

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

RAPPORT DE PROJET PRÉSENTÉ À
L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

COMME EXIGENCE PARTIELLE
À L'OBTENTION D'UNE MAÎTRISE
EN GÉNIE LOGICIEL

PAR

Lucy MONTES MARTEL

ANALYSE ET SYNTHÈSE DE LA SIMULATION DES PROCESSUS D'AFFAIRES
DANS DEUX CHAMPS D'ÉTUDES AINSI QUE LES OUTILS QUI LES
SOUTIENNENT

MONTRÉAL, LE 30 AOÛT



Lucy Montes, 2012

PRÉSENTATION DU JURY

CE RAPPORT DE PROJET A ÉTÉ ÉVALUÉ

PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

Dr Alain April, directeur de projet
Génie logiciel et technologies de l'information à l'École de technologie supérieure

Dr Claude Laporte, membre du jury
Génie logiciel et technologies de l'information à l'École de technologie supérieure

REMERCIEMENTS

Ma profonde reconnaissance revient à mon directeur de recherche M. Alain April : tout au long de ma recherche, il m'a témoigné une grande confiance et m'a encouragé en multipliant les conseils judicieux et les suggestions pertinentes.

Mon époux Samuel et mon fils Humberto, je leur suis aussi redevable : ils m'ont fortement soutenu lors de la rédaction de ce document.

À Marie-Alix, ma chère amie, je tiens aussi à la remercier : ses encouragements m'ont donné la force de continuer sans relâche afin que je puisse réaliser mon projet de recherche.

ANALYSE ET SYNTHÈSE DE LA SIMULATION DES PROCESSUS D’AFFAIRES DANS DEUX CHAMPS D’ÉTUDES AINSI QUE LES OUTILS QUI LES SOUTIENNENT

Lucy MONTES MARTEL

RÉSUMÉ

Notre sujet d’études porte sur la simulation des processus ainsi que sur ses différents procédés d’application. C’est avant tout la littérature qui a constitué les parties les plus importantes de ce projet de recherche. La première partie de ce travail inventorie les articles et les chercheurs qui ont traité de la simulation de processus. Nous avons aussi dressé un bilan de ces différents travaux traitant de la simulation des processus. La deuxième partie de ce travail, aborde les éléments de base rattachés à la simulation de processus. Dans le troisième et le quatrième chapitre, nous examinons et analysons deux champs d’études qui appliquent la simulation des processus : les chaînes d’approvisionnement (CA) et les secteurs reliés à la santé. Le dernier chapitre présente les logiciels (à l’avenir nous utiliserons le terme outil) qui soutiennent la simulation, plus particulièrement nous avons évalué trois outils en étudiant leurs capacités et leurs fonctionnalités pour mettre en œuvre la simulation de processus.

ANALYSIS AND SYNTHESIS OF THE BUSINESS PROCESS SIMULATION IN TWO FIELDS OF STUDY AND THEIR TOOLS TO SUPPORT

Lucy MONTES MARTEL

ABSTRACT

Our subject of study focuses on process simulation and its various methods of application. It is above all the literature that has been the most important part of this research project. The first part of this work identifies the items and researchers who have dealt with process simulation. We have undertaken a review of these publications dealing with process simulation. The second part of this research deals with the basic characteristics related to process simulation. In the third and fourth chapters, we examine and analyze two fields of studies that apply process simulation: Supply Chain (CA) and health sectors. The last chapter presents the commercial and open source softwares (in the future we will use the term tools) that support process simulation; more specifically we evaluated three specific tools assessing and comparing their capacities and capabilities to implement process simulation.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	4
CHAPITRE 1 Méthodologie de la revue de la littérature concernant la simulation	6
CHAPITRE 2 Aperçu général de la modélisation et de la simulation des processus d'affaires10	
2.1 Notations de modélisation.....	11
2.2 Techniques de simulation	13
2.3 Processus de modélisation pour la simulation	16
2.3.1 Processus de Persson et Olhager.....	17
2.3.2 Processus du Supply Chain Process Modeller (SCPM) d'IBM.....	18
CHAPITRE 3 Revue de la littérature : modélisation et simulation dans les chaînes d'approvisionnement.....	20
3.1 Généralités	20
3.1.1 Définitions des CA.....	21
3.1.2 Indicateurs de performance.....	23
3.2 Application des techniques de simulation des processus en ce qui a trait aux CA25	
3.3 Revue de la littérature concernant la simulation dans les CA	30
3.3.1 Études de cas.....	30
3.3.2 Les nouvelles avenues de la recherche en ce qui a trait à la simulation des processus d'affaire reliés aux CA	40
3.4 Conclusions.....	46
CHAPITRE 4 Revue de la littérature concernant la simulation dans le soin de santé	48
4.1 Revue de la littérature traitant de la simulation (secteur de la santé) depuis un demi-siècle	48
4.2 Application des techniques de simulation rattachées au domaine des soins de santé	51
4.3 Revue littéraire des cas d'application de la simulation dans le domaine des soins de santé	55
4.3.1 Flux des patients	55
4.3.2 Planification et dotation en personnel.....	62
4.3.3 Planification des actifs	65
4.3.4 Planification du système de santé	66
4.3.5 Conception et planification des hôpitaux.....	67
4.3.6 Santé publique et contrôle des maladies	68
4.3.7 Éducation	71
4.4 Conclusions.....	74

CHAPITRE 5 Outils généraux de simulation (logiciels).....	75
5.1 Outils disponibles sur le marché (logiciels).....	75
5.2 Évaluation des outils (logiciels).....	79
5.2.1 Évaluation des capacités des trois outils.....	79
5.2.2 Évaluation des fonctionnalités des trois outils.....	87
5.3 Conclusions.....	95

CONCLUSION 97

Annexes

Annexe I- Inventaire des références bibliographiques.....	122
---	-----

Annexe II- Catégories des études en ce qui a trait à la simulation des soins de santé

Annexe III- Description de l'évaluation des fonctionnalités des outils

Annexe IV- Définitions des termes de la logistique de CA

LISTE DES RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1. Répartition des publications selon les titres de journaux	6
Tableau 2. Études d'application de la simulation dans le domaine des CA	31
Tableau 3. Classifications diverses réalisées par trois auteurs présentant des articles qui concernent la simulation dans le secteur de la santé.....	49
Tableau 4. Méthodes de modélisation et de simulation (1952-2007).....	52
Tableau 5. Adresses Internet de sites spécialisés en ce qui a trait à la modélisation des processus d'affaire et à la simulation.....	76
Tableau 6. Caractéristiques générales des outils de modélisation et de simulation en BPM ..	77
Tableau 7. Version des outils évalués.....	81
Tableau 8. Évaluation de la capacité de modélisation des outils de simulation	82
Tableau 9. Évaluation de la capacité de simulation des outils.....	83
Tableau 10. Évaluation de la capacité des entrées/sorties (résultats)	86
Tableau 11. Évaluation de fonctionnalités reliées à la modélisation	90
Tableau 12. Évaluation des éléments reliés à la configuration de la simulation	91
Tableau 13. Évaluation des résultats statistiques reliés aux transactions	92
Tableau 14. Évaluation des résultats reliés aux activités.....	92
Tableau 15. Évaluation des résultats reliés aux ressources.....	93
Tableau 16. Évaluation des résultats d'autres fonctionnalités	94
Tableau 17. Références dans le domaine des CA	99
Tableau 18. Références dans le domaine de la santé.....	102
Tableau 19. Références relié à la simulation générale.....	104
Tableau 20. Références relié à la simulation et l'optimisation.....	106

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1. Nombre des publications qui utilisent la SED (DES) et la SD en ce qui concerne la gestion de la logistique des CA.....	26
Figure 2. Profil de la production de véhicules	34
Figure 3. Modélisation d'une CA pour la production de véhicules	35
Figure 4. Structure de la fabrication des appareils de communications reliée à une CA	37
Figure 5. Architecture de la simulation des opérations d'une CA.....	41
Figure 6. Architecture du modèle de référence.....	42
Figure 7. Procédure de la mesure de performance.....	44
Figure 8. Évolution des méthodes de modélisation et de simulation (1952-2007).....	53
Figure 9. Sources de financement selon les méthodes de modélisation et de simulation. (1952-2004).....	53

Liste des abréviations

BPM	Business Process Management ou gestion des processus d'affaires
BPMN	Business Process Model and Notation
CA	Chaînes d'approvisionnement
DYNAMO	Dynamic Models
EPC	Event-Driven Process Chains
RIGHT	Research into Global Healthcare Tools
SED	Simulation par évènement discret
SD	Simulation dynamique
SCC	Conseil de référence des chaînes d'approvisionnement
SCOR	Supply Chain Operations Reference
SCPM	Supply Chain Process Modeler
WBM	Websphere Business Modeler

INTRODUCTION

La gestion des processus d'affaires aussi bien dans le secteur public que privé pose des défis considérables dans nos sociétés post-modernes en raison de la mondialisation des marchés et de la compétition implacable que se livrent entre les entreprises. Depuis une vingtaine d'années, les entreprises et les organisations font des efforts considérables pour optimiser leurs processus d'affaires en identifiant les activités précises qui doivent être améliorées (Terzia et Cavalieri, 2004). Peu importe le système organisationnel au sein des entreprises ou au sein des organisations, l'objectif principal de la gestion des processus d'affaires est de hausser la qualité des services, de favoriser la performance et de réduire les inefficacités. La hausse de la qualité des services impose une réduction des coûts et des délais d'exécution, ce qui suppose une amélioration continue, surtout dans un contexte compétitif de l'économie mondiale qui est devenue une priorité (Persson et Olhager, 2002) Pour survivre et se maintenir, dans la longue durée, les entreprises et les organisations n'ont pas d'autres choix que de suivre cette voie.

Dans le cas des entreprises qui ne sont que pratiquement rattachées au secteur privé, les facteurs de perturbation et d'incertitude sont fort présents : ils sont dus à de constants changements que la mondialisation de l'économie a imposé et à l'adoption de philosophies différentes qui fragilisent leur fonctionnement (Carvalho et al., 2011). Dans les cas des organisations de santé, qui œuvrent surtout dans le secteur public (Québec et Canada), ces dernières font face, elles aussi, à des défis considérables : elles doivent rendre à la population de bons services de santé en tenant compte de la réduction du temps d'attente et de l'augmentation des soins de santé chez une population vieillissante. Dans les organisations de santé, l'amélioration de la performance implique une plus grande efficacité, la réduction d'erreurs médicales et l'amélioration de la satisfaction de la clientèle (Lowery, 1998), tout en considérant une diminution des coûts.

Dans ces deux secteurs (entreprises et santé), la complexité des problèmes à traiter, les perturbations et les incertitudes imposent des solutions majeures. Le processus de simulation semble être une réponse plus qu'avantageuse pour régler les problèmes que nous venons de mentionner. C'est dans ce sens que Julie Lowery (Lowery, 1998) et SJE Taylor et al. (Taylor et al., 2009) ont orienté leurs réflexions et ont pu affirmer que la simulation est un outil de base essentiel : elle contribue à la compréhension du comportement du système, fournissant en quelque sorte une aide de première main pour rendre les entreprises et les organisations aptes à s'adapter aux changements en vue de devenir plus efficaces et, dans certains cas, plus compétitives dans un marché mondial qui l'impose.

Au bout de compte, la simulation sera au cœur de notre sujet d'études. En premier lieu, nous allons faire une revue de la littérature pour mieux connaître la simulation dans son ensemble : ce sera en quelque sorte le guide méthodologique de notre travail. En deuxième lieu, en nous inspirant de la littérature que nous avons inventoriée, nous allons faire ressortir les éléments de base pour comprendre la simulation. En troisième lieu, nous allons montrer l'utilité d'application de la simulation dans deux champs d'études bien précis : les chaînes d'approvisionnement (à l'avenir CA) dans les établissements industriels ainsi que les différents établissements qui se rattachent au secteur de la santé. En dernier lieu, nous allons préciser les logiciels (à l'avenir nous utiliserons le terme outil) qui sont rattachés à la simulation et qui peuvent servir à des multiples domaines. À l'exception du chapitre 5, notre sujet d'études se limite à un inventaire de la littérature. Mentionnons aussi que les chercheurs que nous allons présenter proviennent surtout de la société américaine et ces derniers ont utilisé la simulation en l'appliquant à leur propre société. Néanmoins, nous croyons que cette application, mise à part que quelques cas reliés à la santé, pourrait être adaptée à la société québécoise ou canadienne.

CHAPITRE 1

Méthodologie de la revue de la littérature concernant la simulation

La simulation qui est notre sujet d'études fera d'abord un inventaire de la littérature en ce qui a trait à la simulation des processus d'affaires dans deux champs d'études (CA et santé) ainsi que les outils qui les soutiennent. Voici la liste des ouvrages de références que nous avons consultés. Les articles concernant la simulation traitant de nos deux champs d'études (CA et santé) et des outils qui les soutiennent sont publiés dans une très grande variété d'ouvrages de références. Le tableau 1 montre ces ouvrages de références et le nombre d'articles consultés dans chaque ouvrage de références au moment de l'élaboration de cette recherche.

Tableau 1. Répartition des publications selon les titres de journaux

Titre des journaux	Nb
ACM. Proceeding Conference of the Center for Advanced Studies on Collaborative Research	1
ACM. Proceeding of international workshop on Principles of engineering service-oriented systems	1
ACM. Proceedings of the 2007 conference on Future Play	1
Advances in Intelligent and Soft Computing	1
Conférence Internationale de Modélisation et Simulation - MOSIM	1
Computers & Industrial Engineering	1
Computing in industry	1
Computing Surveys	1
Decision Support Systems	1
Information and Software Technology	1
IEEE. Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering	1
IEEE. International Conference on the Software Process	1

IEEE. International Conference on Software Engineering Research, Management and Applications	1
IEEE. Proceedings Winter Simulation Conference	13
INFORMS Journal on Computing	1
International Journal of Digital Information and Wireless Communication	1
Interdisciplinary Journal of Information, Knowledge, and Management	1
International Journal of Information Technology & Decision Making	1
International Journal of Industrial Engineering.	1
International Journal of Production Economics	1
International Series in Operations Research & Management Science	1
Journal of Simulation. Operational Research Society Ltd	1
Journal of Systems and Software	2
Proceedings Euro American conference on Telematics and information systems (EATIS)	1
Journal of Computer in industry	2
Journal of Computing Surveys	1
Journal of Decision Support Systems	1
Journal of Simulation	1
Journal of Systems and Software	1
Journal of the Operational Research Society	1
Proceeding of the IEEE	1

Le détail de ces publications que nous avons recensées peut être consulté à l'annexe I. Les tableaux présentés dans de cette annexe mentionnent les buts de la simulation, les techniques utilisées, les outils expérimentés ainsi que les centres de recherche qui ont publié ces résultats, en tenant compte d'une direction bien précisée : inventorier les articles concernant les CA et la santé ainsi que les outils qui les appuient.

Les publications étant inventoriées, nous sommes à même de donner un aperçu général de la littérature qui traite de la simulation concernant les CA, les soins de santé et les outils (logiciels) qui les appuient. Mentionnons en ce cas que les CA, selon la littérature consultée, sont plus circonscrites à des domaines stratégiques, tactiques et opérationnels reliés aux

entreprises, c'est-à-dire que les limites de la recherche sont plus précises, tandis que dans le domaine de la santé les secteurs étudiés sont plus vastes : ils touchent non seulement les hôpitaux, les cliniques et la construction de nouveaux centres hospitaliers, mais aussi ils touchent la planification de la santé publique ainsi que la formation professionnelle dans le domaine qui les implique. D'après la littérature que nous avons inventoriée et analysée, le domaine de la santé est très vaste et il semble que les sujets se développent davantage en traitant de questions plus détaillées concernant la santé, comme c'est le cas des maladies à risques. Contrairement au secteur industriel, il faut reconnaître que le domaine de la santé, si l'on se fie à la littérature, a plus de cinquante ans de recherche. En ce qui concerne la simulation, la littérature que nous avons abordée, montre que les champs de recherche semblent plus développés au domaine qui touche particulièrement la santé, mais les choses peuvent changer : la mondialisation des marchés et la compétition qui s'en suit entre les entreprises pourraient intéresser le milieu économique à utiliser davantage la simulation dans les CA et dans plusieurs autres secteurs de l'industrie. Si l'on précise davantage la simulation dans le secteur de la santé et dans le secteur industriel (CA), la littérature nous révèle que les établissements hospitaliers se contentent d'aborder les sujets de la simulation dans une perspective ponctuelle, tandis que le secteur industriel semble tenir compte d'aspects plus vastes (fournisseurs, clients, matières premières, transport, produits fabriqués, ressources, etc.) qui sont tous interreliés et intégrés dans les processus de simulation. Concernant les outils de simulation, ils ont subi les mêmes orientations que les techniques de simulation si l'on se fie aux travaux de recherche que nous avons inventoriés. Néanmoins, il est intéressant de découvrir, dans la littérature, que certains outils qui ont été évalués ont intégré plusieurs fonctionnalités. En ce qui a trait aux méthodologies et à l'architecture des outils qui permettent de connaître l'amélioration du traitement de la simulation, les travaux de recherche suscitent de nouvelles avenues en ce qui a trait à la performance des outils qui sont sur le marché. D'après la littérature que nous avons consultée, il faut aussi noter que certains outils de simulation, qui sont sur le marché, sont avant tout le fruit de recherches universitaires.

Enfin, la littérature nous a révélé que notre sujet d'études annonce dans le domaine de la recherche et de l'application des avenues très encourageantes.

CHAPITRE 2

Aperçu général de la modélisation et de la simulation des processus d'affaires

Comme nous l'avons dit précédemment, le chapitre 2 va plus loin dans notre investigation en faisant ressortir de façon générale les éléments de la modélisation et de la simulation retracés dans la littérature. Ce chapitre présente quelques définitions, élabore des concepts généraux de la modélisation et de la simulation, insiste sur certaines normes utilisées au moment de la modélisation de la simulation ; de même, il fait état des certaines caractéristiques générales des techniques de simulation ainsi que de certaines méthodes de simulation. Tous ces aspects que nous venons d'élaborer se retrouvent aussi dans la littérature que nous avons consultée.

Mentionnons d'abord quelques définitions et qualités inspirées par la littérature afin de mieux comprendre les processus de modélisation et de simulation des processus d'affaires. Précisons que pour réaliser la modélisation et la simulation, il faut, en premier lieu, définir certains concepts de base concernant la gestion des processus d'affaires, le processus lui-même, la modélisation et la simulation. La *gestion des processus d'affaires* (BPM), appelé en anglais « Business Process Management » selon le Workflow Management Coalition Specification (WFMC, 1999), peut être définie comme suit : « *Un ensemble d'une ou de plusieurs procédures ou activités qui collectivement réalisent un objectif d'affaires ou une « politique », normalement dans un contexte d'une structure organisationnelle définie par rôles et relations.* »

Le *processus* peut être défini comme suit : « *une structure logique du personnel, de la technologie et des activités pratiques qui sont organisées en activités de travail pour transformer l'information, les matériaux et l'énergie en résultats spécifiques* » (Kellner, Madachy et Raffo, 1999). La *modélisation*, pour sa part, facilite la compréhension, la communication, l'amélioration des processus et sert de guide et de support à la gestion des processus (Stepán Kuchar, 2012). La *simulation*, quant à elle, peut être définie de la façon

suivante : « *le processus de construction et de manipulation d'un modèle d'un système informatisé dans le but d'observer le comportement du modèle dans le contexte des hypothèses définies par l'expérimentateur* » (Naim et Kheir, 1995).

Les définitions que nous venons de préciser correspondent aux notions de base pour bien saisir la modélisation et la simulation des processus d'affaires. Nous continuons notre exposé en précisant les notations utilisées qui ont été aussi retracées dans la littérature et qui peuvent servir à faire la modélisation des processus.

2.1 Notations de modélisation

Nous allons d'abord présenter une brève description de certaines notations de modélisation qui sont fréquemment mentionnées aussi bien dans les publications scientifiques que dans les logiciels rattachés à l'industrie. Il ne s'agit pas ici d'une liste exhaustive, mais les notations que nous allons décrire sont souvent mentionnées dans la simulation des processus, notamment le BPMN, l'« Event-Driven Process Chains » (EPC), le réseau de Petri, l'IDEF0 et l'IDEF3 (Ren et al., 2008).

« Business Process Model and Notation » (BPMN)

En ce qui concerne le BPMN, ce dernier propose une notation graphique qui a pour objectif de normaliser la modélisation des processus d'affaires. Il a été élaboré par le groupe OMG et permet la représentation des activités et des entités au sein de toute organisation. La représentation d'un ou de plusieurs processus relié(s) à cette notation peut se réaliser selon divers niveaux d'abstraction graphique. L'objectif initial de cette norme, qui n'a pas encore fait l'unanimité dans la littérature, vise à faciliter la compréhension des processus « exécutables » du point de vue de plusieurs utilisateurs (exécutants des processus, analystes, clients, fournisseurs), mais surtout vise à faciliter la transformation de diagrammes en services logiciels en utilisant le langage BPEL. Le BPMN comprend cinq types d'éléments :

les objets de flux, les données, les objets de connexion, les couloirs et les artefacts. À ce sujet, voir le site (OMG, 2011).

Chaîne de processus événementiels ou « Event-driven Process Chains » (EPC)

L'EPC est une notation graphique introduite par Kellner, Nuttgens and Scheer en 1992 (Aalst, 1999). Cette notation est composée de fonctions, d'évènements et de connecteurs logiques. L'objectif de cette notation est de décrire le processus d'affaires sous une forme logique plutôt que sous une forme utilisée de façon traditionnelle. Cette notation prétend faciliter la compréhension et l'utilisation pour l'usage des analystes d'affaires.

Petri Nets

Le concept du réseau de Petri, qui est une autre notation, a été présenté par Carl Adam Petri en 1962. Dix-huit ans plus tard s'est déroulé en Europe le premier atelier sur cette notation. En 1985, une série d'ateliers internationaux ont commencé à traiter du sujet. Selon (Murata, 1989), le réseau Petri est une notation graphique plus formelle et plus abstraite que toutes les autres notations. Elle est représentée sous la forme d'un flux d'informations et a été développée pour décrire, analyser et contrôler le flux d'informations dans les systèmes où les activités sont asynchrones et concurrentielles, distribuées, parallèles, non déterministes et/ou stochastiques. Dans cette notation, les jetons sont utilisés pour simuler les activités dynamiques et concurrentes du système. Grâce à cette notation, il est possible de mettre en place des équations d'état, des équations algébriques et d'autres modèles mathématiques qui gèrent le comportement d'un système.

