffusion de l'innovation plus classiques, ceux inscrits dans une perspective réseau examinent les attributs des unités sociales comme un produit des structures relationnelles et non les attributs des individus les composant (Midanko, 2006). Au même titre que pour les modèles de diffusion classiques, les canaux de communications peuvent être de différentes natures. En ce qui concerne les médias de masse, ce sont pratiquement les mêmes outils qui sont utilisés. Du côté des relations interpersonnelles, la nature de celles-ci varie. Il s'agit de liens économiques, politiques, professionnels (appartenance à une organisation, un ordre professionnel), stratégiques (client/fournisseur, compétiteurs, conseils administratifs), etc. Ces liens sont également structurés d'une façon bien précise dans l'espace, qui, lors d'analyse de propagation d'innovation au sein d'un réseau, prend toute son importance. Le détail de ces mécanismes de diffusion sera cependant traité au chapitre deux. La présente section consiste principalement à faire une revue de ce qui a été fait en la matière, tant au niveau mathématique que conceptuel.

L'origine de l'exploration de l'effet spatial dans la diffusion d'innovation émerge du domaine de la géographie. Les géographes sont les spécialistes en recherche sur l'effet de la distance dans l'espace sur les comportements humains. Le professeur Hägerstrand fut l'un des pionniers de la recherche portant sur la diffusion en réseau. Hägerstrand a modélisé sous forme mathématique le concept de diffusion en fonction du temps et de l'espace. Il a inclus l'effet réseau ou mieux connu sous le nom de «*neighbourhood effect*» en exprimant la proba-

bilité qu'une innovation se propage d'un membre à l'autre du réseau en fonction de la distance qui les sépare. De façon mathématique, les probabilités d'adoption diminuent en fonction de l'augmentation de la distance entre les membres. C'est en comparant les taux actuels d'adoption par rapport à la diffusion géographique d'innovations agricoles en Suède qu'il a validé cette hypothèse (Rogers, 2003). Quelques années plus tard, Hägerstrand valida également son modèle de proximité à l'aide des données de l'étude de Ryan et Gross (1943) sur la diffusion des semences hybrides de maïs (Mason, 2003). Hägerstrand fut l'un des premiers à utiliser la simulation par ordinateur, son modèle de recherche est basé sur une simulation Monte-Carlo. Le modèle est basé sur une formule prédisant les migrations dans un horizon rapproché. Cette formule estime le nombre de migrations entre o/o et R.

$$M_{o/o-R} = k\frac{V_R I_R}{P_R} \tag{1.15}$$

où

V_R : nombre de places disponibles dans R

I_R : nombre de contacts privés existant entre R et les migrants potentiels de o/o

P_R : population de R

k : constante

Hägerstrand avoue toutefois la présence de circularité dans son modèle, principalement dû au postulat de migration défini comme un procédé gouverné largement par «*feedback*». V_R est, par exemple, estimé du nombre total d'immigrants arrivant à R et I_R est estimé par le nombre d'individus vivant à R étant originaires de o/o. Néanmoins, les recherches d'Hägerstrand ont soulevé, et ce bien avant leur temps, la problématique de la diffusion du point de vue réseau et l'utilité de la simulation par ordinateur permettant d'obtenir une meilleure vision du processus de diffusion (Hägerstrand, 1967).

Du point de vue conceptuel, plusieurs découvertes ont également fait l'objet d'attention. Notamment, le modèle de contingence développé par Midley et Dowling en 1978. Ce modèle conceptuel explore la confiance/dépendance sur autrui comme source d'information. Dans

cette optique, ils ont également été les premiers à explorer la prédisposition d'un individu à une innovation par rapport au moment où s'effectue l'adoption (Mason, 2003). Dans cette même veine, Abrahamson et Rosenkopf mettent en place le concept d'efficacité rationnelle, voulant que la croissance du nombre d'adeptes d'une innovation augmente la diffusion d'information, supposant une efficacité réelle. Ils élaborent également la théorie de l'engouement éphémère (*fad theories*). Selon cette théorie, la croissance rapide du nombre d'adeptes crée une forme de pression nommée «*bandwagon pressure*» découlant de pressions institutionnelles et compétitives. Ces pressions cherchent à établir l'adoption comme une norme sociale (pressions institutionnelles) ou un recul face à la concurrence (pressions compétitives). Cet aspect de pression et d'influence du milieu dans la diffusion de ERP s'apparente aux expériences vécues dans les certifications ISO 9000 et 14 000 (Albuberque, Bronnenberg et Corbett 2004). Ces divers types de pressions sont véhiculés par une multitude de liens qui unissent les firmes du réseau. Ils sont en quelque sorte les conduits d'information permettant l'échange d'idées diverses. Ce flot de données joue un rôle tant du point de vue tactique que stratégique entre les différents partenaires. Ceux-ci s'influencent donc mutuellement dans leur prise de décisions (Davis, 1991). L'analyse de la structure interorganisationnelle des réseaux industriels, présentée par M. Davis (1991), définit le réseau comme étant une toile composée de nœuds (entreprises) interconnectés par des relations industrielles diverses (client/fournisseur, conseil d'administration, actionnaires, etc.). Avec cette étude expliquant la diffusion de stratégies de dragées toxiques, ou «*Poison Pills*», au sein des entreprises du Fortune 500, il a démontré à quel point les contacts à l'intérieur de conseils administratifs font partis des mécanismes possibles de la diffusion d'une innovation. Les stratégies de dragées toxiques permettent aux actionnaires d'acheter des actions à un taux extrêmement réduit en cas de fusion ou d'achat de la compagnie par une autre sans leur approbation. Ces stratégies rendent donc les fusions et achats tout à fait inintéressants puisqu'au moment de la transaction les actionnaires deviendraient fort probablement les propriétaires majoritaires de l'entreprise. Ces pilules empoisonnées ne sont qu'un exemple de décisions prises par les entreprises du Fortune 500 à la fin des années 1980 pour rendre plus difficiles les acquisitions non approuvées par la haute-direction.

Au début des années 1990, Thomas W. Valente élabora le concept de seuil limite et de masse critique d'un réseau (Valente, 1993 et 1995). Il souligna que le seuil limite avant l'adoption d'une innovation varie d'un individu à l'autre. Ce seuil correspond à la proportion d'un groupe ayant adopté l'innovation nécessaire avant qu'un individu considère l'adopter. Dans ces études, il constata que les innovateurs possèdent un seuil limite très bas dû à leur très grande tolérance aux risques et leur grand désir d'aventure. Il indique également dans ses analyses de diffusion de divers médicaments que ce sont ces innovateurs qui influent sur la décision d'adoption des autres membres du système ayant un seuil limite plus élevé. Ces études démontrent que ces seuils limites sont normalement distribués, ce qui crée une courbe de diffusion en S avec un accroissement marqué au moment où la masse critique est atteinte. Il définit cette masse comme étant le nombre de membres d'un réseau nécessaire à l'adoption d'un nouveau membre. Thomas W. Valente déplore cependant le manque de données empiriques permettant une meilleure compréhension des rôles du seuil limite d'un individu et de la masse critique dans la diffusion d'une innovation.

D'un point de vue plus organisationnel, Lyytinen et Damsgaard (2001) ont identifiés trois facteurs d'adoption de nature organisationnelle, soit : l'environnement social, la stratégie de commercialisation et la structure institutionnelle (Mason, 2003). Rogers va plus loin en ce sens en proposant une variante du modèle d'adoption en cinq stages pour l'adoption d'une innovation au sein d'une organisation. Il définit d'abord une organisation comme un système social stable constitué d'individus travaillant à un but commun à travers une structure hiérarchique. La diffusion d'une innovation s'effectue en cinq stages regroupés en deux phases, l'initiation et l'implémentation (Rogers, 2003). L'initiation correspond à la prise de conscience du problème, la collecte de données, la conceptualisation et la planification de l'adoption menant à la prise de décision. L'implémentation consiste surtout à la phase d'action où se regroupe les stages de restructuration/redéfinition et de clarification de structure opérationnelle de l'organisation vis-à-vis l'innovation. Cette phase se termine avec l'apprentissage par l'utilisation de l'innovation, soit le stage de rodage (voir Figure 1.8).

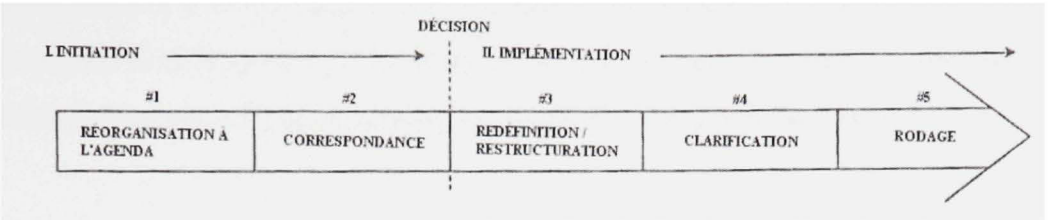


Figure 1.8 Diagramme des cinq stages d'adoption d'une innovation pour une organisation[10]

Toujours du point de vue conceptuel, mais avec un aspect spatial et épidémiologique, Canright et Engo-Monsen (2005) élaborent une théorie permettant d'aborder les problématiques de sécurité en matière de diffusion de contenu électronique. Cette théorie repose sur la typologie du réseau. Un point essentiel de leur approche est l'analyse de la structure du réseau par la définition de centralité pour chaque nœud. La centralité est donc une mesure de connexion d'un nœud *i* avec son voisinage. Cette mesure est comprise dans la mesure du poids accordé au vecteurs propres de centralité (EVC). Plus un lien est court, plus il a un haut coefficient d'infection. Ce qui explique que les nœuds centraux se retrouvent rapidement infecté, peu importe d'où provient l'infection. Car dans cette représentation de la diffusion de l'information au sein de réseau informatiques, on se retrouve dans une chaîne de montagnes où les sommets sont représentés par les maxima d'EVC. Et comme sur une carte topographique, les vecteurs de connexion joignent les courbes de dénivellation. Plus les courbes sont rapprochées (liens courts à haut taux d'infection), plus l'information se propage rapidement (notion du «*steepest ascent*»). Chaque groupe du réseau, ou «*cluster*», y est identifié comme une montagne dont le sommet correspond à l'acteur le plus central du groupe (max EVC). Entre deux montagnes existe une vallée où n'est situé aucun nœud (acteur), car un nœud appartient absolument à une région. Toutefois, les nœuds en périphérie sont ceux en contact avec le plus grand nombre de sources externes, donc de nouvelles idées, de nouvelles influences. C'est pourquoi l'infection d'un groupe commence de l'extérieur (au bas de la montagne) jusqu'au sommet par la pente la plus ascendante (par la connexion la plus rapide). À

[10] Mahajan, Vijay, Eitan Muller et Frank M. Bass. 1990. « New Product Diffusion Models In Marketing: A Review And Direction for Research ». Journal of Marketing, vol. 54, n° 1 (January 1990), p. 1-26.

ce moment, le taux d'infection est à son maximum (au sommet, au nœud le plus central) pour ensuite infecter tout le groupe (la montagne) vers l'extérieur. On nous indique que le moment où le point central est infecté correspond au point d'inflexion de la courbe en S.

Du côté de la modélisation des phénomènes réseaux en diffusion, la littérature est composée de mécanismes de propagation variant du comportement épidémiologique (Morris 2004) au comportement semi-logistique (Westarp et Wendt 2000). Des origines épidémiologiques de la diffusion dite réseau, on retient l'approche du phénomène comme un phénomène de contagion. Dans ces modèles, la probabilité d'infection de chaque individu augmente avec la proportion d'infecté dans le réseau. L'exposition personnelle et le degré de contagion des infectés peuvent être modélisés de différentes façons (Pellerin et al., 2006). Le premier modèle, en est un typique du domaine épidémiologique, il s'agit du modèle de la dynamique de la propagation d'une maladie infectieuse (Casti, 1988). Dans ce modèle, les individus ont deux états possibles, infectés (I) ou susceptibles (S) et $N(t)$ représente la population totale.

$$I(t+1) = S(t)\left[1 - e^{-\alpha I(t)}\right] \tag{1.16}$$

$$S(t+1) = I(t) + S(t) \cdot e^{-\alpha I(t)} \tag{1.17}$$

$$N = I(t) + S(t) \tag{1.18}$$

Dans ces équations, $e^{-\alpha}$ représente la probabilité qu'il n'y ait aucun contact effectif entre deux individus dans une période de temps. Si l'on normalise les variables on obtient les équations suivantes :

$$x_1 = I(t)/N \tag{1.19}$$

$$x_2 = S(t)/N \tag{1.20}$$

$$A = \alpha N \tag{1.21}$$

Ainsi, l'on obtient la dynamique normalisée suivante :

$$x_1(t+1) = x_2(t)\left[1 - e^{Ax_1(t)}\right] \tag{1.22}$$

$$x_2(t+1) = x_1(t) + x_2(t) \cdot e^{Ax_1(t)} \tag{1.23}$$

$$x_1(t) + x_2(t) = 1 \qquad \forall t \tag{1.24}$$

Transformant ces concepts à l'adoption d'un système ERP, Pellerin, Babin & al. (2006) ont définit le statut d'infecté comme le statut d'adepte et celui de non-infecté comme adepte potentiel ou susceptible. On y fait le parallèle entre le phénomène de propagation d'un système ERP au sein de réseaux industriels et celui de propagation d'un virus au sein d'une population. L'exposition aux systèmes ERP y est analysée du point de vue du réseau et non de l'individu, et l'effet de contagion au niveau des organisations.

La diffusion au sein de réseaux y est modélisée de la façon suivante :

$$\log \frac{\Pr(Y_t = 1)}{(1 - \Pr(Y_t = 1))} = \alpha + \sum B_k X_k + B_{(k+1)} \omega Y_t \tag{1.25}$$

où

Y_t : vecteur binaire (adepte ou susceptible)

α : intercepte

B_k : paramètre estimé pour les vecteurs de k caractéristiques sociodemographiques de X

$B_{(k+1)}$: effet de contagion

X : entité du réseau (entreprise)

ω : matrice du réseau social

ωY_t : exposition au réseau

À l'intérieur de ce modèle, plusieurs estimés significatifs de *B(k+1)* ont permis d'indiquer la présence d'effet de contagion en démontrant que l'exposition au réseau est associée à l'adoption.

Du point de vue des comportements semilogistique (ou d'influences mixtes), les articles de Westarp et Wendt (2000) ainsi que Tony Smith et Sangyoung Song (2004) apportent du nouveau en ajoutant une perspective spatiale. Le modèle proposé par Westarp & Wendt (2000) démontre clairement que la diffusion d'innovation logicielle bénéficie de l'effet d'interactions réseau («*positive network effect*»). C'est-à-dire que la volonté d'acheter un logiciel concorde avec le nombre d'adeptes existants. Un effet direct important en entreprise provient du besoin des compagnies d'échanger des données et des documents tant à l'interne qu'avec des partenaires d'affaires. Par conséquent, plus il y a de partenaires avec qui la communication est possible dans un secteur industriel, meilleure sera la diffusion d'un logiciel ou d'un groupe de logiciels, car les transferts de documents et de données n'en seront que simplifiés et plus efficaces. Ceci est particulièrement le cas des systèmes ERP à l'étude. L'hypothèse principale de leur étude repose sur le fait que le processus de diffusion d'innovations logicielles est significativement influencé par les communications interpersonnelles des adeptes potentiels. La probabilité d'adoption augmente donc avec l'exposition à l'innovation par le biais des contacts du réseau. L'omission de considérer cette hypothèse correspond à la principale lacune identifiée dans la littérature de la diffusion traitant les innovations dites interactives. Le modèle suivant proposé par Westarp et Wendt (2000) remédie à ce problème.

$$\max_{i\in\{1,\ldots,v\}} \{r_i + f(x_i) - p_i\} \tag{1.26}$$

où

$f(x)$: l'effet additionnel bénéfique du réseau

x : nb d'adepte dans le réseau

r : l'effet de l'utilité seule du produit sur la décision d'adoption
(la volonté de payer même s'il n'y a aucun autre usagé dans le réseau)

$r + f(x)$: la volonté de payer le logiciel

p : coût du logiciel

Ce modèle assume toutefois que tous les participants ont la même évaluation des bénéfices du réseau, soit la même fonction *f(x)*. Ils considèrent également qu'un seul produit à la fois est utilisé, car l'achat de deux logiciels ayant la même fonctionnalité semble inhabituel. Le consommateur n'achète la solution seulement si $\{r_i + f(x_i) - p_i\} > 0$ et dans le cas de marché concurrentiel, le consommateur achète le produit offrant le plus de surplus. Tous les consommateurs ont les mêmes préférences. Les prix sont considérés comme constants durant le processus de diffusion et l'ancienne solution est considérée comme désuète lorsque la nouvelle est achetée.

D'un autre point de vue, le modèle de Smith et Song (2004) traite de la diffusion de l'achat de produits alimentaires en ligne. L'innovation y est quelque peu différente de celle étudiée dans le présent rapport, mais la dynamique réseau s'y apparente grandement. Il s'agit là d'une bonne base à la modélisation du processus de décision de la propagation d'un progiciel ERP. Un modèle par événements discrets y est développé. Ce modèle caractérise le processus d'adoption en fonction des contacts avec des adeptes environnants, en plus des autres caractéristiques individuelles du futur adepte. Dans ce modèle, la probabilité d'adoption (p_n) est constituée de deux parties, soit la probabilité intrinsèque (p_0) et la probabilité de contact (p_c).

$$p_n(r \mid f_n) = \lambda p_c(r \mid f_n) + (1-\lambda)\, p_0(r), \qquad r \in \Re \tag{1.27}$$

où

n : nb d'adoption

r : index de la région

f_n : distribution de la fréquence relative des adeptes

λ : probabilité de mixture

Et

$$p_0(r) = \frac{M_r \exp\left(\sum_{j=1}^{J} \beta_j x_{rj}\right)}{\sum_{s \in \Re} M_s \exp\left(\sum_{j=1}^{J} \beta_j x_{sj}\right)} \tag{1.28}$$

où

j : index de l'individu dans la région r ou s

M : taille de la population

β : coefficient régionnal

x : facteurs intrisèques aux individus

Et

$$p_c(r \mid j) = \frac{M_r \exp(-\theta c_{sr})}{\sum_{v \in \Re} M_v \exp(-\theta c_{sv})} \tag{1.29}$$

où

j : index de l'individu dans la région r ou v

M : taille de la population

θ : exposant non négatif commun à toutes les régions

c : coût de contact

Les principaux points sujets à améliorations soulignés par les auteurs relèvent de la rigidité du modèle qui assume une population constante et la modélisation par événement discrets qui ne permet pas de refléter les changements possibles dans la réalité.

Le Tableau 1.2 recense, de façon chronologique, l'ensemble des modèles diffusion réseau traités dans cette section.

Tableau 1.2

Tableau résumé des principaux modèles de diffusion réseau

	Auteur(s)	Modèles	Caractéristiques	Applications	Références
1953	Hangerstrand	Modèle de proximité $M_{o\,o-R} = k\frac{V_R I_R}{P_R}$	Premier à explorer l'effet de l'espace (réseau) sur la propagation de l'adoption d'une innovation *«Neighbourhood effect»*	Théorie de la diffusion Agricultural	(Hägerstrand, 1967; Rogers, 2003)
1978	Midley et Dowling	Modèle de contingence	Explore la confiance/dépendance sur autrui comme source d'information.	Théorie de la diffusion	(Mason, 2003)
1989	Casti	$x_1(t+1) = x_2(t)\left[1-e^{-\lambda x_1(t)}\right]$ $x_2(t+1) = x_1(t)+x_2(t)\cdot e^{-\lambda x_1(t)}$ *avec* $x_1(t)+x_2(t)=1 \quad \forall t$	Dynamique de la diffusion de maladie infectieuse.	Épidémiologie	(Casti, 1989)

1990	Abrahamson et Rosenkopf	Bandwagons & Thresholds	Efficacité rationnelle Théorie de l'engouement éphémère (*fad theories*) : Pressions institutionnelles Pressions de la compétition	Théorie de la diffusion	(Mason, 2003)
1991	Davis	Interlock effect	Les membres communs de conseils d'administration de diverses entreprises jouent un rôle dans la diffusion d'innovation.	Administration Théorie de la diffusion	(Davis, 1991)
1995	Valente	Social Network Thresholds	Nwk threshold : Nb d'adepte d'une innovation à l'intérieur d'un réseau nécessaire à l'adoption par un nouvel adepte Un opinion leader a une limite plus basse et influe sur la décision d'adoption des individus avec une limite plus haute.	Théorie de la diffusion	(Valente, 1995)

2000	Westarp et Wendt	$\max\{r_t + f(x_t) - p_t\}$ $t \in \{1, \ldots x\}$	$f(x)$ l'effet additionnel bénéfique du réseau x nb d'adepte dans le réseau r l'effet de l'utilité seule du produit sur la décision d'adoption $r + f(x)$ la volonté de payer le logiciel p coût du logiciel	Diffusion d'innovations informatiques	(Westarp et Wendt, 2000)
2001	Lyytinen et Damsgaard	Identification de facteurs d'adoption organisationnels	Environnement social La stratégie de commercialisation La structure institutionnelle	Théorie de la diffusion	(Mason, 2003)
2003	Rogers	5 stages dans l'adoption d'une innovation au sein d'une organisation	Réorganisation à l'agenda Correspondance Redéfinition / Restructuration Clarification Rodage	Théorie de la diffusion	(Rogers, 2003)
2004	Smith et Song	$p_n(r \mid f_n) = \lambda p_c(r \mid f_n) + (1-\lambda) p_0(r)$ $r \in \Re$	Modélisation par simulation d'événements discrets	Commerce électronique	(Smith et Song, 2004)

2005	Canright et Engo-Monsen	Identification de l'influence de la typologie sur le processus de propagation	Typologie sous forme de chaînes de montagnes. Vecteur de centralité Vecteur de connexion Coefficient d'infection	Informatique Théorie de la diffusion	(Canright et Engo-Monsen, 2005)
2006	Pellerin et al.	$\log \frac{\Pr(Y_t = 1)}{(1 - \Pr(Y_t = 1))} = \alpha + \sum B_k X_k + B_{(k+1)} \omega Y_t$	Diffusion de systèmes ERP au sein de réseaux industriel	Technologies de l'information	(Pellerin et al., 2006)

1.5 Conclusion

D'une part, les études portant sur les facteurs d'adoption visent à déterminer les caractéristiques favorisant ou limitant la diffusion d'une innovation au sein des membres d'un réseau. D'autre part, les modèles prévisionnels se concentrent surtout sur la prévision du nombre global d'adeptes dans le temps visant à déterminer à partir de quel moment un secteur devient profitable. Plus récemment, les modèles de diffusion réseau ont permis de quantifier les diverses relations entre les membres d'un réseau dans le processus d'adoption d'une innovation. De façon similaire au domaine épidémiologique, où les influences réseaux sont décrites à l'intérieur de modèle de propagation de maladies contagieuses, un parallèle intéressant entre la propagation de maladies contagieuses et la diffusion d'innovation interactives a été tracé dans l'article de Pellerin (2006).

Avant d'amorcer la modélisation du processus de diffusion de système ERP, le prochain chapitre permettra d'établir les bases nécessaires à la modélisation, en traitant en détail des mécanismes de propagation au sein de réseaux organisationnels.

CHAPITRE 2

ÉTUDE DES MÉCANISMES DE PROPAGATION

2.1 Introduction

Le deuxième chapitre présente une étude des divers mécanismes régissant la diffusion d'une innovation au sein de réseaux organisationnels. C'est en faisant un parallèle avec les concepts et modèles traitant de diffusion à un niveau plus individuel présenté au chapitre précédent, et les principaux facteurs d'influence dans la diffusion de système informatique au sein d'organisations présenté dans ce chapitre; qu'il sera possible d'identifier les facteurs d'influence spécifiques aux systèmes ERP. Ce chapitre vise donc à répondre aux questions suivantes : «Quels sont les facteurs qui influencent le succès de la diffusion d'une innovation?» et «Comment les innovations se propagent-elles dans un milieu organisationnel?». Une fois ces bases de la modélisation du processus décisionnel mises en place, la modélisation mathématique et informatique pourra être prise en charge au chapitre suivant.