IDEF0, IDEF3

Les notations graphiques IDEF0 et l'IDEF3 font partie de la famille IDEF. IDEF0 est une notation de modélisation graphique visant à décrire les fonctions de la fabrication de produits. IDEF3 est complémentaire à IDEF0 et offre la possibilité de décrire des fonctionnalités afin d'obtenir une meilleure connaissance du fonctionnement d'un système.

Les notations que nous venons d'énumérer sont utilisées pour la modélisation : elles sont donc une étape essentielle pour en arriver à la simulation d'études. La deuxième section de ce chapitre présente les techniques de simulation que nous avons inventoriées dans la littérature. Inspirée par la littérature, nous décrirons ces techniques permettant de mieux connaître leur contexte d'utilisation. Chacune de ces techniques possède des caractéristiques inhérentes à sa capacité de fonctionnement et d'utilisation au moment de la simulation des processus d'affaires. Comme nous le verrons, dans les chapitres 3 et 4, ces techniques sont appliquées à plusieurs sujets d'études. Passons maintenant à la description de ces techniques de simulation qui sont aussi élaborées dans la littérature.

2.2 Techniques de simulation

Depuis les années 1950, si nous tenons compte de la littérature, deux techniques de simulation, qui ont été appliquées pour exécuter la simulation, se sont développées de façon indépendante. Il s'agit de la simulation par événements discrets (SED) et de la simulation dynamique (SD). Dans les années 1990, la SD était la plus connue et c'est seulement à partir de 2002 que la SED est devenue la technique la plus utilisées en recherche (Tako et Robinson, 2012). Si l'on fait une comparaison, l'intérêt, entre ces deux méthodes s'est manifesté au cours de ces dernières années.

En ce qui concerne la technique de *simulation continue*, appelée aussi simulation dynamique (SD), cette dernière est basée sur des modèles mathématiques et des méthodes numériques (Ren et al., 2008). Cette technique est associée aux études universitaires tandis que la technique *SED* est associée aux études des processus d'affaires. Stepán Kuchar (Stepán Kuchar, 2012) évoque que les outils (logiciels) de simulation utilisent principalement ces deux techniques et parfois, beaucoup moins fréquemment, la *simulation hybride* (Martin et

Raffo, 2001) qui est une combinaison de la technique SED et de techniques de simulation continue pour des systèmes dynamiques.

En ce qui concerne la SED et la SD, il est nécessaire de les comparer. La technique SED est utile : elle permet de mimer les activités détaillées d'un système tandis que la technique SD peut être utilisée pour étudier les caractéristiques de stabilité d'un système ainsi que le contrôle de ses structures à plus long terme (Lianjun et Jeng, 2005). Mais, toutes deux ont leur place dans la démarche de la simulation.

Il est intéressant aussi de mentionner que chacune des techniques mentionnées, la SED et la SD, possèdent leurs principes de base propres qui sont les suivants (Tako et Robinson, 2012):

En ce qui concerne le temps : la technique SED représente un réseau de file d'attente et d'activités où les changements se produisent à un moment précis (discret) dans le temps, tandis que la technique SD représente un ensemble dont les flux et les stocks changent constamment et dont les quantités constituent une valeur continue dans les stocks.

En ce qui concerne les entités : la technique SED représente individuellement les entités, tandis que la technique SD ne représente pas les entités.

En ce qui concerne le changement : la technique SED traite le changement par étapes irrégulières de temps, tandis que la technique SD traite le changement d'une manière continue.

En ce qui concerne la méthode utilisée : La technique SED est en général stochastique, c'est-à-dire que la génération de valeurs aléatoires est produite en utilisant une distribution statistique. La technique SD est en général déterministe et ses variables correspondent à des valeurs moyennes.

En ce qui concerne la modélisation :

- La technique SED : en utilisant des notations BPMN et Petri Nets, la modélisation des processus peut tenir compte des objets, des ressources et du comportement des processus. Les *objets* comprennent tous les objets et les ressources nécessaires pour la construction des processus. C'est ici que sont pris en considération les capacités et les propriétés, les ressources et les artefacts à utiliser au moment de la simulation. Le *comportement* du processus est exprimé par la séquence d'activités, par les activités que les ressources réalisent et par les artefacts qui sont consommés et produits (Stepán Kuchar, 2012). Une modélisation, en utilisant la notation Petri Nets, permet de réaliser des tâches concurrentielles en parallèle ;
- La technique SD : « *La modélisation par flux capture les lois physiques qui gouvernent le système* » (Lianjun et Jeng, 2005), « *le système est modélisé comme une structure de niveaux connectés par des flux et des liens d'information* » (Stepán Kuchar, 2012). Les flux représentent les entités des processus et les liens d'informations, les données qui sont transmises d'un flux à un autre. Dans les systèmes dynamiques, la production ou la transformation est modélisée par des flux, dont le temps, la durée et/ou la productivité sont exprimés par un ratio. Dans cette même technique, les événements individuels ne sont pas suivis.

Les approches mentionnées ci-dessus sont les plus utilisées et sont représentatives des publications que nous avons répertoriées.

Si nous poursuivons la description de techniques de simulation, il y a :

- La **simulation qualitative** qui est utilisée lorsque les données sont insuffisantes (Zhang et al., 2006). La seule publication que nous avons recensée dans la littérature n'est pas appliquée à un cas réel ;
- La **simulation par agents ou par multiagents** est une approche relativement nouvelle dans la littérature (Manataki, Chen-Burger et Rovatsos, 2010; Siebers et al., 2010). Elle est utilisée pour « simuler » des problèmes complexes. Des agents sont utilisés pour

généraliser des modèles de comportement dans une simulation. Chaque agent possède des règles de comportement propres afin qu'il puisse interagir avec les autres agents ;

- La *simulation par jeux* ou « Gaming Simulation » est utilisée principalement pour la formation universitaire des étudiants dans deux domaines précis que nous avons répertoriés dans la littérature : santé et finances. Pour montrer la complexité et les capacités de cette approche dans le domaine de la santé qui est un des champs d'études, que nous abordons, nous pouvons mentionner l'étude publiée par Sabri Hogan et al. (Hogan, Sabri et Kapralos, 2007) qui vise à faciliter l'apprentissage des habiletés des infirmières lorsqu'elles interviennent dans un milieu communautaire difficile.

Chacune des techniques de simulation que nous venons de décrire et qui est inspirée de la littérature possède leurs caractéristiques inhérentes. Selon le but de la simulation des processus, une ou de combinaison(s) de ces techniques pourra (ont) s'appliquer à une simulation des processus. Maintenant, pour s'assurer de la validité de la simulation, nous allons décrire deux processus de simulation retracée dans la littérature. Examinons à présent les processus de modélisation, répertoriés dans la littérature, et qui concernent spécifiquement la simulation.

2.3 Processus de modélisation pour la simulation

Une revue de la littérature a permis d'identifier certains modèles de processus qui sont utilisés dans les études de simulation des processus d'affaires. Ces publications révèlent des procédés très utiles au moment de la préparation d'une simulation des processus. Cette partie de notre travail, comme les autres parties de notre étude, est toujours élaborée dans le but de cerner la complexité de l'élaboration d'une simulation des processus d'affaires.

2.3.1 Processus de Persson et Olhager

L'objectif de ce processus, tel qu'il est précisé dans la littérature par Frederik Persson et Jan Olhager (Persson et Olhager, 2002), vise à s'assurer que la simulation est valide de manière à faciliter le développement d'un modèle de simulation. Comme le propose les auteurs, les séquences des activités de préparation d'une simulation sont les suivantes :

- 1) **Planification du projet** : cette démarche comprend l'estimation du temps de réalisation du projet et la définition de la première série d'expériences ;
- 2) **Modélisation conceptuelle** : le système réel est décrit en utilisant un diagramme de flux simple ou en format texte qui permettra de comprendre la logique du système et les données nécessaires pour la simulation ;
- 3) **Validation du modèle conceptuel** : le modèle conceptuel est revu et corrigé s'il s'avère nécessaire ;
- 4) **Modélisation** : le modèle conceptuel est programmé sur l'ordinateur en utilisant un langage de simulation ou en se servant d'un outil (logiciel) de simulation ;
- 5) **Vérification** : elle implique la vérification du modèle programmé en utilisant le modèle conceptuel. Si c'est nécessaire, les corrections seront réalisées ;
- 6) **Validation** : c'est le test du modèle programmé. Il est corrigé si c'est nécessaire ;
- 7) **Analyse de sensibilité** : les effets des entrées et des sorties seront effectués ;
- 8) **Expérimentation et analyse de sortie** : les expériences définies à la première étape seront exécutées et les données des résultats seront analysées. Si cela s'avère nécessaire, une nouvelle série d'expériences pourront être définies afin de répéter l'expérimentation ;
- 9) **Mise en œuvre** : les données des résultats seront analysées et utilisées pour faire des recommandations ou assurer une aide pour sa mise en œuvre.

L'application de cette démarche que nous venons d'expliquer pour la réalisation de la simulation proposé par Frederik Persson et Jan Olhager (Persson et Olhager, 2002) permet d'identifier les erreurs qui sont souvent commises par les débutants. Les auteurs concernés dressent alors une liste des erreurs que les débutants doivent éviter : Erreur de type I : lorsque

la simulation du modèle est invalide, alors le résultat est rejeté. Erreur de type II : un modèle invalide est utilisé comme valide, donc la simulation est erronée. Finalement, l'erreur de type III correspond à la résolution d'un faux problème de simulation, à la suite de diagnostics incorrects. Comme le précise la littérature, la validation et la vérification du modèle sont très importantes. Si l'une de ces activités échoue, alors il faut corriger toutes les erreurs du modèle avant l'implantation de l'outil (logiciel). La plupart des méthodes de validation visent à minimiser le risque d'erreurs des deux premiers types, mais Frederik Persson et Jan Olhager (Persson et Olhager, 2002), rappellent que l'erreur de type III est aussi importante, mais qu'il y a peu de moyens pour s'assurer de son absence.

Pour l'élaboration d'un modèle de simulation, cette démarche n'est pas la seule. Dans la littérature, IBM propose son propre cheminement en vue de la réalisation d'un modèle de simulation.

2.3.2 Processus du Supply Chain Process Modeller (SCPM) d'IBM

Ce processus comprend les étapes suivantes (Ren et al., 2009) :

1. définition de la portée du scénario ;
2. cartographie de processus courant ;
3. détermination de données logiques ;
4. scénario de la performance détaillé de la simulation ;
5. cartographie de la proposition du processus ;
6. proposition de données logiques ;
7. création du modèle en SCPM ;
8. ajout de la logique SCPM ;
9. simulation et résultats.

Les étapes 2 et 3 correspondent à l'analyse du modèle de processus courant. Les étapes 4, 5 et 6 correspondent à la définition, à savoir comment devrait se définir le modèle du processus de simulation. Les étapes 7 et 8 correspondent à la technologie d'IBM. Parmi les recommandations faites par Changrui Ren et al. (Ren et al., 2009) : la participation des analystes, en collaboration avec l'équipe technique, est essentielle pour la réussite du projet ;

dès le début du projet, l'équipe technique doit participer à l'élaboration du modèle de la simulation.

Les deux processus, qui ont été décrits ci-dessus, celui de Frederik Persson et Jan Olhager (Persson et Olhager, 2002) et celui de la société IBM, proposent les étapes nécessaires que toute simulation des processus d'affaires devrait suivre afin de s'assurer que les objectifs de la simulation soient atteints.

Inspiré par littérature, ce chapitre a mis en place les principes de base qui sont en mesure de favoriser une compréhension initiale de la modélisation et de la simulation des processus d'affaires. Dans le chapitre suivant, toujours inspirée par la littérature, nous décrivons la simulation dans le domaine des CA. Cette étape est fort importante puisqu'elle met en évidence un des champs d'études que nous voulons analyser pour montrer le rôle qui peut jouer la simulation dans un domaine se rapportant au secteur industriel.

CHAPITRE 3

Revue de la littérature : modélisation et simulation dans les chaînes d'approvisionnement

Ce chapitre présente les techniques de simulation des processus d'affaires en ce qui a trait aux CA. Pour mieux comprendre ces techniques de simulation, nous traiterons d'abord des caractéristiques générales des CA. Étant donné que les indicateurs de performance sont nécessaires dans toute simulation (peu importe la technique appliquée), nous aborderons les mesures de performance utilisées dans la simulation des processus d'affaires pour les CA. Pour mieux comprendre les techniques de simulation en ce qui a trait aux CA, il est nécessaire aussi de connaître les domaines de la logistique des CA que la simulation a traités. Tout cela doit être réalisé dans le but de mieux comprendre la dynamique de la simulation et des CA. Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous traiterons spécifiquement des tendances d'application des techniques de simulation. Nous mettrons aussi en évidence les études de cas qui appliquent ces techniques de simulation ainsi que les nouvelles avenues de la simulation en ce qui a trait aux CA. Tout ce que nous venons de mentionner se retrouve dans la littérature que nous avons répertoriée. Précisons d'abord les généralités concernant les CA.

3.1 Généralités

Depuis les années 1990, les entreprises qui sont reliées aux CA ont compris la nécessité d'utiliser la simulation des processus d'affaires pour se trouver en meilleure position que leurs concurrentes. Au cours de ces dernières années, Areti Manataki et al. (Manataki, Chen-Burger et Rovatsos, 2010) ont constaté un changement dans la façon de fonctionner des entreprises : elles sont passées d'un mode d'utilisation traditionnelle qui les isolait à un mode

concurrentiel plus ouvert et plus sensible à des nouveaux marchés. Dans ce mode concurrentiel, la compétition dans tous les secteurs de l'industrie ainsi que la globalisation des marchés incite encore davantage les entreprises à optimiser et à rechercher de nouvelles stratégies concurrentielles (Terzia et Cavalieri, 2004). Les CA sont alors devenues hautement complexes et souvent de faibles performances (Manataki, Chen-Burger et Rovatsos, 2010); leur dynamique complexe n'a pas encore été totalement comprise surtout en ce qui concerne la coordination de leurs activités. En général, les approches appliquées en simulation se situent aux antipodes, soit qu'elles demeurent théoriques sans traitements dynamiques, soit qu'elles sont informatisées sans qu'il y ait un cheminement théorique. D'où la nécessité dans les CA de faire appel à la simulation comme l'exprime si bien Sergio Terzia et Sergio Cavalieri (Terzia et Cavalieri, 2004). Malheureusement, les entreprises n'ont pas encore vu tous les avantages que pourrait leur procurer la simulation appliquée aux CA.

3.1.1 Définitions des CA

Il existe plusieurs définitions d'une CA selon les points de vue de la littérature ; nous allons en présenter quelques-unes :

Du point de vue des relations d'activités :

- Le réseau des CA, selon la littérature, comprend plusieurs activités reliées directement ou indirectement à l'accomplissement de la demande du client : manufacturiers, fournisseurs, distributeurs, détaillants, clients, etc. (Manataki, Chen-Burger et Rovatsos, 2010). Ces derniers rapportent que T. Moyaux et al. (Moyaux, Chaib-draa et D'Amours, 2006) ont défini les CA comme des « *sous-systèmes de production hétérogènes qui ont une vaste dynamique et une alliance virtuelle des systèmes intelligents distribués qui favorisent l'autonomie de ses membres.* »

Du point de vue des flux :

- D'après la littérature, la gestion des CA comprend la maximisation des flux : en aval, elle conduit au produit ; en amont, elle conduit aux finances. Dans les deux sens, elle conduit à un flux bidirectionnel de l'information (Manataki, Chen-Burger et Rovatsos, 2010).

Du point de vue des relations entre acheteur, vendeur et fournisseur :

- Selon la littérature, les CA comprennent toutes les activités qui sont en relation avec l'acheteur, le vendeur et les fournisseurs; elles tiennent compte aussi de l'approche « value chain » qui comprend toutes les activités pour rendre disponible un produit sur le marché (Persson et Olhager, 2002).

À cette étape-ci, il est nécessaire de préciser trois activités distinctes des CA mentionnées dans la littérature : Même si ces activités ne correspondent pas aux définitions des CA, il est important de préciser qu'il existe trois activités distinctes pour arriver à optimiser une CA. 1) la conception des processus en ce qui a trait aux CA ; 2) la simulation des processus en ce qui a trait aux CA ; et 3) l'optimisation des processus en ce qui a trait aux CA. Cette *conception* des processus concernant les CA permet une meilleure compréhension de leur fonctionnement (Ren et al., 2009). Elle favorise la détermination du nombre et de l'emplacement des installations, c'est-à-dire les établissements industriels, les centres de distribution, les entrepôts, le transport, les détaillants, les clients ainsi que les liens entre les emplacements, les modes de transport entre les emplacements de même que les stratégies de fonctionnement, c'est-à-dire le contrôle de stocks et le chargement de support. Pour ce qui est de l'activité de *simulation des processus en ce qui a trait aux CA*, elle offre la possibilité d'évaluer l'impact de l'imprévisibilité et la compréhension des interactions entre les diverses ressources au fil du temps, ce qui permet de fait une meilleure estimation des coûts et des ressources. Finalement, l'activité d'*optimisation* des processus en ce qui a trait aux CA vise à trouver la meilleure solution au problème soumis en tenant compte des contraintes exprimées sous forme d'hypothèses. Afin que la simulation des processus concernant les CA soit

effectuée, la première activité mentionnée ci-dessus doit être présente avec la simulation. La dernière activité, c'est-à-dire l'activité d'optimisation des processus en ce qui a trait aux CA est une activité optionnelle.

Jusqu'ici nous avons présenté les caractéristiques des CA concernant les différents points de vue ainsi que des précisions en ce qui a trait à trois concepts : conception, simulation et optimisation. Toute cette démarche, qui a été inspirée de la littérature, a été élaborée en vue de mieux comprendre tous les éléments composants des CA qui interviennent dans la simulation des processus d'affaires en ce qui a trait aux CA. Toujours, dans le but de mieux comprendre les différentes étapes de la simulation en ce qui a trait aux CA, nous allons préciser les indicateurs de performance qui sont utilisés dans les processus de simulation des CA et qui sont mentionnés dans la littérature. Évidemment, les indicateurs de performance doivent être analysés au préalable avant de songer à les appliquer à toute technique de simulation.

3.1.2 Indicateurs de performance

Les indicateurs de performance sont incontournables dans les CA en vue d'obtenir un meilleur résultat de la simulation. Un indicateur de performance est « *une donnée quantifiée qui exprime l'efficacité et / ou l'efficience de tout ou partie d'un système (réel ou simulé), par rapport à une norme, un plan déterminé et accepté dans le cadre d'une stratégie d'entreprise.* » (Berrah, 2002). Ces indicateurs sont définis en fonction des objectifs de la simulation et de l'entreprise. Ils vont permettre de valider les résultats obtenus par la simulation par rapport aux objectifs de l'entreprise afin de définir les modifications à réaliser dans le système modélisé.

Dans la littérature, nous avons répertoriée une liste des indicateurs de performance. Voici une liste des indicateurs de performance qui sont présentés dans les publications de Frederik

Persson et Jan Olhager (Persson et Olhager, 2002) et de Helena Carvalho et al. (Carvalho et al., 2011) Ces auteurs mentionnent parmi les indicateurs de performance :

- les coûts (des stocks et de l'exploitation) (Carvalho et al., 2011) ;
- la réactivité du client par rapport au temps de livraison ;
- la probabilité de rupture de stock ;
- le taux de remplissage ;
- le profit ;
- le délai ;
- la rapidité de livraison ;
- le coût total d'utilisation ;
- le taux de remplissage des stocks ;
- l'inventaire des ressources ;
- la qualité ;
- les délais de livraison (Carvalho et al., 2011) ;
- la variabilité du délai.

Afin que ces indicateurs soient représentatifs des objectifs de l'entreprise et de la simulation, ces indicateurs de performance doivent posséder certaines caractéristiques qui sont bien précisées dans la littérature (Persson et Olhager, 2002). Ainsi, elles doivent :

- être reliés directement à la structure stratégique de l'établissement industriel ;
- être autonomes sur le plan financier et ne dépendre d'aucune mesure financière ;
- être variables selon la localisation physique de l'établissement ;
- être variables selon les circonstances du temps ;
- être simples à utiliser ;
- être en mesure de fournir une rétroaction rapide ;
- être utiles aussi bien pour l'amélioration que pour la surveillance des processus.

Dans la littérature, nous avons donc répertorié la qualité des indicateurs de performance. Tous ceux que nous avons mentionnés ci-dessus peuvent être retracés dans les publications que nous avons consultées. Les concepts abordés dans le chapitre 2 et la définition des indicateurs de performance font partie des concepts de base pour la réalisation de toute simulation. Dans la prochaine étape de notre travail, nous allons décrire les techniques de simulation qui sont les plus utilisées dans la simulation reliée aux CA. Cette démarche nous permettra de relever certains « indicateurs de préférences » dans le traitement de certains sujets reliés à la logistique des CA.

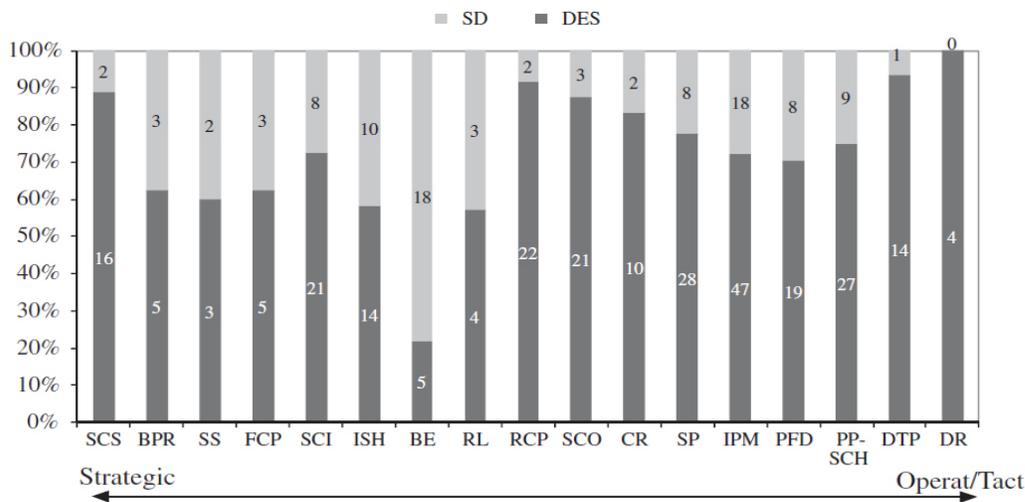
3.2 Application des techniques de simulation des processus en ce qui a trait aux CA

Dans les techniques de simulation des processus en ce qui a trait aux CA, nous allons accorder une attention particulière (à la suite d'un suivi de la littérature) à deux techniques qui ont pris de l'importance au cours des années. Nous allons aussi souligner les avantages et les limites de ces techniques de simulation.