2.2 Les principaux facteurs d'influence dans la diffusion d'innovation

Rogers (2003) et Rajagopal (2001) abordent la diffusion d'innovation au sein d'organisation (voir la Figure 1.8) de façon similaire à la diffusion au niveau individuelle (voir la figure 1.4). Bien que la terminologie utilisée soit différente et que ce type de diffusion y soit traité séparément, les organisations passent à travers le même processus de décision que les individus. Plus précisément, lors de la phase d'initiation, les entreprises traversent les étapes de réorganisation de l'agenda où elles prennent conscience de la problématique, recueillent toutes les connaissances nécessaires à l'élaboration d'une correspondance entre les solutions proposées et leurs besoins. Ces organisations traverseront ensuite un état de persuasion vers la fin de leur étape de correspondance, lors du processus de sélection précédant la prise de décision. Au même titre que les individus, les organisations traverseront une phase d'implémentation où elles redéfiniront, restructureront et clarifieront leurs structures opéra-

tionnelles vis-à-vis l'innovation. Cette phase se termine par une étape de rodage où l'entreprise peaufine son apprentissage de l'innovation par l'utilisation de celle-ci. Ce sera à cette étape que l'organisation confirmera sa décision d'implémentation.

Bien que la présente théorie sur la diffusion d'innovation soit critiquée pour son manque de spécifications concernant les interactions entre les différents systèmes sociaux et leurs influences sur l'adoption (Rajagopal, 2001), celle-ci correspond tout de même à une base d'étude des mécanismes de diffusion de systèmes ERP au sein de réseaux d'affaires.

Comme le souligne le chapitre précédent, l'approche d'un grand nombre d'auteurs en diffusion de l'innovation se résume surtout à l'identification des facteurs influents dans la diffusion d'innovation dans différents contextes et la classification de ceux-ci. Dans la présente étude, nous identifierons les principaux facteurs et expliquerons leur influence sur le processus de diffusion pour les inclure dans le modèle de propagation présenté au chapitre suivant. Poursuivant avec la classification traditionnelle, deux grandes classes de variables sont généralement utilisées : les variables internes et les variables externes.

Parmi les facteurs internes décrits dans la littérature, on note :

- La taille de l'entreprise (Bayer et Melone, 1988)
- La structure organisationnelle (Frambach et Schillewaert, 2002; Nystrom, Ramamurthya et Wilsonb, 2002; Aguila-Obra et Padilla-Meléndez, 2006)
- La culture / Le climat (Frambach et Schillewaert, 2002; Aguila-Obra et Padilla-Meléndez, 2006)
- La stratégie (Nystrom, Ramamurthya et Wilsonb, 2002; Aguila-Obra et Padilla-Meléndez, 2006)
- La capacité d'innover / La résistance limite aux changements / Le besoin de changements (Tabak et Barr, 1999)
- La marge des ressources (Valente, 1993;Valente et al., 1997; Frambach et Schillewaert, 2002; Borgatti et Foster, 2003; Mason, 2003; Rogers, 2003)

En ce qui concerne les variables externes, on retrouve notamment :

- La pression des concurrents, des fournisseurs et/ou clients (Tabak et Barr, 1999; Nystrom, Ramamurthya et Wilsonb, 2002)
- Les efforts de marketing du fournisseur (Frambach et Schillewaert, 2002; Aguila-Obra et Padilla-Meléndez, 2006; Yi et al., 2006)
- Les réseaux sociaux – densité, connectivité (Frambach et Schillewaert, 2002)

Dans l'étude de l'influence sur l'adoption des variables mentionnées, il s'agit souvent de la perception qu'ont les adeptes potentiels de celles-ci (ex : la capacité d'innover, la pression de l'ensemble du réseau, les efforts de marketing, etc.). Le spectre des facteurs internes confirmés comme ayant une influence positive sur l'adoption d'innovation comprend la taille et la marge des ressources de l'organisation (Westarp et Wendt, 2000; Frambach et Schillewaert, 2002; Borgatti et Foster, 2003; Canright et Engo-Monsen, 2005; Singh, 2005). Ceci est relié au fait que les entreprises de grande taille et plus particulièrement celles ayant beaucoup de ressources possèdent une grande centralité et une diversité de liens avec le réseau qui favorise leur contact avec l'innovation de façon favorable (Midanko, 2006).

En ce qui concerne les facteurs externes, les variables de pression et surtout de structure du réseau, peu couverte dans l'étude de Rogers (Liu, Madhavan et Sudharshan, 2005), semblent avoir un impact important sur l'adoption d'une innovation. Rogers souligne toutefois que le nombre d'adeptes d'une innovation au sein du réseau influe sur la prise de décision, plus particulièrement dans le cas d'innovations dites interactives. Pour ce type d'innovation (ex : les systèmes ERP), le nombre d'utilisateurs augmente l'utilité de l'innovation. Cette pression est, entre autres, véhiculée à travers les divers liens qui unissent les entreprises d'un réseau industriel. Ces liens sont de natures concurrentielles ou proviennent de différents acteurs de la chaîne d'approvisionnement, de différentes formes de partenariat entre les organisations et des liens qui existent entre les conseils d'administration ou «*interlock*» (Rogers, 2003). Ces liens modulent la diffusion de nouvelles idées, et de nouvelles expériences. La variable de

structure du réseau joue également un rôle important dans la diffusion d'innovation. Elle comprend la topologie du réseau soit, la répartition des nœuds dans l'espace (en groupe ou «*cluster*», isolée, etc.). Cette variable se mesure généralement par la centralité et de la densité du réseau dans son ensemble. Un réseau centralisé comprend peu d'acteurs très centraux, mais beaucoup d'acteurs ayant une grande connexion entre eux. Dans ces réseaux, la diffusion d'innovation s'effectue rapidement dans l'ensemble du réseau, car la majorité des acteurs ont accès aux nouvelles idées rapidement et sont donc susceptibles d'adopter plus tôt (Davis, 1991). Quant au facteur de densité, l'idée provient d'études en épidémiologie ayant démontrées que les réseaux avec une forte densité sont plus propices aux épidémies (Midanko, 2006). Canright et Engo-Monsen (Morris, 2004) ont bien résumé le mécanisme de propagation au sein d'un réseau à l'aide d'une métaphore topographique résumée au chapitre précédent. En somme, l'infection d'un groupe commence de l'extérieur (au bas de la montagne où les nœuds ont accès à plus de sources externes) jusqu'au sommet par la pente la plus ascendante (par la connexion la plus rapide). Ce sont donc les liens les plus distants ou «*weak ties*» qui permettent l'échange d'informations et de connaissances différentes (2005). À ce moment, le taux d'infection est à son maximum, le nœud central est infecté pour ensuite infecter tout le groupe. Ce moment correspond au démarrage de la courbe en S, à l'atteinte de la masse critique discutée plus en détail dans la prochaine section. Dans ce qui suit, on présente l'importance du phénomène de masse critique dans la diffusion d'innovations interactives comme c'est le cas pour les systèmes ERP.

2.3 L'importance du concept de masse critique dans la diffusion d'innovations interactives

Le phénomène voulant que l'utilité d'une innovation augmente avec le nombre d'adeptes est nommé l'effet réseau positif ou «*positive network externality*» (Robertson, Swan et Newell, 1996). Les innovations de type interactives sont particulièrement affectées par ce phénomène. L'interaction entre les différents acteurs d'un réseau social et la pression exercée par les adeptes de ce type d'innovation jouent un rôle important dans la création d'une masse critique. La masse critique nécessaire à l'adoption d'une innovation par la majorité est at-

teinte lorsqu'assez d'individus ou d'organisations ont adopté l'innovation pour que celle-ci se diffuse de façon autosuffisante (Westarp et Wendt, 2000). La lenteur de la diffusion en début de processus est donc reliée à la création de cette masse. C'est à ce point que l'influence des médias décline et que celle des communications interpersonnelles prend de l'ampleur. La compréhension de l'évolution de la masse critique est particulièrement importante dans la diffusion d'innovations dites interactives, telle l'utilisation d'Internet comme moyen de communication. Les résultats d'une étude portant sur la diffusion d'Internet au niveau mondial menée par HoCheon Kwon et discuté par Rogers en (2003) démontrent bien ce phénomène de masse critique.

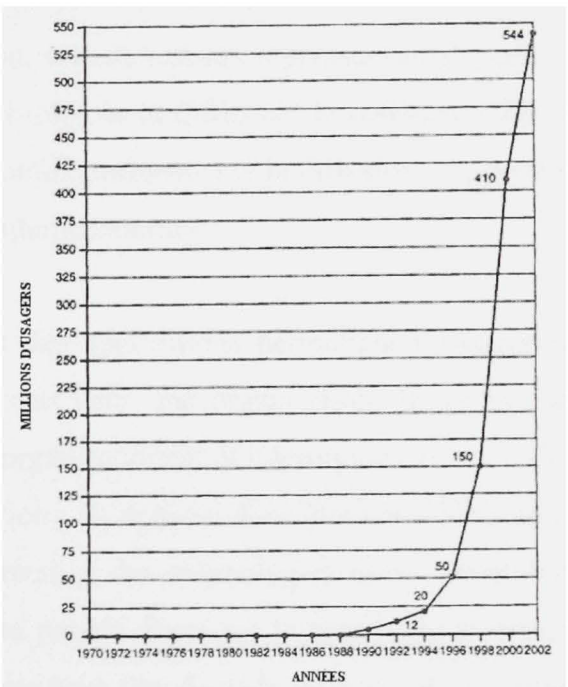


Figure 2.1 Taux d'adoption cumulatif d'Internet au niveau mondial[11]

On constate sur cette figure la très lente évolution de la diffusion d'Internet avant l'atteinte de la masse critique au milieu des années 1990, moment qui concorde avec l'entrée massive d'Internet dans les maisons. De façon similaire aux systèmes ERP, les communications Internet gagnent en intérêts avec le nombre d'adeptes pour une raison bien simple : plus vous aurez d'amis ayant accès à une connexion Internet, plus vous aurez de personnes avec qui

[11] Figure adaptée de Rogers, Everett M. (2003)

échanger via Internet. Dans le cas des systèmes ERP, le fait d'utiliser le même système de gestion d'entreprise facilite grandement les communications et l'échange de données entre les départements d'une entreprise et même entre les entreprises. Les particularités des mécanismes de diffusion de ces technologies de l'information interactives seront traitées en détail à la section suivante.

2.4 Les principaux facteurs d'influence dans la diffusion de systèmes ERP

Ayant présenté en première partie de ce chapitre les informations pertinentes à l'analyse de la diffusion d'innovations au sein de réseaux organisationnels, cette section a pour but de révéler les aspects caractéristiques de la diffusion de systèmes ERP. Cette section est consacrée aux facteurs identifiés comme influents sur la diffusion des systèmes ERP, en les classant de manière traditionnelle (interne/externe).

Les systèmes ERP sont des applications permettant l'automatisation et l'intégration d'un grand nombre de processus dans une organisation. Ils provoquent ainsi une multitude de changements au niveau organisationnel et interorganisationnel. Du point de vue de la théorie de la diffusion d'innovations, ils peuvent donc être considérés comme une innovation (2002). Ils correspondent également à des technologies dites interactives et sont particulièrement affectés par l'effet réseau positif. Bien que la théorie de la diffusion ne soit pas considérée comme tout à fait adéquate pour l'étude de la diffusion de systèmes ERP (Light et Papazafeiropoulou, 2004), elle servira de base à la présente étude. Cependant, afin de pallier à certaines lacunes reliées au comportement d'innovations interactives au sein de réseaux, une approche mixte sera utilisée. Cette approche consiste à combiner l'approche classique de la théorie de la diffusion pour l'étude des facteurs influents tant internes qu'externes, à l'approche épidémiologique pour l'étude du comportement de la diffusion à l'intérieur de réseau.

D'un côté, les facteurs internes sont des facteurs de niveau micro-économique, soit des facteurs organisationnels (Bayer et Melone, 1988; Light et Papazafeiropoulou, 2004), tels la taille de l'entreprise, la marge des ressources, la volonté d'innover et les avantages attendus de l'adoption d'un système ERP. D'un autre côté, les facteurs externes couvrent le niveau macro-économique, soit les facteurs relatifs aux interactions entre organisations d'un même réseau (Kim et Galliers, 2004).

2.4.1 Les facteurs internes

Outre les facteurs rationnels (quantifiables) considérés dans la théorie de la diffusion d'innovation (la taille et les ressources de l'organisation), les facteurs plus irrationnels (ou qualitatifs) comme les avantages attendus de l'adoption d'un système ERP ont un impact significatif sur la diffusion d'innovations de solution ERP (Kim et Galliers, 2004). Les prochaines sections décrivent brièvement ces facteurs.

2.4.1.1 La taille de l'entreprise et la marge des ressources

Considérant les coûts d'acquisition et d'implantation importants lors de l'adoption de systèmes d'information, on observe un rapport positif entre la taille d'une entreprise, ses ressources et son inclinaison à l'innovation (Hadaya et Pellerin, 2007).

2.4.1.2 La volonté de changement

Face aux transformations du marché telles que la globalisation et l'augmentation d'accords de libre-échange entre les pays, les entreprises ont besoin de s'adapter afin de rester compétitives (Light et Papazafeiropoulou, 2004). Toutefois, l'adoption de systèmes d'information nécessite l'anticipation de changements d'envergures au niveau organisationnel, la volonté de changement devient donc un facteur influent dans la prise de décisions.

2.4.1.3 Les avantages attendus d'un système ERP

Les attributs perçus d'une innovation ont une influence sur la décision d'adoption. La réputation du produit de permettre la standardisation des processus d'affaires, un meilleur partage des informations permettant des ajustements en temps réel, une diminution des retards, etc., ne sont là qu'une brève liste des avantages perçus des ERP. Ceci résulte généralement de l'information sélective fournie par les éditeurs de progiciels ERP et de la pression des membres d'un secteur industriel à favoriser l'utilisation d'un système à leur propre avantage (résultat de l'utilisation d'une innovation interactive). Les systèmes ERP sont perçus comme une technologie clé, soit une technologie apportant un avantage compétitif à l'entreprise (Midanko, 2006). Plusieurs mécanismes sont mis en œuvre par les éditeurs pour tirer profit de ce facteur d'influence. Les fournisseurs de système ERP affichent sur leur site Web, les bénéfices qu'ont connus les grandes entreprises en implantant leurs solutions (Duffy, 2004). Ainsi, l'adoption des meilleures pratiques d'affaires ou «*best-practices*» s'accompagne généralement d'une perception subjective de prestige à l'utilisation de ce type de système. Certaines organisations adoptent donc une solution ERP pour être ensuite perçue comme étant au dernier cri de la technologie et de l'efficacité organisationnelle (Light et Papazafeiropoulou, 2004). Ce phénomène fut observé lors de la diffusion du système de gestion de la qualité ISO, le prestige associé à un titre, une innovation et son gage de qualité, ont joué un rôle prépondérant dans sa diffusion (Oliver et Romm, 2000). Ce facteur de diffusion est bien exploité par les promoteurs de ce type de système, les banderoles affichées aux édifices des entreprises ayant acquis la certification ISO véhiculent bien cette perception d'entreprise de qualité et cette appartenance à un club sélect. Dans le cas de la diffusion de systèmes ERP, les éditeurs tire également profit de ce facteur non négligeable. Prenons par exemple l'éditeur SAP qui affiche sur ses publicités les entreprises ayant adopté SAP avec le slogan «*Best-Run Businesses Run SAP*». On retrouve ses affiches sur les sites des entreprises l'ayant adopté, tel un gage de prestige; c'est le cas d'Air Canada qui affiche fièrement son acquisition SAP dans les corridors de l'Aéroport de Montréal.

2.4.2 Les facteurs externes

Tel que mentionné précédemment, les facteurs d'influence externes concernent le niveau macro de l'économie. La présente étude se limite aux interactions entre les organisations d'un même secteur industriel.

Un parallèle intéressant à explorer existe entre les comportements des réseaux sociaux camerounais dans l'étude de la diffusion de contraceptifs réalisée par Valente (Kale et Arditi, 2005) et l'analyse des comportements des réseaux d'affaires. Dans cet article, la principale question de recherche consistait à découvrir quelles sont les caractéristiques d'un réseau personnel fortement associées à l'utilisation de la contraception. On y apprend que les réseaux hétérogènes apportent plus d'informations nouvelles que les réseaux homogènes. Toutefois, c'est à l'intérieur de réseaux homogènes que l'information et les opinions échangées sont perçues comme étant plus crédibles. Cette étude démontre, entre autres, la force de l'influence interne entre les membres d'un réseau. La perception que les femmes avaient du comportement des autres femmes et de leurs encouragements vis-à-vis l'utilisation de moyens contraceptifs était d'une importance capitale. Étant donnée la grande homogénéité des réseaux d'affaires d'un même secteur industriel, cette notion de «client satisfait» est d'une grande importance pour les éditeurs de progiciel ERP. Les succès des premières implantations sont donc d'une importance capitale. Les adoptions subséquentes n'en seront que facilitées, car le succès d'une entreprise du réseau sera perçu plus crédible que n'importe quel succès provenant d'un autre réseau d'affaires.

L'influence externe provient donc des différents liens unissant les entreprises d'un même secteur industriel (Pellerin, Léger et Babin, à paraître en 2007). Ces liens peuvent être de différentes natures: participation à la même chaîne d'approvisionnement (relation client-fournisseur), participation financière (filiales ou détention de parts), participation administrative (administrateurs de liaisons ou «*interlock*») et l'appartenance à de mêmes associations. En se basant sur les expériences menées en épidémiologie, il est plausible de poser comme hypothèse que la structure du réseau influe également le rythme de diffusion de systèmes

ERP. La topologie, la densité et la connectivité du réseau seront donc explorées plus en détail au prochain chapitre afin de déterminer comment ils modulent la propagation de ce type de système au sein de secteur industriel. Voici une brève description de chacun des facteurs retenus comme influents dans le processus de diffusion de système ERP.

2.4.2.1 La participation à la même chaîne d'approvisionnement

L'accroissement de l'utilisation de technologie de l'information comme les systèmes ERP est la conséquence de l'augmentation de la connexion entre les entreprises (Pellerin & al., 2007). La participation à une même chaîne d'approvisionnement implique indirectement une pression concernant l'adoption d'un système ERP spécifique, exercée par l'entreprise en tête de la chaîne autour de qui les activités sont organisées. La nature interactive de cette innovation favorise ce phénomène de pression au sein d'un réseau.

2.4.2.2 La participation financière

L'utilité même d'un système ERP est de standardiser les processus d'affaires d'une entreprise pour y faciliter l'échange d'information. Une des conséquences directes de ceci est l'application d'une pression favorisant l'adoption d'un système pour l'ensemble des entreprises regroupées sous une même bannière (Midanko, 2006).

2.4.2.3 La participation administrative

L'influence de la participation administrative se fait par le biais des administrateurs de liaison ou «*interlocks*». Un administrateur de liaison correspond à un administrateur siégeant au conseil d'administration de plusieurs sociétés (Ernst et Kim, 2002; Jaiswal et Kaushik, 2005). En siégeant sur plusieurs conseils d'administration de différentes entreprises, ces administrateurs de liaison agissent comme conduits d'information pour échanger idées, connaissances, nouvelles et notamment, le savoir technologique (Pellerin, Léger et Babin, à paraître en 2007). Tel que discuté dans la revue littéraire, Davis (OLFQ, 2007a) a démontré dans son étude que le fait d'avoir un membre du conseil d'administration qui siège à la fois sur le

conseil d'administration d'une autre entreprise augmentait fortement le risque que cette dernière adopte un «*poison pill*» si l'autre entreprise avait fait de même. L'étude de Davis (1991) démontre que les administrateurs de liaison agissent comme vecteurs de diffusion en véhiculant de l'information entre deux organismes indépendants. Il y a donc un apprentissage en termes de gouvernance et de connaissances stratégiques qui s'effectue pour ces administrateurs de liaison, et ce, autant dans le domaine des TI que pour les autres décisions stratégiques prises par les membres d'un conseil d'administration.

2.4.2.4 L'appartenance à une même association

Ce facteur a été souligné comme étant un facteur d'influence plausible dans la prise de décision face à l'adoption de ERP (Davis, 1991). Son effet sur l'adoption n'a toutefois pas été mesuré jusqu'à maintenant. Les études de Robertson, Swan et Newell (Midanko, 2006) ont néanmoins identifié les associations professionnelles BPICS, IPS, IIE et IMechE comme influente dans la diffusion de systèmes MRP II à titre de meilleures pratiques de gestion. Les associations ont joué un rôle influent dans le processus de diffusion en favorisant l'adoption de système MRP II auprès de leurs membres en promouvant ces systèmes comme une norme en matière de bonne gestion. Valente (1995) indique également, dans ses études portant sur la diffusion d'innovation dans le domaine de la santé, que l'appartenance à un groupe augmente la pression sociale vers l'adoption d'une innovation en particulier plutôt qu'une autre.

2.4.2.5 La structure du réseau

Souvent étudié du point de vue épidémiologique, la densité et la connectivité ou topologie d'un réseau jouent un rôle considérable dans la propagation de virus (1996). L'exemple du virus informatique Melissa (mars 1999) illustre bien ce concept. Un réseau de forte densité, très centralisé a permis la propagation du virus à l'échelle planétaire et ce en quelques heures. L'énorme quantité d'ordinateurs liés entre eux par le biais d'Internet a augmenté le risque de contracter le virus. Ce qui fait qu'entre le vendredi 26 mars 1999 (première détection du virus Melissa) et le lundi 29 mars 1999, le virus avait infecté plus de 300 000 ordinateurs (Valente, 1995; Canright et Engo-Monsen, 2005).

2.5 Identification des facteurs considérés dans la modélisation

La présente section complète l'étude des mécanismes de propagation, en identifiant les facteurs considérés dans notre processus de modélisation de la diffusion des systèmes ERP au sein des réseaux d'affaires. Tout au cours du présent chapitre, l'importance de l'influence du réseau dans le phénomène de diffusion d'une technologie interactive, tel un système ERP, a été bien démontrée. La volonté d'adopter un produit plutôt qu'un autre semble être influencée par le nombre d'adeptes du milieu environnant et la figure suivante, tirée du rapport de la 4[e] conférence corporative allemande de SAP, démontre bien ce phénomène du type «*winner-takes-all*» favorisant la première entreprise à pouvoir conquérir un marché (Brandt, 2005).

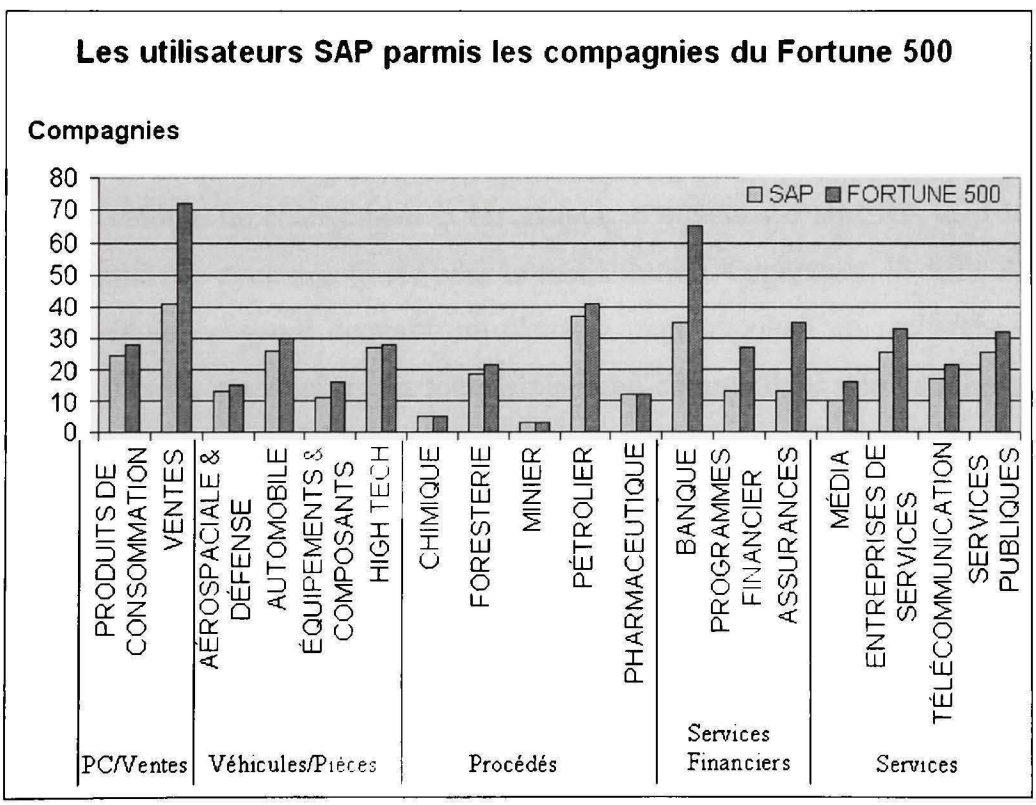


Figure 2.2 Positionnement SAP vis-à-vis les entreprises du Fortune 500[12]

[12] Figure adaptée de Brandt, Werner. 2005. « SAP - The Leader in Business Software ». In *4th German Corporate Conference SAP*. p. 31. Schlosshotel Kronberg: SAP press.