Utilisation de la SED et de la SD :

Dans leur étude, Antuela A. Tako et Stewart Robinson (Tako et Robinson, 2012), révèlent que les techniques les plus utilisées, par ordre d'importance, sont la SED et la SD pour tout ce qui concerne la gestion de la logistique (stratégique, tactique, opérationnelle) des CA. Ainsi, selon les auteurs, 68 % des études de simulation utilisent la technique de la SED, 30 % la technique de la SD et 2% la technique de simulation hybride (SED et SD). D'après notre propre inventaire de la littérature, nous avons aussi noté que la technique de la SED est la plus utilisée (voir Tableau 17. Références dans le domaine des CA).

Figure 1. Nombre des publications qui utilisent la SED (DES) et la SD en ce qui concerne la gestion de la logistique des CA.



Source : (Tako et Robinson, 2012)

Légende			
(SCS) Structure des CA	(ISH) Partage de l'information	(CR) Réduction des coûts	(PPSCH) Planification de la production et échéanciers
(BPR) Modification des processus, (SS) Sélection des fournisseurs	(BE) Efficacité (Effet de « resilience »)	(SP) Performance des systèmes	
(FCP) Planification de la capacité des installations	(RL) Logistique inverse	(IPM) Gestion de la planification d'inventaire	(DTP) Distribution et planification du transport,
(SCI) Intégration des CA	(RCP) Reconstitution des politiques de contrôle	(PFD) Planification et prévision de la demande	(DR) Règles d'expédition
	(SCO) Optimisation des CA		

Élaborés par Antuela A. Tako et Stewart Robinson (Tako et Robinson, 2012), à la suite d'articles qu'ils ont recensés dans la littérature, ces deux auteurs qui ont élaboré la figure 1 décrivent clairement ces deux techniques qui sont très appliquées dans les recherches de simulation concernant les CA. L'étude de ces auteurs démontrent qu'il n'y a pas de différence d'utilisation entre ces deux techniques si l'on tient compte de ce que représente le graphique de la figure 1; ces dernières, selon la figure 1, sont utilisées à trois niveaux : stratégique, opérationnel et tactique, sauf dans le cas du coup de fouet (cette action signifie un changement intempestif) dont la priorité est bien claire pour la SD. Cette position prise par Antuela A. Tako et Stewart Robinson (Tako et Robinson, 2012) est contraire à ce que

certaines chercheurs affirment, à savoir que l'utilisation de la SED est utile pour les niveaux opérationnels et la SD pour les niveaux stratégiques en matière de décisions et d'analyse de la structure d'un système (Tako et Robinson, 2012).

Dans l'article d'Antuela A. Tako et Stewart Robinson (Tako et Robinson, 2012), il est également précisé que certains secteurs de la logistique reliés aux CA appliquent de façon préférentielle la technique de la SED. Parmi ces secteurs de la logistique qui appliquent la SED, nous pouvons mentionner la structure et l'intégration des CA, les normes de contrôle de ravitaillement, l'optimisation des CA, la réduction des coûts, les performances du système, la planification des stocks et de la gestion, la planification et la prévision de la demande, la production, la planification et l'ordonnancement, la distribution et la planification des transports ainsi que les règles de répartition. Dans ce même article, si nous nous référons à la simulation en général, un de secteurs de la logistique relié aux CA fort utilisés par la simulation concerne la gestion et la planification des inventaires de même que la performance des systèmes sans compter la planification de la production et les échéanciers.

Avantages des techniques de la SED et de la SD :

Dans la littérature que nous avons recensée, nous allons souligner certains avantages que possèdent les techniques de simulation de la SED et de la SD. Ces avantages vont permettre de mieux connaître les qualités de chacune de ces techniques et de les appliquer dans le processus de la simulation (CA) :

- Elles sont aptes à modéliser la complexité et à intégrer les imprévus auxquels sont soumis les CA; elles sont également en mesure de modéliser les questions qui touchent le niveau stratégique (Tako et Robinson, 2012).
- Elles sont également valables pour la gestion de la logistique des CA (Tako et Robinson, 2012).

Avantages particuliers de la SED :

- Cette technique semble plus adaptée aux stratégies de réapprovisionnement, d'optimisation des CA ainsi qu'à la planification de la distribution et à tout ce qui touche le transport en général (Tako et Robinson, 2012).
- Selon Sergio Terzia et Sergio Cavalieri (Terzia et Cavalieri, 2004), cette simulation peut être exécutée en mode parallèle ou distribuée. En mode parallèle, il s'agit d'exécuter la simulation sur une plateforme d'ordinateurs en utilisant des multiprocesseurs et en appliquant une architecture en mode distribué, c'est-à-dire que la simulation s'exécute sur des ordinateurs interconnectés et distribués géographiquement par un réseau local ou par un réseau plus vaste. Finalement, l'exécution du modèle de simulation est basée sur le concept de coopération et de collaboration où chaque modèle participe à un environnement fédéré (Terzia et Cavalieri, 2004).

Ainsi, cette démarche de simulation par SED nous montre que cette dernière n'est pas restrictive à un seul cheminement : son application peut se réaliser dans un réseau de CA distribué, facilitant ainsi la tâche des entreprises pour partager les informations et mieux planifier les activités des CA. Passons maintenant aux avantages particuliers de la SD.

Avantages particuliers de la SD :

La littérature nous informe que la SD est davantage susceptible d'être appliquée dans les scénarios de simulation plus complexes (Ren et al., 2008). Ce type de simulation permet entre autres d'évaluer les effets de la variabilité, de la variance, des interactions et de l'interdépendance entre les processus, de même que les effets des ressources, des règles opérationnelles et des contraintes logiques. L'article de Antuela A. Tako et Stewart Robinson (Tako et Robinson, 2012) que nous avons recensé souligne que certains chercheurs affirment que la SD est plus simple pour mettre en place les données pertinentes pour la simulation:

elle facilite une conception plus simple de la simulation et elle favorise aussi une réduction de temps en ce qui a trait aux différents niveaux stratégiques.

Cette deuxième technique nous offre la possibilité de considérer la réalisation d'une simulation à plus long terme dont les données sont plutôt agrégées que détaillées. Selon les objectifs fixés par l'entreprise, l'application de cette technique permettra d'obtenir des résultats à plus long terme et ainsi l'entreprise pourra prévoir les actions à entreprendre afin d'améliorer la performance des CA. En ce qui concerne les avantages que nous avons montrés pour les deux techniques de simulation, il faut reconnaître que ces dernières ont des limites. C'est ce que nous allons traiter dans la partie qui suit.

Limites de la SED et de la SD :

- Dans leur article, qui traite de la SED et de la SD, Antuela A. Tako et Stewart Robinson (Tako et Robinson, 2012), font bien ressortir que certains processus de simulation utilisent de façon restrictive ces deux techniques de simulation. Ces processus de simulation concernent tout particulièrement la sélection des installations et des fournisseurs, la planification de la capacité reliée à la stratégie ainsi que la simulation pour la refonte des processus.
- Ces deux auteurs, affirment aussi que la délimitation entre les deux techniques (SED et SD) n'est pas claire pour les clients. Elles sont perçues comme trop semblables (Tako et Robinson, 2012). Lorsqu'on utilise la SED et la SD, Antuela A. Tako et Stewart Robinson (Tako et Robinson, 2012) mentionnent également qu'il est essentiel d'établir l'ensemble des critères nécessaires pour appuyer la gestion de ces deux techniques.

Il faut reconnaître que certaines restrictions énoncées par Antuela A. Tako et Stewart Robinson (Tako et Robinson, 2012), dans leur article, n'éliminent pas pour autant les multiples possibilités d'application de ces techniques de simulation pour les établissements industriels.

Dans la littérature que nous avons répertoriée, certains cas d'application se servent de la technique de la SD et de la SED pour démontrer les possibilités de soutien aux entreprises dans la gestion des CA. En première lieu, c'est ce que nous démontrerons. Dans cette dernière section, afin d'élargir les avenues de notre sujet de recherche, à la lumière des autres articles que nous avons recensés, nous proposerons d'autres alternatives qui n'ont pas encore eu une application concrète mais qui annoncent des voies encourageantes.

3.3 Revue de la littérature concernant la simulation dans les CA

3.3.1 Études de cas

Dans la littérature, les domaines d'études traitant de cas concrets correspondent aux différents secteurs de la logistique reliés aux CA. Les études réalisées par Antuela A. Tako et Stewart Robinson; Sergio Terzia et Sergio Cavalieri , (Tako et Robinson, 2012; Terzia et Cavalieri, 2004), qui dressent un inventaire important des publications dans le domaine d'application de la simulation des CA, ne parviennent pas à classer tous les secteurs de la logistique des CA de la même manière. En revanche, ces auteurs confirment que l'application de la simulation est utilisée à tous les niveaux (stratégiques, tactiques et opérationnels) de la gestion des CA. Le tableau 2 que nous présentons ci-dessous reflète cette dynamique où les cas d'application ont été inventoriés par les auteurs.

Tableau 2. Études d'application de la simulation dans le domaine des CA

Selon (Terzia et Cavaliere, 2004)	Selon (Tako et Robinson, 2012)
<ul style="list-style-type: none"> • Demande et planification de ventes : simulation des demandes • Planification de CA : simulation de processus qui supportent la production, la distribution et l'allocation des ressources selon les contraintes de la capacité • Planification des inventaires : simulation des multi-inventaires • Distribution et planification du transport. Simulation de centres de distribution, localisation de sites et planification de ressources • Planification et échéanciers de la production. Simulation et planification d'une simple ligne de production jusqu'à l'intégration des lignes de production. 	<ul style="list-style-type: none"> • Planification et prévision de la demande (PFD), • Structure CA (SCS) • Réconception des processus (BPR), • Sélection de fournisseurs (SS), • Planification et capacité des installations (FCP), • Intégration de CA (SCI), • Partage de l'information (ISH), • Résistance aux chocs (BE), • Logistique inverse (RL), • Reconstitution des « politiques » de contrôle (RCP), • Optimisation des CA (SCO), • Réduction des coûts (CR), • Performance du système (SP), • Gestion de la planification des inventaires (IPM), • Distribution et planification de transport (DTP), • Planification et échéanciers de la production (PPSCH), • Règles d'expédition (DR)

Le tableau 2 présente les sujets d'études (l'application de la simulation des CA) de deux publications. Dans la démarche d'application, ces quatre auteurs traitent de sujets comparables qui sont indiqués en gras dans la colonne de droite. Il semble que huit ans plus tard, si nous nous fions au tableau 2 de la colonne de droite, il existe un nombre plus important de sujets qui traitent de l'application de la simulation en ce qui concerne les CA (secteur industriel). Ces articles de la colonne de droite montrent l'évolution de ce domaine d'application de la recherche qui intéresse de plus en plus les chercheurs qui veulent améliorer la performance des entreprises dans le domaine des CA.

Afin d'approfondir les divers aspects d'application de la simulation des processus d'affaires en ce qui concerne les CA, nous allons également présenter notre propre inventaire de la littérature qui nous permettra de compléter les travaux des quatre auteurs que nous avons

présentés précédemment. Ces auteurs omettent de parler des indicateurs de performance et des relations qui doivent être établies entre les indicateurs afin de constater l'importance de l'application de ces simulations dans la gestion des processus d'affaires des CA. Dans l'inventaire complémentaire de la littérature que nous avons réalisé, nous allons décrire de façon plus approfondie l'application des processus de simulation en vue de faire ressortir tous les éléments qui font partie de la simulation. Plus particulièrement, nous allons montrer, par l'inventaire de certains articles, l'importance qu'il faut accorder à l'application de la simulation pour que les gestionnaires des CA prennent de bonnes décisions. Nous allons commencer par le processus de planification des inventaires et de contrôle des stocks.

Application de la simulation en ce qui concerne la planification des inventaires et le contrôle des stocks

Dans notre inventaire complémentaire de la littérature, nous avons retracé la publication de Hongwei Ding et al. (Ding et al., 2006). Cet article vise une meilleure gestion des CA en ce qui concerne l'application de la simulation reliée à la gestion de la planification des inventaires et au contrôle des stocks. Dans leur article, ces deux auteurs veulent déterminer la configuration des stocks d'un fournisseur, évaluer sa faisabilité et circonscrire les risques d'un contrôle centralisé de matières premières chez un seul fournisseur (Ding et al., 2006). Dans ce même article, les auteurs précisent que les risques évalués correspondent à la demande des clients et aux fournisseurs externes. Leur étude applique alors une simulation dynamique (SD) en utilisant l'outil (logiciel) SCPM d'IBM basé sur la sémantique du flux de jetons et le modèle SCOR pour le contrôle des stocks d'une entreprise fictive. Dans la démarche de l'application de la simulation, les mesures de performance obtenues correspondent : (1) au temps de réactivité (temps écoulé entre la commande et la livraison), (2) à la fiabilité (% de commandes livrées à temps) et (3) à la moyenne des stocks de matières premières (indicateur de coûts). Les résultats de l'application de la simulation réalisés par ce deux auteurs mettent alors en évidence : (1) le comportement des stocks de

base en fonction de l'exécution des commandes (2) la relation entre les niveaux de stocks de base et la moyenne de stocks des matières premières, (ce qui permet de déterminer un intervalle limite de niveau de stock) et (3) la relation entre le niveau de base et le pourcentage de livraison qui est réalisé à temps. Dans cette étude, Hongwei Ding et al. (Ding et al., 2006), grâce à la simulation appliquée à cette CA, démontrent l'existence de relations significatives entre le stock tampon et les matières premières, entre la rapidité de livraison et l'incrément du niveau de stocks ainsi que la relation entre la croissance de matières premières et la croissance des coûts. Une fois que ces informations ont été fournies, l'équipe de gestion n'a qu'à établir les stratégies pour une meilleure gestion du stock tampon et ainsi diminuer les risques reliés aux demandes des clients et des fournisseurs externes.

Dans notre inventaire complémentaire de la littérature, la simulation concernant le processus d'achat dans la planification et la prévision de la demande (CA) nous offre la possibilité de comprendre les relations entre l'utilisation des ressources et les nombreuses activités concernant les achats. L'étude de Kwan Hee Han et Jin Gu Kang (Han et Kang, 2007b) nous offre la possibilité de saisir ce type de relations.

Application de la simulation en ce qui a trait la planification et prévision de la demande : processus d'achat

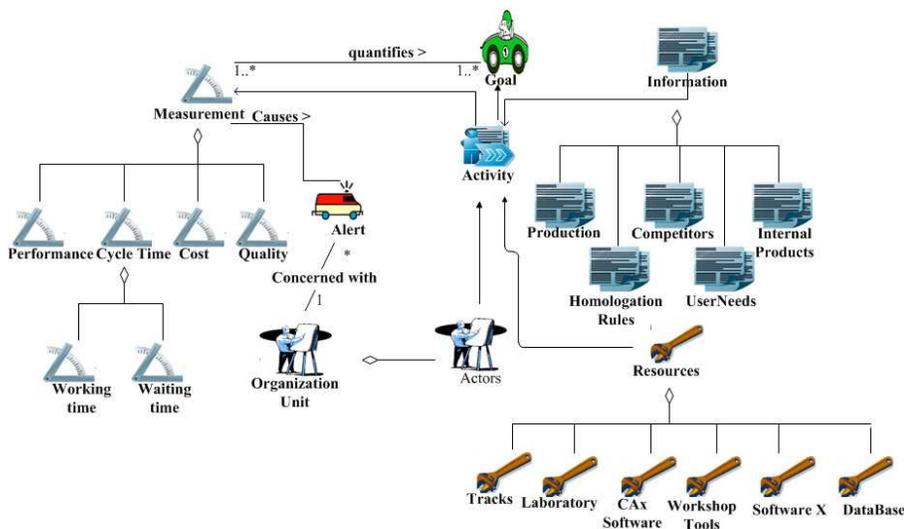
Kwan Hee Han et Jin Gu Kang (Han et Kang, 2007b) proposent d'abord une application de la simulation en ce qui a trait au processus d'achat. Pour choisir ce processus d'achat, afin d'appliquer adéquatement la simulation, les deux auteurs mettent en place une méthodologie pour identifier des processus prioritaires (ou de la valeur ajoutée qui est fort importante pour le bon fonctionnement de l'entreprise) (voir section 3.3.4). Dans l'entreprise qu'ils étudient, une fois qu'ils ont identifié un processus précis, en l'occurrence le processus d'achat, Kwan Hee Han et Jin Gu Kang (Han et Kang, 2007a) modélisent ce processus et appliquent la simulation en se servant du logiciel EXTEND et d'Excel. Pour le calcul de la durée des activités, une distribution normale a été appliquée à la simulation du processus d'achat. Les résultats de la simulation du processus d'achat concernant cette CA, font ressortir les

relations qui peuvent exister entre les fluctuations des achats et l'utilisation de ressources ainsi que les relations qui peuvent exister entre les fluctuations des achats et la durée de chacune des activités. Même si les deux auteurs ne mettent pas en évidence l'application concrète de cette simulation d'une CA, les relations établies dans ce processus d'achats permettront à l'entreprise concernée de mieux évaluer les besoins en ce qui concerne les ressources en tenant compte de la fluctuation des achats. De cette manière, l'entreprise, qui s'appropriera de cette démarche, pourra suivre une voie plus sûre, parmi tant d'autres, dans le réseau complexe de la compétitivité. Un autre type d'application qui est relié à la simulation et qui concerne le contrôle des inventaires dans l'industrie de l'automobile sera analysé dans la partie qui suit.

Application de la simulation en ce qui a trait au contrôle des inventaires dans l'industrie de l'automobile en vue d'une plus grande efficacité.

Dans la littérature complémentaire que nous avons consultée, le processus de simulation que nous allons décrire concerne l'industrie de l'automobile dans une CA. La figure 2 donne un aperçu de la complexité de cette industrie.

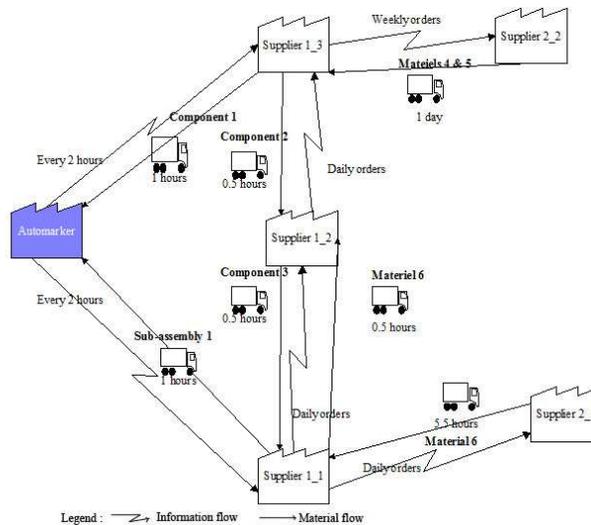
Figure 2. Profil de la production de véhicules



Source : (Ferreira et al., 2007)

Dans l'industrie automobile, selon la littérature, les CA sont complexes. D'une part, elles sont composées de nombreuses pièces, de plusieurs composantes et de nombreux matériaux ; d'autre part, les fournisseurs se trouvent dans divers pays (Carvalho et al., 2011). Dans ce type d'industrie, la résistance aux chocs (efficacité) est un élément important, d'où la nécessité d'une bonne simulation en vue de la gestion des CA.

Figure 3. Modélisation d'une CA pour la production de véhicules



Source : (Carvalho et al., 2011)

L'étude menée par Helena Carvalho et al. (Carvalho et al., 2011), en vue de réaliser une simulation, a pour objectif, dans l'industrie de l'automobile, d'analyser divers scénarios pour réduire les impacts de tout déséquilibre et de mettre en place des stratégies qui pourraient atténuer tous les effets négatifs et rendre plus efficace le fonctionnement de l'entreprise. La figure 2 illustre les trois niveaux de la CA étudiée, c'est-à-dire le constructeur, deux niveaux de fournisseurs de même qu'un sous-traitant. Les auteurs de cette étude appliquent la méthodologie de Frederik Persson et Jan Olhager (Persson et Olhager, 2002) expliquée dans la section 2.3.1. Dans leur démarche, le processus de retour (lorsque les pièces présentent un défaut) n'a pas été considéré et a été exclu dans le modèle de simulation, étant donné que ce

processus de retour rendait le modèle extrêmement complexe. Comme toute démarche qui doit se faire lors de la mise en place de la simulation afin de réduire la complexité du modèle de simulation. Helena Carvalho et al. (Carvalho et al., 2011) ont émis plusieurs hypothèses en ce qui a trait aux processus, au matériel défectueux, aux fournisseurs et au temps effectués par les processus. Avant d'exécuter la simulation, les auteurs ont traité préalablement les données des entrées correspondant aux données réelles pour élaborer de bons indicateurs de performance. Ils ont appliqué une distribution triangulaire (en tenant compte de la valeur minimale, maximale et de la mode) à la durée des processus pour réaliser la génération aléatoire des données de simulation. Dans la même démarche de simulation, les auteurs ont tenu compte de deux indices de performance : le ratio de délai de livraison (rapport entre le temps réel et le temps de livraison promis) qui permet d'évaluer la capacité de la CA et le coût total (ce coût comprend les coûts associés et reliés au matériel, à l'inventaire et au transport) d'une entité de la CA pour une période déterminée.