On constate donc, que plus une entreprise parvient à atteindre cette masse critique d'adeptes rapidement, plus celle-ci aura de chance de prendre la totalité du marché concerné. Parmi les facteurs cités dans la section précédente, ce sont surtout ces facteurs de types externes qui ont été retenus pour la modélisation. Ces facteurs externes permettent notamment de bien illustrer ce phénomène de contagion présent dans la diffusion réseau. En diffusion réseau la contagion réfère au comportement des membres du réseau, comment ceux-ci influencent et imitent le comportement d'autres membres du réseau (Valente, 1995). L'étude de Kale et Arditi (2005) sur la diffusion de technologies de conception assistée par ordinateur (CAD) révèle que le processus de diffusion de ce type de technologie est principalement dicté par les facteurs externes à l'entreprise. Étant donnée la similitude entre les systèmes CAD et les systèmes ERP, du point de vu de l'importance de la compatibilité entre les systèmes, nous avons donc choisi d'accorder une grande importance aux influences provenant du réseau dans notre identification de facteurs.

En ce qui concerne les trois facteurs internes, soient : la taille et la marge des ressources de l'entreprise, la volonté de changement et les avantages attendus d'un ERP, seul le premier facteur est quantifiable avec exactitude pour la modélisation. Cependant, la difficulté de collecte de données de ce genre demeure un obstacle majeur connu en recherche (Valente, 1995). Les avantages attendus seront toutefois pris en compte dans une variable accordant une valeur de base aux systèmes ERP.

Parmi les cinq facteurs externes reconnus, la participation à une même chaîne d'approvisionnement et la structure du réseau ont été retenues aux fins d'expérimentation. La modélisation du phénomène de diffusion à l'aide de ces deux facteurs permettra une bonne visualisation du phénomène de propagation en réseau. L'appartenance à une même association et la participation administrative n'ont pas été sélectionnées pour des raisons de difficulté d'obtention de ce type de données puisqu'elles aussi relèvent du domaine privé. Quant à la participation financière, nous considérons celle-ci comme implicite et avons choisi d'examiner la problématique au niveau de la bannière de l'entreprise sans considérer ses divisions.

En somme, les facteurs internes d'avantages attendus seront encapsulés dans une variable de valeur de base d'un système ERP. Les facteurs externes de pression de la chaîne d'approvisionnement seront pris en compte par une variable d'exposition au réseau et la structure du réseau même sera étudiée par simulation de différents réseaux d'affaires.

2.6 Conclusion

Les systèmes ERP sont des outils d'optimisation des processus d'affaires. Ceux-ci sont aujourd'hui indispensables pour demeurer compétitifs dans un marché mondial. Plusieurs facteurs ont été identifiés comme influents dans la diffusion de systèmes ERP à l'intérieur d'un secteur industriel. La présente étude consistait à mettre en lumière ces facteurs nécessaires à la modélisation du phénomène de propagation de ces progiciels, élaborée au prochain chapitre. Dans le but d'apporter une nouvelle approche de recherche en diffusion et de mieux modéliser le comportement de diffusion spécifique aux systèmes ERP, le présent mémoire combine l'approche classique de la théorie de la diffusion et l'approche épidémiologique par contagion. En ajoutant cette dernière approche, il nous sera possible de prendre en compte l'influence du réseau par un modèle de contagion où la probabilité d'adoption augmente avec la proportion d'adeptes (Watts, 2003). Les facteurs d'avantages attendus, de pression de la chaîne d'approvisionnement et de structure du réseau ont donc été identifiés comme facteurs d'influence pour notre modèle de simulation. Finalement, la modélisation tant mathématique que par simulation sera abordée au chapitre suivant, alors que le dernier chapitre sera consacré à l'expérimentation et à la discussion de l'effet de chacun de ses facteurs sur la propagation des systèmes ERP au sein de réseaux d'affaires.

CHAPITRE 3

MODÉLISATION DU PHÉNOMÈNE DE DIFFUSION DE SYSTÈMES ERP

3.1 Introduction

L'objectif de ce travail est de développer un outil de simulation permettant de visualiser l'effet de la structure d'un réseau sur le processus de diffusion de systèmes ERP dans le temps. C'est donc en se basant sur les divers modèles recensés au chapitre 1, tant en marketing, qu'en épidémiologie, qu'en technologie de l'information que le modèle de simulation sera élaboré. Afin de suivre le phénomène de propagation d'un ou plusieurs systèmes ERP et d'identifier la séquence d'adoption, nous avons opté pour une approche par simulation basée sur un modèle de diffusion à influences mixtes. La modélisation mathématique du phénomène de diffusion de systèmes ERP est basée sur l'étude des mécanismes de propagation présentée au chapitre 2. Quant à la modélisation par simulation, une approche bien connue en production sera utilisée, soit la simulation par événements discrets. Celle-ci nous permettra d'étudier le phénomène de propagation stochastique complexe et difficile à analyser mathématiquement dû à de multiples interactions entre les entités d'un même réseau.

Le présent chapitre présente donc une démarche de modélisation en trois parties. En premier lieu, une section est consacrée à la modélisation du processus de diffusion en posant les hypothèses requises à la mise en place du modèle de simulation général. En deuxième lieu, on procède à l'élaboration du modèle de diffusion d'un système ERP en situation de monopole. En dernier lieu, la troisième section présente l'élaboration du modèle de diffusion de systèmes ERP en situation d'oligopole avec la diffusion de trois systèmes ERP simultanément.

3.2 Hypothèses de modélisation

La présente section couvre les principales hypothèses nécessaires à l'élaboration du modèle général de simulation, pour ensuite présenter le fonctionnement même du modèle de simulation.

La modélisation du processus de diffusion de systèmes ERP au sein de réseaux d'affaires s'inspire fortement de l'approche épidémiologique et de son modèle de contagion. En diffusion, les études sur la contagion cherchent à expliquer ce partage d'attitudes et de pratiques à travers les interactions existant entre les membres du réseau (Borgatti et Foster, 2003). Afin de nous permettre de simuler la diffusion d'un système ERP dans un milieu industriel, et de bien saisir ces échanges entre les membres, nous posons les hypothèses suivantes :

Hypothèse 1 : Le processus décisionnel d'adoption d'un système ERP suit un modèle de propagation épidémiologique.

Les conclusions d'une récente étude sur la propagation des systèmes ERP (Pellerin et al., 2006), qui repose sur des données réelles du marché manufacturier canadien, nous démontrent la nécessité d'étudier la diffusion de ces systèmes d'une perspective épidémiologique. On y constate que les différents liens entre les entreprises (nœuds) du réseau d'affaires influent significativement sur la diffusion des systèmes ERP. D'un point de vue épidémiologique, cela signifie qu'une entreprise peut être infectée ou susceptible d'être être infectée, ce qui équivaut à posséder un système intégré ou être susceptible d'en acquérir un. En état de « susceptibilité », l'entreprise peut adopter un système ERP sous l'influence (par contact) d'un de ses « voisins » du réseau. Cette pression du réseau provient, en général, du fait que l'utilité de ces systèmes croît en fonction du nombre d'utilisateurs interconnectés d'un réseau d'affaires. Les utilisateurs peuvent ainsi échanger de l'information en temps réel sans complications. Ceux-ci ont donc tout à leur avantage de convaincre leurs partenaires d'affaires d'adopter le même type de solutions ERP qu'eux. Tel que démontré dans l'article de (Pellerin, Léger et Babin, à paraître en 2007), nous constatons que la pression des clients sur les fournisseurs, de certains membres du conseil d'administration ou actionnaires siégeant

aux conseils de différentes entreprises, et de la concurrence joue un rôle important dans la décision d'adopter un système ERP.

Hypothèse 2 : Le processus décisionnel d'adoption d'un système ERP est un processus décisionnel irréversible.

Cette hypothèse est basée sur le fait que les coûts d'acquisition et d'implantation, le temps et les efforts d'implantation sont d'une telle importance, que le processus d'adoption, une fois enclenché, peut être considéré comme irréversible. De plus, puisque nos simulations se déroulent sur une période de deux ans (période de pénétration de marché), nous considérons également qu'une entreprise infectée le restera pour la durée de la simulation et demeura capable d'infecter (influencer) ces voisins. Nous ne considérerons pas le cas où une entreprise devient insensible, soit immunisée face à l'acquisition d'un système ERP (Canright et Engo-Monsen, 2005).

Hypothèse 3 : Le processus décisionnel d'adoption d'un système ERP est un processus décisionnel binaire (aucune adoption ou adoption d'un système ERP).

Une modélisation binaire a été préférée, car la majorité des compagnies tendent maintenant vers l'adoption complète d'une seule solution ERP avec une seule base de données afin de simplifier la communication entre les systèmes et la gestion de ceux-ci. Un mode d'adoption non binaire (adoption partielle d'un système par module) pourrait être toutefois une avenue intéressante pour diverses raisons traitées dans la section recommandation du présent mémoire.

Hypothèse 4 : Le réseau industriel à l'intérieur duquel l'adoption d'un système ERP est diffusée est un réseau statique et homogène.

En toute logique avec l'hypothèse 2 et puisque notre durée de simulation est relativement courte, nous pouvons supposer un réseau d'affaires statique et homogène. Ce qui signifie qu'aucun changement dans la structure du réseau (fusion/défusion) n'est possible durant la durée de la simulation. Nous avons également posé comme hypothèse un réseau de diffusion

homogène, puisque nous explorons la diffusion de systèmes ERP au sein d'un même réseau industriel avec aucun adepte présent au départ. Cette hypothèse implique une offre restreinte de systèmes ERP pertinente pour l'ensemble du réseau. Par conséquent, nous supposons un processus de diffusion similaire pour le réseau dans son ensemble.

3.3 Modélisation du processus de diffusion

Pour une meilleure compréhension de la dynamique d'adoption d'un progiciel ERP, nous analyserons ce processus de diffusion de système ERP au sein d'un réseau d'affaires à partir de simulations. Le modèle de simulation, présenté à la figure 3.1, permet de reproduire par une série d'événements discrets, la dynamique continue de l'évolution du statut d'une entreprise face à l'adoption d'un système ERP pour un nombre de périodes déterminées. Tel que mentionné à la deuxième hypothèse, une courte période de simulation de deux ans a été choisie. Par conséquent, nous avons répliqué 1000 fois la simulation. Ces réplications nous permettent d'obtenir une stabilité dans les résultats en atteignant le régime permanent. Ce modèle correspond à un réseau constitué d'une multitude de nœuds décrivant chacun une tâche spécifique à exécuter dans le système (initialisation des variables, changements et mise à jour des statuts, calculs de probabilités d'adoption, etc.). Le modèle fut développé à partir du langage Visual SLAM dans AweSIM. Le fonctionnement du modèle est décrit ci-après ainsi qu'en Annexe I et II.

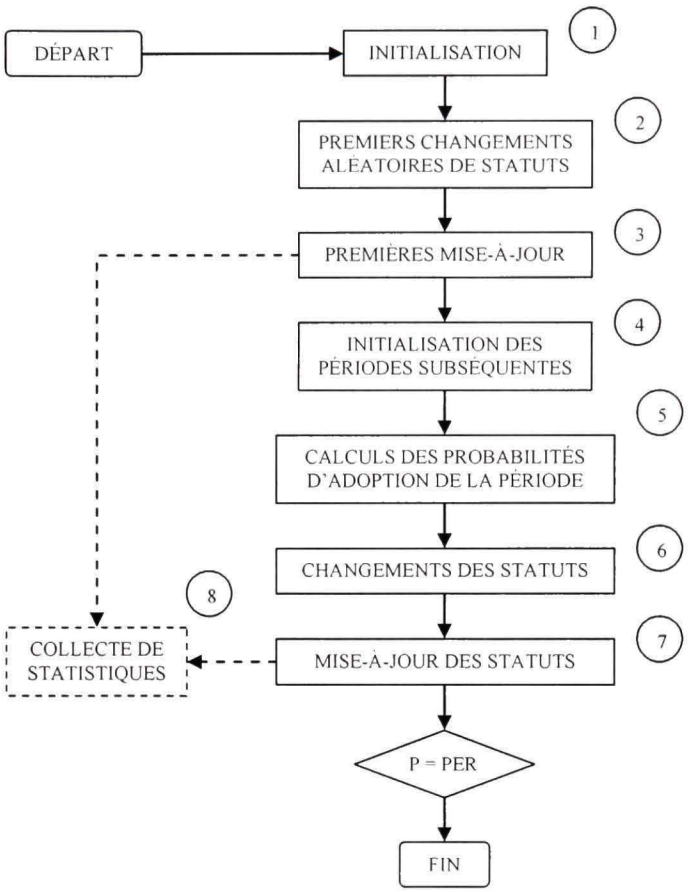


Figure 3.1 Modèle de simulation

(1) *INITIALISATION* : ce bloc initialise toutes les variables de bases requises par la simulation, telles : les numéros d'entreprises (nœuds) constituant le réseau, les numéros de périodes, les compteurs nécessaires aux calculs matriciels ainsi que les variables aléatoires requises à l'attribution des premiers changements de statuts. Un nœud peut avoir un statut d'adepte (ou d'infecté = 1) ou de non adepte (ou susceptible d'être infecté = 0). À l'intérieur de ce bloc d'initialisation, on retrouve également une boucle de lecture du réseau. Les liens définissant le réseau sont représentés par une matrice binaire et enregistré dans un fichier Microsoft Excel.

(2) *PREMIERS CHANGEMENTS ALÉATOIRES DE STATUTS* : à l'intérieur de ce bloc, on attribue simplement les premiers changements de statuts, soit les premières adoptions, à

un phénomène d'adoption aléatoire. Ces adoptions représentent en fait, les premiers adeptes d'un système ERP. Ces adeptes correspondent aux « innovateurs » de la notation du modèle de Bass.

(3) *PREMIÈRE MISE À JOUR DES STATUTS* : puisque les changements de statuts se font au niveau des attributs des entreprises, ce bloc de mise à jour sert simplement à mettre à jour les données encapsulées dans les attributs des nœuds à l'endroit approprié dans la matrice définissant le réseau.

(4) *INITIALISATION DES PÉRIODES SUBSÉQUENTES* : ce bloc permet de remettre les compteurs nécessaires aux calculs matriciels à zéro, en plus d'incrémenter le numéro de période nécessaire à la collecte de statistique.

(5) *CALCULS DES PROBABILITÉS D'ADOPTION POUR LA PÉRIODE* : c'est à ce moment que l'on procède aux calculs de valeur de chacun des systèmes et pour chacune des entreprises afin de déterminer si l'adoption pour la période aura lieu, tel que décrit à la prochaine section. Dans le cas présent, on simule la propagation d'adoption d'un ou plusieurs systèmes ERP pour un type de connexion réseau, soit l'effet de l'influence interne directe. Cet effet découle des liens de la chaîne d'approvisionnement unissant les différentes entreprises. Il s'agit donc d'un cas de simulation d'un réseau à simple connexion avec diffusion d'un ou plusieurs systèmes ERP.

(6) *CHANGEMENTS DE STATUTS* : ce bloc procède de façon similaire aux premiers changements de statuts, en se basant cette fois-ci sur les calculs effectués précédemment.

(7) *MISE À JOUR DES STATUTS* : idem au bloc des premières mise à jour.

(8) *COLLECTE DE STATISTIQUE*: à la première période, le bloc de collecte de statistique cumule les moyennes et écarts types des statuts de chacune des entreprises pour chacun des systèmes aux fins d'analyse. Lors des périodes subséquentes, en plus de cumuler les moyennes et écarts types des statuts, les moyennes et écarts types des valeurs sont également collectés par le modèle de simulation.

La prochaine section présente donc le modèle mathématique et le modèle de simulation d'un phénomène de diffusion d'un système ERP en situation de monopole.

3.4 Modélisation de la diffusion d'un système ERP en situation de monopole

Afin d'étudier la diffusion d'un système ERP dans son ensemble, nous avons convenu de d'étudier d'abord la propagation d'un seul système ERP dans un environnement de monopole pour un réseau industriel donné. La diffusion de systèmes ERP dans une dynamique concurrentielle sera traitée dans la prochaine section.

3.4.1 Modélisation mathématique

Afin de pouvoir analyser le phénomène de diffusion, nous avons élaboré un modèle de diffusion d'un seul système ERP dans un réseau à simple connexion en nous basant sur les hypothèses présentées précédemment, nous avons exprimé la probabilité d'adoption de la façon suivante :

$$P(\lambda_{it}=1) = P(\lambda_{it-1}=1) + P(V_{it} > C \mid \lambda_{it-1}=0) \qquad \text{tel que} \quad \sum_{\forall t} \lambda_{it} \leq 1 \qquad (3.1)$$

$$V_{it} = a + \omega_i Y_i b \quad \forall i,t \qquad (3.2)$$

où

t : période

i : numéro d'entreprise

λ_{it} : statut du noeud i au temps t = $\begin{cases} 0 \text{ état de non adoption} \\ 1 \text{ état d'adoption} \end{cases}$

V_{it} : valeur d'un système ERP pour l'entreprise i au temps t

a : valeur de base d'un système ERP pour toutes les entreprises (les avantages attendus)

b : constante de pondération de l'exposition au réseau ($\omega_i Y_t$)

ω_i : vecteur de proximité du noeud i

Y_t : vecteur binaire d'adoption au temps t

C : coût d'adoption du système

Le statut du nœud varie ainsi en fonction de la valeur accordée au système par l'entreprise par rapport au coût du système. Le coût du système ERP (C) est ici fixe. La valeur accordée au système ERP, quant à elle, varie en fonction de l'entourage de l'entreprise. Une partie de cette valeur (a) est fixe et égale pour l'ensemble des entreprises, soit la valeur de base accordée au système ERP par toutes les entreprises. Cette valeur représente les avantages attendus d'un système ERP. L'autre partie de la valeur d'un système ERP est déterminée en fonction des contacts de l'entreprise par l'exposition au réseau, soit par le vecteur de proximité ($\omega_i Y_t$). Plus l'entreprise est entourée d'adeptes, plus la valeur du système ERP sera élevée pour cette entreprise. En d'autres mots, plus l'entreprise est entourée d'adeptes plus l'adoption d'un système deviendra intéressante pour celle-ci. Cette partie du modèle reflète bien le phénomène de pression généré par l'interactivité de ce type d'innovation.

3.4.2 Modélisation par simulation

La figure ci-dessous représente le réseau de simulation AweSIM permettant de modéliser la diffusion de système ERP en situation de monopole. La première ligne correspond au départ de la simulation et à la phase d'initialisation de la simulation présentée à la section précédente. Les nœuds de la deuxième ligne procèdent aux premiers changements aléatoires de statuts, aux premières mises à jour ainsi qu'à la première collecte de statistique. Tel que rencontré dans la littérature (Figure 1.5), l'influence externe de départ, soit la variable aléatoire, est pondérée à 30%. C'est en troisième ligne que sont effectués les calculs de probabilités d'adoption pour la période. Les changements de statuts, les mises à jour et les collectes de statistiques subséquentes se font à la ligne suivante. Finalement, la dernière ligne permet de structurer les données collectées qui seront imprimées dans un rapport de simulation à la fin de celle-ci. Les fichiers contrôlant les réseaux de simulation présentés dans ce chapitre sont disponibles en Annexe II du présent document.

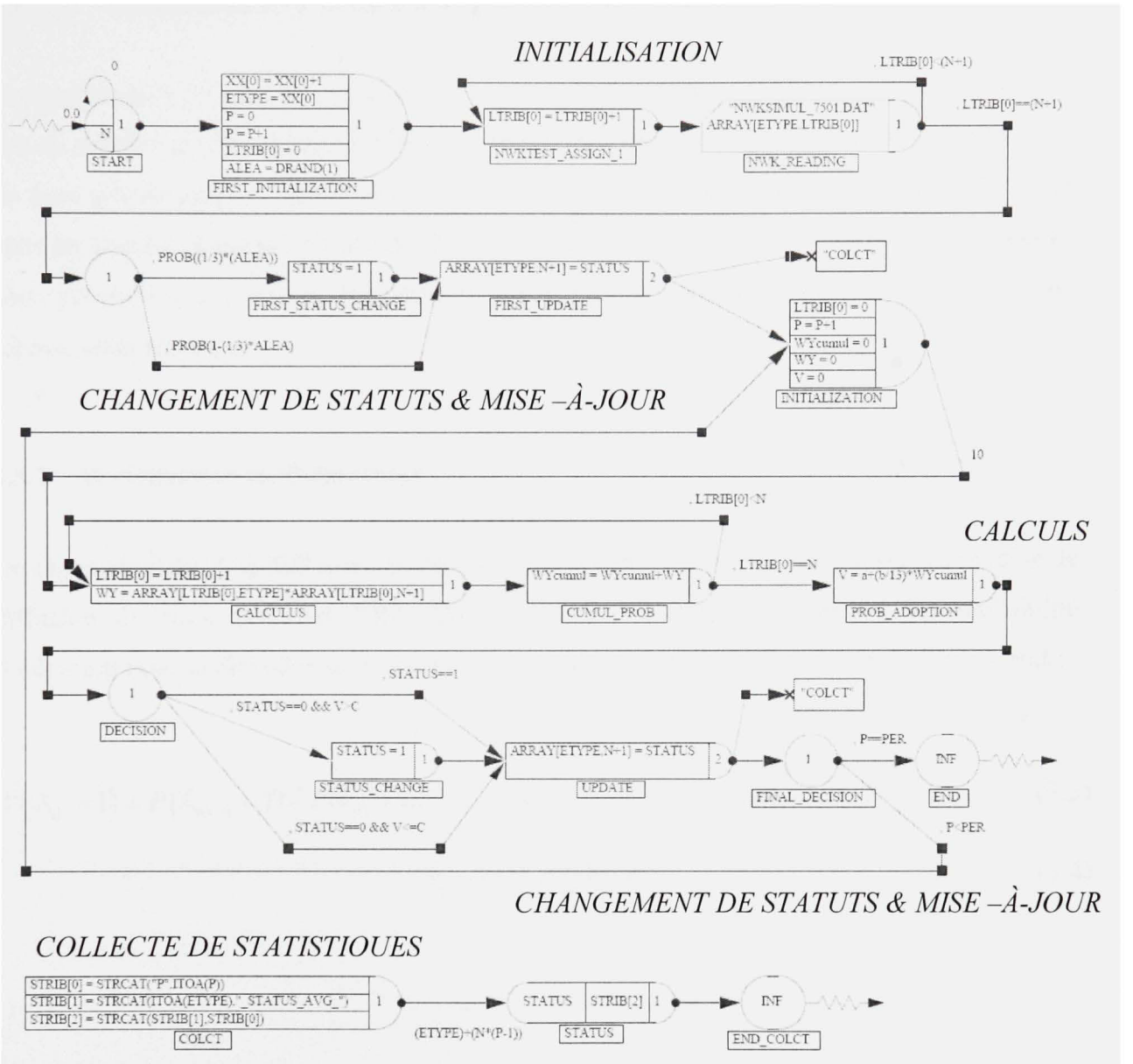


Figure 3.2 Réseau de simulation AweSIM en situation de monopole

La prochaine section est structurée de façon similaire et élabore un modèle de diffusion en situation d'oligopole, soit un modèle de diffusion de trois systèmes ERP en simultané.

3.5 Modélisation de la diffusion de trois systèmes ERP simultanément

La modélisation en situation d'oligopole avec trois systèmes a été choisie parce qu'elle permet de simuler le phénomène de diffusion se rapprochant le plus de la situation actuelle avec les trois grands joueurs : SAP, Oracle et Sage Group détenant à eux seuls plus de 50% des parts du marché (Forrester Research, 2005). Comme nous l'avons fait à la section précédente, nous présentons ci-après la formulation mathématique puis le modèle de simulation qui adresse cette situation.

3.5.1 Modélisation mathématique

De façon similaire à la diffusion en situation de monopole, nous avons élaboré un modèle de diffusion de trois systèmes ERP dans un réseau à simple connexion. La probabilité d'adoption pour la diffusion de trois systèmes en simultanés est donc exprimée comme suit :

$$P(\lambda_{itk}=1) = P(\lambda_{itk-1}=1) + P(V_{itk} > C \mid \lambda_{itk-1}=0) \qquad \text{tel que} \quad \sum_{\forall t} \lambda_{itk} \leq 1 \tag{3.3}$$

$$V_{itk} = a + \omega_i Y_{tk} b \quad \forall i,t \tag{3.4}$$

où

t : période

i : numéro d'entreprise

k : type de système ERP

λ_{itk} : statut du noeud i au temps t en fonction du système k

V_{itk} : valeur d'un système ERP k pour l'entreprise i au temps t

a : valeur de base d'un système ERP pour toutes les entreprises (les avantages attendus)

b : constante de pondération de l'exposition au réseau ($\omega_i Y_{tk}$)

ω_i : vecteur de proximité du noeud i

Y_{tk} : vecteur binaire d'adoption au temps t en fonction du système k

C : coût d'adoption du système

Le fonctionnement du modèle demeure le même que pour le phénomène de diffusion dans une situation de monopole à l'exception de l'introduction de la variable *k*. La variable *k* permet d'identifier les valeurs accordées par une entreprise à chacun des systèmes.

3.5.2 Modélisation par simulation

Les figures ci-dessous représentent le réseau AweSIM utilisé pour la simulation du phénomène de diffusion en situation d'oligopole. Il s'agit en fait d'un seul réseau de simulation scindé en deux pour fins de présentation. Le fonctionnement du réseau est similaire à celui énoncé à la section précédente. La seule différence réside dans les calculs des probabilités d'adoption. Les calculs doivent être effectués pour les trois systèmes ERP, a, b et c. Le changement de statut s'effectue pour le système ayant la plus grande valeur accordée dépassant le coût du système.

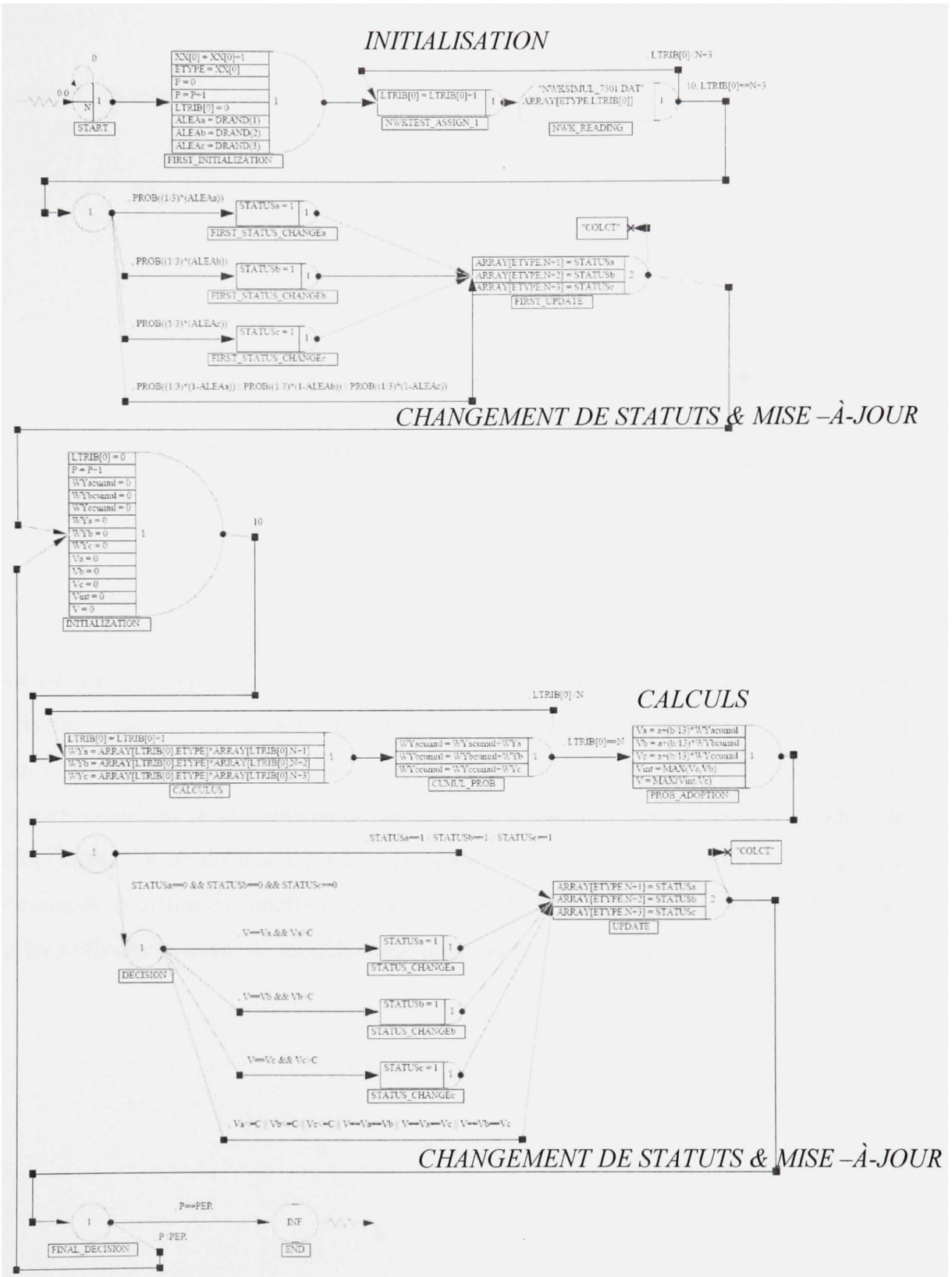


Figure 3.3 Réseau de simulation AweSIM en situation d'oligopole

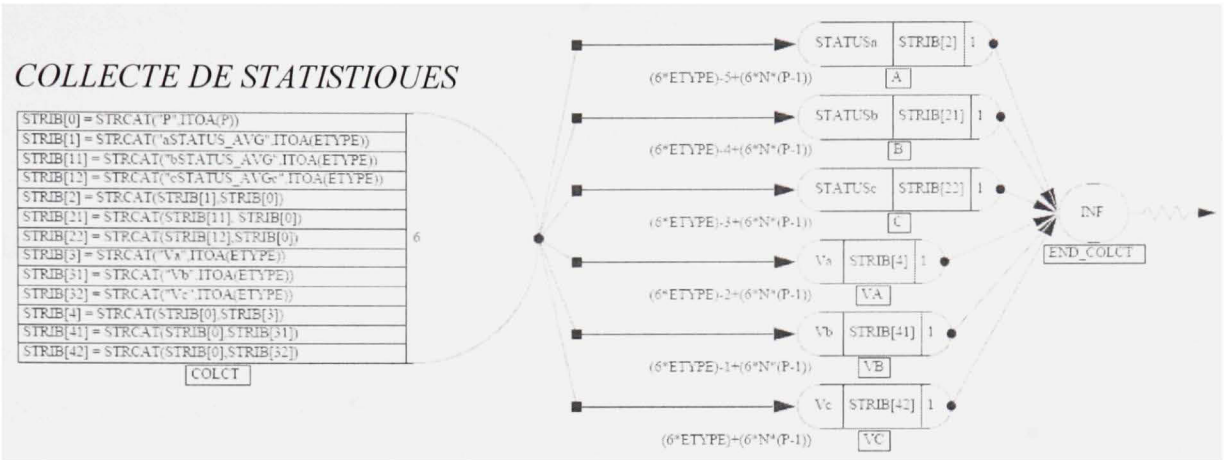


Figure 3.4 Collecte de données statistiques du réseau AweSIM en situation d'oligopole

3.6 Conclusion

La modélisation du phénomène de diffusion, à l'aide d'un modèle de simulation par événements discrets basé sur un modèle de diffusion à influence mixte, permettra d'explorer la propagation de systèmes ERP au sein de réseau d'affaires période par période. En plus de pouvoir bien visualiser le phénomène de propagation à chaque étape à l'aide du modèle de simulation, le modèle de diffusion à influence mixte permet de bien saisir toute la dynamique du processus de décision en fonction des connexions du réseau. Tous les résultats des expérimentations effectuées avec ces modèles sont présentés au chapitre suivant.

CHAPITRE 4

EXPÉRIMENTATIONS & DISCUSSION

4.1 Introduction

À l'aide des modèles développés au chapitre précédent, ce chapitre présente une étude des divers comportements de diffusion. Sachant que les donnés concernant les réseaux d'affaires sont particulièrement difficiles à obtenir (Still, 2006), nous avons basé nos expérimentations sur cinq réseaux de différentes densités, inspirés des liens de la chaîne d'approvisionnement du secteur automobile Nord-Américain. Neuf cas d'analyse ont été élaborés afin de bien comprendre l'effet de la structure du réseau, de la situation de diffusion (monopole vs oligopole), des caractéristiques individuelles des entreprises (centralité, exposition), des avantages attendus des ERP, du coût des systèmes et de l'importance accordée à l'exposition au réseau.

4.2 Présentation des cinq réseaux de simulation

Trois systèmes de notation ont été utilisés dans la modélisation du phénomène de diffusion des systèmes ERP au sein de réseaux d'affaires. La méthode algébrique a été présentée au chapitre précédent. La présente section utilise la méthode sociométrique afin de bien quantifier les liens unissant les entreprises d'un même réseau à l'aide d'une matrice sociométrique binaire. Cette matrice sera ensuite utilisée par la méthode graphique de représentation du réseau en image à l'aide du logiciel Netdraw (Borgatti, Everett et Freeman, 2002).

Un réseau est constitué d'acteurs interconnectés par des liens de diverses natures. Dans le cas présent, seulement les liens directs de la chaîne d'approvisionnement seront considérés et la communication entre ceux-ci se fera de façon bidirectionnelle (c.-à-d. si A communique avec B, B communique également avec A). Les acteurs ou membres du réseau correspondent aux nœuds et représentent des entreprises constituant le réseau dans le cas présent (Westarp et Wendt, 2000; Pellerin et al., 2006). Les cinq réseaux de différentes densités présentés dans

cette section sont tous des réseaux à un mode. Le nombre de modes d'un réseau réfère aux différents types d'entités distinctes présentent dans le réseau (ex : entreprises à buts lucratifs et celles sans buts lucratifs). Dans le cas présent, puisque nous ne considérons qu'un seul type d'entreprises, soit celui constituant un réseau automobile fictif. Nous sommes donc en présence d'un réseau à un seul mode.

Puisque les cinq différents réseaux sont tous composés de 75 nœuds, et que seule la densité varie d'un réseau à l'autre, il nous sera possible d'évaluer l'effet de la densité d'un réseau sur la diffusion de système ERP dans divers réseaux d'affaires.

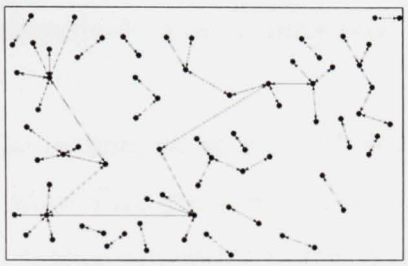
Tel que démontré par la formule suivante, la densité d'un réseau est simplement déterminée en fonction des nœuds et des liens qui les unissent.

$$D = \frac{T}{n(n-1)/2} \tag{4.1}$$

où
T : nb de liens constituant le réseau
n : nb de noeuds

Cinq réseaux de densité variant entre 4% et 12% ont donc été mis sur pied en adaptant le réseau représentant la chaîne d'approvisionnement du réseau automobile Nord-Américain (réf. Figure 4.1). Ces cinq réseaux seront utilisés dans neuf cas d'analyse différents présentés à la section suivante. Ces neuf cas d'analyse permettront d'observer les divers comportements du modèle de simulation.

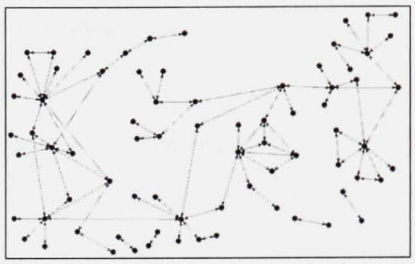
Réseau #1



Nb de nœuds = 75
Nb de liens = 112

Densité ≈ 4%
Nb d'isolés (2x2) = 15
Nb d'acteurs centraux de centralité ≥7 = AUCUN

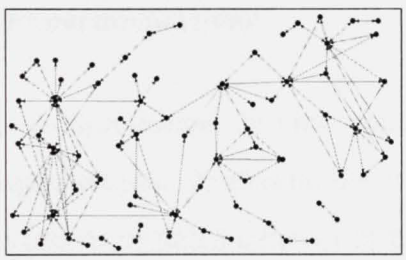
Réseau #2



Nb de nœuds = 75
Nb de liens = 168

Densité ≈ 6%
Nb d'isolés (2x2) = 4
Nb d'acteurs centraux de centralité ≥7 = 6

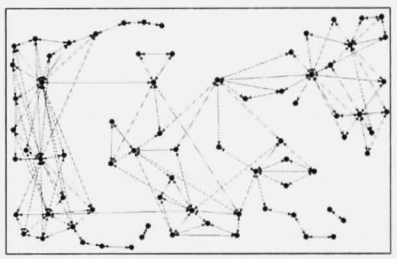
Réseau #3



Nb de nœuds = 75
Nb de liens = 222

Densité = 8%
Nb d'isolés (2x2) = 3
Nb d'acteurs centraux de centralité ≥7 = 9

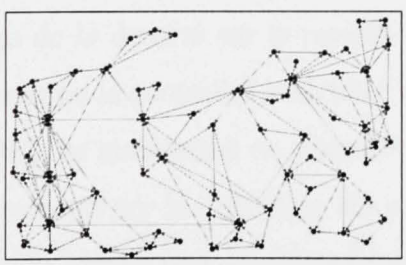
Réseau #4



Nb de nœuds = 75
Nb de liens = 278

Densité = 10%
Nb d'isolés (2x2) = 2
Nb d'acteurs centraux de centralité ≥7 = 10

Réseau #5



Nb de nœuds = 75
Nb de liens = 334

Densité ≈ 12%
Nb d'isolés (2x2) = AUCUN
Nb d'acteurs centraux de centralité ≥7 = 12

Figure 4.1 Réseaux d'analyse expérimentale

Le détail de ces matrices est présenté en Annexe III. Il est important de noter qu'étant donné la bidirectionnalité des communications, toutes les matrices sont symétriques.

La prochaine section, en plus d'évaluer l'effet de la variation des différents paramètres de la simulation (coût d'adoption, avantages attendus d'un système, la pondération de l'exposition au réseau), évalue également l'effet de structure du réseau sous divers angles (situation de monopole vs oligopole, rapidité d'adoption, la connectivité, la centralité et l'exposition individuelle des nœuds).

4.3 Expérimentations

La présente section permet de bien visualiser toute l'influence de la structure du réseau, des caractéristiques réseaux de chacun des nœuds ainsi que de chacun des paramètres du modèle sur la diffusion de système ERP au sein d'un réseau d'affaires à simple connexion. Chacun des neuf cas ci-dessous, en analysant l'effet de la structure du réseau sous un angle précis ou en faisant fluctuer un paramètre en particulier de la simulation, nous permettra de démontrer en détail l'influence de cet angle ou de ce paramètre sur la diffusion. Dans les deux premiers cas, l'analyse de l'influence de la densité sur la diffusion en situation de monopole et d'oligopole sera démontrée pour les cinq différents réseaux. Par la suite, en ce qui concerne les analyses de la densité sur la rapidité d'adoption, l'analyse de la connectivité et l'analyse de l'influence de la centralité individuelle des nœuds sur l'adoption, les résultats seront basés sur le modèle de simulation en situation de monopole afin de bien cerner l'effet de la variation du paramètre sur la diffusion. En ce qui concerne l'analyse de l'exposition individuelle des nœuds, le réseau no5, correspondant au réseau à plus forte densité, sera utilisé afin de bien évaluer l'influence de l'exposition pour une plus grande variété de centralités. Finalement, en ce qui concerne l'effet de la variation des paramètres de simulation (coût, avantages attendus et pondération de l'exposition au réseau), le réseau no3, correspondant au réseau se rapprochant le plus du réseau automobile Nord-Américain actuel, sera utilisé afin de bien

cerner l'influence des divers paramètres du modèle de simulation dans une situation se rapprochant de la réalité. Ce réseau a été partagé avec l'équipe de M. Pellerin dû à la difficulté d'obtention de données de ce genre.

4.3.1 Analyse de l'influence de la densité sur la diffusion en situation de monopole

On cherche d'abord à présenter les courbes d'adoption (statut moyen) de chaque entreprise en fonction du temps et ce pour chacun des cinq réseaux de densité différentes, dans une situation de monopole. L'analyse en situation de monopole est intéressante dans le cas de diffusion de système ERP, car ce genre de situation est relativement fréquent lors de la pénétration d'un marché par un fournisseur de système ERP, soit le phénomène de type «*winner-takes-all*».

On remarque ainsi une nette hausse du taux d'adoption en fonction de l'augmentation de la densité. Un réseau plus connecté permet donc une meilleure diffusion des systèmes ERP et augmente également les chances d'adoption du système par le maximum d'entreprises possibles (St-Georges, Pellerin et Gharbi, 2007). Si l'on s'attarde aux résultats obtenus à l'aide des réseaux 1, 3 et 5 (Figure 4.2), on remarque que le taux d'adoption passe d'une moyenne d'adoption variant de 30% à 90% à pratiquement 100% du réseau pour une durée de huit périodes, soit deux ans. On note cependant, que malgré l'augmentation de la densité du réseau, quelques entités demeurent toujours réfractèrent à l'adoption d'un système. Ces comportements démontrent que la connectivité d'un réseau joue un rôle important dans la décision et le moment d'adoption. Cet aspect de la structure du réseau sera analysé plus en détails à la section 4.3.4 du présent chapitre.

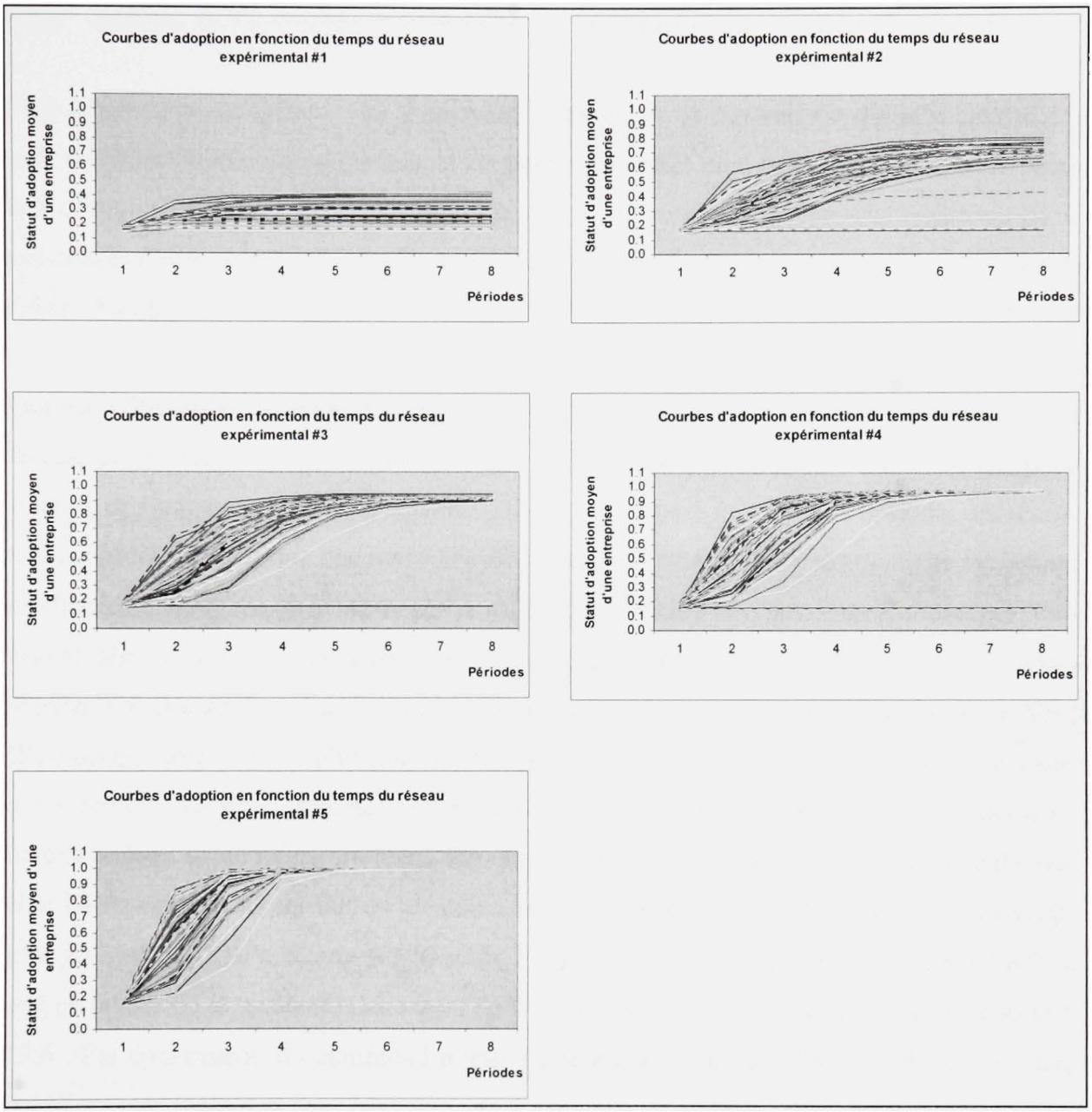


Figure 4.2 Courbes d'adoption en fonction du temps des cinq réseaux expérimentaux

La prochaine section traite également de l'adoption par le statut moyen de chaque entreprise en fonction du temps pour chacun des cinq réseaux, mais cette fois-ci dans une situation d'oligopole.

4.3.2 Analyse de l'influence de la densité sur la diffusion en situation d'oligopole

Dans la présente section, on vise à analyser le statut moyen des entreprises pour chacun des trois systèmes en fonction du temps, et ce, pour chacun des cinq réseaux. L'analyse en situation d'oligopole à trois fournisseurs intéressante puisqu'elle se rapproche beaucoup de la réalité actuelle du marché des systèmes ERP avec les trois grands joueurs, soit : SAP, Oracle et Sage Group.

Au même titre qu'en situation de monopole, on remarque selon les résultats obtenus que pour chacun des systèmes ERP disponibles (a,b,c), une hausse générale du taux d'adoption en fonction de l'augmentation de la densité. Tel que démontré à la section précédente, un réseau plus connecté permet donc une meilleure diffusion des systèmes ERP et augmente également les chances d'adoption du système par le maximum d'entreprises possibles (St-Georges, Pellerin et Gharbi, 2007). Cette hausse est toutefois plus subtile étant donné la présence de compétition. On constate un marché sectionné en trois. On remarque toutefois que le système ERPc occupe toujours une plus grande part du marché que les systèmes ERPa et ERPb. Dans le cas présent, les trois systèmes ont été définit de façon équivalentes et ont eu accès à un marché homogène au même moment. Par conséquent, la plus grande part du marché du système ERPc correspond au fait qu'aléatoirement la simulation a assigné les premières adoptions au système ERPc et que par la suite, l'exposition des entreprises au système ERPc a joué en faveur de ce système. Cet aspect de la simulation est traité plus en détails à la section 4.3.6. Par conséquent, on comprend mieux l'importance pour les éditeurs ERP de pénétrer rapidement les nouveaux marchés.