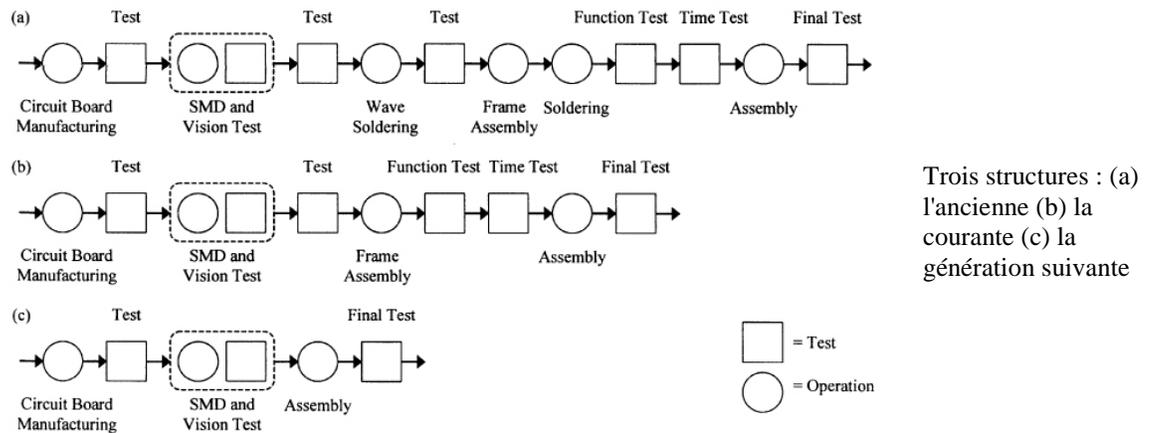
Les résultats de l'application de la simulation présentés par les deux auteurs font bien ressortir les scénarios qui favorisent la réduction de l'inefficacité et des coûts. C'est l'une des rares publications qui a mis en évidence la validation des données où l'intervalle de confiance est calculé en tenant compte d'un niveau de signification de 5%. Cette étude suit une méthodologie rigoureuse et les résultats obtenus offrent à l'entreprise des alternatives pour faire face aux divers imprévus. Même si ce cas s'applique à l'industrie automobile, plusieurs autres entreprises pourraient s'en inspirer.

Application de la simulation concernant la planification des échéanciers de la production (secteur de la fabrication des appareils de communication mobile)

Dans la littérature que nous avons consultée, la planification des échéanciers de la production (secteur de la fabrication des appareils de communication mobile) occupe aussi une certaine importance. L'application de la simulation dans ce secteur va permettre de faire l'évaluation de certaines alternatives de conception dans la fabrication des appareils de communication

mobile en considérant les indicateurs de performance de qualité (coût des délais). Pour l'élaboration de cette simulation concernant ce type de CA, Frederik Persson et Jan Olhager (Persson et Olhager, 2002) suivent neuf étapes qui ont été expliquées dans le chapitre 2, section 2.3.1. Dans le même article, Frederik Persson et Jan Olhager mentionnent plusieurs options qui existent pour améliorer l'efficacité de la CA dans ce secteur de fabrication. Il propose entre autres de réduire le nombre d'étapes de fabrication en diminuant le délai de livraison et en accélérant les informations entre les parties concernées. Dans ce domaine de fabrication des appareils de communication mobile, l'efficacité, selon les deux auteurs, dépend hautement de la qualité du produit et de la performance de l'entreprise. La figure 4 va en ce sens en présentant trois structures de fabrication des appareils de communication de l'entreprise reliée à la CA.

Figure 4. Structure de la fabrication des appareils de communications reliée à une CA



Source : (Persson et Olhager, 2002)

Sans minimiser la qualité de la fabrication des appareils de communication mobile et envisageant la performance, Frederik Persson et Jan Olhager (Persson et Olhager, 2002) proposent trois structures différentes en vue d'optimiser la production (voir figure 4) de cette entreprise qui est reliée à une CA. Pour concrétiser leurs propositions et valider leurs modèles, ils ont réalisé plusieurs tests pour chacune de ces structures. Plusieurs hypothèses sont alors formulées par ces auteurs. Si l'on considère, selon eux, les structures présentées, toutes ont la même qualité, la même capacité de livraison et les chaînes de montage de

l'usine sont identiques. Si l'on examine la dernière structure, elle correspond à la génération suivante (a). Dans cette dernière structure, les auteurs ont supprimé le temps de test et toutes les opérations d'assemblage sont regroupées en une seule.

Mentionnons que cette publication est une parmi les rares dont la validation de la structure est clairement signalée. Étant donné que la validation du modèle construit est importante pour réaliser la simulation, les auteurs ont alors procédé à la validation de l'ancienne structure (a) qui, selon eux, est réalisé par un personnel expérimenté qui connaît le comportement du système et le fonctionnement de la CA. La deuxième structure dite, structure courante (b) est validée, d'après les auteurs, par une inspection du modèle au moment des diverses étapes de sa construction et la troisième structure (c), pour les auteurs, n'a subi aucune validation. Étant donné que cette dernière structure (c) a été construite sur la base des deux modèles validés auparavant (a et b), cette dernière est alors considérée valide par les auteurs. Chacun de trois modèles produit un nombre semblable d'appareils, ce qui permet de les comparer et de constater que la structure 3 (c) est plus efficace et parvient à produire à un moindre coût. C'est ce que la simulation va démontrer.

La technique de simulation appliquée au départ à chacune de ces structures modélisées est la SED. La distribution log normale a été appliquée pour la génération des nombres aléatoires. Les erreurs du produit (appareils de communication mobile) ont été modélisées en appliquant la distribution de Bernoulli. Cette même distribution est appliquée pour savoir si un produit doit être refait ou rejeté. La plupart des résultats de la simulation concernant chacune de ces structures sont fournis par le logiciel Taylor II.

Reconnaissons que l'article de ces deux auteurs est particulier : la simulation de cette CA est appliquée aux trois structures différentes. Il ne s'agit pas de scénarios différents mais bien de l'évaluation de trois structures qui ont été élaborées sur la base conceptuelle de structures, d'améliorations et d'optimisation de la CA. L'évaluation d'indicateurs de performance se

réalise à un moment précis. Les résultats de la simulation obtenus sont plus clairs et logiques que d'autres publications qui ont utilisé un autre modèle de simulation d'une CA. Grâce à ce type de simulation, cet article démontre clairement les relations établies entre la qualité du produit et plusieurs autres indicateurs de performance (coût total, niveau d'inventaire, délai et variabilité de livraison, produits de qualité et produits défectueux). Posons-nous alors la question suivante : est-ce que cette démarche qui est très différente des autres que nous avons inventoriées dans la littérature s'applique mieux à ce type particulier d'industrie dont la qualité et la performance sont reliées intimement et dont la structure de la CA est en relation directe avec la performance ? Pour le moment, il est impossible de répondre à cette question compte tenu que nous avons un seul article qui aborde la simulation des processus d'affaires de cette façon. Reconnaissons quand même que cette démarche d'application de la simulation est fort rigoureuse, même s'il a été impossible de retracer d'autres articles semblable. Ce type d'application de la simulation semble donc être une voie prometteuse pour la réalisation de la simulation reliée à une CA.

Dans la littérature que nous avons consultée, nous avons jusqu'ici présenté certains cas particuliers qui ont appliqué la simulation des processus d'affaires reliés à une CA. Les divers domaines reliés à la logistique des CA dont la simulation des processus ont été appliquée et visent en quelque sorte à aider les gestionnaires à améliorer la performance de la gestion des CA au sein de leur entreprise

Maintenant, nous allons répertorier dans la littérature les divers travaux concernant les propositions conceptuelles qui projettent d'améliorer le traitement des données au moment de la simulation et à intégrer de plus en plus les multiples caractéristiques du monde réel qui encadrent les CA

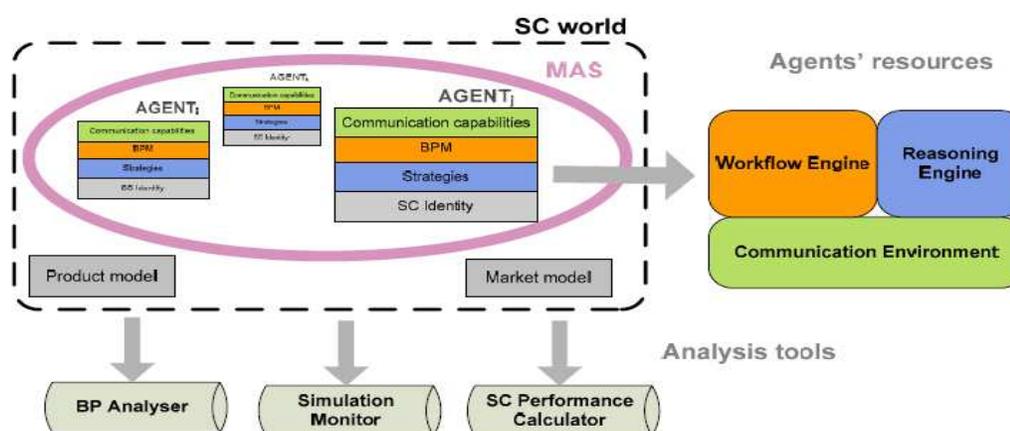
3.3.2 Les nouvelles avenues de la recherche en ce qui a trait à la simulation des processus d'affaire reliés aux CA

Dans les publications que nous avons inventoriées, les propositions conceptuelles, les « framework » et les méthodologies pour améliorer les traitements de la simulation font partie des nouvelles approches qui pourraient faire progresser la simulation en intégrant de nouveaux algorithmes capables de rendre plus efficaces le traitement et les résultats de la simulation. Dans cette voie nouvelle de la recherche qui tient compte de propositions conceptuelles, l'étude d'Arete Manataki et al. (Manataki, Chen-Burger et Rovatsos, 2010) s'annonce très prometteuse puisque ces auteurs proposent un modèle théorique centré sur la base de multi agents.

Propositions conceptuelles

Ce modèle théorique d'Arete Manataki et al. (Manataki, Chen-Burger et Rovatsos, 2010) vise à construire une architecture plus autonome qui permettra de traiter des processus plus complexes au moment de la simulation. Dans leur cheminement conceptuel, ils considèrent qu'un agent intelligent peut penser, agir, interagir, prendre des décisions et les communiquer aux autres membres qui sont des agents. Ce modèle théorique comprend trois niveaux : la conception, la formalisation et la simulation de la gestion des CA. La conception de la gestion des CA est composée de trois éléments : les rôles, les services et le processus. Ce modèle est aussi formé de trois couches : (1) la couche de raisonnement qui correspond aux croyances, aux désirs, aux intentions et à l'entraînement pour la prise de décisions concernant les actions à mettre en place (2) la couche de processus qui correspond à la capacité d'exécution des processus dans leur environnement et (3) la couche de communication qui est en conformité avec la capacité de l'agent de recevoir et d'envoyer les messages aux autres agents.

Figure 5. Architecture de la simulation des opérations d'une CA



Source : (Manataki, Chen-Burger et Rovatsos, 2010)

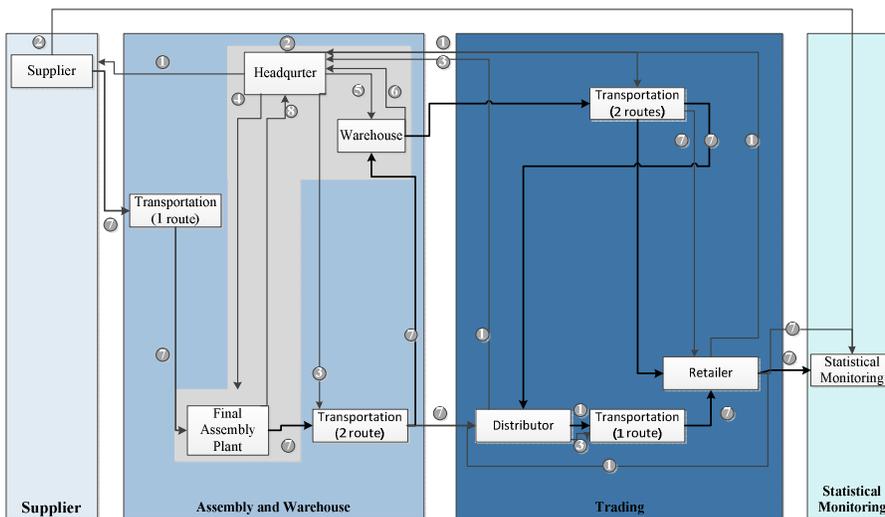
La Figure 5 montre chacune des couches mentionnées, la couche des processus est représentée par les parties orangées ; la couche de raisonnement par les parties bleues et la couche de communication par les parties vertes. Cette dernière couche est la courroie de transmission entre les agents afin de maintenir la cohérence des actions et les résultats de la simulation. Selon les auteurs, l'« analyseur » des processus, le moniteur de la simulation et le calculateur de la performance de la CA sont des outils qui servent à produire les résultats de la simulation d'une CA. Une fois cette étape de conceptualisation franchie, les auteurs pourront procéder à la réalisation d'un « framework ».

La présentation du « Framework »

Parmi les nouvelles avenues, les « framework » constituent la concrétisation d'une proposition conceptuelle pour faire évoluer la démarche de la simulation. En ce qui a trait à la littérature qui traite de ce sujet, nous avons répertorié une seule publication qui met en évidence la présence d'un « framework ». Il s'agit du projet appelé MISSION. Jaekel Rabe et al. (Rabe, Jaekel et Weinaug, 2006). Les auteurs de ce projet, présentent leur réalisation qui est conçue sur la base d'une conception intégratrice qui ne dépend pas de la simulation et qui tient compte des divers aspects de la logistique des CA (voir figure 6 ci-dessous). Dans cet article de Jaekel Rabe et al. (Rabe, Jaekel et Weinaug, 2006), le « framework » vise à

soutenir la simulation distribuée. Plus précisément, le « framework » contient une bibliothèque : il comprend la définition et la gestion de divers modèles qui peuvent être directement applicables dans un modèle de simulation, facilitant ainsi la modélisation d'un processus. Ce même « framework » fournit des méthodes, des techniques et des outils pour exécuter des modèles de simulation indépendants basés sur les processus d'affaires facilement réutilisables. La figure 6 ci-dessous présente le concept intégrateur du référentiel et l'indépendance de ses composants dans la simulation.

Figure 6. Architecture du modèle de référence



Source : (Rabe, Jaekel et Weinaug, 2006)

Selon les auteurs du « framework », Jaekel Rabe et al. (Rabe, Jaekel et Weinaug, 2006), les modèles qu'ils ont développés peuvent être utilisés par les fournisseurs, les assembleurs, les entrepôts, le commerce (détaillants, transports). Ils peuvent aussi être utilisés pour la surveillance et aux fins de statistiques. Ces modèles couvrent les aspects principaux de la CA (voir figure 6 ci-dessus). Étant donné que le « framework » MISSION n'inclut pas le secteur d'affaires, les auteurs mentionnent que d'autres « frameworks » comme SPIDER-WIN SCM et FLUIDE-WIN conçus pour le secteur d'affaires peuvent s'intégrer au même

environnement que MISSION et sont compatibles avec le « framework » qu'ils ont développé. Le fait que d'autres « frameworks » complémentaires puissent s'intégrer au même environnement facilitera la réalisation de la simulation des processus et permettra le partage de l'information entre les membres d'une CA dans un environnement distribué. Ce dernier offrira aussi la possibilité d'une meilleure coordination entre les membres d'une CA afin d'améliorer la performance de chacun de leurs membres. Bref, le « framework » offre de nouvelles pistes de recherche en facilitant l'intégration complexe des processus pour la réalisation de la simulation et de la planification de la gestion des CA.

Dans les « frameworks » réalisés dans les travaux de recherche ou dans les logiciels commerciaux, surtout ceux qui sont reliés aux CA, il est nécessaire d'intégrer certains algorithmes qui vont faciliter le travail de conception du modèle de simulation ainsi que les résultats de ces simulations. Aussi allons-nous présenter deux propositions méthodologiques que nous avons répertoriées dans la littérature consultée et qui peuvent apporter un support intéressant aux « frameworks » ou aux outils (logiciels) qui désirent intégrer ces méthodologies et ainsi faciliter et optimiser la simulation reliés aux CA..

Méthodologies proposées

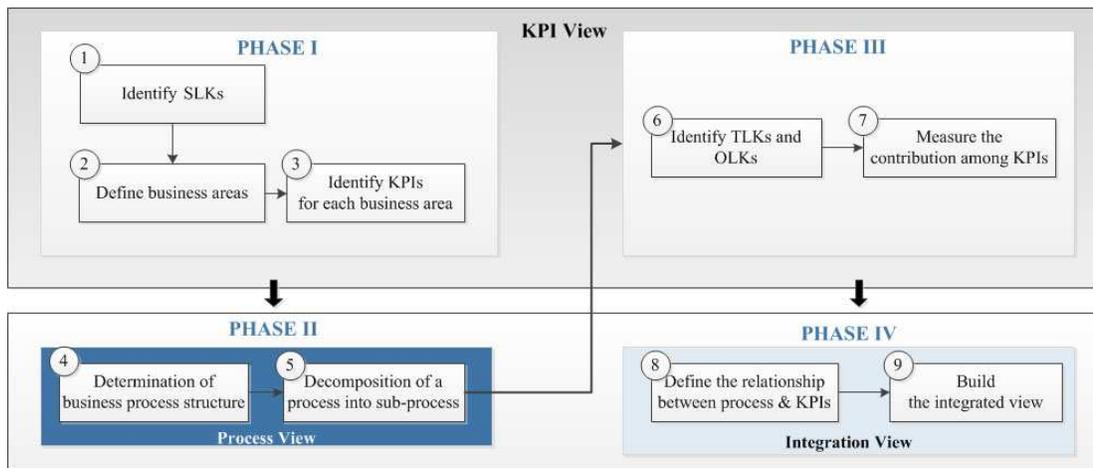
D'après la littérature que nous avons répertoriée, il existe deux méthodologies que nous croyons intéressantes de mentionner : la première concerne la sélection du processus le plus efficace au sein d'une entreprise reliée à une CA ; la deuxième porte sur l'application d'une méthodologie pour améliorer les résultats de la simulation des processus d'affaires. Ces deux méthodologies peuvent être intégrées dans des outils (logiciels) de simulation pour une CA et peuvent constituer un atout pour les outils (logiciels) qui pourraient les intégrer dans leur environnement.

1) Pour déterminer le processus le plus rentable susceptible d'apporter une amélioration

En ce qui a trait à la première méthodologie, une étude, qui a été élaborée par Kwan Hee Han et Jin Gu Kang (Han et Kang, 2007a), vise à identifier les processus qui exercent une

influence stratégique importante dans l'entreprise. Cette méthodologie utilise des indicateurs de performance et propose de construire une matrice en classant les processus selon leur niveau d'appartenance (stratégique, tactique ou opérationnelle), en commençant par le niveau stratégique, puis le niveau tactique et finalement le niveau opérationnel. Une fois la matrice terminée, une pondération de performance est assignée à chaque processus (entre 1 et 3) selon l'importance de la collaboration de ce processus au niveau stratégique. Le même processus est appliqué aux niveaux suivants : tactique puis opérationnel. Après que le processus a été choisi, la même opération se fait au niveau des sous-processus ; ces sous processus permettront de choisir le meilleur processus qui fera l'objet de la simulation. La figure 7 montre aussi bien les différentes étapes pour en arriver au choix du processus à simuler.

Figure 7. Procédure de la mesure de performance



Source : (Han et Kang, 2007b)

La figure 7 montre la procédure à suivre pour mesurer la performance (KPI) des processus stratégiques (SLK), des processus tactiques (TLK) et des processus opérationnels (OLK).

Pour l'analyse de la performance, l'étude de Kwan Hee Han et Jin Gu Kang (Han et Kang, 2007a), que nous avons analysée antérieurement, tient compte également du temps, du

niveau des services et de l'utilisation des ressources pour le processus choisi. Ces auteurs indiquent que ces indices de performance sont liés aux objectifs de l'entreprise et que ces indicateurs font la démonstration de l'amélioration ou de l'innovation de l'entreprise. Par le fait même, cette méthodologie fort prometteuse dans l'avenir pourrait être une démarche clé pour soutenir les CA dans la sélection du processus prioritaire ; ce processus prioritaire pourrait exercer une influence positive au sein de toute entreprise reliée à une CA.

2) Prédiction de la simulation en utilisant un « Filtre à particules » (amélioration)

En ce qui a trait à la deuxième méthodologie, l'article publié par Andrei Solomon et al. (Solomon et Litoiu, 2011; Solomon et al., 2010) présentent les résultats d'un modèle dynamique en appliquant un filtre à particules dans un processus de simulation. Ce filtre à particules a pour objectif d'améliorer la qualité des résultats de la simulation et est connu sous le nom de la méthode de Monte-Carlo. Il s'agit d'une méthode qui évalue la population de façon constante selon une distribution donnée. Une pondération est assignée aux variables selon leur importance. Ces variables sont utilisées pour évaluer la variable indépendante de la fonction. Si la valeur n'est pas négative, la variable pourra continuer à être active. Le filtre à particules est appliqué dans les cas où les fonctions de mesure sont non linéaires et dont la probabilité de l'état n'est pas gaussienne. Dans le cas où il est possible d'appliquer certains filtres comme Extended Kalman Filter ou l'Unscented Kalman Filter, la méthode de filtre à particules permet une évaluation permanente des résultats de la simulation.

Les deux auteurs proposent des données hypothétiques et les résultats montrent l'activité des particules utilisées. Les courbes qui représentent l'activité des particules sont faiblement accentuées lorsque le nombre de filtres de particules est plus important et même dans les cas où les données sont agrégées. Le fait d'appliquer le filtre à particules adoucit la courbe. La simulation peut alors s'améliorer en modifiant d'autres activités dans le processus et ainsi évaluer les résultats de la simulation. Dans le modèle dynamique de simulation, en appliquant la méthode Box-Jenkins ARIMA, les auteurs montrent qu'il est possible d'identifier la dégradation du modèle de prédiction (Solomon et Litoiu, 2011). Même si la

méthodologie n'est pas appliquée à un cas réel, elle serait intéressante de valider son application dans divers processus de simulation car il pourrait apporter une contribution dans l'évaluation des éléments qui peuvent être persistants et qui permettront d'évaluer leur importance dans la démarche de la simulation.

Guidée par la littérature, nous avons présenté dans cette partie de notre travail diverses avenues de recherche. Ces avenues ont donné un aperçu des différents secteurs de la logistique des CA qui appliquent la simulation. Les propositions conceptuelles, quant à elles, ont présenté une vision architecturale des futurs « framework. » La présentation des « framework » a fait état de la concrétisation des propositions conceptuelles et des nouvelles possibilités qu'offrent ces outils et qui sont en mesure d'intégrer et de gérer les données en vue d'améliorer les processus et/ou les résultats de la simulation dans les CA. La présentation des deux méthodologies que nous avons évoquées a pour objectif d'améliorer les capacités des outils utilisés et à obtenir de meilleurs résultats en ce qui concerne la simulation.

3.4 Conclusions

Au cours de ce chapitre, inspirée par la littérature, nous avons défini le concept d'une CA et avons présenté une liste d'indicateurs de performance qui ont été utilisés dans diverses études de cas. Nous avons aussi présenté les techniques de la simulation (SED et SD) qui sont appliquées aux CA en mentionnant les avantages et les limites de chacune d'entre elles. Toujours guidée par la littérature, nous avons une première intention : mieux évaluer le fonctionnement de la simulation en ce qui a trait aux CA. Aussi avons-nous abordé des cas d'application qui montrent que la simulation peut apporter des solutions concrètes et pratiques dans la gestion des CA. De même, nous avons mis en évidence un nombre important de problèmes reliés à la logistique des CA que traite la simulation ; tout au long de son parcours, la logistique apporte ainsi un soutien important dans les décisions à prendre

lorsque les résultats de celle-ci sont déterminants et significatifs. Des nouvelles avenues de recherche ont également démontré que la simulation pourrait être un outil puissant et fondamental pour toute entreprise qui doit gérer la complexité et la croissance d'une CA dans une société comme la nôtre où la compétition est de plus en plus implacable.

CHAPITRE 4

Revue de la littérature concernant la simulation dans le soin de santé

Ce chapitre présente la simulation des processus d'affaires en ce qui a trait aux soins de santé. Pour mieux comprendre le cheminement et l'évolution de la simulation dans cette sphère d'activité (hôpitaux, cliniques diverses fournissant des soins de santé à une population), nous allons d'abord inventorier, dans les ouvrages de références, les articles concernant la simulation reliée aux soins de santé pour la période s'échelonnant entre 1952 et 2007. Préoccupée à cerner les questions concernant la simulation dans ce domaine, nous allons ensuite aborder les techniques de simulation appliquées à ce secteur en tenant compte de ce que la littérature révèle à ce sujet. Finalement, nous allons décrire les techniques de simulation les plus utilisées et les plus novatrices, de même que nous allons mettre en évidence les divers solutions que la simulation apporte dans le secteur de la santé.

4.1 Revue de la littérature traitant de la simulation (secteur de la santé) depuis un demi-siècle

Soulignons au départ que la simulation dans le domaine que nous traitons suscite un grand intérêt depuis quarante ans. Sheldon H. Jacobson et al., (Jacobson, Hall et Swisher, 2006) écrivent à ce sujet: « *les publications de ces études ont régulièrement augmenté de huit entre 1973-1977, de vingt-huit entre 1993-1997 et de plus de cinquante entre 1998-2004.* » Ils expliquent ainsi cette croissance : « *Elle (cette croissance) peut s'expliquer par une demande accrue de la réduction des coûts en soins de santé ; elle peut aussi s'expliquer par une progression pour tout ce qui concerne la facilité d'utilisation et la puissance des logiciels de simulation à événements discrets, en particulier au cours de la dernière décennie.* » Cet intérêt qui est suscité par la simulation dans le domaine de la santé est aussi confirmé par l'étude de Sally C. Brailsford et al. (*Brailsford et al., 2009*).

Dans le tableau 3, chaque auteur précise les années où il inventorie les articles pertinents concernant la simulation dans le domaine de la santé. Mentionnons que la dernière colonne de ce tableau présente notre propre proposition concernant la classification des articles de recherche reliés à la simulation ; cette classification sera utilisée à la section 4.3 pour proposer des solutions lorsqu'on utilise la simulation des processus d'affaires.

Tableau 3. Classifications diverses réalisées par trois auteurs présentant des articles qui concernent la simulation dans le secteur de la santé

England et Roberts (England et Roberts, 1978) (1963-1970)	Sheldon H. Jacobson et al (Jacobson, Hall et Swisher, 2006) (1973-2004)	Sally C. (Brailsford et al., 2009) (1952-2007)	Proposition des catégories que nous avons réalisées
1. Hôpitaux – Modèles des systèmes <ul style="list-style-type: none"> - Contrôle d'admission - Lits - Système général de l'hôpital - Divers 2. Hôpitaux : Modèle départemental <ul style="list-style-type: none"> - Ambulances et services d'urgence - Laboratoires - Radiologie - Chirurgie et salle de réveil - Services d'approvisionnement et de soutien 3. Soins ambulatoires <ul style="list-style-type: none"> - Clinique externe - Pratique dentaire - Pharmacie - Santé publique et programme de contrôle des maladies 4. Employés de soins de santé <ul style="list-style-type: none"> - Planification et prévision des effectifs - Assignation de tâches du personnel 5. Système de planification des soins <ul style="list-style-type: none"> - Au niveau communautaire et régional - Au niveau national - Maintenance et prépaiement 6. Autres modèles de soins de santé <ul style="list-style-type: none"> - Banque de sang, foyers de soins, éducation, divers 	1. Analyse et optimisation du flux de patients <ul style="list-style-type: none"> - Planification ambulatoire - Admission et planification de patients hospitalisés - Modèles de simulation des salles d'urgence - Cliniques spécialisées - Planification des médecins et du personnel de soins 2. Répartition des actifs <ul style="list-style-type: none"> - Planification et dimension des chambres - Planification et dimension des salles - Planification et nombre de personnel 	1. Finances, politiques, gouvernance et contrôle <ul style="list-style-type: none"> 2. Santé publique, planification de services communautaires 3. Caractéristiques et comportement des patients 4. Planification, systèmes/ utilisation de ressources 5. Gestion de la qualité, suivi ou révision de la performance 6. Gestion du risque, prévention 7. Main-d'œuvre/ gestion du personnel 8. Recherche 9. Autres 	1. Flux de patients <ul style="list-style-type: none"> - Cliniques externes - Services d'urgence - Admission et hospitalisation 2. Planification et assignation de tâches du personnel <ul style="list-style-type: none"> 3. Planification des actifs 4. Planification des systèmes de santé (communautaire, régional, national) 5. Conception et planification des hôpitaux 6. Santé publique et contrôle des maladies <ul style="list-style-type: none"> - Prévention des maladies - Planification dans les cas de catastrophes - Risque de transmission des infections 7. Éducation

Dans le tableau 3, l'ensemble des publications présenté par les trois auteurs trace un portrait significatif des différents aspects de la simulation en ce qui a trait au domaine de la santé. À l'avenir, pour éviter toute répétition, nous ne préciserons pas (en ce qui concerne les études

de ces trois auteurs) qu'il s'agit de la simulation rattachée au domaine de la santé. Précisons d'abord que l'étude réalisée par Sally C. Brailsford et al. (Brailsford et al., 2009), qui s'inspire de plusieurs articles, fait état de l'évolution des méthodes et des techniques de la simulation au cours des cinquante dernières années (1952-2007). L'étude de Sheldon H. Jacobson et al. (Jacobson, Hall et Swisher, 2006), qui inventorie aussi plusieurs articles, s'intéresse davantage aux articles qui sont reliés à la technique de la SED. Plus particulièrement, ces auteurs précisent les objectifs et les résultats obtenus par la simulation que révèlent la plupart des articles qu'ils ont recensés. Pour sa part, l'étude de William England et de Stephen D. Roberts (England et Roberts, 1978), qui s'inspire également de nombreux articles qu'ils ont recensés, expose non seulement les buts à atteindre concernant la simulation, mais aussi fait état des processus qui sont réalisés pour la collecte des données et, dans certains cas, leur étude fait mention aussi des techniques ou des modèles appliqués dans la simulation ainsi que le rôle que jouent les outils utilisés au moment de la simulation.

Malgré un grand nombre de publications de recherche en ce qui concerne la simulation dans le domaine des soins de santé, Sheldon H. Jacobson et al. (Jacobson, Hall et Swisher, 2006) qu'un nombre restreint de ces études (articles) ont été implémentées. Selon ces auteurs, seulement seize études (articles) ont été implémentées si l'on tient compte d'un inventaire de deux cents études (articles) (cinq parmi les seize études sont reliées aux soins de santé de la population et les onze autres sont reliées aux établissements de santé). Julie C. Lowery (Lowery, 1998), pour sa part, affirme que la simulation dans le domaine des soins de santé a atteint un niveau de maturité sans pour autant mentionner les raisons pour lesquelles il y a cette faible implémentation. Mais alors comment expliquer cette faible implémentation alors qu'il existe de nombreuses études (articles) reliées à la simulation dans le domaine des soins de santé ? À ce sujet, nous présenterons, à la fin de ce chapitre, selon la littérature consultée, le point de vue de certains auteurs sur cette question.

Nous venons de présenter trois auteurs qui ont fait l'inventaire, au cours des cinquante dernières années, des articles traitant de la simulation dans le domaine des soins de santé. Nous allons approfondir ce sujet d'études en présentant les différentes techniques qui s'y rattachent.

4.2 Application des techniques de simulation rattachées au domaine des soins de santé

Selon la littérature consultée, ce sujet d'études, contrairement à celui du chapitre précédent, utilise l'analyse statistique et la modélisation statistiques beaucoup plus que la simulation en général. C'est probablement cette orientation qui a fait évoluer et progresser davantage la SED. Selon les auteurs, Peer-Olaf Siebers et al. (Siebers et al., 2010), William England et Stephen D. Roberts (England et Roberts, 1978), Sheldon H. Jacobson et al. (Jacobson, Hall et Swisher, 2006), Sally C. Brailsford et al. (Brailsford et al., 2009), la SED est une technique utilisée dans le domaine des soins de santé depuis plus de quarante ans. Dans la publication de Sheldon H. Jacobson et al. (Jacobson, Hall et Swisher, 2006), ces auteurs expriment notamment l'apport de la SED dans le domaine des soins de santé. Ils s'expriment en ces termes :

« La simulation à évènements discrets est particulièrement bien adaptée pour les cliniques de soins de santé en raison de la complexité de ces systèmes, même si de nombreuses techniques d'optimisation, comme la programmation linéaire a une capacité limitée pour caractériser la complexité des systèmes médicaux. » (Jacobson, Hall et Swisher, 2006)

Les auteurs ajoutent que *« la SED a démontré son efficacité pendant plus de trente ans .»* (Jacobson, Hall et Swisher, 2006)

Les auteurs Sally C. Brailsford et al. (Brailsford et al., 2009), qui ont compilé un certain nombre d'articles publiés pendant les cinquante dernières années (1952-2007), ont dressé un tableau (tableau 4) qui démontre clairement que la technique de la SED dans le domaine des

soins de santé est une de plus importantes, après l'analyse statistique, au cours des années mentionnées. Si nous examinons de façon plus approfondie le tableau 4 et si nous regardons uniquement la simulation telle qu'elle est indiquée dans ce tableau, il est clairement démontré que l'utilisation de la SED est plus importante que la SD. C'est la même constatation que nous avons faite dans le chapitre 3. Tout cela démontre l'importance de la technique de la SED, si on considère que les deux champs d'études (CA et santé), que nous abordons dans notre travail, privilégient l'utilisation de cette technique.

Tableau 4. Méthodes de modélisation et de simulation (1952-2007)

Méthodes	Méthode principale	Méthode subsidiaire
Modélisation qualitative		
Modélisation cognitive	3	1
Cartographie des processus	6	14
Analyse statistique		
Analyse de régression	77	24
Modélisation statistique		
Modèle de Markov	19	9
Modélisation par équation structurelle	11	1
Simulation		
Simulation par évènement discret	31	6
Système dynamique	6	0
Simulation Monte-Carlo	4	20
Modélisation spatiale		
Cartographie spatiale	5	2

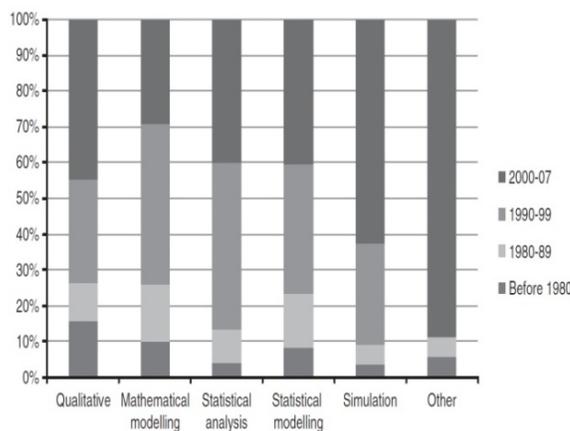
Source : (Brailsford et al., 2009)

Le tableau 4 montre aussi les méthodes dites principales et secondaires de simulation utilisées au cours de cinquante dernières années. Dans ce même tableau, la simulation en général représente environ 17 % des publications. Évidemment, la SED est la plus importante, mais dans le domaine des soins de santé, il arrive qu'on utilise occasionnellement la SD et celle qu'on nomme Monte-Carlo. En ce qui a trait aux méthodes dites secondaires, la

méthode de Monte-Carlo est la plus importante. D'ailleurs, dans l'application de la simulation dans le domaine des soins de santé, qui concerne spécifiquement notre sujet d'études en cours, la méthode de Monte-Carlo et les chaînes de Markov sont souvent utilisées pour la générations aléatoires des données (Brailsford et al., 2009; Jacobson, Hall et Swisher, 2006).

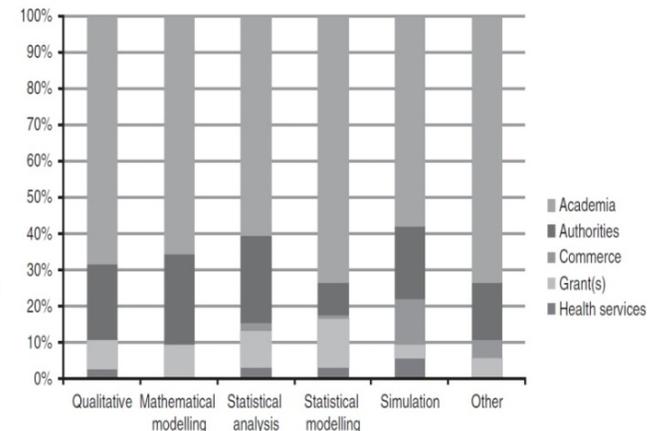
Si nous tenons compte de l'évolution de la simulation dans le domaine des soins de santé. la figure 8 montre clairement l'importance de la progression de la simulation dans la dernière décennie. Cette progression est particulièrement significative si nous examinons les autres procédés méthodologiques ou d'analyse qui ont été utilisés précédemment dans le domaine des soins de santé. Les tendances de diverses analyses, méthodes, simulations, utilisées dans les travaux de recherches en ce qui a trait aux soins de santé, ainsi que les sources de financement qui soutiennent et encouragent ces recherches, sont illustrées aux figures 8 et 9 ci-dessous.

Figure 8. Évolution des méthodes de modélisation et de simulation (1952-2007)



Source : (Brailsford et al., 2009)

Figure 9. Sources de financement selon les méthodes de modélisation et de simulation. (1952-2004)



Source : (Brailsford et al., 2009)

De façon convaincante, la figure 9 représente les diverses organisations (universités et gouvernements) qui accordent plus d'importance à la recherche dans le secteur de la santé que les entreprises. Les entreprises, pour leur part, privilégient le financement de la recherche en simulation dans le domaine de la santé et négligent tous les autres procédés méthodologiques qui pourraient être utilisés dans ce domaine. De toute évidence, les piliers de la recherche dans le domaine de la santé sont les universités et le gouvernement ; en revanche, les entreprises privées impliquées, dans les établissements de santé, manifestent un grand intérêt pour la simulation. Il est évident que cette analyse que nous venons de faire reflète davantage la société américaine, mais il n'en reste pas moins que la simulation devient de plus en plus un outil important en ce qui a trait à la gestion des organisations reliées à la santé. Au Québec et au Canada, la simulation pourrait être aussi un outil de première main dans le secteur de la santé.

Mises à part les techniques de simulation déjà mentionnées (SED et SD) dans ce chapitre, deux autres techniques n'ont pas été signalées. Ces dernières correspondent à la simulation par agents ou multi agents et à la simulation par jeux. Dans les années 1990, la *simulation par agents* est apparue, mais ne semble pas avoir suscité un grand intérêt dans les milieux universitaires et industriels, si nous tenons compte du nombre d'articles qui ont été publiés. Néanmoins Peer-Olaf Siebers et al. (Siebers et al., 2010) affirment que cette technique par agents annonce une nouvelle ère dans l'application de la simulation. La *simulation par jeux* est également une nouvelle technique de la simulation utilisée pour des fins éducatives. Elle apparaît comme une nouvelle approche; mais, selon l'étude réalisée par William England et de Stephen D. Roberts (England et Roberts, 1978), plusieurs modèles de logiciels, avant les années 80, ont été développés pour les étudiants de médecine dans les universités américaines. Quoique cette simulation par jeux ne nous apparaisse pas nécessairement originale, il faut reconnaître qu'il est venu s'ajouter ici une nouvelle façon de concevoir le logiciel qui pourrait être utilisé dans le domaine de la santé.

La deuxième partie de notre chapitre est donc venue préciser quatre techniques de simulation qui sont des outils prometteurs de soutien aux gestionnaires dans le domaine de la santé. À présent, nous sommes à même de présenter les cas d'application de la simulation dans le domaine de la santé ; évidemment, tous ces cas d'application se retrouvent dans la littérature que nous avons répertoriée.

4.3 Revue littéraire des cas d'application de la simulation dans le domaine des soins de santé

Étant donné la diversité des cas d'application que nous avons retracés dans la littérature et qui traitent de la simulation dans le domaine des soins de santé, nous avons cru nécessaire d'établir un classement par catégories ; ce classement, qui est présenté à la dernière colonne du tableau 3, concerne le champ d'études que nous abordons (application de la simulation dans le domaine des soins de santé). Ce classement par catégories s'inspire des auteurs qui ont fait un inventaire des articles concernant la simulation dans le secteur de la santé (tableau 3). En prenant cette initiative, nous avons voulu établir une catégorisation qui permettrait d'appliquer dans tout le domaine de la santé concernée des traitements similaires pour la réalisation de la simulation, facilitant ainsi le travail des analystes des affaires et des informaticiens. Le but final de cette opération vise à obtenir des résultats de la simulation plus performants de manière à ce que les gestionnaires en soient convaincus. Notre démarche se rapproche de celle qui a été proposée par Sheldon H. Jacobson et al. La description des catégories dans ce document se fera en fonction de notre proposition qui figure à la dernière colonne du tableau 3. La première catégorie que nous avons établie met en évidence le flux de patients.

4.3.1 Flux des patients

Dans cette première catégorie, l'objectif de la simulation vise à identifier les obstacles et les difficultés du système étudié ainsi que les alternatives d'amélioration pour rendre plus performantes les structures qui touchent le système étudié (England et Roberts, 1978)

(Jacobson, Hall et Swisher, 2006). Mentionnons à présent les cliniques externes qui font partie du flux de patients.

4.3.1.1 Cliniques externes

Au début des années 1950, les études de simulation concernaient avant tout les files d'attente et la programmation linéaire (Jacobson, Hall et Swisher, 2006). Vingt-huit ans plus tard, si l'on tient compte de l'évolution des modèles informatiques, les patients (virtuels) sont générés en appliquant la méthode de Monte-Carlo ou de Poisson en tenant compte d'une prévalence (England et Roberts, 1978). De même, les horaires de service peuvent être générés par la méthode de Monte-Carlo en appliquant une distribution exponentielle négative ou distribuée en fonction du service médical ou selon les données disponibles. Les patients sont modélisés à la manière d'un flux des entités; ces entités se trouvent dans une file d'attente et « consomment » des ressources (England et Roberts, 1978). Après d'avoir décrit, de façon générale, les diverses techniques utilisées pour le traitement des flux des patients, nous allons présenter les cas qui s'y appliquent. Encore ici, c'est en répertoriant la littérature (Jacobson, Hall et Swisher, 2006) (England et Roberts, 1978) que nous pouvons présenter ces cas d'application. Ces cas visent à optimiser le temps d'attente des patients ainsi que la charge des médecins et du personnel concernés par les soins de santé. Le flux des patients est alors représenté par une liste de patients. Chaque cas que nous allons décrire utilise différentes listes de patients ; les caractéristiques de ces listes de patients seront exposées dans la description qui va suivre.

- Liste de patients qui ont un rendez-vous déjà programmé (Jacobson, Hall et Swisher, 2006). Cette liste représente les patients qui sont rattachés à une clinique de radiologie ou à une clinique de de rhino-laryngologie. À chacune de ces listes de patients est assignée une probabilité uniformément distribuée, c'est-à-dire que chaque patient a la

même possibilité d'avoir un rendez-vous. De toute évidence, les auteurs affirment que les résultats obtenus sont probants ;

- Liste des patients qui se présentent chaque demi-heure (groupe de 8 ou de 16 patients). Dans ce cas, les auteurs cherchent à déterminer la meilleure option pour les rendez-vous. Ils constatent que le temps d'attente diminue pour le groupes de 8 patients, c'est-à-dire qu'il est la meilleure option pour fixer des rendez-vous. (Jacobson, Hall et Swisher, 2006).
- Liste des patients en comparant deux scénarios (Jacobson, Hall et Swisher, 2006) :
 - ❖ À l'arrivée des patients, les auteurs appliquent une distribution uniforme et la comparent à une distribution variable. Ils ont constaté que le temps d'attente diminue en utilisant la distribution uniforme ;
 - ❖ Les rendez-vous uniformes qui se déroulent pendant la journée sont comparés à une liste de rendez-vous plus nombreuse le matin que l'après-midi. Les auteurs ont noté que la dernière option est la plus efficace : elle permet de rattraper les retards qui se sont déroulés dans l'après-midi.

Pour faciliter la gestion des rendez-vous des patients et diminuer leur temps d'attente, Jacobson et al. (Jacobson, Hall et Swisher, 2006) mentionnent deux articles qui ont élaboré deux « framework ». Le premier « framework » correspond à la gestion des rendez-vous; l'autre à l'évaluation des systèmes ambulatoires. En ce qui concerne le « framework » qui traite de la gestion des rendez-vous, les auteurs y accordent une grande importance. Ce « framework » est composé de 4 modules : le rendez-vous du patient, la disponibilité des médecins selon la spécialité, le flux des patients et l'algorithme de la programmation des horaires.

Nous venons donc de décrire la simulation des flux de patients rattachés aux cliniques externes ; cette simulation favorise une gestion plus efficace des rendez-vous en vue

d'optimiser l'utilisation des ressources concernées, de diminuer l'attente des patients et d'éviter la surcharge de travail du personnel impliqué dans diverses tâches. Dans la section suivante de ce chapitre, nous allons présenter les travaux de recherche qui appliquent la simulation dans les services d'urgence reliés à la santé.