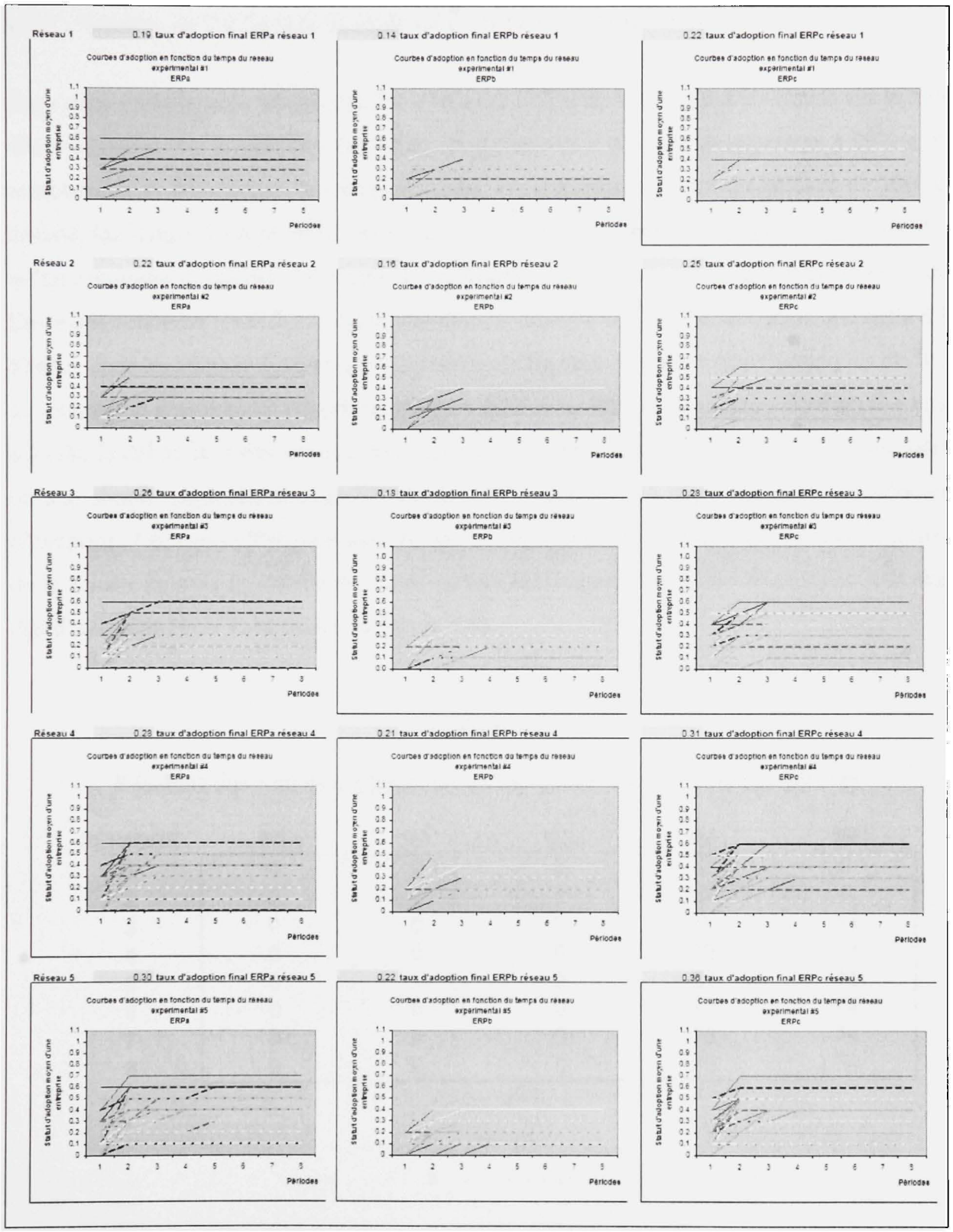


Figure 4.3 Courbes d'adoption en fonction du temps pour chacun des systèmes à l'intérieur de chacun des réseaux expérimentaux

4.3.3 Analyse de l'influence de la densité sur la rapidité de la diffusion

Dans cette section, nous avons cherché à illustrer l'effet de la densité d'un réseau sur la rapidité d'adoption. Le cumul des entreprises ayant un statut d'adoption supérieur à 95% a été comptabilisé et présenté en fonction du temps. On remarque d'abord qu'en deçà de 10% de densité, les statuts d'adoption des diverses entreprises ne dépassent jamais 95%. C'est-à-dire qu'un minimum de densité est requis afin d'assurer une diffusion du phénomène d'adoption. En ce qui concerne les réseaux ayant une densité de 10% et plus, on remarque une nette différence dans les cumuls d'adeptes. Avant même la fin de la première année, déjà plus de 50% du cinquième réseau avait adopté un système ERP avec 95% de certitude, alors qu'il a fallu attendre le début de la deuxième année en ce qui concerne le quatrième réseau. On voit donc qu'une simple augmentation de 2% de densité a permis une accélération de la diffusion d'adoption d'environ 13% (soit une période). Ceci permet de conclure qu'une augmentation de la densité au-delà du minimum requis permet une augmentation significative dans la rapidité d'adoption (voir Tableau 4.1 et Figure 4.4).

Tableau 4.1

Résultats des cumuls d'adeptes pour chacun des réseaux à chaque période

PÉRIODE	R1	R2	R3	R4	R5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	33
4	0	0	0	19	72
5	0	0	0	53	74
6	0	0	0	71	74
7	0	0	0	73	74
8	0	0	0	73	74

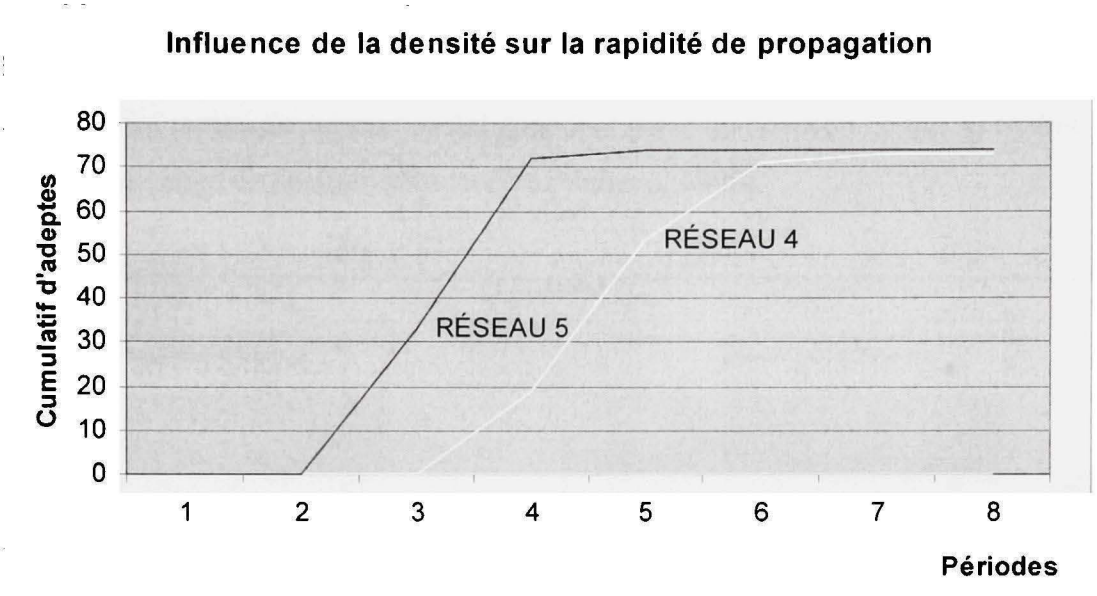


Figure 4.4 Graphique représentant le cumul d'adeptes en fonction du temps

4.3.4 Analyse de l'influence de la connectivité

De façon similaire à l'analyse de la diffusion d'innovation médicales réévalué dans le livre des modèles réseaux de diffusion de l'innovation de Valente (1995), nous avons jugé pertinent d'étudier la diffusion de systèmes ERP en fonction de l'intégration des entreprises. Deux courbes, une pour les entreprises intégrés et l'autre pour les entreprises isolées, ont donc été construites affichant ainsi la probabilité d'adoption moyenne en fonction du temps pour chacun des réseaux. Les entreprises isolés correspondent aux entreprises ayant qu'un seul lien avec le reste des entreprises du réseau, alors que les entreprises intégrées correspondent aux entreprises ayant 2 liens ou plus avec le reste des entités du réseau.

À la lumière des résultats obtenus, on remarque que dans les cas de densité en deçà de 8%, la progression du statut d'adoption moyen des entités intégrés et isolés se ressemble, bien que la progression des entités intégrées soit légèrement plus rapide. En ce qui concerne les réseaux de densité de 8% et plus, on remarque clairement, une progression du statut d'adoption plus

rapide et plus élevée chez les entités intégrées que chez les entités isolées. Ceci s'explique par le fait que les isolés sont majoritairement influencés par les médias. Ils bénéficient moins des commentaires des expériences vécues par leurs semblables et leurs compétiteurs. De surcroît, ils reçoivent moins de support social dans leur prise de décision ce qui se traduit régulièrement par une prise de position plus tardive (Valente, 1995).

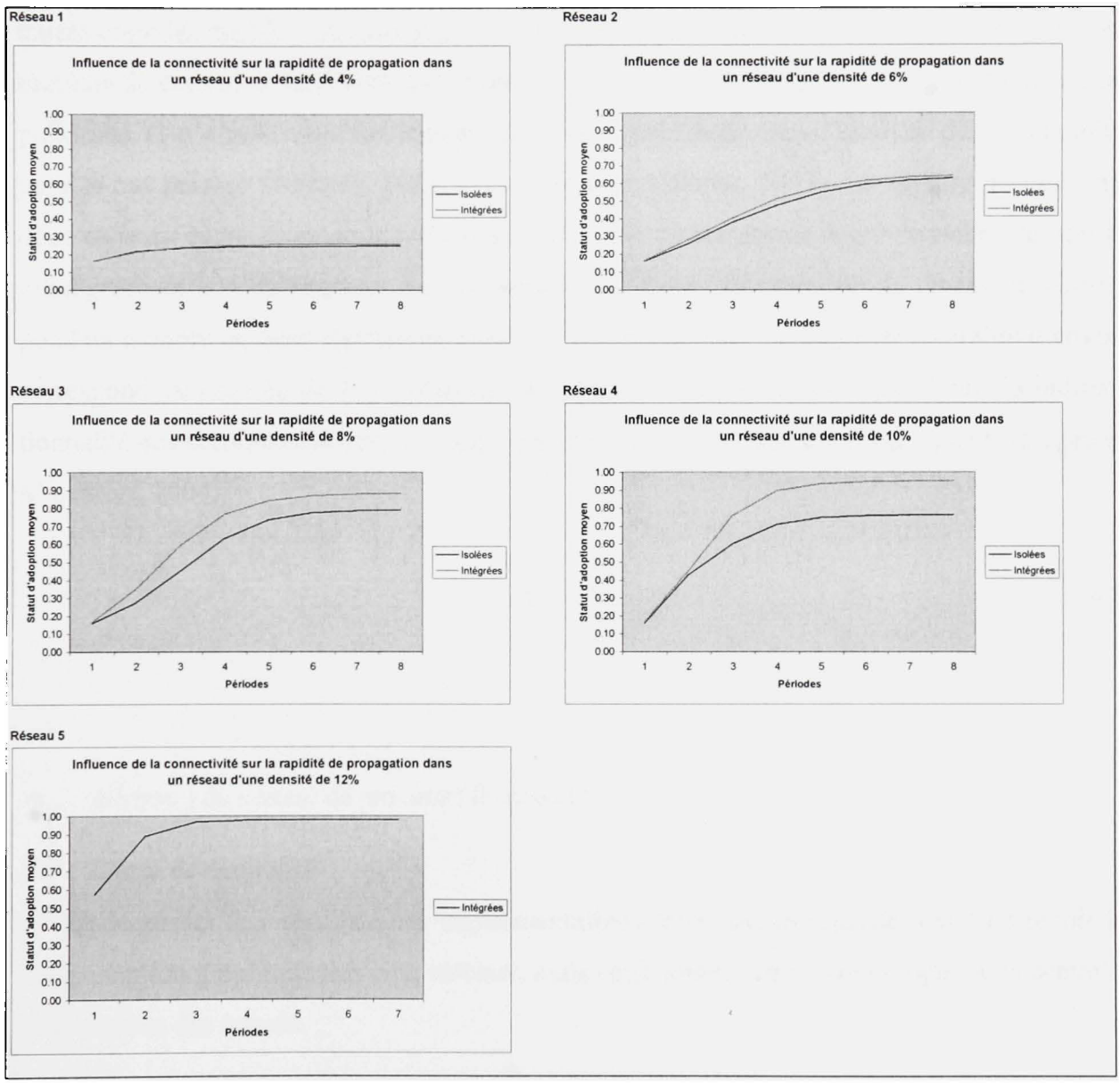


Figure 4.5 Influence de la connectivité sur la rapidité de propagation par type de réseaux

4.3.5 Analyse de l'influence de la centralité individuelle des nœuds

Parmi les mesures de centralité les plus connues, on retrouve les mesures de degré, d'entre-deux (*betweeness*) et de proximité (*closeness*). Puisqu'il s'agit d'expérimentation sur des modèles fictifs, permettant seulement la modélisation de phénomène par simulation, les distances entre les nœuds sont inconnues et, par conséquent, n'ont pas été prises en compte. Les mesures de centralité impliquant les distances géodésiques telle les mesures d'entre-deux, de proximité et d'*eigenvector* deviennent donc non pertinente dans l'analyse de la centralité pour le cas présent (Valente, 1993; Costenbader et Valente, 2003). La mesure utilisée sera donc celle du degré de centralité. Il existe deux types de mesure de degré de centralité, soit le «*Indegree*» et le «*Outdegree*». Le «*Indegree*», ou degré de centralité de réception, correspond au nombre de liens arrivant au nœud *i*. Le «*Outdegree*», ou degré de centralité d'envoi, correspond au nombre de liens émanant du nœud *i*. Dans notre cas, étant donné la bidirectionnalité des communications, ces deux degrés de centralité sont donc équivalents (Latora et Marchiori, 2004).

$$DC = \sum_{j} \omega_{ij} \tag{4.2}$$

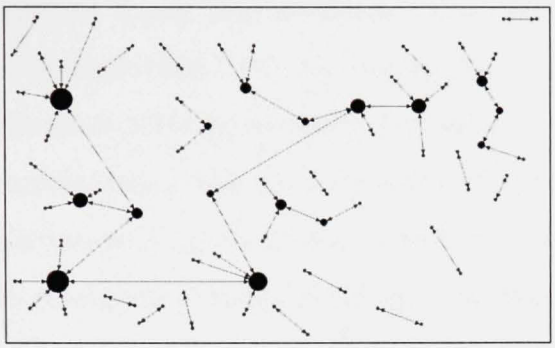
où

ω_{ij} : élément j du vecteur de proximité du noeud i

DC : Degré de centralité

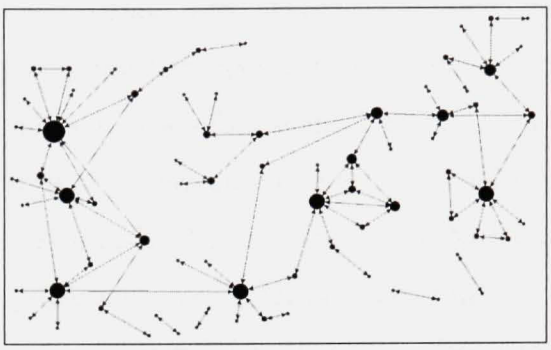
Avant de passer aux résultats des expérimentations, nous avons jugé pertinent de revoir la représentation graphique des cinq réseaux, mais cette fois-ci, en tenant compte de la centralité de chacun des nœuds.

Réseau #1



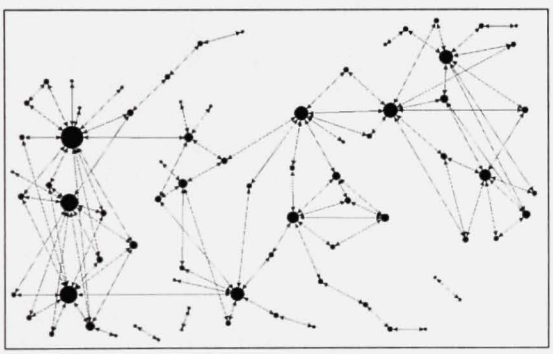
Densité ≈ 4%

Réseau #2



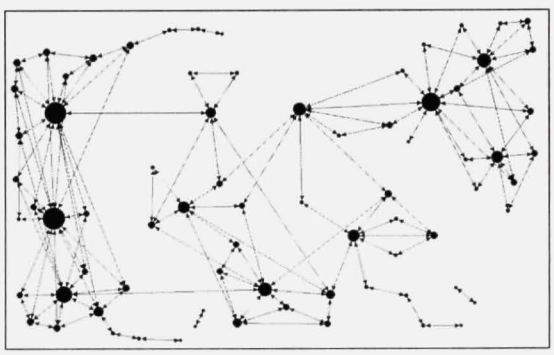
Densité ≈ 6%

Réseau #3



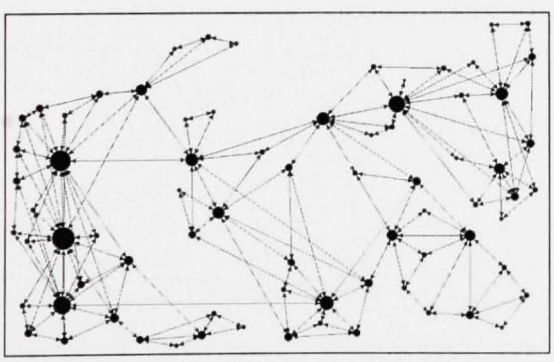
Densité = 8%

Réseau #4



Densité = 10%

Réseau #5



Densité ≈ 12%

Figure 4.6 Représentation des réseaux selon la centralité individuelle des nœuds

On distingue bien une augmentation du nombre de nœuds ayant une plus grande centralité en fonction d'une augmentation de la densité du réseau. Les résultats expérimentaux nous confirment bien l'influence de la densité perçue précédemment, soit par la diminution générale du nombre de périodes requises pour l'adoption. Toutefois, étant donné la difficulté rencontrée dans l'obtention de données concernant le réseau automobile nord américain, nous n'avons pu tenir en compte la distance entre les nœuds. Par conséquent, l'effet de la densité du réseau sur le temps requis pour adopter a prédominé sur l'effet de la centralité tel que calculé, et nous n'avons pu déterminer l'effet réel de la centralité sur le temps d'adoption.

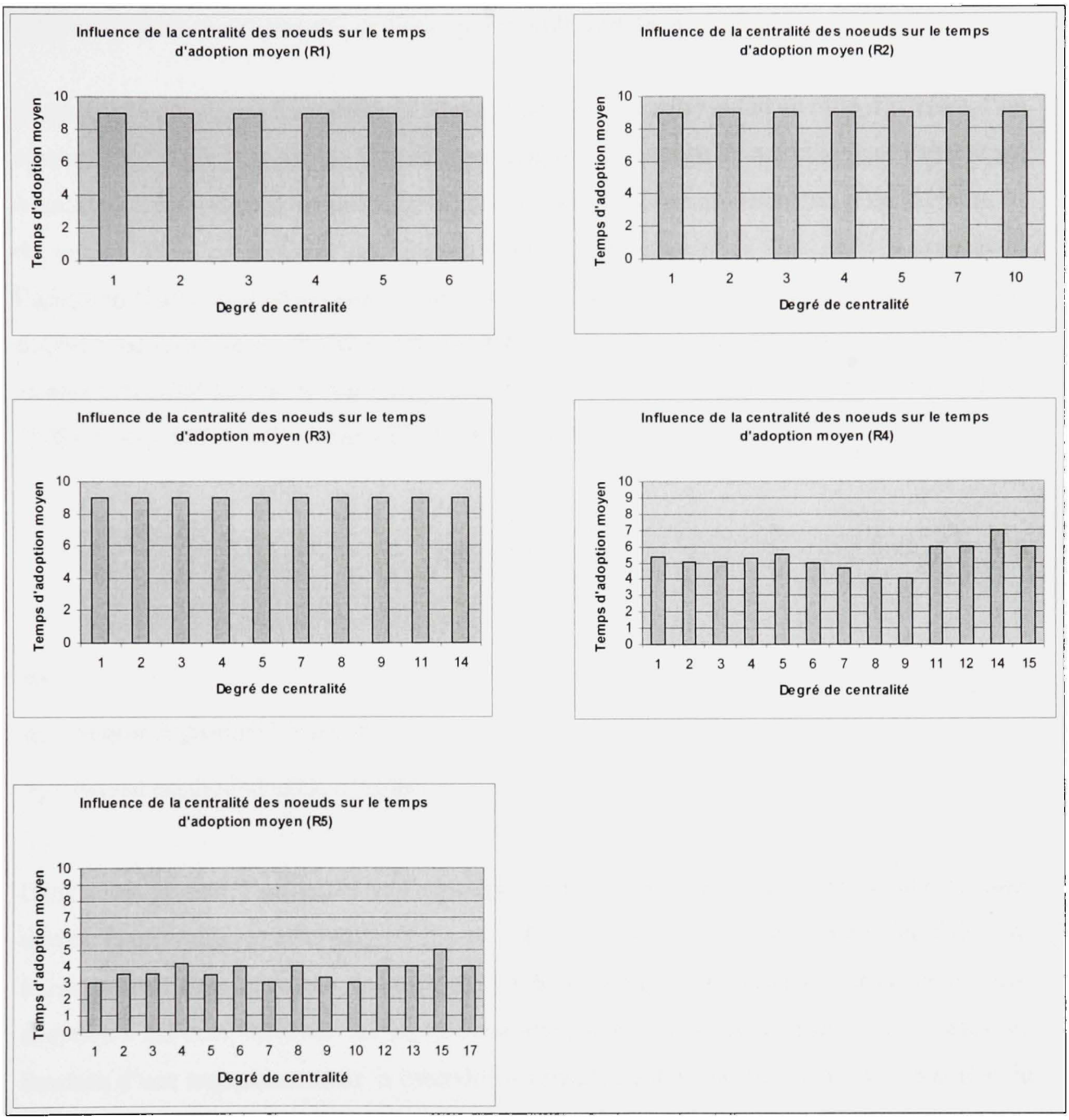


Figure 4.7 Effet de l'influence de la centralité des nœuds sur le temps d'adoption pour chaque type de réseaux

4.3.6 Analyse de l'influence de l'exposition individuelle des nœuds

Le degré d'exposition personnelle au réseau d'un membre correspond au ratio d'adeptes d'un système ERP dans l'entourage immédiat par rapport au nombre de membre dans l'entourage immédiat; c'est-à-dire le pourcentage d'infecté dans l'entourage immédiat d'un membre (*i*) du réseau. Plus un membre est entouré d'adeptes, plus celui-ci sera porté à considérer l'adoption d'une innovation comme une norme (Valente, 1995). Lorsque l'exposition personnelle est mesurée en fonction des contacts directs, elle permet de bien saisir l'influence sociale véhiculée lors de la transmission d'information, d'influence et de pression (Valente, 2005). L'exposition individuelle (EP_i)des nœuds a été calculée comme suit :

$$EP_i = \frac{\sum(\omega_i \cdot Y_i)}{\sum \omega_i} \tag{4.3}$$

où

ω_i : vecteur de proximité du noeud i

Y_t : vecteur binaire d'adoption au temps t

Dans le cas présent, l'influence de l'exposition individuelle d'un nœud a été évaluée en fonction de la centralité de celui-ci (voir Figure 4.8). C'est-à-dire que pour chaque degré de centralité présent dans le réseau, la moyenne du degré d'exposition requis pour engendrer une adoption a été comptabilisée. Ainsi, on remarque une baisse du degré d'exposition requis en fonction d'une augmentation de la centralité du nœud. Ce qui signifie que plus un membre du réseau possède un entourage direct bien garnis, plus l'influence sociale véhiculée sera forte.