4.3.1.2 Services d'urgence reliés à la santé

Selon l'étude de Sheldon H. Jacobson et al. (Jacobson, Hall et Swisher, 2006), l'objectif commun de la simulation, dans les services d'urgence, vise à diminuer le temps d'attente des patients. Selon ces auteurs, ces objectifs doivent atteindre la diminution du temps d'attente dans les cas suivants : des patients qui sont sans rendez-vous ; des patients qui se trouvent dans un état grave ; des patients qui se présentent à l'urgence pour un cas bénin. Pour montrer les bénéfices de la simulation dans ce service, ils citent une étude portant sur la réduction de séjour dans une unité de maternité (service d'urgence). Dans cette étude qu'ils mentionnent, il a été démontré que les résultats de la simulation ont imposé la reconfiguration des salles de maternité pour parvenir à une plus grande efficacité

Parmi les travaux de recherche cités par Sheldon H. Jacobson et al. (Jacobson, Hall et Swisher, 2006) en ce qui concerne la simulation, les auteurs mentionnent deux points importants : le développement des outils de simulation pour la gestion et la configuration de salles d'urgence. Si on considère le cas du Québec, cet outil (logiciel) serait d'une utilité de premier ordre dans le système hospitalier.

Dans la littérature complémentaire que nous avons répertoriée et qui concerne toujours les services d'urgence, nous avons retracé deux études de cas. Le premier cas concerne l'évaluation des ressources critiques (Komashie et Mousavi, 2005); le deuxième cas vise la vérification de la performance d'un centre d'appel d'urgence (Lamine et Fontanili, 2010).

Le premier cas qui touche *l'évaluation des ressources critiques* a été mis en évidence par l'étude de Alexander Komashie et Ali Mousavi (Komashie et Mousavi, 2005). Cette étude est intéressante : elle ajoute un nouvel élément à l'analyse de la simulation, soit la dimension spatiale. Il s'agit d'un plan d'architecture de six surfaces qui a été réalisé en utilisant AUTOCAD; ce plan a été intégré au logiciel Arena pour réaliser la simulation des processus d'affaires. La technique appliquée a été la SED. Par la suite, la simulation tient compte de plusieurs scénarios dans chacune des sections de l'urgence : accidents mineurs et majeurs. Plusieurs variantes ont été simulées en considérant les lits et en ajoutant les principaux intervenants : médecins et infirmières. La recherche d'Alexandre Komashie et d'Ali Mousavi (Komashie et Mousavi, 2005) a démontré que la variabilité de la demande des ressources n'est pas la seule cause qui implique le temps d'attente; ce temps d'attente s'explique avant tout par le nombre insuffisant d'infirmières et de médecins dans la section rattachée aux accidents mineurs. Dans l'unité d'urgence étudiée, l'ajout d'un médecin ou d'une infirmière, dans cette section, permettrait de réduire de 28 % le temps d'attente. Par ailleurs, selon les auteurs, l'ajout des lits aura peu d'effet sur le temps d'attente. Reconnaissons que la publication d'Alexandre Komashie et d'Ali Mousavi (Komashie et Mousavi, 2005) est une des rares études dont la vérification et la validation des données ont été réalisées avec des données réelles provenant du milieu hospitalier avant que les résultats de la simulation aient été acceptés. Cette étude montre hors de tout doute les capacités de la simulation pour trouver des solutions aux véritables problèmes afin d'améliorer la performance des salles d'urgence et d'optimiser l'utilisation des ressources dans le secteur hospitalier.

Le deuxième cas qui concerne la *vérification de la performance d'un centre d'appel* en milieu hospitalier a été réalisé par Elyes Lamine et Franck Fontanili (Lamine et Fontanili, 2010). Ces deux auteurs ont vérifié la performance d'un centre d'appel téléphonique des urgences dans un hôpital ainsi que la description d'activités reliés à ce centre. Il s'agit d'un centre d'appel qui reçoit environ 10 millions d'appels par année et qui augmente de 10 % chaque année. La réponse qui est donnée au téléphone peut aller d'un simple conseil médical à l'intervention d'ambulances privées, de véhicules pour les secours aux asphyxiés et aux

blessés ; de même peuvent intervenir des pompiers, des médecins et des employés de la Croix-Rouge. Pour le choix de la simulation, les auteurs ont opté pour la journée qui s'échelonne durant une période de 24 heures et qui est la plus occupée de la semaine. Les résultats ont permis à ces auteurs de suivre l'évolution du temps d'attente avant le décrochage du combiné, de connaître le temps de communication pour les appels reçus et d'établir les indices de performances pertinentes pour ce service. La simulation appliquée est la technique de la SED et les résultats ont permis à ces auteurs d'obtenir dans un centre hospitalier :

- des données qui sont difficiles à obtenir dans les activités quotidiennes ;
- des indicateurs de performance en termes de pourcentage d'appels décrochés par secondes et acheminés en minutes ;
- une meilleure compréhension de ce processus d'appel qui est fort complexe ;
- une identification des difficultés faisant obstacle au développement et à l'évolution de ce centre d'appel.

Ces mêmes auteurs, affirment que la simulation, dans ce secteur précis d'un hôpital, offre la possibilité d'identifier, d'implanter et d'analyser les indicateurs de performance les mieux adaptés à l'optimisation des règles de pilotage du système étudié.

Un autre aspect qui est relié aux services d'urgence où la simulation est appliquée concerne la logistique du système de transport. Ce service de transport a été l'origine de la création d'une série de modèles de simulation. En général, trois aspects sont mentionnés en ce qui a trait à la plupart de ces modèles : la localisation des ambulances se rapportant à l'hôpital central, le nombre de véhicules qui dessert les patients et le délai de service maximum acceptable (England et Roberts, 1978). À l'intérieur de chacun de ces modèles, tous ces aspects sont soumis par les auteurs à des contraintes de coûts. Les systèmes d'information géographique pour la cartographie de zones impliquées et les algorithmes de routage composent ces modèles. Les études rapportées par ces deux auteurs dans la littérature

décrivent plusieurs modèles pour le service des urgences afin de minimiser les coûts de ces services. William England et de Stephen D. Roberts décrivent alors un modèle SIMSCRIP dont les données obtenues par la simulation ont été validées en les comparant à celles d'autres villes comme New York, Détroit, Hamilton (Canada), Los Angeles, etc. Parmi les méthodes utilisées à l'intérieur de chacun de ces modèles de simulation, les auteurs ont utilisé la méthode de Monte-Carlo et les méthodes stochastiques. Cette étude que nous venons de décrire a donc démontré la capacité de la simulation en ce qui a trait à la gestion des urgences.

Dans cette section du quatrième chapitre, nous avons vu que l'objectif principal, dans un service d'urgence, est la diminution du temps d'attente et l'évaluation de la performance en fonction des ressources critiques. Dans ce secteur d'activité d'un milieu hospitalier, c'est l'efficacité qui demeure capitale comme l'ont montré William England et de Stephen D. Roberts. Les différentes composantes du modèle de simulation qu'ils ont développées ont permis de montrer les possibilités de réussite de ce modèle d'application dans un secteur très difficile et névralgique où la population a besoin d'être servi de manière efficace. Il est intéressant de remarquer les capacités des outils de simulation comme Arena qui est capable d'intégrer la dimension spatiale dans la simulation.

Dans la section suivante, nous allons présenter les travaux de recherche qui appliquent la simulation dans les services d'admission et d'hospitalisation des patients.

4.3.1.3 Admission et hospitalisations des patients

Selon Sheldon H. Jacobson et al. (Jacobson, Hall et Swisher, 2006) qui a recensé certaines études qui appliquent la simulation, la planification de l'admission et de l'hospitalisation des patients vise une optimisation de l'utilisation des médecins du corps médical, du personnel rattaché aux soins de santé, des mesures en ce qui a trait au départ des patients et à la diminution du temps d'attente des patients qui requièrent des soins spécialisés, en raison

d'une maladie, d'une opération, d'une infection, etc. Sheldon H. Jacobson et al. (Jacobson, Hall et Swisher, 2006) s'expriment en ces termes : « *L'optimisation de listes d'attente doit tenir compte des possibilités des centres hospitaliers ou des cliniques concernées. La concurrence peut jouer un rôle important, mais toute simulation doit tenir compte l'environnement sur lequel elle s'applique.* ». En ce qui concerne la concurrence, elle n'est pas applicable dans les hôpitaux et les cliniques du Québec ; en revanche, l'environnement qui concerne l'ensemble des caractéristiques d'une unité de soins de santé sur laquelle s'applique la simulation est un facteur important à considérer dans toute simulation. Les études qu'ont recensées Sheldon H. Jacobson et al. (Jacobson, Hall et Swisher, 2006) qui concernent l'admission et l'hospitalisation des patients utilisent les files d'attente, de séries de temps, des piles utilisant des distributions variables, constantes, exponentielles négatives et la distribution de Poisson.

Dans cette dernière section, nous avons présenté, guidé par la littérature, les études de simulation reliées aux flux des patients dans le cas des cliniques externes, des services d'urgence et d'admission ainsi que dans le cas de l'hospitalisation des patients. Maintenant, nous allons présenter les études de simulation que la littérature nous propose et qui sont reliées à la planification et à la dotation en personnel.

4.3.2 Planification et dotation en personnel

En ce qui a trait à la planification et à la dotation en personnel, Sheldon H. Jacobson et al. (Jacobson, Hall et Swisher, 2006) expriment ainsi leur point de vue : « *Quand les horaires pour les rendez-vous des patients ne donnent plus les alternatives attendues, les modèles de simulation vont vers l'utilisation des ressources en fonction des horaires disponibles du personnel soignant.* » (médecins, infirmières, techniciens).

Dans les études de planification et de dotation en personnel, certaines études provenant de la littérature que nous avons consultée comparent la performance de leurs propres centres avec des scénarios alternatifs que propose la simulation. Toute amélioration dans le centre étudié par les auteurs converge vers la diminution du temps d'attente des patients. Pour y arriver, Sheldon H. Jacobson et al. (Jacobson, Hall et Swisher, 2006) recommandent qu'on impose de nouvelles mesures concernant les horaires et la dotation en personnel sans qu'il y ait des coûts supplémentaires. Plus précisément, certaines études rapportées par la littérature insistent sur la charge de travail du personnel et sur la nécessité de ressources supplémentaires. Ici la simulation a fait toute la différence, mentionnons :

- La charge des infirmières dans l'unité d'urgence et les conséquences qui cela entraîne sur le traitement aux patients (Jacobson, Hall et Swisher, 2006). Divers scénarios produits par la simulation sont examinés en vue de proposer des solutions ;
- L'arrivée d'un médecin supplémentaire semble influencer le flux des patients. Dans l'article de Sheldon H. Jacobson et al. (Jacobson, Hall et Swisher, 2006), les auteurs mentionnent, le cas d'un service de télémédecine pour les patients mexicains qui vivent dans un état d'extrême pauvreté. Dans ce cas particulier, le flux des patients s'est amélioré grâce à la simulation. Alexander Komashie et Ali Mousavi (Komashie et Mousavi, 2005) mentionnent que les résultats sont aussi probants dans un service d'urgence dont nous avons fait mention dans la section 4.3.1.2.

Les modèles de simulation reliés à la planification et à la dotation en personnel dans le milieu hospitalier ont donc permis aux gestionnaires (England et Roberts, 1978) :

- D'évaluer la variabilité des coûts tout au long de l'évolution des mesures appliquées au personnel en utilisant soit une dotation en personnel fixe, soit une dotation en personnel variable ;
- D'optimiser les règles d'embauche, de mise à pied, de temps supplémentaire, de formation et de mutation du personnel fixe ;
- D'assigner le roulement des médecins résidents pour leurs formations médicales dans plusieurs programmes ;

- D'évaluer la capacité d'une équipe de soins (médecins, infirmiers (ères) et aides-infirmiers (ères)) selon sa capacité et son niveau d'études pour la réalisation de tâches médicales ;
- D'utiliser le modèle SIMSCRIPT qui a été construit pour évaluer le besoin des patients et le niveau de compétence du personnel médical, pour réaliser l'optimisation des compétences de l'équipe médicale ;
- D'examiner les résultats de l'attribution des tâches qui sont réparties en six groupes (personnel médical) selon les besoins des soins des patients. Ce modèle MEDSIM a été réalisé par l'Université de Californie et appliqué à l'Hôpital Sainte-Justine de Montréal.

D'autres modèles de simulation tels qu'ils ont été mentionnés par William England et de Stephen D. Roberts (England et Roberts, 1978) sont utilisés pour la formation des médecins et des infirmières. Par exemple, la littérature fait mention d'un modèle de simulation qui aide à un médecin à choisir les tâches qui peuvent être déléguées à un médecin assistant et/ou à une infirmier(ère) de famille; le médecin doit alors répondre préalablement à une série de questions.

Plusieurs autres modèles de simulation sont mentionnés dans l'article de William England et de Stephen D. Roberts (England et Roberts, 1978) concernant les services de radiologie et les laboratoires. Un de ces modèles traite des analyses de laboratoire en ce qui a trait au traitement et au changement du matériel quand il y a un changement technologique. D'autres modèles similaires sont mentionnés par ces auteurs et concernent les services de radiologies.

Dans cette section du chapitre 4, nous avons présenté plusieurs études de simulation reliées à la planification et à la dotation de personnel dans milieu hospitalier. De même, nous avons mis en évidence les bénéfices que la simulation peut apporter aux gestionnaires des hôpitaux en s'inspirant des articles qui traitent de cette question. Cette section a traité du personnel impliqué dans les soins de santé, nous allons maintenant aborder la simulation en ce qui a

trait à la planification des actifs dans les établissements de santé. Ici encore la littérature nous apportera toutes les informations sur cette question.

4.3.3 Planification des actifs

Les études qui seront décrites dans cette section correspondent aux publications de Sheldon H. Jacobson et al.; William England et de Stephen D. Roberts (Jacobson, Hall et Swisher, 2006) et d'(England et Roberts, 1978). La simulation reliée à la planification des actifs, dans le milieu hospitalier, offre la possibilité de déterminer le nombre de lits, la dimension des chambres ainsi que le personnel soignant (nombre). En ce qui concerne les lits proprement dits, les études de simulation évaluent la demande de lits, l'occupation optimale de lits ainsi que les conséquences lors d'un changement. De même, la simulation peut faire une prévision concernant une demande de lits. Quant au personnel soignant, les études répertoriées par Sheldon H. Jacobson et al. (Jacobson, Hall et Swisher, 2006) et de William England et de Stephen D. Roberts (England et Roberts, 1978) visent à déterminer le nombre optimal du personnel relié à certaines unités de soins, à estimer les conséquences lors d'une augmentation ou d'une réduction de lits, à évaluer les coûts et à définir l'équilibre entre la disponibilité du personnel et le temps d'attente des patients. Dans les études mentionnées par ces auteurs, les études qu'ils ont recensées précisent qu'il est nécessaire de tenir compte des changements de mesures : avant les années 1980, le long séjour des patients était considéré comme favorable et payés en fonction du séjour des patients, tandis qu'aujourd'hui, c'est le contraire : les centres hospitaliers sont payés en fonction du nombre de patients. Il semble que cette mesure s'applique à tous les pays du monde occidental, indépendamment du système qu'il soit privé ou public. La simulation peut donc jouer un rôle important dans la planification des actifs. Passons maintenant au système de la planification de santé où la simulation joue aussi un certain rôle.

4.3.4 Planification du système de santé

Dans la planification du système de santé, William England et de Stephen D. Roberts (England et Roberts, 1978), dans leur étude, mentionnent l'importance de grands projets qui ont exercé une influence au niveau national, régional ou local. Un des grands projets importants a été entrepris par le Geomet's Neighborhood Health Center (NHC). Le projet a débuté en 1969 et a été terminé en 1974. Le modèle de planification est composé de trois sous-modèles : la population, le système de distribution et le coût des sous-modèles. Chaque sous-modèle peut fonctionner de façon indépendante ou conjointement avec les autres sous-modèles. Le modèle de planification garde toutes les informations lorsque les patients se déplacent d'un service à l'autre ou d'un hôpital à un autre. Ces informations ont permis d'élaborer soixante-quatorze catégories de diagnostic. Grâce à l'application de la simulation, ces diagnostics permettent de déterminer le type de soins nécessaires, le temps d'attente et les éléments requis pour soigner les patients. Dans l'article de William England et de Stephen D. Roberts (England et Roberts, 1978), ces derniers mentionnent que la simulation a été utilisée pour ce modèle de planification. Ce modèle a été construit sur la base de données de Mile Carré NHC de Chicago. Les données de NHC de Salt Lake City, de Utha, de Norwich, de New York et de Los Angeles en Californie ont été utilisées pour la vérification du modèle.

D'autres modèles de simulation pour la planification du systèmes de santé sont mentionnés dans l'article de William England et de Stephen D. Roberts (England et Roberts, 1978). Il faut mentionner entre autres le modèle DYNAMO qui sert à la planification globale des systèmes de soins ainsi qu'à l'apprentissage des étudiants en médecine qui doivent connaître la gestion d'un hôpital ou d'une clinique.

Nous avons signalé le rôle de la simulation dans la planification d'un système de santé. Une autre démarche est nécessaire pour montrer l'envergure de l'application de la simulation : cela implique la conception et la planification de nouveaux hôpitaux.

4.3.5 Conception et planification des hôpitaux

Dans un article, Ian W. Gibson (Gibson, 2007) a réalisé la conception et la planification d'un nouvel hôpital . Tout d'abord, elle insiste pour que l'on tienne compte des besoins du personnel soignant (médecins, infirmières) ainsi que du personnel qualifié rattaché à une fonction précise. Elle insiste aussi pour que l'on accorde de l'importance aux instruments médicaux, aux laboratoires, aux dimensions appropriées des salles et à la proximité des lieux. Mentionnons que cette étude utilise en plus la notion spatiale pour la planification et la conception des espaces d'un nouveau centre hospitalier. Tout cela vise à favoriser une meilleure qualité de soins pour les patients en vue d'obtenir de meilleurs résultats lors de la simulation. Pour réaliser la simulation, l' étude de Ian W. Gibson (Gibson, 2007), réalisée dans un nouvel hôpital, entreprend une démarche qui se fait en trois étapes :

- La première étape comprend la planification des processus, c'est-à-dire la cartographie des processus par cas cliniques, les exigences en termes d'espace, les équipements, les exigences opérationnelles, les mesure de la dotation en personnel, le temps pour chacune des activités, les fournitures reliées à l'hôpital et les coûts ;
- La deuxième étape comporte la réalisation du plan directeur, c'est-à-dire l'évaluation des espaces nécessaires selon les syndromes des patients ainsi que les espaces préférés par le personnel rattachés à un département concerné ;
- La troisième étape concerne la conception schématique, c'est-à-dire la configuration des échanges, des espaces et des besoins en équipements. Elle tient compte aussi des besoins selon les syndromes (*i.e.* coronarien) des patients à traiter.

Les étapes que nous venons de mentionner, qui sont toutes rattachées aux différentes étapes pour la réalisation de la simulation, peuvent être utilisées par les praticiens (analystes et modélisateurs). Selon cette auteure « *la simulation permet d'analyser le système hospitalier en entier.*» (Gibson, 2007). Elle affirme aussi que la *modélisation* offre la possibilité d'analyser les modèles de soins, d'évaluer le personnel et de trouver les différents moyens

pour obtenir un service de santé optimal. La *simulation* telle que l'auteure la conçoit permet aussi l'analyse des options des services de santé pour les médecins généralistes, les services communautaires, les soins ambulatoires et les services pour les patients hospitalisés. Dans cette même étude, les résultats obtenus par la simulation ont été révisés selon les pratiques courantes. L'auteure précise également que tout changement indiqué dans la simulation doit être vérifié avant de l'intégrer au projet.

Nous venons de présenter une nouvelle orientation de la simulation appliquée à un nouvel établissement hospitalier qui n'est pas encore construit mais qui permet d'établir les règles de base avant sa mise en opération. L'application de la simulation dans le domaine de la santé n'implique pas que la gestion et la planification des hôpitaux. Elle implique aussi d'une manière plus générale la santé publique, le contrôle des maladies ainsi que l'éducation du personnel impliqué dans le domaine de la santé.

4.3.6 Santé publique et contrôle des maladies

La santé publique et l'organisation des systèmes de santé au Québec et au Canada diffèrent du système de santé américain. En vue de démontrer les avantages qui peut offrir la simulation, nous présentons trois axes de recherche qui appliquent la simulation et qui concernent la santé publique et le contrôle de maladies : la prévention des maladies, la planification en cas de catastrophes et le risque de transmission des infections. Toutes ces études de cas où la simulation est appliquée sont des études réalisées aux États-Unis, mais nous les mentionnons parce qu'elles peuvent être appliquées au Québec et au Canada Ici, nous allons mentionner certaines études répertoriées par William England et Stephen D. Robert (England et Roberts, 1978), qui concernent plus particulièrement la section de prévention des maladies et la planification des catastrophes

4.3.6.1 Prévention des maladies

Les modèles qui appliquent la simulation dans ce domaine ont été concluants et ont apporté une grande contribution à certains programmes reliés à la santé. Les études inventoriées par William England et Stephen D. Robert (England et Roberts, 1978) font mention de cette contribution. Cette dernière concerne :

- Les bénéfices économiques et sociaux d'un programme de prévention de maladies reliées à l'hypertension ainsi qu'au traitement terminal de la dialyse ;
- Les coûts et l'efficacité des stratégies d'un programme de traitement pour les personnes alcooliques ainsi que pour la prévention de la tuberculose.

Au Québec, comme au Canada, il serait intéressant de faire des études de simulation similaires ; ces études seraient d'une grande aide à notre système de santé et à la population. Une autre application de la simulation qui pourrait être d'une grande importance pour des pays susceptibles d'être atteints par une catastrophe naturelle concerne l'évaluation des effectifs médicaux. Cette simulation concerne plus particulièrement les effectifs médicaux qui seraient nécessaires toutes les fois qu'il y aurait une catastrophe naturelle.

4.3.6.2 Planification en cas de catastrophes

À ce sujet, la littérature inventoriée par William England et Stephen D. Robert (England et Roberts, 1978) mentionne l'élaboration de modèles de simulation relatifs à l'efficacité du système et impliquant des ressources médicales : en cas d'une attaque nucléaire pendant un an et en cas d'une catastrophe naturelle ou d'un désastre qui pourrait provoquer des pertes de vie massives. Ces études mentionnées par William England et Stephen D. Robert concernent la planification en cas de catastrophes. Dans ce cas, il est possible d'appliquer la simulation pour avoir le personnel approprié et éventuellement sauver des vies. Les maladies infectieuses concernent aussi la santé publique.