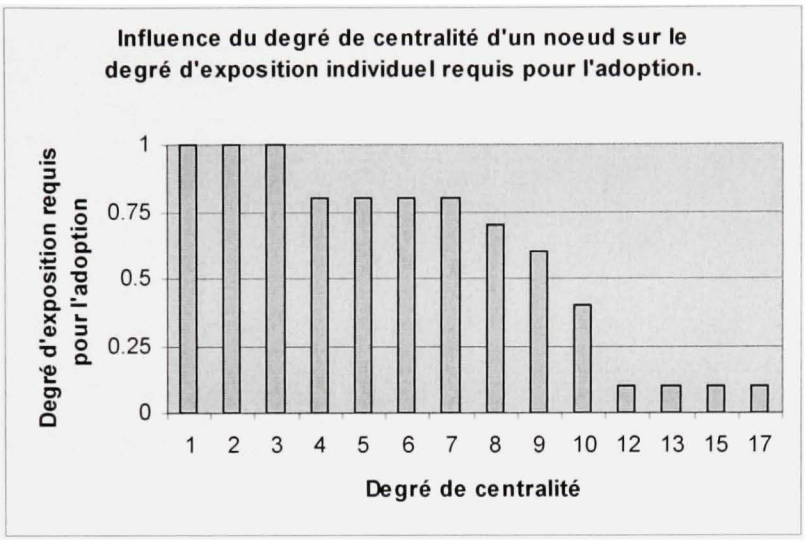


Figure 4.8 Influence du degré de centralité d'un nœud sur le degré d'exposition individuel requis pour l'adoption.

4.3.7 Analyse de l'influence du coût d'adoption

Pour fin d'expérimentations, et en se basant sur une moyenne rencontrée en industrie, un coût de base de 4% des profits d'une entreprise a été utilisé. Les avantages attendus de base ont été chiffrés à un retour de 3% par rapport aux profits de l'entreprise et l'exposition au réseau de base a été pondérée à 10%. Dans la présente analyse, plusieurs variations du coût d'adoption ont été simulées entre ±15% du coût de base de 4% (voir Figure 4.9).

On remarque une augmentation très rapide du statut d'adoption moyen dès que l'on diminue le coût de 10% ou plus. Le coût devient alors, moindre comparativement aux avantages attendus et la crainte de l'adoption diminue. Par contre dès que l'on augmente le coût de plus de 10% et que l'écart entre les deux s'approche de 50%, la crainte d'adoption devient telle qu'aucun statut d'adoption ne dépasse les 20%. Il est important de noter qu'une variation de ± 5% n'est toutefois pas suffisante pour causer des changements significatifs dans les comportements d'adoption.

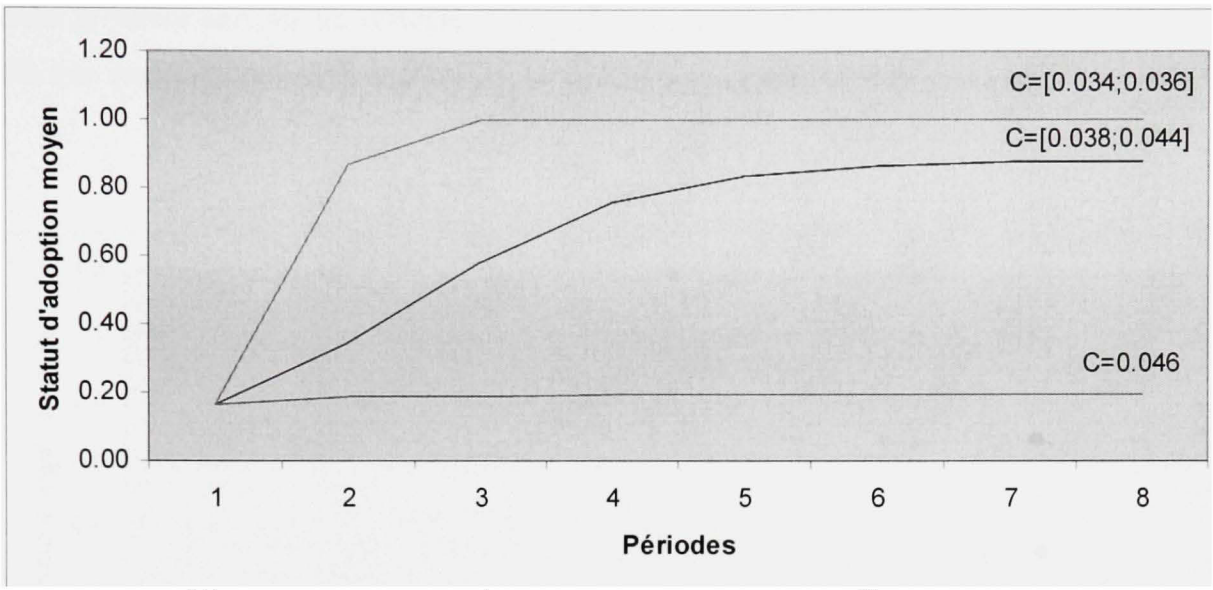


Figure 4.9 Influence de la variation du coût sur la diffusion.

4.3.8 Analyse de l'influence des avantages attendus d'un système ERP

La présente section vise à analyser la variance de la valeur de base accordée à un système ERP par une entreprise. Ce paramètre correspond en fait à la valeur de base accordée par toutes les entreprises du réseau aux avantages attendus d'un système ERP. Toujours en se basant sur la moyenne des avantages attendus en industries, nous avons chiffré le coefficient **a** en fonction du pourcentage des profits.

Afin de bien capturer l'effet de la variance de ce paramètre, le coefficient de base **a** étant fixé à 3% a été varié de -50% à +33% tout en conservant les paramètres d'exposition et de coût aux valeurs de base respectives de 10% et 4% (voir Figure 4.10). Une baisse du coefficient **a** à 2% présente une baisse significative du statut d'adoption moyen. Ceci s'explique par l'importance que prend l'exposition au réseau tout au long du phénomène de diffusion. Toutefois, un coefficient **a** au-delà de la barre des 2% est plus sensible. On remarque que seule une mince augmentation du coefficient est nécessaire pour provoquer une augmentation des statuts d'adoption moyens considérable, soit une adoption généralisée dès la 3^{e} période. Ceci s'explique par l'interdépendance entre les trois paramètres de l'équation. Un rapprochement

entre la valeur accordé au système et le coût de celui-ci provoque une adoption automatique dès que quelques membres de l'entourage de l'entreprise adoptent un système.

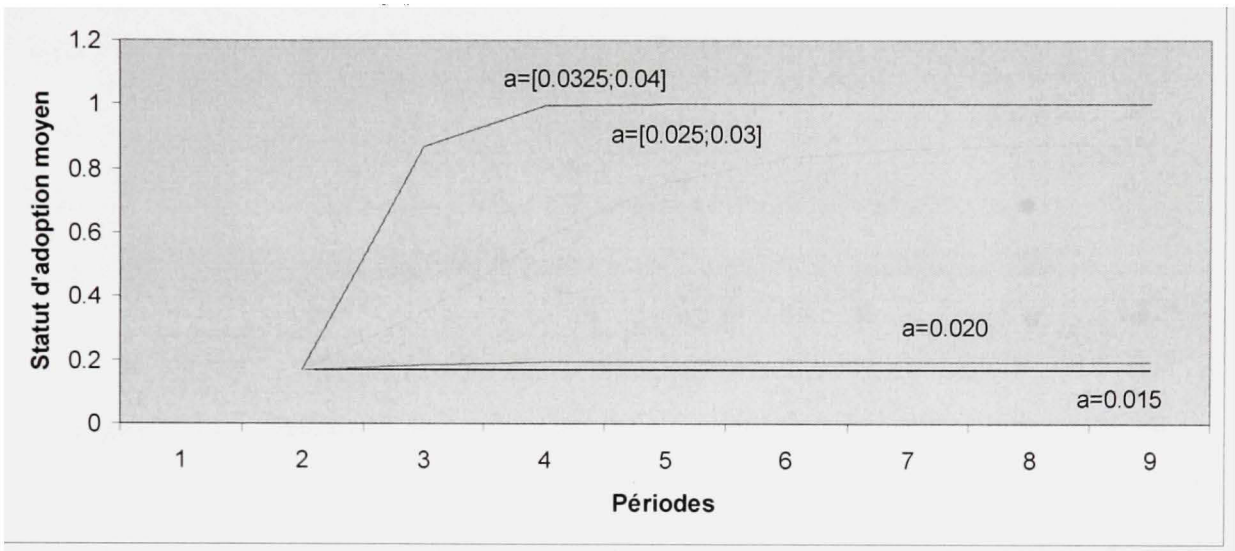


Figure 4.10 Influence de la variation de la valeur de base accordée aux systèmes ERP

4.3.9 Analyse de l'influence de la pondération de l'exposition au réseau

Cette dernière analyse vise à comprendre l'influence de la constante de pondération de l'exposition au réseau. Ici on cherche à évaluer la pénétration de marché en fonction de l'importance accordé à l'exposition au réseau (voir Figure 4.11).

Les résultats obtenus démontrent que le modèle présente peu de variations des statuts moyens d'adoption dans la fenêtre allant de 7.5% à 12.5%. Toutefois, à l'extérieur de cette fenêtre, on observe une absence d'adoption ou une adoption généralisée dès la 3^{e} période. Ceci s'explique par le fait que l'exposition au réseau croît au fur et à mesure que le phénomène de diffusion prend de l'ampleur. Par conséquent, une variance significative de la constante de pondération est nécessaire afin d'observer un changement dans le comportement du modèle de simulation.

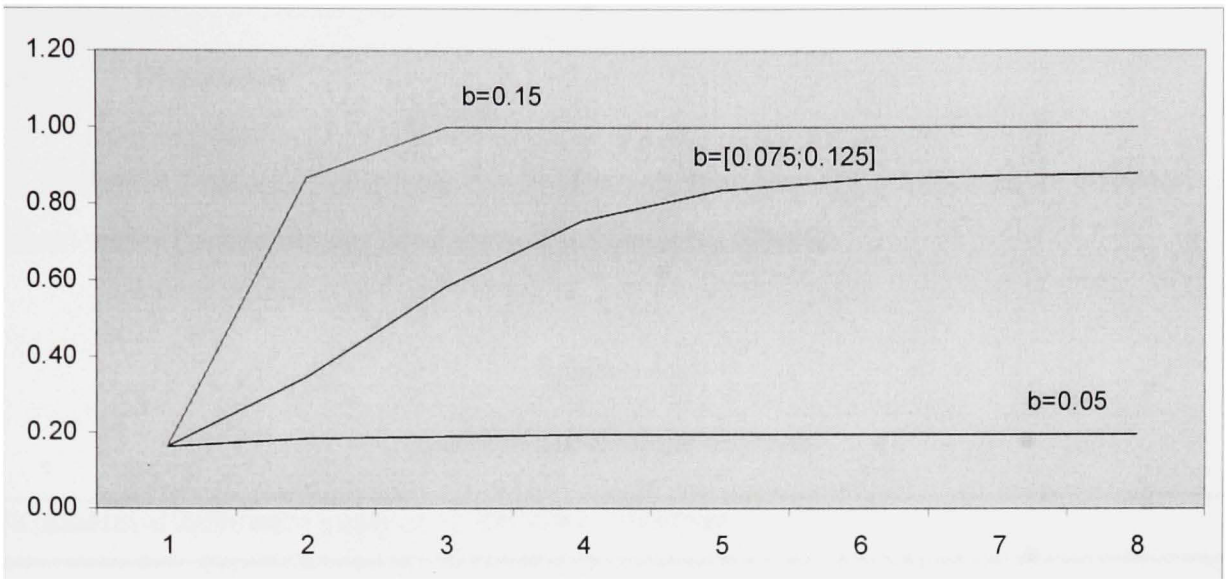


Figure 4.11 Influence de la variation de la pondération de l'exposition au réseau

La prochaine section est consacrée à la discussion des résultats du comportement du modèle de simulation à la lumière des hypothèses posées au chapitre 3 ainsi que de l'étude des mécanismes de propagation faite au chapitre 2.

4.4 Discussion

Le Tableau 4.2 résume l'ensemble des résultats obtenus lors des simulations de diffusion en faisant varier l'ensemble des paramètres d'influence du modèle.

Tableau 4.2

Synthèse des résultats observés

Paramètre d'influence analysé	**Résultats observés**
Densité en situation de monopole	• Augmentation exponentielle du taux d'adoption en fonction d'une augmentation de la densité.
Densité en situation d'oligopole	• Augmentation faible du taux d'adoption en fonction d'une augmentation de la densité due à la segmentation du marché. • Faible présence du phénomène «*winner-takes-all*» du à l'homogénéité du réseau de départ (même secteur industriel avec aucun adepte).
Rapidité de diffusion en fonction de la densité	• Densité minimale requise afin d'assurer une diffusion du phénomène d'adoption. • Augmentation significative de la rapidité d'adoption en fonction d'une augmentation de la densité, au-delà du minimum requis.
La connectivité	• Progression similaire, mais légèrement plus rapide pour les entreprises intégrées qu'isolées pour un réseau en-deçà de la densité limite. • Progression significativement plus rapide du phénomène d'adoption chez les intégrés pour des augmentations de densité au-delà de la densité limite.

La centralité individuelle des nœuds	• Effet non significatif dû à l'absence de données sur les distances entre les nœuds.
L'exposition individuelle des nœuds	• Diminution du degré d'exposition requis pour engendré une adoption en fonction d'une augmentation de la centralité du nœud.
Coût d'adoption	• Statut moyen d'adoption inversement proportionnel au coût d'adoption.
Les avantages attendus	• Effet d'augmentation ou de diminution drastique du statut moyen d'adoption à l'extérieur d'une fenêtre donnée de variation du paramètre des avantages attendus du système ERP.
Constante de pondération de l'exposition au réseau	• Une absence d'adoption ou une adoption généralisée est notée à l'extérieur d'une fenêtre donnée de variation de la constante de pondération de l'exposition au réseau.

En résumé, le modèle développé simule bien les quelques comportements de diffusion de systèmes ERP observés dans la réalité. La structure du réseau influence tel que prévu le comportement d'adoption avec une augmentation en fonction de la densité. Le phénomène du type «*winner-takes-all*» fait partie intrinsèque du modèle, mais l'hypothèse d'homogénéité du système ne permet pas d'observer une acquisition plus marqué d'un système en particulier puisque les fournisseurs ont eu accès à un réseau vierge au même moment. Suite aux résultats observés concernant l'influence de la connectivité et de l'exposition au réseau, on constate que le modèle développé suit bel et bien un processus de propagation épidémiologique. Dans le cas présent, la centralité individuelle des nœuds n'a pu être évaluée correctement dû au manque de données concernant la distance séparant les nœuds. Cet aspect spatial décrit dans l'ouvrage de Canright et Engo-Monsen (2005) voulant que les nœuds centraux se retrouvent rapidement infectés, peu importe d'où provient l'infection, est décrit par une augmentation du coefficient d'infection inversement proportionnelle à la longueur du lien entre deux

nœuds. Cet aspect spatial de la centralité se calcule par l'intermédiaire des vecteurs propres. Une étude plus en détails permettrait de perfectionner le modèle actuel en incluant ces données spatiales. Finalement, en ce qui concerne l'influence des facteurs externes et internes du modèle mathématique, leur fluctuation démontre bien le comportement d'interdépendance entre les avantages et les désavantages de l'adoption d'un système ERP. Les avantages correspondant à la valeur de base attribuée au système par la quantification des avantages attendus et la favorisation de l'adoption par l'influence du milieu environnant. Les désavantages étant les coûts engendrés par l'implantation de tels systèmes.

4.5 Conclusion

En conclusion, la modélisation du phénomène de diffusion, à l'aide d'un modèle de simulation par événements discrets basé sur un modèle de diffusion à influence mixte, a permis de décrire la propagation de systèmes ERP au sein de réseau d'affaires tel qu'explorée dans la littérature. Le modèle développé permet en plus de décrire ce type de propagation épidémiologique rencontré dans la diffusion des systèmes ERP, de suivre son développement à chaque période, et ce pour chacune des entreprises du réseau.

Le prochain chapitre correspond à la conclusion de l'ensemble de se travail en résumant les points importants du développement de ce modèle de diffusion des systèmes ERP et les limites de celui-ci. Quelques recommandations concernant le développement d'un tel modèle sont formulées en dernier lieu dans la section recommandations du présent mémoire.

CONCLUSION

La diffusion au sein de divers réseaux a été grandement étudiée et a également beaucoup évoluée au fil des ans. Tel que mentionné en introduction, on réfère généralement à *La diffusion* d'innovations que l'on traite de la propagation d'idées, d'opinion ou de produits (Valente, 1995). Selon Rogers (2003), la diffusion d'une innovation est définie comme un processus de communication de cette innovation à travers certains canaux, parmi les membres d'un système social donné et défini dans le temps. Les racines de la littérature concernant la diffusion d'une innovation sont issues de domaines divers dont l'économie, la sociologie, le marketing, l'anthropologie et la gestion des technologies (Valente, 1995; Rogers, 2003). Plusieurs chercheurs dans ces domaines ont étudié la diffusion d'innovation au sein de réseaux en se concentrant surtout sur les facteurs d'adoption et les modèles prévisionnels. Ce n'est que récemment que le domaine de la diffusion de produits s'inspire des études provenant du domaine de l'épidémiologie. Les influences réseaux sont de plus en plus prises en compte à l'intérieur de modèle de propagation d'innovation interactive comme c'est le cas des systèmes ERP.

Dans le but d'apporter une nouvelle approche de recherche en diffusion et de mieux modéliser le comportement de diffusion spécifique aux systèmes ERP, nous avons proposé une approche combinée de l'approche classique de la théorie de la diffusion et de l'approche épidémiologique par contagion. En ajoutant cette dernière approche, nous visions à prendre en compte l'influence du réseau par un modèle de contagion par l'augmentation de la probabilité d'adoption avec la proportion d'adeptes, particularité soulignée dans l'ouvrage de Watts (2003).

D'une part, l'approche dite plus classique se constitue surtout de modèles prévisionnels. Ce type de modèles se concentre surtout sur la prévision du nombre global d'adeptes dans le temps visant ainsi à déterminer à partir de quel moment un secteur devient profitable. De ces types de modèles nous avons retenus la structure mathématique du modèle de Bass quantifiant le processus d'adoption par une combinaison d'influences internes et externes. À

l'externe, nous avons retenus de façon similaire au média de masse, l'influence des avantages attendus des systèmes ERP, de la valeur de base qu'on leur accorde. À l'interne, nous avons quantifié, au même titre que le bouche-à-oreille du modèle de Bass, l'influence de la pression de la chaîne d'approvisionnement provenant de l'intérieur du réseau. D'autre part, l'approche épidémiologique par contagion, plus récente, se constitue de modèle de diffusion réseaux. Du domaine épidémiologique, où les influences réseaux sont décrites à l'intérieur de modèle de propagation de maladies contagieuses, les modèles de diffusion réseau ont permis de quantifier les diverses relations entre les membres d'un réseau dans le processus d'adoption d'une innovation. Comme source à l'élaboration de notre modèle, le parallèle intéressant entre la propagation de maladies contagieuses et la diffusion d'innovation interactives tracé dans l'article de Pellerin (2006), nous a permis de bien cerner toute l'influence de la structure du réseau dans l'élaboration du modèle mathématique.

Les mécanismes de propagation étudiés et considérés dans la modélisation jouent également un rôle crucial dans la compréhension des résultats obtenus. Ces mécanismes nous renseignent sur les facteurs clés influençant le succès de la diffusion d'un système ERP ainsi que sur la façon dont se propagent les systèmes ERP dans un milieu organisationnel. L'importance de l'influence de réseau dans le phénomène de diffusion d'une technologie interactive, tel un système ERP, a été bien démontrée au cours du chapitre 2. Afin de bien refléter cette influence du milieu environnant, les mécanismes de participation à une même chaîne d'approvisionnement ainsi que la structure du réseau ont été bien capturé par le modèle mathématique de diffusion. C'est grâce à une représentation matricielle sociométrique binaire que les liens unissant les entreprises du réseau ont été pris en compte. La méthode graphique de Netdraw et les graphiques de progression Excel quantifiant les résultats obtenus à l'aide d'AweSIM permettent bien de suivre la progression de la diffusion à travers le réseau. Parmi les mécanismes/facteurs d'influences externes, les facteurs de coût du système et de la valeur de base accordée à celui-ci ont été pris en compte dans la construction du modèle algébrique.

Afin de bien mettre sur pied un modèle de simulation de la diffusion des systèmes ERP, quatre hypothèses ont été posées. La première consiste à supposer que le processus décisionnel d'adoption suit un modèle de propagation épidémiologique. Cela signifie qu'une entreprise peut être infectée ou susceptible d'être être infectée, ce qui équivaut à posséder un système intégré ou être susceptible d'en acquérir un. La deuxième hypothèse consiste à supposer que le processus est irréversible. C'est-à-dire qu'étant donné que nos simulations se déroulent sur une période de deux ans et que les coûts d'adoption sont considérables, nous considérons qu'une entreprise infectée le restera pour la durée de la simulation et demeura capable d'infecter (influencer) ces voisins. La troisième hypothèse consiste à supposer que le processus décisionnel est binaire. Une modélisation binaire a été préférée, car la majorité des compagnies tendent maintenant vers l'adoption complète d'une solution ERP avec une seule base de données afin de simplifier la communication entre les systèmes et la gestion de ceux-ci. La dernière hypothèse consiste à supposer que le réseau industriel à l'intérieur analysé est statique et homogène. Ce qui signifie qu'aucun changement dans la structure du réseau (fusion/défusion) n'est possible durant la durée de la simulation et que l'offre des éditeurs de systèmes ERP est pertinente pour l'ensemble du réseau d'un même secteur industriel (secteur vierge au départ).

Les résultats obtenus démontrent bien le comportement de diffusion des systèmes ERP observé dans la littérature. Tel que prévu, la structure du réseau influence le comportement d'adoption avec une augmentation en fonction de la densité. Le phénomène du type «*winner-takes-all*» est parti intégrante du modèle, mais l'hypothèse d'homogénéité du système ne permet pas d'observer une acquisition plus marqué d'un système. Suite aux résultats observés concernant l'influence de la connectivité et de l'exposition au réseau, on constate que le modèle développé suit bel et bien un processus de propagation épidémiologique. Mais dans le cas présent, la centralité individuelle des nœuds n'a pu être évaluée correctement dû au manque de données concernant la distance séparant les nœuds.

En somme, le modèle proposé dans ce mémoire, basé sur un modèle à influence mixte, modélisant le phénomène de diffusion à l'aide de la simulation par événements discrets. Ce type

modèle nous a permis décrire la diffusion d'une innovation dite interactive sous un angle épidémiologique, en plus de suivre son développement à chaque période, et ce pour chacune des entreprises du réseau.

RECOMMANDATIONS

Cette section souligne les limites du modèles élaboré dans le présent mémoire et suggère quelques pistes de recherches permettant de donner suite à cet ouvrage. Cinq aspects ont été soulignés afin de permettre soit une étude approfondie du sujet ou simplement une autre alternative d'étude.

1. Le modèle présent propose une introduction des nouveaux adeptes par un phénomène d'influence aléatoire. L'introduction d'un terme quantifiant la tendance des organisations à l'adoption d'un système ERP en fonction des attributs perçus, du désir de standardisation/réorganisation, de sa situation financière et de sa situation face à la compétition apporterait plus de précision au modèle.

2. Une limitation du présent modèle réside dans la considération des paramètres internes à l'entreprise telle, la taille et les ressources de celle-ci. En vertu des coûts et des efforts d'implantation d'un système ERP, il pourrait notamment être intéressant d'ajouter une constante de risque à l'équation, celle-ci serait fonction de la taille et des ressources de l'entreprise.

3. En plus de la pression provenant de la chaîne d'approvisionnement, il pourrait être également intéressant d'ajouter au modèle l'effet de la pression des administrateurs de liaison, soit les «*interlocks*».

4. La variable de coût pourrait également être étoffée en lui ajoutant un paramètre permettant une variation du coût en fonction du temps. Il est noté que les adeptes tardifs d'un réseau industriels bénéficient souvent de coûts d'implantation réduits grâce à un processus d'implantation bien rodé en fin de diffusion.

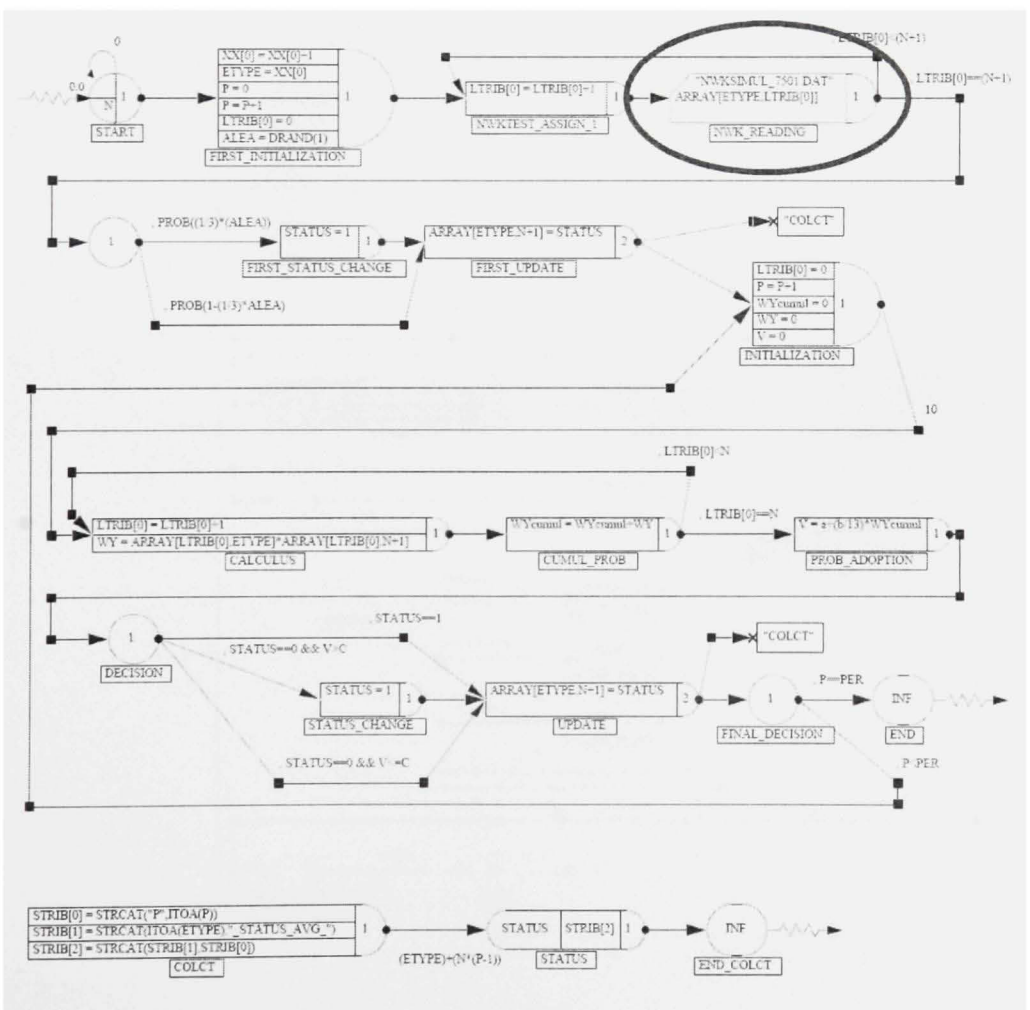
5. Un paramètre de contamination négative pourrait également faire l'objet de recherches subséquentes et ajouter au présent modèle. Bien qu'observé dans le milieu industriel, cet aspect limitatif de la diffusion est toutefois peu observé dans la littérature.

6. Finalement, une avenue alternative provenant de la critique sur la théorie de la diffusion comme structure aidant à la compréhension d'adoption d'innovation logicielle en ingénierie de Bayers et Melone (1988), nous suggère quelques extensions relative à l'adoption de ce type d'innovation. Un critère important souligné dans cette critique consiste à l'intégration de la discontinuité dans l'adoption, telle l'adoption partielle d'un progiciel ERP (seulement quelques modules) qui est encore fréquemment rencontré. Cet aspect de l'adoption de système ERP représente une avenue intéressante dans l'extension du présent modèle, malgré le fait que les compagnies tendent de plus en plus à l'adoption d'un progiciel ERP unique avec les modules pertinents implantés sous une seule base de données commune à tous les modules, pour des raisons de simplicité dans la communication des données. L'adoption partielle, en implantant des modules de différents éditeurs, est notamment une avenue fortement découragée par les éditeurs de solutions ERP. Ce type de modification demanderait une redéfinition de la nature du processus d'adoption en processus non binaire. Ce processus pourrait cependant bien modeler la diffusion de mise-à-jour de système ERP qui deviendra bientôt chose courante. C'est-à-dire que les grandes entreprises du Fortune 500 recommenceront à investir massivement dans leur système ERP vers les années 2007, en remplacement des systèmes installés avant l'an 2000. C'est entreprises reconsidéreront la pertinence de leur licence qu'ils auront depuis bientôt 10 ans.

RÉSEAUX DE SIMULATION AWESIM

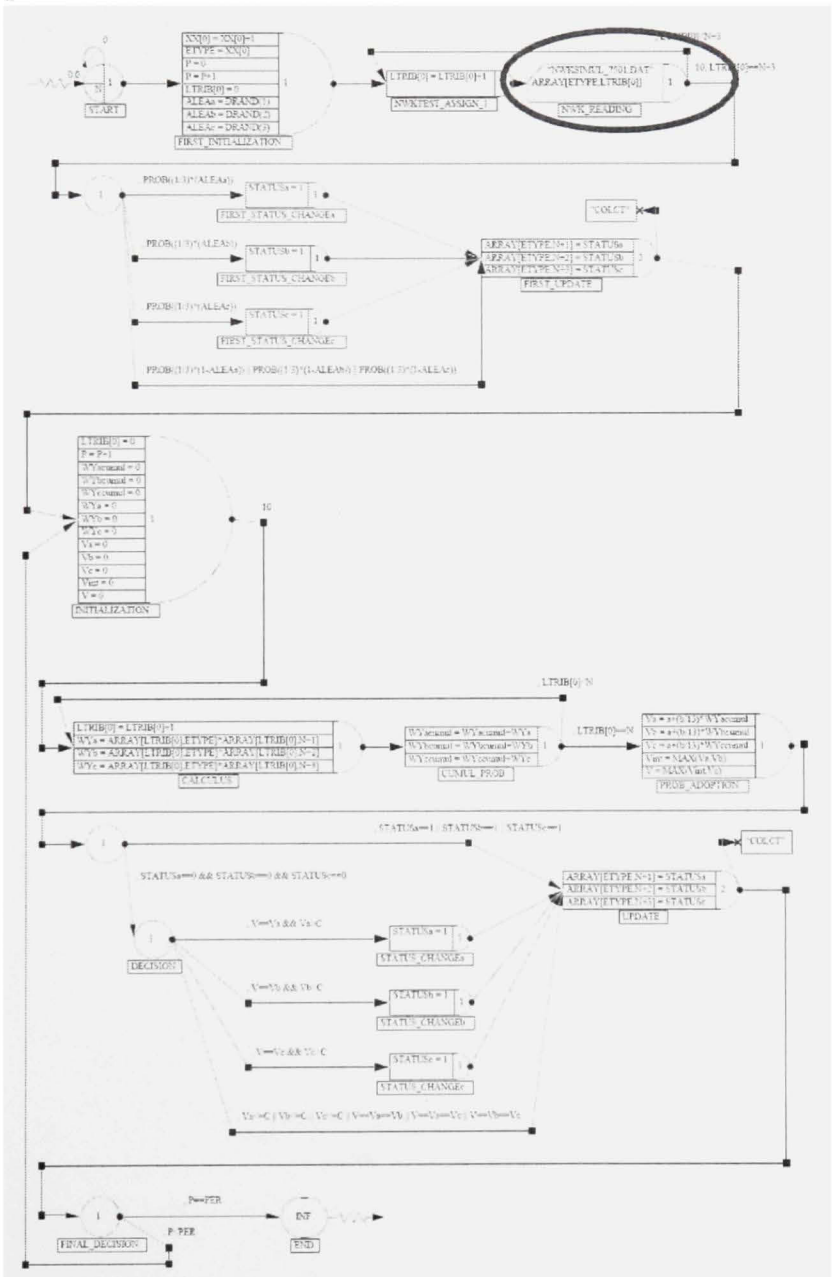
Modèle 1 : Diffusion d'un système ERP en situation de monopole au sein d'un réseau à simple connexion

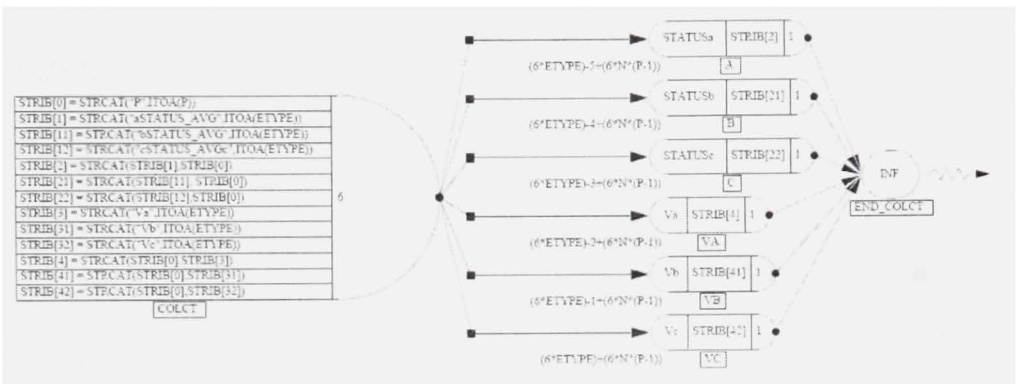
Le réseau de simulation AweSIM présenté ci-dessous demeure le même pour toutes les simulations du modèle 1, à l'exception du nœud READ entouré en rouge où l'on change le fichier en fonction du réseau d'affaire à lire. Dans le cas présent, les cinq réseaux NWKSIMUL_7501, NWKSIMUL_7502, NWKSIMUL_7503, NWKSIMUL_7504, NWKSIMUL_7505, ont été utilisé lors de la simulation.



Modèle 2 : Diffusion d'un système ERP en situation d'oligopole au sein d'un réseau à simple connexion

De façon identique au modèle 1, seul le nœud READ entouré en rouge varie d'une simulation à l'autre pour les expérimentations du modèle 2. Les mêmes réseaux utilisés dans le modèle 1 ont été utilisés pour les simulations du modèle 2.




STRIB[0] = STRCAT("P"ITOA(P))
STRIB[1] = STRCAT("sSTATUS_AVG"ITOA(ETYPE))
STRIB[11] = STRCAT("sSTATUS_AVG"ITOA(ETYPE))
STRIB[12] = STRCAT("cSTATUS_AVGc"ITOA(ETYPE))
STRIB[2] = STRCAT(STRIB[1],STRIB[0])
STRIB[21] = STRCAT(STRIB[11], STRIB[0])
STRIB[22] = STRCAT(STRIB[12],STRIB[0])
STRIB[3] = STRCAT("Va"ITOA(ETYPE))
STRIB[31] = STRCAT("Vb"ITOA(ETYPE))
STRIB[32] = STRCAT("Vc"ITOA(ETYPE))
STRIB[4] = STRCAT(STRIB[0],STRIB[3])
STRIB[41] = STRCAT(STRIB[0],STRIB[31])
STRIB[42] = STRCAT(STRIB[0],STRIB[32])
COLCT
6
STATUSa
STRIB[2]
1
(6*ETYPE)-5=(6*N*(P-1))
A
STATUSb
STRIB[21]
1
(6*ETYPE)-4=(6*N*(P-1))
B
STATUSc
STRIB[22]
1
(6*ETYPE)-3=(6*N*(P-1))
C
Va
STRIB[4]
1
(6*ETYPE)-2=(6*N*(P-1))
VA
Vb
STRIB[41]
1
(6*ETYPE)-1=(6*N*(P-1))
VB
Vc
STRIB[42]
1
(6*ETYPE)=(6*N*(P-1))
VC
INF
END_COLCT

FICHIERS DE CONTROLE AWESIM

Modèle 1 : Diffusion d'un système ERP en situation de monopole au sein d'un réseau à simple connexion

```
GEN,"CONTROL","MAITRISE",11 JANVIER 2007,1000,YES,YES;
REPORT,80,YES,YES,EVERY(1000);
LIMITS,1000,1000,,1000,1000,1000;
NETWORK,READ;
INITIALIZE,0.0,,NO,,NO;
INTLC,{{LL[0],75},{LL[1],8},{XX[1],0.03},{XX[2],0.1},{XX[3],0.04}};
ARRAY,1,78;
ARRAY,2,78;
ARRAY,3,78;
ARRAY,4,78;
ARRAY,5,78;
...
ARRAY,70,78;
ARRAY,71,78;
ARRAY,72,78;
ARRAY,73,78;
ARRAY,74,78;
ARRAY,75,78;
EQUIVALENCE, {{ALEA,ATRIB[1]}, {STATUS,ATRIB[2]}, {N,LL[0]}, {PER,LL[1]},
{P,LTRIB[1]}, {WY,ATRIB[3]}, {WYcumul,ATRIB[4]}, {V,ATRIB[5]}, {a,XX[1]},
{b,XX[2]}, {C,XX[3]}};
FIN;
```

Afin d'assurer une stabilité des résultats, 1000 réplications ont été effectuées pour chaque simulation.

Les variations de paramètres s'effectuent sur cette ligne

Modèle 2 : Diffusion d'un système ERP en situation d'oligopole au sein d'un réseau à simple connexion

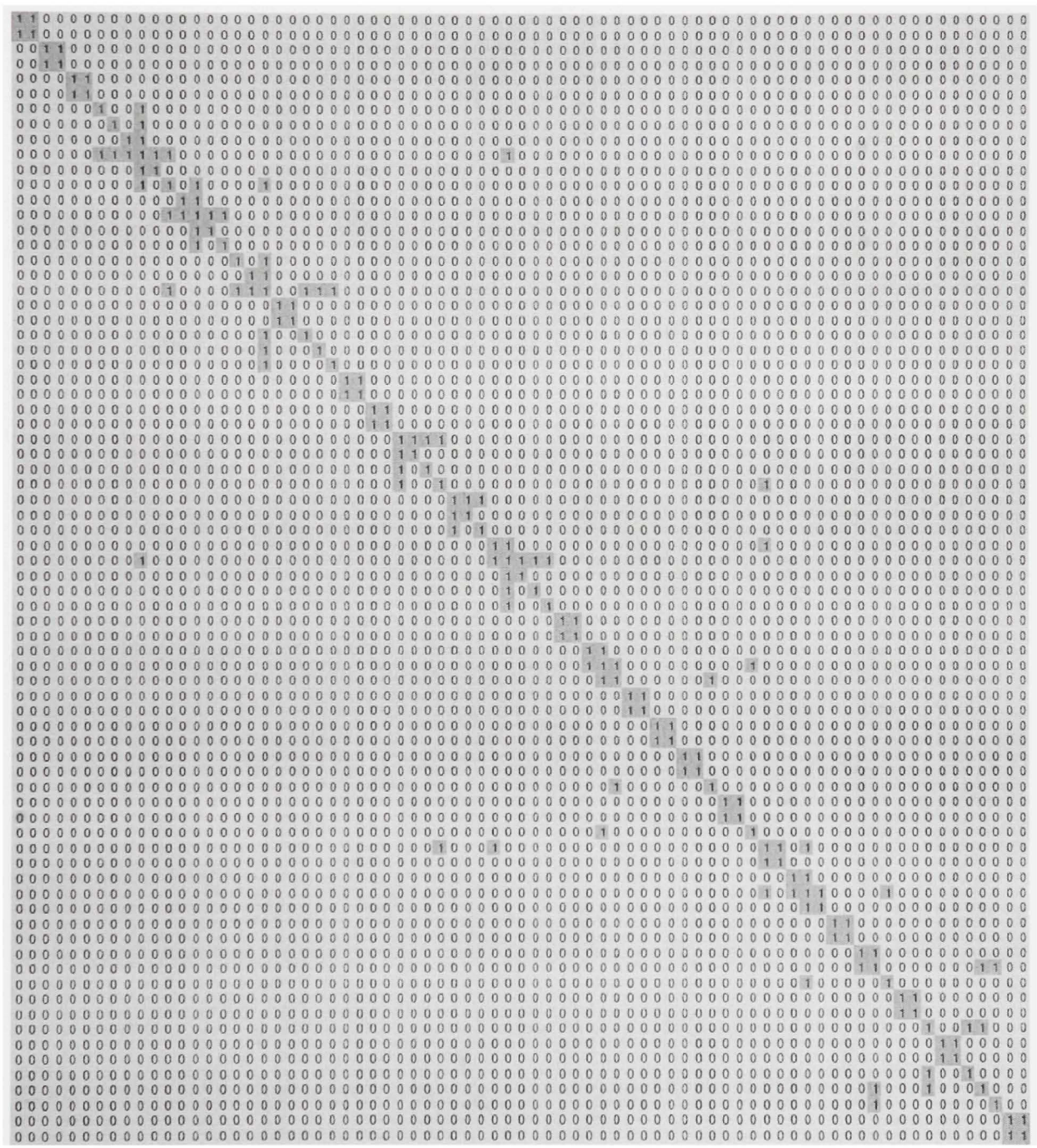
```
GEN,"CONTROL","MAITRISE",11 JANVIER 2007,1000,YES,YES;
REPORT,80,YES,YES,EVERY(1000);
LIMITS,1000,1000,,1000,1000,1000;
NETWORK,READ;
INITIALIZE,0.0,,NO,,NO;
INTLC,{{LL[0],75},{LL[1],8},{XX[1],0.03},{XX[2],0.1},{XX[3],0.04}};
ARRAY,1,78;
ARRAY,2,78;
ARRAY,3,78;
ARRAY,4,78;
ARRAY,5,78;
...
ARRAY,70,78;
ARRAY,71,78;
ARRAY,72,78;
ARRAY,73,78;
ARRAY,74,78;
ARRAY,75,78;
EQUIVALENCE, {{ALEAa,ATRIB[1]}, {ALEAb,ATRIB[14]}, {ALEAc,ATRIB[15]},
{STATUSa,ATRIB[2]}, {STATUSb,ATRIB[21]}, {STATUSc,ATRIB[22]},
{N,LL[0]},{PER,LL[1]}, {P,LTRIB[1]}, {WYa,ATRIB[3]}, {WYacumul,ATRIB[4]},
{Va,ATRIB[5]}, {WYb,ATRIB[6]}, {WYbcumul,ATRIB[7]}, {Vb,ATRIB[8]},
{WYc,ATRIB[9]}, {WYccumul,ATRIB[10]}, {Vc,ATRIB[11]}, {Vint,ATRIB[12]},
{V,ATRIB[13]}, {a,XX[1]},{b,XX[2]}, {C,XX[3]}};
FIN;
```

Afin d'assurer une stabilité des résultats, 1000 réplications ont été effectuées pour chaque simulation.

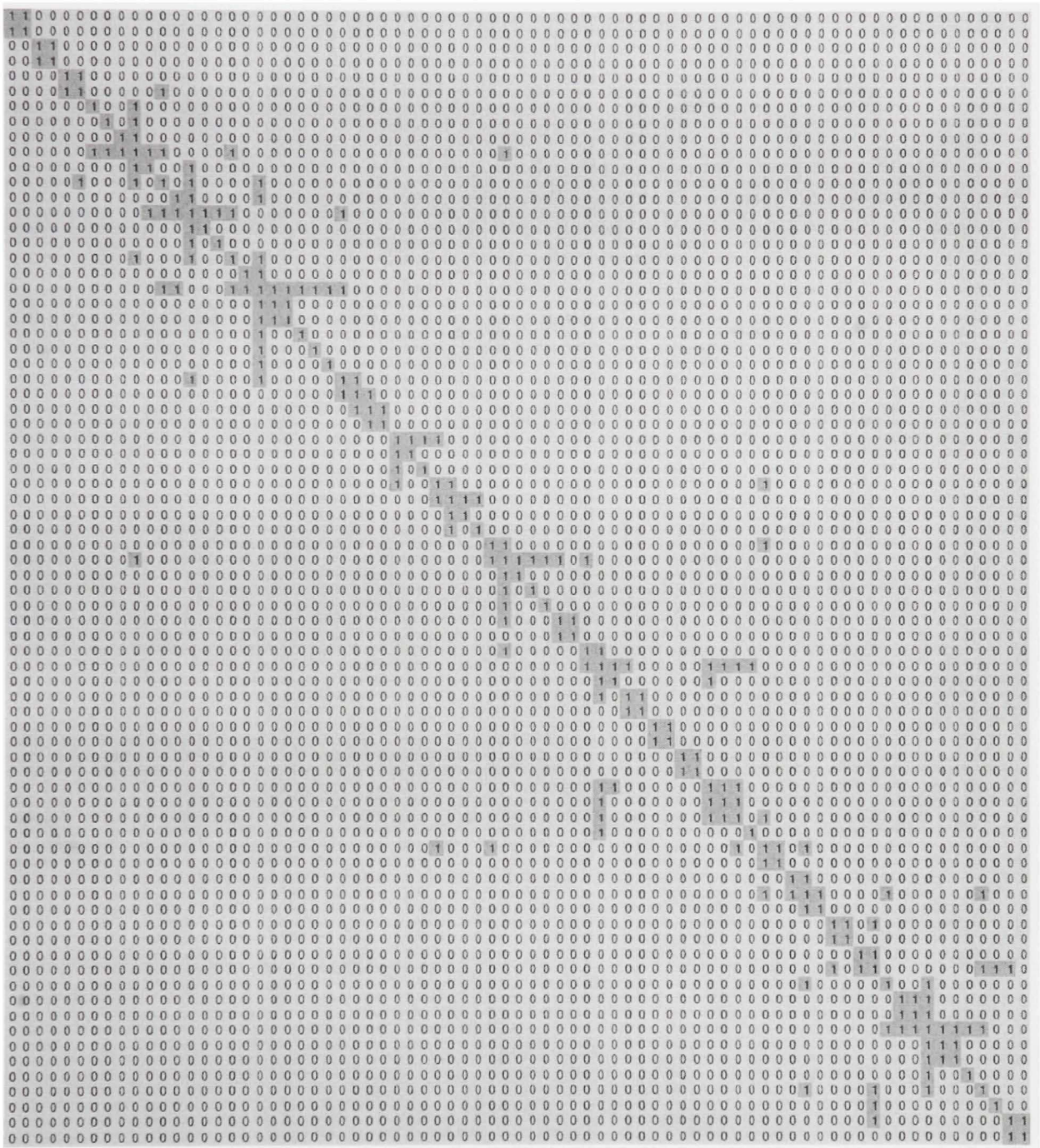
Les variations de paramètres s'effectuent sur cette ligne