4.3.6.3 Risque de transmission des infections

L'étude que nous allons présenter met en évidence la transmission des infections dans le cas d'une bactériémie. Cette étude, qui a été réalisée par Yang Meng et al. (Yang Meng et al., 2010), utilise la nouvelle technique de simulation par multi-agents. Elle semble être une de premières recherches pour déterminer le risque de transmission des infections de *Staphylococcus aureus* (SA) résistant à la méthicilline (SARM) dans un centre hospitalier. Ici, nous faisons une description plus détaillée de ce modèle de simulation afin de cerner les nombreuses composantes qui l'intègrent.

Pour la transmission de pathogènes, cette même technique considère que chaque patient est un agent qui interagit avec les agents d'autres patients (Yang Meng et al., 2010). La nocivité et la susceptibilité de l'infection ont été intégrées au patient dans le modèle de simulation, offrant ainsi la possibilité de tracer un portrait qui présente plusieurs avenues concernant sa condition de santé. Les auteurs ont intégré les éléments suivants : les caractéristiques de l'unité de soins où se trouve le patient, les caractéristiques diverses du patient, les mécanismes de la transmission de l'infection en fonction du temps, les règles de comportement de l'infection, les règles d'affaires de la colonisation selon la nocivité du pathogène et de la sensibilité du patient. Les auteurs ont utilisé plusieurs modèles mathématiques pour simuler le comportement de chacun des agents (i.e. transmission, colonisation) ainsi que la technique de la SED. Les auteurs présentent aussi un graphique qui montre le nombre de patients admis et le nombre de patients infectés pendant un an, exprimé en nombre de jours. Cette étude montre les multiples éléments considérés dans la simulation et la pertinence de l'application de la technique de simulation par agents.

La simulation dans le domaine de soins de santé ne se rattache pas uniquement à un centre hospitalier et n'implique pas que la santé publique. D'après la littérature consultée, la

simulation joue aussi un rôle important en ce qui a trait à la formation des futurs professionnels (elles) et des professionnels (elles) impliqués dans le domaine de la santé.

4.3.7 Éducation

Selon la littérature répertoriée par William England et de Stephen D. Roberts (England et Roberts, 1978), plusieurs études ont proposé des modèles interactifs de simulation. Ces modèles ont été élaborés pour les étudiants en soins de santé afin qu'ils aient une expérience virtuelle produite par la simulation. Ainsi, plusieurs modèles de simulation sont proposés pour les étudiants en médecine en ce qui a trait à l'apprentissage des diagnostics et à la gestion des maladies dans les cliniques ou les hôpitaux. De même, certaines modèles concernent la gestion de maladies cardiaques, la simulation de la douleur abdominale, la gestion d'un cabinet privé. Pour déterminer les heures de travail et la délégation des tâches aux assistants en médecine, d'autres modèles de simulation ont été mise en place en vue de fonder des organisations qui apportent leur aide à la santé, de regrouper le corps médical, d'évaluer certaines mesures relatives au temps d'attente, à la surcharge des patients et à d'autres mesures de performance.

Mentionnons aussi qu'il existe une étude de simulation qui traite spécifiquement du cas des infirmiers (ères) en ce qui a trait à leur formation. L'étude de Sabri Hogan et Kapralos (Hogan, Sabri et Kapralos, 2007) présente une simulation par jeu. L'objectif du jeu est de montrer à une infirmière la façon d'agir dans une communauté villageoise où les problèmes de santé et les comportements des gens sont difficiles à gérer. Les participants (personnages du modèle) peuvent être configurés selon certaines règles données par le modèle ainsi que les caractéristiques du village où habitent les participants. Ce modèle est un jeu informatique qui permet aux nouvelles infirmières de mieux connaître et d'apprendre la façon dont elles doivent agir pour gérer les habitudes et les comportements d'une communauté villageoise. Cette étude montre l'avancement réalisé dans la simulation par jeux. Les possibilités de cette approche sont énormes pour des fins éducatives. Elle facilite l'essai erreur sans aucune

conséquence physique. Elle offre la possibilité de visualiser les conséquences de certains actes en permettant l'apprentissage. La simulation par jeu telle que le montre cette étude annonce des nouvelles avenues pour le personnel de la santé qui veut apprendre à mieux gérer le comportement difficile de certains patients.

Il nous reste une question à aborder : elle concerne la faible implémentation des projets dans le secteur de la santé. Cette question a été soulevée dans l'article de Sheldon H. Jacobson et al. (Jacobson, Hall et Swisher, 2006), mais les auteurs n'y ont apporté aucune réponse. Selon William England et Stephen Roberts (England et Roberts, 1978), la faible implémentation des projets de simulation dans le domaine de la santé s'explique par :

« L'absence d'incitation économique ; à la faible motivation pour faire les changements ; à l'absence d'engagement de la part des auteurs pour le suivi de leur modèle et la démonstration de la validité de leur modèle ; à la complexité du comportement humain et à la difficulté pour le quantifier, ainsi qu'aux concepts non humains utilisés dans la modélisation. » (Jacobson, Hall et Swisher, 2006)

Bien que toutes ces raisons aient un lien avec la réalité américaine et que les aspects économiques et les motivations soient différents au Québec et au Canada, il n'en reste pas moins, que l'absence de validité des modèles de simulation dans un secteur comme celui de la santé, aurait rendu moins crédible l'application de la simulation. Il est donc nécessaire de démontrer l'importance de la validité des modèles de simulation auprès des organisations de santé, c'est-à-dire que les auteurs de ces modèles ou les universitaires devraient les rendre disponibles afin que les étudiants des universités ou les praticiens puissent les utiliser et les valider. Dans les établissements de santé, les gestionnaires décideurs seraient ainsi rassurés et verraient toute l'importance de l'application des modèles de simulation dans un milieu comme celui de la santé.

Malgré tous les avantages que nous avons démontrés, tout au long de ce chapitre, de la simulation, il faut reconnaître que la simulation présente encore de limites sur le plan technique. Présentées dans la littérature, certaines de ces limites concernent particulièrement la technique de la SD, la notation BPMN et l'absence de relations entre les différentes composantes dans un milieu comme celui de la santé, étant donné que les modèles de simulation ne sont souvent appliqués que pour une seule unité (Jacobson, Hall et Swisher, 2006). En ce qui a trait à la technique de la SD, Yang Meng et al. (Yang Meng et al., 2010) précisent que cette dernière fait usage d'une évaluation déterministe qui n'est pas appropriée au domaine de la santé. Pour ce qui est de la notation BPMN, Elyes Lamine et Franck Fontanili (Lamine et Fontanili, 2010) notent maints défauts et faiblesses concernant cette notation. Par exemple, elle ne possède aucun symbole qui permet d'identifier une file d'attente des appels téléphoniques ainsi que le cheminement qui doit être fait. De même, bien que cette notation favorise la communication et la compréhension des processus, elle est difficilement utilisable pour les processus complexes. Ainsi, cette notation n'est pas valable en ce qui a trait aux files d'attente des appels téléphoniques : une ressource humaine qui reçoit un appel peut être sollicitée à faire plusieurs activités : chaque activité a des priorités et des péremptions mobilisant de la sorte la ressource. En outre, la ressource peut être mobilisée lorsqu'elle doit réaliser plusieurs activités jusqu'à ce qu'une autre ressource prenne le relève. On constate ici jusqu'à quel point la notation BPMN ne parvient pas à accomplir les besoins de la modélisation pour réaliser la simulation dans les cas complexes. Dans certaines applications, reconnaissons donc que la simulation présente certaines limites. Dans l'avenir, les modèles de simulation vont devenir de plus en plus complexes. Afin de faciliter le travail des divers utilisateurs, il sera nécessaire de développer de nouveaux outils (logiciels) qui pourront faciliter le travail des modélisateurs et des simulateurs. De la même manière, la formation des ressources humaines sera nécessaire pour que ces dernières soient aptes à mettre en application les nouveaux modèles conduisant à la réussite de la simulation.

4.4 Conclusions

Au cours de ce chapitre, inspiré par la littérature, nous avons mis en évidence les multiples cas d'application de la simulation dans le domaine de la santé. Les recherches dans ce domaine ont démontré hors de tout doute l'importance de l'utilisation de cet outil pour en arriver à un système de santé plus efficace et plus prévoyant. De même, cet outil pourrait être un apport important en ce qui a trait la formation de professionnels impliqués dans le domaine de la santé. Dans plusieurs sociétés où la population est vieillissante, il manque encore une volonté politique pour que ces recherches s'appliquent dans un milieu aussi important que la santé. Il faudrait aussi que les modèles de simulation que nous avons décrits, grâce à la littérature, soient validés dans le milieu hospitalier afin qu'on reconnaisse leur efficacité.

CHAPITRE 5

Outils généraux de simulation (logiciels)

Au cours de deux derniers chapitres, nous avons fait état des études qui appliquent la simulation dans le domaine des CA et des soins de santé. Maintenant nous allons nous tourner de façon plus générale vers les outils qui sont en fait des logiciels et dont le rôle est de soutenir la simulation comme nous l'avons démontré dans les deux chapitres précédents. Retenons que les outils (logiciels) que l'on considère comme de outils pour la simulation seront étudiés d'une manière plus globale sans que nous traitions dans ce chapitre d'un cas spécifique comme celui de la santé ou des CA. Mentionnons aussi que dans ce chapitre nous n'aborderons pas comme dans les chapitres précédents la littérature reliée à la simulation. Cette fois-ci, nous décrivons uniquement les outils (logiciel pour la simulation) et nous ferons deux évaluations de trois logiciels de simulation pour démontrer les capacités de chacun d'eux. Ces outils (logiciels) sont disponibles sur le marché. Ils sont multiples et chacun a des capacités différentes. Il revient à l'entreprise, qui veut appliquer la simulation, de choisir l'outil (logiciel) qui convient le mieux aux besoins de l'établissement.

5.1 Outils disponibles sur le marché (logiciels)

Nous avons repéré un certain nombre d'outils (logiciels) qui se trouvent sur le marché. Ce n'est pas une liste exhaustive : il y en a plusieurs qui ne se trouvent pas sur cette liste.

Dans le tableau 5, nous présentons une liste d'outils (logiciels), accompagnée de leur URL (adresse internet) (recherche oct.-nov. 2011).

Tableau 5. Adresses Internet de sites spécialisés en ce qui a trait à la modélisation des processus d'affaire et à la simulation

Nom	URL
AccuProcess	http://www.accuprocess.com/about-us/introduction.html
Adeptia	http://www.adeptiabpm.com/
Adonis	http://www.boc-group.com/fr/
Anylogic	http://www.xjtek.com/
Axxion	http://www.axxerion.com/
BizFlow	http://www.redmansolutions.com.au/solutions/bizflow.php
BonitaSoft	http://www.bonitasoft.com/
BusinessGenetic	http://www.businessgenetics.net/
Casewise	http://www.casewise.com/
Commerce Quest Taxion	http://www.workflowpatterns.com/vendors/traxion.php
Cormas	http://cormas.cirad.fr/
Eclarus	http://www.eclarus.com/
Groiss Informatics GmbH @entreprise	http://www.groiss.com/
IBM FileNet BPM	http://www.redbooks.ibm.com/abstracts/sg247509.html
IDS Scheer (ARIS)	http://www.softwareag.com/fr/products/aris_platform/default.asp
IGrafx	http://www.igrafx.com/solutions/
Intalio	http://www.intalio.com/bpms
Interfacing FirstStep	http://www.interfacing.com/
Lanner	http://www.lanner.com/
Lombardi	http://www-01.ibm.com/software/integration/lombardi-edition/#
Madkit	http://www.madkit.net/index.php?
Mason	http://cs.gmu.edu/~eclab/projects/mason/
Mega	http://www.mega.com/fr/c/solution
Métastorm	http://www.metastorm.com/products/business_process_analysis.asp
Microsoft BizTalk	http://www.microsoft.com/biztalk/en/us/bpm.aspx
NetLogo	http://ccl.northwestern.edu/netlogo/
Nimbus	http://www.nimbuspartners.com/solutions
Oracle BPM Suite	http://www.oracle.com/us/technologies/bpm/bpm-suite-078529.html
Process Maker	http://www.processmaker.com/
Q-Link BPM	http://bpm.knowledgehills.com/showprod.aspx?n=Q-Link-by-Adobe&pid=32
QPR	http://www.qpr.com/solutions/balanced-scorecard-solution.htm
Repast	http://repast.sourceforge.net/
Salamander Technology	http://www.tsorg.com/software.htm

Nom	URL
Savvion	http://web.progress.com/en/savvion/savvion-solutions.html
SIMSCRIPT	http://www.simscript.com/
SoftwareAg	http://www.softwareag.com/Corporate/products/wm/bpm/default.asp
SoftwareAg	http://www.pallas-athena.com/business-process-management-software-products/process-mining.html
Tibco	http://www.tibco.com/products/bpm/default.jsp
WorkFlowGen	http://www.workflowgen.fr/

En bleu, ces outils utilisent la technique de multiagents.

Dans ce tableau, environ une trentaine d'outils (logiciel) sont utilisés pour la modélisation des processus d'affaires. On les retrouve tous sur le marché. Même si cette liste n'est pas complète, les outils (logiciels) le plus importants dans le domaine de la simulation de processus d'affaires se trouvent sur cette liste. Les logiciels indiqués en bleu sont ceux qui appliquent la technique par multiagents dans la modélisation et dans la simulation.

Une des plus anciennes firmes de logiciel est probablement SIMSCRIPT. Depuis 1962, cette firme s'intéresse à la modélisation et à la simulation. Plusieurs publications en simulation ont été réalisées avec cet outil (logiciel). Il faut noter que ce ne sont pas tous les sites de logiciels qui sont identifiés au tableau 5 et qui mentionnent le début de leurs opérations.

Le tableau 6 présente les informations concernant la notation graphique que chaque outil (logiciel) utilise ainsi que la présence du module de simulation. Une information additionnelle est ajoutée qui met en évidence la disponibilité de l'outil (logiciel) pour le public en général.

Tableau 6. Caractéristiques générales des outils de modélisation et de simulation en BPM

Nom de l'outil	Modélisation « WorkFlows »	Modélisation BPMN	Module simulation	Version communautaire	Version entreprise	« Open source »
AccuProcess		✓	✓		✓	
Adeptia			✓		✓	
Adonis	✓	✓	✓		✓	
Anylogic (OptQuest)	✓		✓		✓	

Nom de l'outil	Modélisation « WorkFlows »	Modélisation BPMN	Module simulation	Version communautaire	Version entreprise	« Open source »
Axserion	✓				✓	
BizFlow			✓			✓
BonitaSoft			✓	✓	✓	✓
BusinessGenetic	✓				✓	
Casewise	✓		✓		✓	
Commerce Quest Taxion	✓		✓		✓	
Cormas	✓			✓		✓
Eclarus		✓	✓		✓	
Groiss	✓	✓			✓	
IBM FileNet BPM	✓	✓	✓		✓	
IDS Scheer (ARIS)	✓	✓	✓	✓	✓	
IGrapx	✓	✓	✓		✓	
Intalio	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Interfacing FirstStep	✓	✓	✓		✓	
Lanner		✓	✓		✓	
Lombardi *						
Madkit	✓		✓	✓		✓
Mason	✓		✓	✓		✓
Mega	✓	✓	✓		✓	
Métastorm	✓	✓	✓		✓	
Microsoft BizTalk**						
NetLogo	✓		✓	✓		
Nimbus	✓	✓			✓	
Oracle BPM Suite			✓			
Process Maker	✓	✓			✓	✓
Repast	✓		✓	✓		✓
Q-Link BPM						
QPR		✓	✓		✓	
Salamander Technology	✓	✓	✓		✓	
Savvion			✓			
SoftwareAg			✓			
Tibco		✓	✓	✓	✓	
WorkflowGen	✓	✓			✓	

En bleu, ces outils utilisent la méthode Multi-agents.

De façon très générale, le tableau 6 montre les outils qui utilisent le diagramme de flux et/ou le BPMN pour la modélisation ainsi que ceux qui possèdent le module de simulation et ceux qui possèdent une version entreprise et/ou communautaire et/ou « open source ».

5.2 Évaluation des outils (logiciels)

Nous sommes rendus à l'étape de l'évaluation de trois outils (logiciels). Précisons d'abord qu'il y aura deux types d'évaluation pour ces trois outils (logiciels): le premier type d'évaluation suit le guide proposé par Vesna Bosilj-Vuksic et al. (Bosilj-Vuksic, Ceric et Hlupic, 2007), qui analyse les capacités des outils ; le deuxième type d'évaluation est proposé par la rédactrice de ce document qui analyse les fonctionnalités. Il faut alors se poser les questions suivantes qui sont très pertinentes pour réaliser l'évaluation des trois outils (logiciels) en ce qui concerne leurs capacités et leurs fonctionnalités. Que faut-il évaluer dans un logiciel qui réalise la simulation ? Quels sont les critères que les entreprises et les utilisateurs utilisent pour faire le choix de ces outils (logiciels) de modélisation et de simulation ? Nous faisons ci-dessous la description de la méthodologie appliquée pour la première évaluation et la deuxième évaluation. Nous allons d'abord expliquer le plan méthodologique proposé par Vesna Bosilj-Vuksic et al. (Bosilj-Vuksic, Ceric et Hlupic, 2007), puis nous l'appliquerons en vue de faire l'évaluation de la capacité des trois outils de simulation ; ensuite, nous présenterons les outils (logiciels) sélectionnés qui seront évalués ; finalement, nous ferons état des résultats de l'évaluation de la capacité de ces trois outils (logiciels). Passons maintenant à la méthodologie proposée par Vesna Bosilj-Vuksic et al.

5.2.1 Évaluation des capacités des trois outils

Mentionnons que la méthodologie proposée par Vesna Bosilj-Vuksic et al. (Bosilj-Vuksic, Ceric et Hlupic, 2007) peut s'appliquer à tous les outils (logiciels) qui font de la simulation des processus. Mais, dans notre cas, nous l'appliquerons à trois outils (iGrafx, BonitaSoft, Tibco). Maintenant, nous allons expliquer le plan méthodologique proposé par cet auteur.

Dans son guide méthodologique, certaines des caractéristiques des outils (logiciels) que nous avons sélectionnés ont été modifiées, soit en ajoutant certaines d'entre elles, soit en écartant certaines d'entre elles. Dans le cas des caractéristiques qui ont été écartées, il aurait fallu un utilisateur plus expérimenté ; dans d'autres qui ont été écartées, il faut reconnaître qu'elles n'ont pas été suffisamment explicitées dans le guide (*i.e.* représentativité du modèle dans la capacité de modéliser).

Au moment de l'évaluation des outils (logiciels) de simulation, trois critères ont été considérés dans l'évaluation de ces trois outils : la capacité de modélisation, la capacité de simulation et les entrées/sorties.

La *capacité de modélisation* comprend l'évaluation de deux éléments : (1) le niveau d'expérience et d'éducation requis pour utiliser l'outil ainsi que la facilité d'apprentissage de l'outil (logiciel) et (2) le niveau d'assistance offerte à l'utilisateur au moment où la modélisation est réalisée.

Sur le plan méthodologique, la *capacité de simulation* de l'outil (logiciels) est évalué selon cinq caractéristiques : (1) les aspects visuels (2) l'efficacité (3) la testabilité (4) les facilités dans l'expérimentation et (5) les facilités des résultats statistiques. Chacune de ces caractéristiques contient une série d'attributs qui seront détaillés dans les tableaux d'évaluation respectifs (section 5.2.1.3) Les attributs ajoutés seront indiqués par une légende spécifique qui sera affichée en dessous du tableau d'évaluation correspondant.

Au point de vue méthodologique, les *entrées/sorties* évaluent deux caractéristiques : (1) la capacité des entrées/sorties qui s'exprime par la capacité de lire des fichiers, la compréhension des rapports, la personnalisation des sorties et (2) les capacités d'analyse qui s'expriment par la définition des scénarios, le support pour l'analyse et l'interprétation des résultats de la simulation.

Notre plan méthodologique ayant été expliquée, nous allons indiquer les caractéristiques de trois outils (logiciels) sélectionnés pour lesquels nous allons appliquer la méthodologie qui a été précisée ci-dessus.

Les trois outils choisis ont les caractéristiques suivantes : tous les trois ont une version entreprise, deux ont une version communautaire (BonitaSoft, TIBCO), un de ces outils est un « open source » (BonitaSoft). Le tableau 7 montre les versions de chacun des outils évalués

Tableau 7. Version des outils évalués.

Caractéristiques des outils	iGrafx	TIBCO	Bonita Soft
Numéro de version	Process for SixSigma 14.0.3.1260 2011	Business Studio - Community Edition 3.4.2.008 Built on Eclipse Platform 2004-2010	Bonita Studio 5_5_2. 2009-2011
Version entreprise	x		
Version communautaire		x	x

Ce tableau met en évidence les trois outils ; ces derniers sont accompagnés de leur numéro qui représente leur version respective. Nous évaluerons d’abord, le logiciel iGrafx, la version entreprise ; nous évaluerons ensuite TIBCO et BonitaSoft, les versions communautaires. Nous allons ensuite procéder à l’analyse des résultats de la première évaluation qui concerne la capacité de simulation de trois outils analysés. Cette évaluation impose trois démarches : la capacité de modélisation, la capacité de simulation et la capacité d’entrée/sortie des données.

Évaluons d’abord, la capacité de la modélisation qu’illustre bien la capacité de modélisation de chacun des trois logiciels évalués (tableau 8)

Tableau 8. Évaluation de la capacité de modélisation des outils de simulation

Critères		iGrafx	TIBCO	BonitaSoft
Caractéristiques générales	Niveau d'expérience et d'éducation <u>1/</u>	3	3	3
	Facilité d'apprentissage <u>1/</u>	2	2	2
	Facile à utiliser <u>1/</u>	2	2	2
	Logique formelle <u>1/</u>	1	1	1
	Approche de modélisation (<u>3/</u>)	3	2	2
	Modélisation hiérarchique de l'organisation <u>*2/</u>	1	0	1
Assistance à la modélisation	Documentation <u>4/</u>	3	2	1
	Aide en ligne <u>2/</u>	1	1	0
	Modularité <u>2/</u>	1	1	0
	Modèle et séparation de données <u>2/</u>	1	1	1
	Exemples <u>1/</u> *	3	2	1
		21	17	14

1/ : Niveau : Haut =3, Moyen = 2, Faible = 1, Aucune =0

2/ : Disponible = 1, Non disponible = 0

3/ : Diagramme de flux =1, BPMN =2, les deux=3

4/ : Niveau de disponibilité : Beaucoup=3, Moyen=2, Peu=1, Aucun =0

* / : Éléments d'évaluation ajoutée par l'auteur de ce document.