LES MATRICES SOCIOMÉTRIQUES DES CINQ RÉSEAUX EXPÉRIMENTAUX

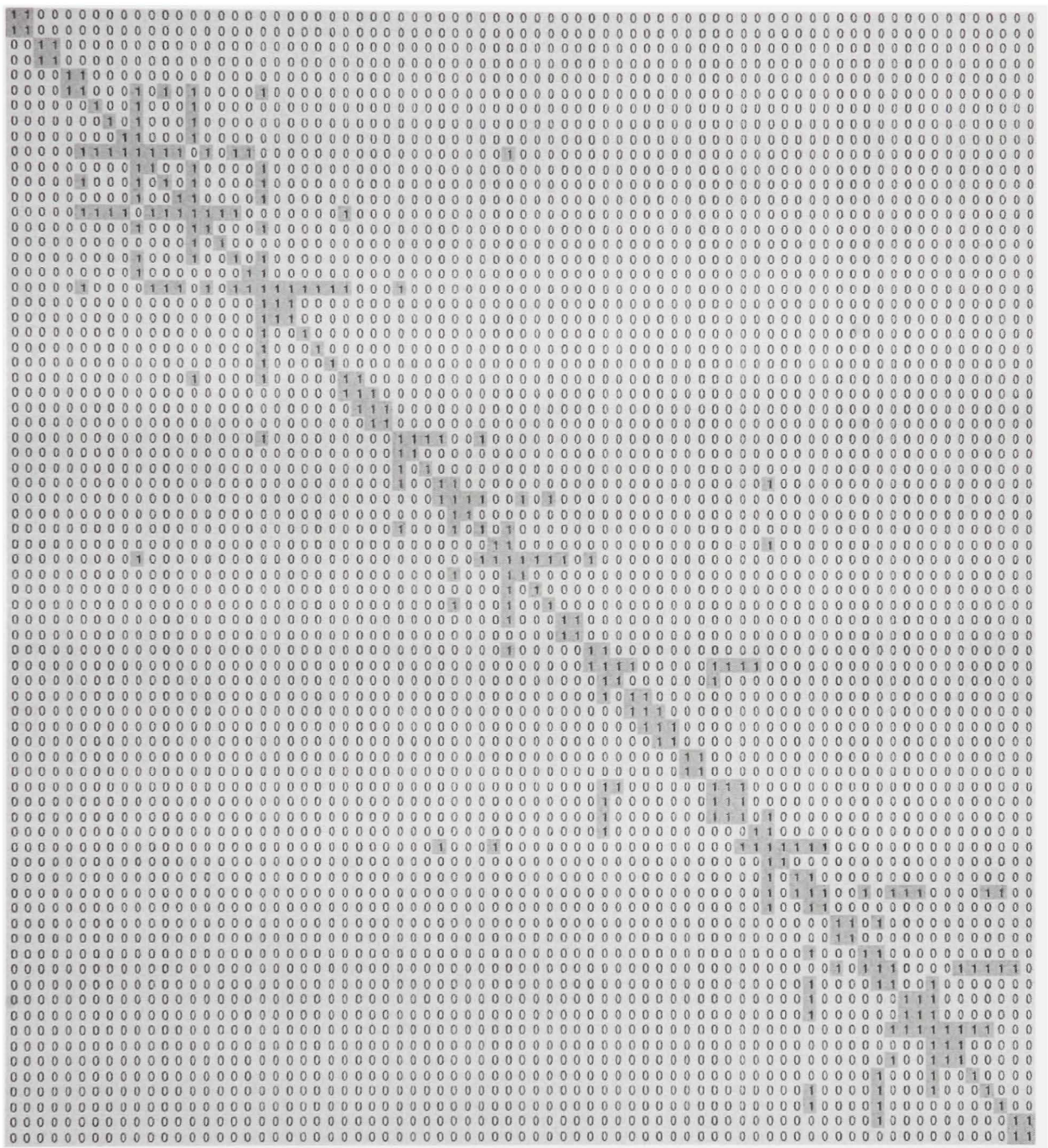
Réseau #1



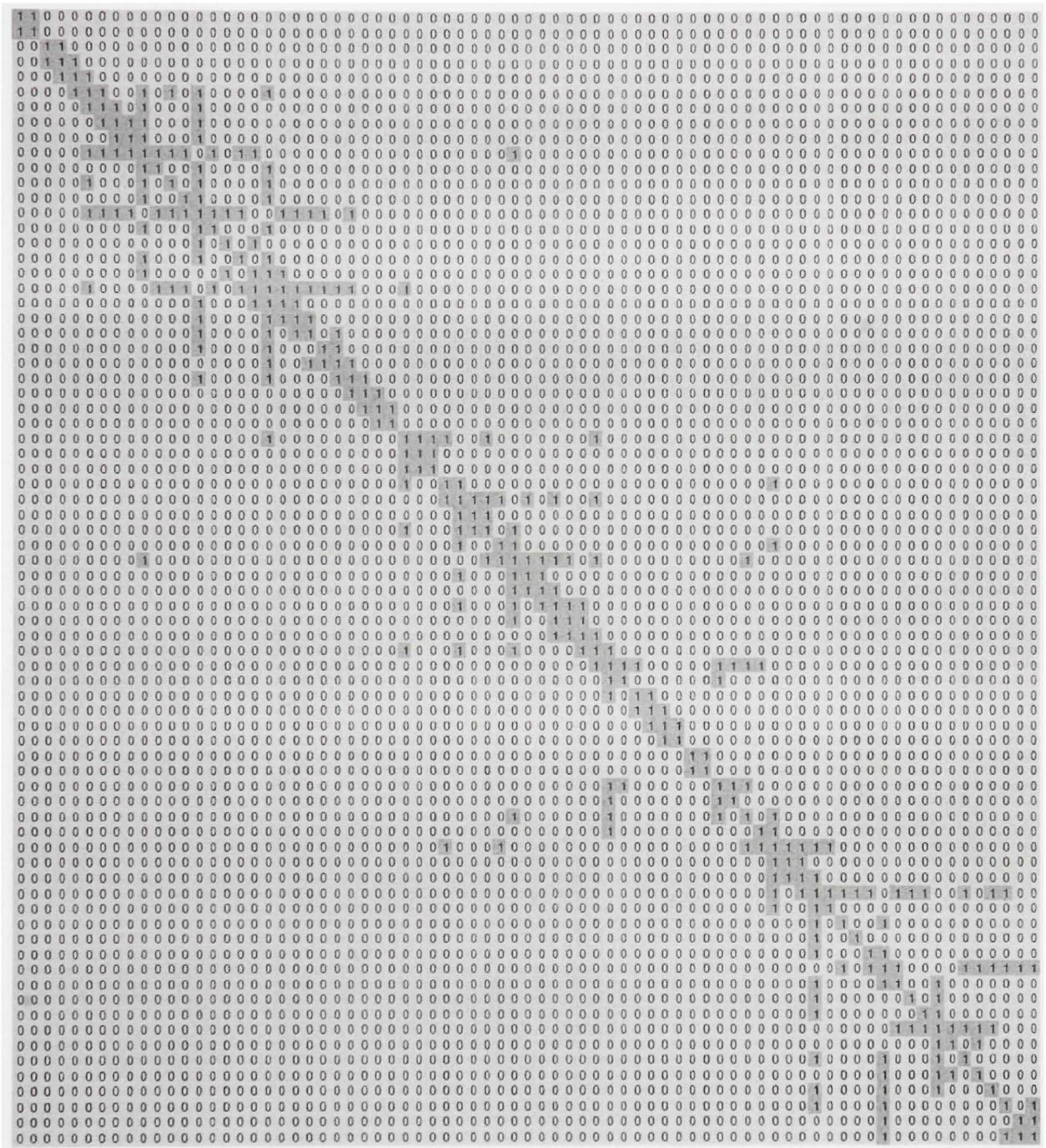
Réseau #2



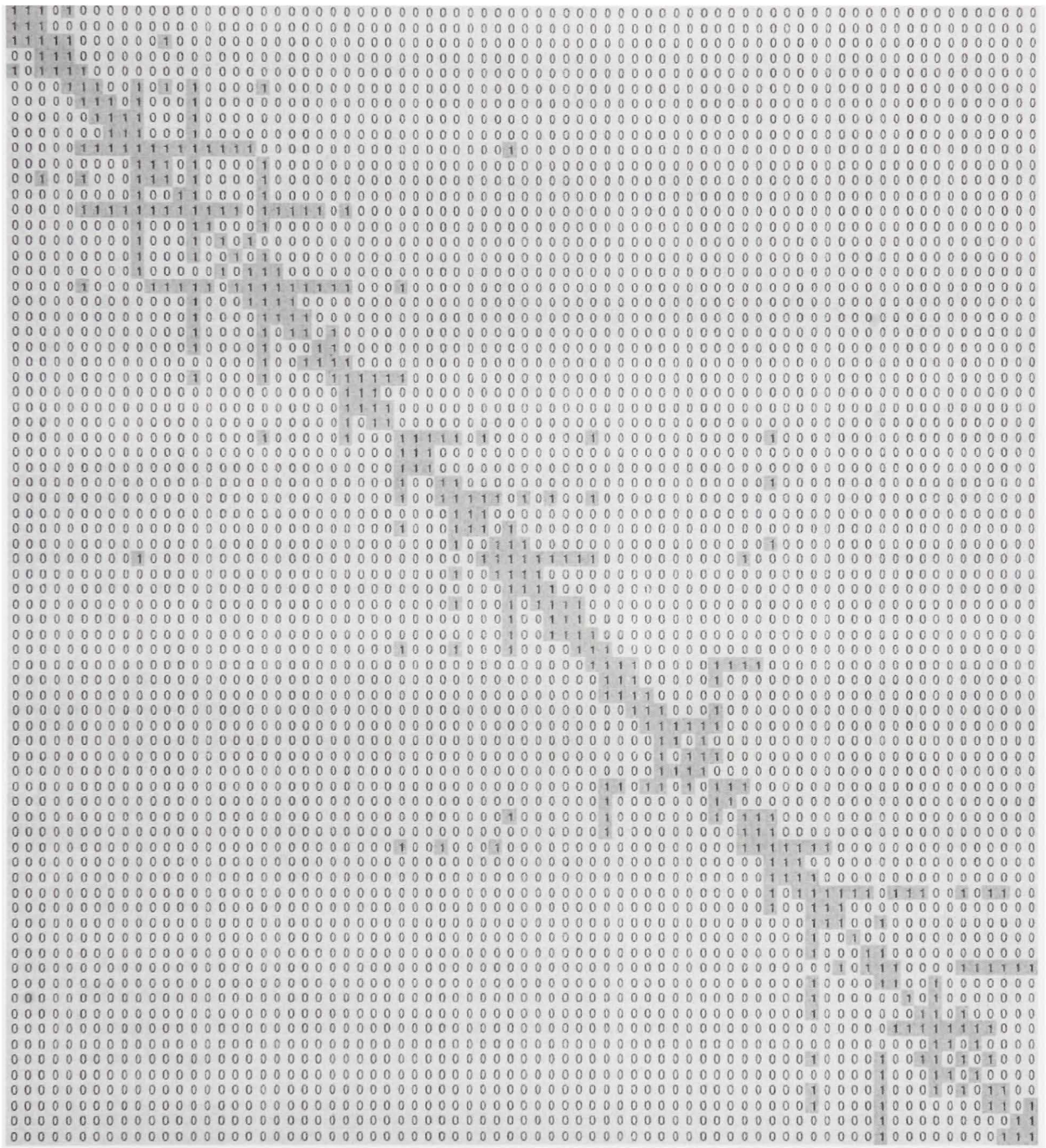
Réseau #3



Réseau #4



Réseau #5



BIBLIOGRAPHIE

Aguila-Obra, Ana R. Del, et Antonio Padilla-Meléndez. 2006. « Organizational factors affecting Internet technology adoption ». Internet Research, vol. 16, n° 1, p. 94-110.

Bass, Frank M. 1969. « A New Product Growth for Model Consumer Durables ». Management Science, vol. 15, n° 5, pp. 215-227.

Bass, Frank M. 2005. « Diffusion Theory in Marketing: A Historical Perspective ». In. <http://www.utdallas.edu/~mzjb/>.

Borgatti, S.P., M.G. Everett et Freeman. 2002. *Ucinet for Windows (NetDraw) : Software for Social Network Analysis.* Harvard, MA: Analytic Technologies.

Borgatti, Stephen P., et Pacey C. Foster. 2003. « The Network Paradigm in Organizational Research: A Review and Typology ». Journal of Management. Vol. 29, n° 6, pp. 991-1013.

Brandt, Werner. 2005. « SAP - The Leader in Business Software ». In *4th German Corporate Conference SAP*.31 p. Schlosshotel Kronberg: SAP press.

Canright, Goeffrey S., et Kenth Engo-Monsen. 2005. « Epidemic Spreading Over Network - A View from Neighbourhoods ». Telektronnik, vol. 1.

Casti, John L. 1988. « 5.13 - Turbulent Behavior in the Spread of Disease; 8.3 - Covers and Hierarchies (The geometry of Human Affairs) ». In *Alternate Realities: Mathematical Models of Nature and Man*, sous la dir. de Sons, John Willey &. pp.258-259; 412-414. Toronto.

Casti, John L. 1989. « 5.13 - Turbulent Behavior in the Spread of Disease; 8.3 - Covers and Hierarchies (The geometry of Human Affairs) ». Dans *Alternate Realities: Mathematical Models of Nature and Man*, sous la dir. de Sons, John Willey &. pp.258-259; 412-414. Toronto.

Chow, Gregory C. 1967. « Technological Change and the Demand for Computers ». The American Economic Review, vol. 57, n° 5, pp. 1117-1130.

Costenbader, Elizabeth, et Thomas W. Valente. 2003. « The stability of centrality measures when networks are sampled ». Social Networks, vol. 25, pp. 283-307.

Davis, Gerald F. 1991. « Agents Without Principles? The Spread of the Poison Pill Through the Intercorporate Network ». Administrative Science Quarterly, vol. 36, n° 4 (Dec 1991), pp. 583-613.

Dodds, Wellesley. 1973. « An application of the Bass Model in Long-Term New Product Forecasting ». Journal of Marketing Research, vol. 10, pp. 308-311.

DodsonJr, Joe A., et Eitan Muller. 1978. « Models of New Product Diffusion Through Advertising and Word-of-Mouth ». Management Science, vol. 24, n° 15, pp. 1568-1579.

Duffy, Kevin P. 2004. « Class presentation (MBA770) :: Diffusion of Innovation ». Wright State University.

Easingwood, Christopher J. 1987. « Early product life cycle forms for infrequently purchased major products ». International Journal of Research in Marketing. Vol. 4, pp. 3-9.

Erickson, G.M. 2003. « 2. Analytical Models and Strategy Concept ». In *Dynamic Models of Advertising Competition*, 2nd. pp. 7-36. Pennsylvania, USA: Kluwer Academic Publisher (KAP).

Ernst, D., et L. Kim. 2002. « Global production networks, knowledge diffusion, and local capability formation ». Research Policy, vol. 31, n° 8, pp. 1417-1429.

Floyd, A. 1962. « Trend forecasting: A methodology for figure of merit ». In *Technological forecasting for industry and government; methods and applications*, sous la dir. de Bright, James Rieser. pp. 95-105. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.

ForresterResearch. 2005. « Top 10 Worldwide Enterprise Resource Planning (ERP) Vendors, Ranked by Revenues, 2004 (millions) ».

Fourt, Louis A., et Joseph W. Woodlock. 1960. « Early Prediction of Market Success for New Grocery Products ». Journal of Marketing, vol. 25, n° 2, pp. 31-38.

Frambach, Ruud T, et Niels Schillewaert. 2002. « Organizational innovation adoption: a multi-level framework of determinants and opportunities for future research ». Journal of Business Research, vol. 55, n° 2, pp. 163-176.

Hadaya, P., et R. Pellerin. à paraître en 2007. « Determinants of ecollaboration: Evaluating the intent of Canadian Manufacturing Firms to share inventory information with their suppliers. ». International Journal of eColloboration.

Hägerstrand, Torsten. 1967. *Innovation Diffusion as a Spatial Process*. Chicago: University of Chicago Press, 334 p.

Jaiswal, M. P., et A. Kaushik. 2005. « Realising enhanced value due to business network redesign through extended ERP systems: Case study of HLLNet ». Business Process Management Journal, vol. 11, n° 2, pp. 171-184.

Kale, Serdar , et David Arditi. 2005. « Diffusion of computer aided design technology in architectural design practice ». Journal of Construction Engineering and Management, vol. 131, n° 10, pp. 1135-1141.

Khan, Arshad. 2002. « Chapter 1: Need for enterprise resource planning software ». In *Implementing SAP with an ASAP methodology focus*. pp. 1-14. New York: iUniverse Inc., USA.

Kim, C., et R. D. Galliers. 2004. « Toward a diffusion model for Internet systems ». Internet Research-Electronic Networking Applications and Policy, vol. 14, n° 2,pp. 155-166.

Kwon, HoCheon. 2002. « The Global Internet Diffusion and Correlation among factors: Cross-National Analysis ». PhD., Buffalo, State University of New York at Buffalo, 127 p.

Latora, Vito, et Massimo Marchiori. 2004. « A measure of centrality based on the network efficiency ». preprint submitted to Elsevier Science, pp. 1-16.

Lee, Zoonky, et Jinyoul Lee. 2000. « An ERP implementation case study from a knowledge transfer perspective ». Journal of Information Technology, vol. 15, p. 281-288.

Light, Ben, et Anastasia Papazafeiropoulou. 2004. « Reasons Behind ERP Package Adoption: A Diffusion of Innovations Perspective ». Dans *12th European Conference on Information Systems (ECIS)* (14-16 juin 2004). Turku, Finland.

Linton, Jonathan D. 2002. « Forecasting the Market Diffusion of Disruptive and Discontinuous Innovation ». IEEE TRANSACTIONS ON ENGINEERING MANAGEMENT, vol. 49, n° 4 (november), pp. 365-374.

Liu, Ben Shaw-Ching, Ravindranath Madhavan et D. Sudharshan. 2005. « DiffuNET: The impact of network structure on diffusion of innovation ». European Journal of Innovation Management, vol. 8, n° 2, pp. 240-262.

Mahajan, Vijay, Eitan Muller et Frank M. Bass. 1990. « New Product Diffusion Models In Marketing: A Review And Direction for Research ». Journal of Marketing, vol. 54, n° 1 (January 1990), pp. 1-26.

Mahajan, Vijay, et Robert A. Peterson. 1985. *Models for Innovation Diffusion*. Beverly Hills, California: Sage Publications, 87 p.

Mansfield, Edwin. 1961. « Technical Change and the Rate of Immitation ». Econometrica, vol. 29, n° 4, pp. 741-766.

Mason. 2003. « Class presentation :: Diffusion of Innovation: Theories, models and future directions ». Indianna University.

Midanko, Julia. 2006. « Méthodes d'analyse des phénomènes de diffusion de systèmes ERP au sein de réseaux industriels ». Projet de maîtrise, Montréal, École Polytechnique, 90p.

Morris, M. 2004. *Network Epidemiology: A Handbook for Survey Design and Data Collection* Oxford: Oxford University Press. 237p.

Nigel, Meade, et Towhidul Islam. 2006. « Modelling and forecasting the diffusion of innovation - A 25-year review ». International Journal of Forecasting, n° 22, p. 519-545.

Nystrom, Paul C., K. Ramamurthya et Alla L. Wilsonb. 2002. « Organizational context, climate and innovativeness: adoption of imaging technology ». Journal of Engineering and Technology Management, vol. 19, n° 3-4, p. 221-247.

OLFQ. 2006. « Grand Dictionnaire Terminologique ». In *l'Office de la Langue Française du Québec*. <http://www.olfq.gouv.qc.ca/ressources/gdt.html>.

OLFQ. 2007a. « Grand Dictionnaire Terminologique - Définition d'Administrateur de liaisons ». In *l'Office de la Langue Française du Québec*. <http://www.olfq.gouv.qc.ca/ressources/gdt.html>.

OLFQ. 2007b. « Grand Dictionnaire Terminologique - Traduction du terme "opinion leader" ». In *l'Office de la Langue Française du Québec*. <http://www.granddictionnaire.com/btml/fra/r_motclef/index800_1.asp>.

Oliver, D., et C. Romm. 2000. « ERP Systems: The Route to Adoption ». In *Proceedings of the 6th Americas Conference on Information Systems*. Long Beach, USA.

Pellerin, R., P.-M. Léger et G. Babin. 2007. « The impact of board interlocks in the diffusion of Enterprise Resource Planning systems. ». À paraître dans International Journal of Networking and Virtual Organisations.

Pellerin, Robert. 2005. « Présentation (cours SYS863) :: Implantation de système intégré de gestion d'entreprise ». École de Technologie Supérieure.

Pellerin, Robert, Gilbert Babin, Pierre-Majorique Léger et Kim St-Georges. 2006. « Enterprise Ressource Planning Diffusion: Measuring the Impact of Network Exposure and Power ». In *The International Conference on Software Engineering Advances 2006* (October). Taïti: IEEE Computer Society Press.

Rajagopal, Palaniswamy. 2001. « An Innovation - Diffusion View of Implementation of Enterprise Resource Planning (ERP) Systems and Development of a Research Model ». Information & Management. Vol. 40, pp. 87-114.

Rangan, Kash, Alan Cooke, Edward Maguire, Garett A. Bekker III, Jay Vleeschouwer et Woo Jin Ho. 2006. *CIO Survey on Software Spending Intention*. Merrill Lynch. <http://www.merrilllynch.com/>.

Reilly, Kevin. 2005. « AMR Research Releases ERP Market Report Showing Overall Market Growth of 14% in 2004 ». Dans. <http://www.amrresearch.com/Content/View.asp?pmillid=18358>.

Robertson, Maxine, Jacky Swan et Sue Newell. 1996. « The Role of Networks in the Diffusion of Technological Innovation ». Journal of Management Studies, vol. 33, n° 3 (May 1996), pp. 333-359.

Rogers, Everett M. 2003. *Diffusion of Innovations*, 5th. New York: Free Press, 551 p.

SAPGroup. 2005. « Case Study : Improve Operations at Yangzhou YAPP Auto Plastic Parts Company ». In *mySAP™ ERP AND SAP® FOR AUTOMOTIVE*. <www.sap.com/industries/automotive/pdf/CCS_Yangzhou.pdf>.

Singh, Sangeeta. 2005. « Cultural Differences in, and Influences on, Consumers' Propensity to Adopt Innovations ». International Marketing Review. Vol. 23, n° 2, pp. 173-191.

Smith, Tony E., et Sangyoung Song. 2004. « A Spatial Mixture Model of Innovation Diffusion ». (February 15, 2004), pp. 1-53.

Softissimo. 2007. « Traduction du terme "opinion follower" ». In *Reverso: Logiciels de traduction*. En ligne. <http://www.reverso.net/text_translation.asp?lang=FR>.

St-Georges, Kim, Robert Pellerin et Ali Gharbi. 2007. « Modélisation et simulation du phénomène de diffusion des progiciels de gestion intégrée au sein de réseaux industriels (article en processus de sélection) ». Dans *7e Congrès international de génie industriel*. Trois-Rivières.

Still, Mary. 2006. « The Diffusion of the Internet amongst the Corporate Elite ». pp. 1-37.

Tabak, Filiz, et Steve H. Barr. 1999. « Propensity to adopt technological innovations: the impact of personal characteristics and organizational context ». Journal of Engineering and Technology Management, vol. 16, n° 3-4, pp. 247-270.

Valente, T. W. 2005. « Chapitre 6 : Network Models and Methods for Studying the Diffusion of Innovations ». In *Models and Methods in Social Network Analysis*. p. 98-116. Cambridge University Press, New York.

Valente, Thomas W. 1993. « Diffusion of Innovation and Policy Decision-Making ». Journal of Communication. Vol. 43, n° 1, pp. 30-41.

Valente, Thomas W. 1995. *Network Models of the Diffusion of Innovations*. Cresskill, N.J.: Hampton Press, Inc., xiv, 171 p.

Valente, Thomas W., Susan C. Watkins, Miriam N. Jato, Ariane Van Der Straten et Louis-Phillipe M. Tsitsol. 1997. « Social Network Associations with Contraceptive Use Among Cameroonian Women in Voluntary Associations ». Social Science & Medecine, vol. 45, n° 5, pp. 677-687.

Watts, D. J. 2003. *Six Degrees: The Science of a connected age*. New York: W. W. Norton & Company.

Westarp, Falk V., et Oliver Wendt. 2000. « Diffusion Follows Structure - A Network Model of the Software Market ». The 33rd Hawaii International Conference on System Sciences. pp. 1-10.

Wikipedia. 2006. « Diffusion of Innovations ». Dans. <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Diffusion_of_innovations&oldid=80014502>.

Yi, Mun Y., Joyce D. Jackson, Jae S. Park et Janice C. Prosbst. 2006. « Understantding Information Technology Acceptance by Individual Professionals: Towards an Integrative View ». Information & Management. Vol. 43, pp. 350-363.