Chaque variable est évaluée selon divers critères. Chaque variable présente aussi un numéro qui indique le critère utilisé dans l'évaluation. La valeur donnée est en fonction de son importance, c'est-à-dire lorsqu'elle est plus haute, elle est plus importante. La légende qui se trouve au-dessous du tableau 8 montre le pointage qui est assigné à chaque critère d'évaluation. Pour réaliser la modélisation et la simulation, le niveau d'expérience et d'éducation est élevé pour les trois outils (voir tableau 8). Les trois outils présentent une certaine facilité (moyenne) en ce qui a trait à l'apprentissage. De même, ils sont relativement faciles à utiliser à condition que les personnes connaissent l'usage de la modélisation et de la simulation. La représentation de l'organigramme de l'entreprise est impossible à réaliser si on utilise TIBCO. Dans la version communautaire, il n'existe pas de représentation de l'organigramme ; par contre, dans la version entreprise, il pourrait y avoir une représentation de l'organigramme sans que nous puissions l'affirmer catégoriquement.

En ce qui a trait à l'assistance à la modélisation (documentation, aide en ligne, modularité, exemples, etc.), iGrafx et TIBCO sont ceux qui facilitent la tâche de l'utilisateur, tandis que

dans le cas de BonitaSoft l'assistance est faible, surtout en ce qui concerne l'aide en ligne qui n'est pas fonctionnelle. Les exemples d'utilisation (modèles de conception) d'iGrafx sont intéressants, multiples et de différents niveaux de complexité. En revanche, TIBCO et BonitaSoft fournissent des exemples simples de fonctionnement, surtout dans le cas de BonitaSoft. La capacité de modéliser est plus flexible lorsqu'on utilise iGrafx. Il présente une diversité de représentations graphiques pour les diagrammes de flux qui aident à la conception du modèle pour en arriver à la simulation. Deux de ces outils (iGrafx, TIBCO), que nous avons décrits, présente les possibilités de modéliser en appliquant la technique de la SED ou la SD; en revanche, BonitaSoft a la possibilité de modéliser en utilisant uniquement la notation BPMN et, dans ce cas, la technique de simulation applicable sera uniquement la SED. Il faut tenir compte que la modélisation est la première étape pour réaliser une simulation de première importance : il n'y a pas de simulation sans modélisation. Maintenant, nous allons analyser la capacité de simulation de ces trois outils (logiciels). Le tableau 9 présente les résultats de cette évaluation.

Tableau 9. Évaluation de la capacité de simulation des outils

	Critères	iGrafx	TIBCO	BonitaSoft
Aspect visuel	Animation <u>2/</u>	0	1	0
	Librairie de graphiques <u>1/</u>	3	2	2
	Expressivité et qualité des graphiques <u>1/</u>	3	2	1
Efficacité	Robustesse <u>1/</u>	1	1	-
	Réutilisabilité <u>3/</u>	1	1	1
	Échelle du temps pour la construction du modèle <u>2/</u>	2	1	1
	Chaînage du modèle : liaison de sortie à partir de différents modèles <u>2/</u>	-	-	-
	Politiques de files d'attente <u>2/</u>	1	-	-
Testabilité	Messages d'erreur <u>2/</u>	1	1	0
	Vérification de la logique <u>2/</u>	1	1	0
	Suivi trace d'évènements <u>2/</u>	1	0	0
	Vérification et suivi d'une tâche spécifique <u>2/</u>	1	0	0
Facilités d'expérimentation	Ajustement de la vitesse de la simulation <u>2/</u>	1	0	0
	Période de réchauffement <u>2/</u>	1	0	0
	Points d'arrêt <u>2/</u>	1	0	0
	Détermination du nbre de simulations	1	1	1

	Critères	iGrafx	TIBCO	BonitaSoft
Facilités statistiques	Distribution théorique des statistiques <u>2/</u>	1	1	1
	Choix de distribution définie par l'utilisateur <u>2/</u>	1	0	0
	Génération du nombre aléatoire <u>2/</u>	1	0	0
	Analyse des données résultantes <u>2/</u>	1	0	0
	Fournir la qualité des données statistiques <u>2/</u>	0	0	0
	Record des fréquences <u>2/</u>	1	1	1
	Intervalles de confiance <u>2/</u>	0	0	0
	Total	24	13	8

1/ : Évaluation : Haute =3 Moyenne = 2 Faible = 1 Aucune =0 2/ : Disponible = 1 Non disponible = 0

3/ : Possible =1 Impossible = 0 4/ : Année, mois, semaine, jours, heure, minute, seconde =2 ; Année, mois, jours, heure, minute=1

Le tableau 9 montre les caractéristiques de ces trois outils qui sont mises en évidence pour évaluer leurs capacités de simulation. Selon ce tableau, les caractéristiques qui n'ont aucune valeur numérique n'ont pu être évaluées à partir des exemples fournis, étant donné que l'outil ne présente pas cette fonctionnalité de façon explicite. Parmi les trois outils, l'aspect visuel et l'animation (il permet de voir le déroulement de la simulation) sont remarquables dans le cas de TIBCO ; cette caractéristique dans le cas des autres deux outils n'existe pas. Pour la testabilité et les facilités d'expérimentation, iGrafx a bien intégré différentes particularités : ajustement de la période de réchauffement, points d'arrêt, vérification et suivi d'une tâche ou d'un évènement. Tous ces points que nous venons de soulever sont extrêmement utiles pour le suivi de la simulation.

Dans le tableau 9, une autre caractéristique que nous allons analyser pour les trois outils concerne les statistiques. Dans le cas d'iGrafx, les rapports des statistiques et la possibilité de produire un rapport personnalisé (résultat de la simulation) rendent les résultats plus faciles à lire et à les interpréter. Par contre, TIBCO utilise le « framework » BIRT qui permet de produire un rapport personnalisé (résultat de la simulation) en utilisant ses propres requêtes, ce qui inclut les graphiques selon le besoin de l'utilisateur. Mais pour réaliser ce rapport, il est nécessaire que l'utilisateur possède les connaissances techniques de BIRT et qu'il sache bien utiliser ce « framework ». BonitaSoft, quant à lui, présente un rapport de base qui

résulte de la simulation, mais ce rapport n'en demeure pas moins difficile à interpréter. TIBCO et BonitaSoft ont la capacité d'utiliser la modélisation objet. Mais leur degré de puissance n'est pas tellement visible lorsque les fonctionnalités sont implémentées. Leur degré de puissance a l'avantage de faciliter la programmation. Surtout, BonitaSoft semble être un outil plus utile pour un utilisateur qui se sert des procédés plus techniques, tandis qu'un utilisateur qui se trouve dans le milieu des affaires ne l'utilisera probablement pas.

TIBCO est le seul qui fournit les outils de modélisation en UML. Par contre, iGrafx offre des outils qui sont rapidement configurables par l'utilisateur.

BonitaSoft est probablement l'outil qui est le plus pertinent pour un usager qui utilise des procédés techniques et qui connaît la programmation. Les trois outils permettent de créer des interfaces pour la saisie des données. BonitaSoft, pour sa part, fournit un environnement qui permet la programmation en java, xml, Web et Groovy. De surcroît, il offre la possibilité de créer de comptes utilisateurs ainsi que des interfaces pour faciliter la saisie des données. La version testée de TIBCO est plus restrictive, elle offre aussi la possibilité de créer des interfaces pour faciliter la saisie des données, mais elle ne permet pas de créer de comptes utilisateurs. Dans le cas d'iGrafx, il ne rend pas possible la création des interfaces rapidement, mais l'utilisateur peut les programmer en Visual Basic. Les fichiers en format Excel aussi bien en entrée comme en sortie font partie des facilités qui sont offertes par iGrafx. Les autres deux outils n'offrent pas cette facilité. Si on examine les trois outils, ils offrent tous à leurs manières certaines facilités pour assurer concrètement le suivi de la simulation, Passons maintenant à la dernière étape qui concerne les entrées et les sorties pour évaluer les capacités des trois outils.

Tableau 10. Évaluation de la capacité des entrées/sorties (résultats)

Critères		iGrafx	Tibco	BonitaSoft
Capacité Entrée/Sortie	Lecture des fichiers comme entrée 2/	1	0	0
	Qualité de compréhension des rapports 1/	3	2	1
	Sortie définie par l'utilisateur 2/	1	0	0
Capacité d'analyse	« What if » Comparaison des scénarios 2/	1	1	1
	Conclusions 2/	0	0	0
	Optimisation 2/	0	0	0
Total		6	3	2

1/ : Évaluation : Haute =3 Moyen = 2 Faible = 1 Aucune =0 2/ : Disponible = 1 Non disponible = 0

Le tableau 10 présente les résultats de l'évaluation de la capacité d'entrée/sortie des données, de la capacité des analyses des trois outils (en ce qui concerne les entrées et les sorties) et finalement la qualité des rapports (résultats de la simulation). En ce qui concerne iGrafx, il permet l'entrée et la sortie des fichiers compatibles avec Microsoft (Excel, Ms Accès et Visio) et l'utilisation de la base de données DBase. Quant aux deux autres outils, leur potentiel réside dans la capacité de programmer en utilisant le langage Java et les API d'Apache. iGrafx, pour sa part, possède des fonctionnalités explicites et rapidement utilisables pour l'entrée et la sortie de données. Dans ce cas, la seule base de données explicite est DBase pour iGrafx. Évidemment, il est possible d'utiliser Visual Basic dans le cas d' iGrafx ou Java pour les deux autres outils dans le but de « se connecter » à n'importe quelle base de données ou pour réaliser la programmation qui permettra de lire et d'écrire des fichiers en formats divers. Dans la démarche finale des entrées et de sorties, la création de scénarios sont possibles pour les trois outils analysés. En revanche, ils n'offrent aucune information concernant le bilan des résultats de l'ensemble des scénarios ou des scénarios sélectionnés, de même ils n'offrent aucune possibilité pour réaliser l'optimisation de la simulation.

5.2.2 Évaluation des fonctionnalités des trois outils

Dans la réalisation de la simulation, les fonctionnalités occupent aussi une grande importance. Dans cette section, il y aura, comme dans la partie de l'évaluation des capacités des trois outils, une démarche méthodologique. Pour ce faire, nous proposons une évaluation des fonctionnalités des trois outils, inspirées du modèle Business Process Model and Notation (BPMN) et de l'outil iGrafx. À notre avis, cette évaluation est plus spécifique quant aux capacités de simulation de ces trois outils. Nous sommes d'accord avec (Bosilj-Vuksic, Ceric et Hlupic, 2007) en ce qui concerne la difficulté de les évaluer. Chaque outil possède sa propre logique d'affaire, ses propres interfaces et même si les noms des fonctionnalités semblent similaires les possibilités offertes ne sont pas les mêmes pour chacun des outils. Dans notre démarche méthodologique, nous avons rencontré une grande difficulté dans l'évaluation lorsqu'il a fallu trouver deux fonctionnalités équivalentes dans deux outils dont l'une ne s'applique pas au même moment ; de plus cette dernière n'est pas configurée au même moment. Il a donc fallu lire les manuels et suivre les instructions en utilisant les exemples fournis pour bien comprendre la fonctionnalité respective pour les trois outils que nous analysons. Dans ce rapport de recherche, nous évaluons uniquement l'existence de chacune des fonctionnalités selon les interfaces disponibles de chacun de ces trois outils. Il faut tenir compte que les outils évalués fonctionnent comme des boîtes noires, donc les règles d'affaires qui sont associées à chacune des fonctionnalités ne sont pas disponibles.

Nous avons choisi l'outil iGrafx pour mettre en place les fonctionnalités. Nous l'avons choisi non seulement parce qu'il possède une excellente structure, mais aussi parce que plusieurs de ses fonctionnalités sont mentionnées dans les publications qui font partie de la configuration des modèles étudiés. Il faut aussi ajouter que leurs fonctionnalités sont plus explicites.

Dans notre démarche méthodologique, afin de bien cibler notre objectif, les fonctionnalités ont été divisées en trois groupes pour déterminer le rôle que chaque élément joue dans une

fonctionnalité : (1) les fonctionnalités reliées à la modélisation (2) les fonctionnalités reliées à la configuration et (3) les fonctionnalités reliées aux résultats de la simulation.

Les éléments *reliés à fonctionnalité de la modélisation*. Ils sont composés de onze éléments. Voici la liste de ces éléments :

- *Les activités* : elles font partie d'un type d'objets (activité, passerelle, évènement). Une activité peut être une tâche, un sous-processus ou un évènement. S'il s'agit d'une tâche, il est possible d'indiquer le type de boucle et l'exception qui pourrait se produire (en minutes). S'il s'agit d'une passerelle, deux attributs peuvent se configurer : le type et la jonction. Dans le cas d'un évènement, le type d'évènement est peut être spécifié.
- *Les tâches* : elles possèdent les attributs suivants : la déclaration, le type de distribution (choix de plusieurs types), le temps supplémentaire de la tâche, le coût, la valeur ajoutée. Si cette tâche est retenue, il est possible d'indiquer la limite maximale et le nombre de fois que la tâche peut se répéter.
- *Les entrées* : il est nécessaire de spécifier si elles constituent le point de départ. Elles peuvent préciser le type de transactions (groupe, « batch », lot, convergence, famille), le temps d'attente maximal et minimal, le type de file d'attente (FIFO, LIFO). Le temps et les transactions qui peuvent s'exprimer en utilisant des expressions (mathématiques ou statistiques ou logiques) avec ou sans les fonctions offertes par l'outil.
- *Les ressources* : elles présentent les caractéristiques suivantes : le type (main-d'œuvre, équipement, etc.), le nombre, le coût, l'horaire, la disponibilité, les actions à réaliser (utiliser ou libérer les ressources), utilisation des ressources et leur appartenance dans l'organisation. Dans les règles d'affaires qui sont dictées aux ressources, il est possible d'ajouter des expressions qui peuvent indiquer le niveau de maîtrise de cette ressource. Finalement, il est possible d'établir la valeur ajoutée de la ressource (en termes d'expertise).

- Les *sorties* : les conditions de sortie peuvent s'exprimer par des règles d'affaires concernant les décisions à prendre pour mettre en marche le moment approprié de la sortie d'une activité. Il est possible de laisser la sortie par défaut, c'est-à-dire qu'on assume la sortie préprogrammée par l'outil.
- Les *attributs* : ils sont utilisés pour faire le suivi de la simulation à certains moments précis de la simulation. Il est alors possible de décider le moment où on peut appliquer les attributs. Il faut tenir compte de certaines contraintes imposées par des variables statistiques ou des valeurs spécifiques qui vont permettre de prendre une décision éclairés en ce qui concerne l'application de ces attributs.
- Le *lien avec d'autres processus* : il permet de faire le lien avec d'autres processus ou d'autres activités spécifiques ou avec une URL.
- *Données personnalisées* : il est possible de créer des types de données personnalisées.
- Les *risques* : ils permettent d'exprimer la probabilité minimale et maximale pour accomplir une tâche spécifique.
- Les *mesures* : il est possible d'exprimer les métriques de performance en assignant à l'activité désignée une probabilité minimale et maximale, en indiquant la valeur supérieure ou la valeur inférieure de la valeur cible et en signalant une unité de mesure.
- *Le responsable de la tâche* : elle permet d'indiquer les noms des personnes responsables de la tâche.

Les éléments reliés à la *fonctionnalité de la configuration de la simulation*. Ils sont composés de trois éléments. Ces éléments se présentent ainsi :

- Le temps de la simulation ;
- L' « initialisation » des rapports ;
- La configuration de points de repérage spécifique à la simulation. Cette configuration permet de spécifier clairement certains repères pour faire le suivi ou l'évaluation de la simulation à certains moments donnés en tenant en compte des caractéristiques ou des valeurs désirées.

Les éléments reliés à la *fonctionnalité de résultats de la simulation*. Les résultats peuvent être fournis en termes de *transactions*, d'activités et de ressources.

Sur le plan méthodologique, l'évaluation de chacun des trois outils que nous devons analyser sera réalisé en fonction des fonctionnalités que nous venons de décrire et qui vont permettre de comprendre les possibilités qu'offre chacun des outils. Les détails des fonctionnalités évalués pour chacun des outils peuvent être consultés à l'annexe III. Il nous reste à présenter les résultats de l'évaluation des fonctionnalités en ce qui concerne les trois outils analysés. Le tableau 11 présente les résultats de l'évaluation des fonctionnalités reliées à la modélisation.

Tableau 11. Évaluation de fonctionnalités reliées à la modélisation

	IGraphx	Tibco	BonitaSoft
Activités	++	++	+
Tâches	++	++	+
Entrées	++	+	-
Ressources	++	++	+
Sorties	++	+	-
Attributs	++	+	-
Liens vers d'autres processus	++	++	+
Données personnalisées	++	++	++
Risques	++	-	-
Mesures	++	-	-
Informations des responsables	++	-	-

Légende : Tout ++ Partiel + Non offert - Partiel dans la fonctionnalité évaluée et complétée par une autre fonctionnalité *

Le tableau 11 présente les détails de l'évaluation reliée à la fonctionnalité de modélisation. L'outil iGrafx est celui qui présente le plus de possibilités et de facilités pour la modélisation des processus, suivi par TIBCO et BonitaSoft.

Le tableau 12 montre les résultats de la fonctionnalité reliés à la configuration.

Tableau 12. Évaluation des éléments reliés à la configuration de la simulation

	IGraphx	Tibco	BonitaSoft
Temps de simulation	++	+	+
Initialisation des rapports	++	-	-
Configurer les points des suivis spécifiques	++	-	-

Légende : Complet ++ Partial+ Non offert -

Le tableau 12 présente les résultats de la fonctionnalité reliée à l'évaluation de la configuration pour les trois outils étudiés. Le temps de simulation n'est pas géré de la même façon pour chacun de ces outils. En ce qui concerne BonitaSoft et Tibco, ils sont exprimés en nombre de jours et d'heures ; quant à iGrafx, il est nécessaire d'indiquer la période de simulation (le début et la fin) ainsi que l'indicateur de performance à la sortie. Pour les trois outils, l'initialisation des rapports (résultats de la simulation) permet d'indiquer le moment à partir duquel sera pris en compte les données de la simulation. La possibilité d'identifier le cheminement (points suivis à chaque étape) de la simulation et l'initialisation des rapports, est uniquement du ressort d'iGrafx. Pour ce dernier, les règles d'affaires sont gérées par la fonctionnalité appelée « générateur ». Finalement, nous allons présenter les résultats de l'évaluation de la fonctionnalité reliée aux résultats. Cette évaluation n'aurait pas été possible sans faire le regroupement que nous allons présenter. Ce regroupement est le jumelage des rapports des trois outils (logiciels), mais leurs caractéristiques ne sont pas communes. Pour pouvoir comparer les trois outils (logiciels) évalués, les résultats de la simulation produite sous forme de rapport ont été catégorisés en trois parties : les transactions, les activités et les ressources. Les *transactions* concernent les informations générales de la simulation, les activités concernent les tâches réalisées au cours de la simulation des processus et les ressources, comme le nom l'indique, correspondent aux ressources utilisées au moment de la simulation. Dans la partie inférieure des tableaux 13,14 et 15, une légende explique les statistiques utilisées dans les rapports de trois outils.

Le tableau 13 présente les résultats statistiques reliés aux transactions (opération d'échange de données).

Tableau 13. Évaluation des résultats statistiques reliés aux transactions

Variables	iGrafx	TIBCO	BonitaS oft
Transaction complétée (temps)	✓	✓	✓
Cycle du temps	*	***	***
Temps du travail	*	*	***
Temps d'attente	*	***	***
Temps d'attente des ressources	*	*	*
Temps bloqué (temps d'attente et retard)	*		
Temps d'inactivité (inactif ou hors service)	*	*	
Temps de service (temps de travail, temps bloqué et temps d'attente)	*		
Coût (valeur ajoutée et sans valeur ajoutée)	*		
Coût de la main-d'œuvre		***, cumulatif	

(* Moyenne, total. (**) Min, max. (***) Moyenne, total, min, max.

Le tableau 13 montre l'évaluation des résultats statistiques reliés aux transactions. L'outil iGrafx fournit le plus grand nombre d'informations concernant les informations générales de la simulation. Plusieurs des indices de performance ne sont pas considérés par les autres outils.

Le tableau 14 présente les résultats de l'évaluation en ce qui concerne les activités.

Tableau 14. Évaluation des résultats reliés aux activités

	iGrafx	TIBCO	BONITASOFT
Cycle du temps	*	*	**
Temps du travail	*		**
Temps d'attente	*		**

	iGrafx	TIBCO	BONITASOFT
Cycle du temps	*	*	**
Temps du travail	*		**
Temps d'attente	*		**
Temps d'attente des ressources	*	*	
Coût		*	**
Coût (valeur ajoutée, sans valeur ajoutée, main-d'œuvre, équipement)	*		
Nbre de transactions en attente	**		
Nbre de transactions par activité	***		
Nbre de transactions	✓		

(*) Moyenne, total. (**) Moyenne, total, max, min (***) Moyenne, max

Le nombre de métriques qui apparaissent dans le rapport relatif aux activités réalisées au moment de la simulation est plus nombreux lorsqu'on utilise l'outil iGrafx. Dans les deux autres outils, les métriques fournis correspondent aux métriques de base.

Le tableau 15 montre l'évaluation des résultats en ce qui a trait aux ressources de la simulation.

Tableau 15. Évaluation des résultats reliés aux ressources

	iGrafx	TIBCO	BONITASOFT
Nbre de travailleurs	✓	✓	✓
Utilisation (%)	✓	✓	✓
Temps d'occupation	*	*	*
Temps de désoccupation	*	*	
Temps hors service (dîner et hors de l'horaire du travail)	*		
Temps d'inactivité	*		
Temps supplémentaire	*		
Coût (total)	*	*	*
Coût du temps supplémentaire	*		
Coût du temps d'occupation	*		

(*) Moyenne, total

Comme dans les cas de l'évaluation des transactions et des activités, le rapport (résultats de la simulation) relatif aux indicateurs d'utilisation des ressources sont plus nombreux dans l'outil iGrafx que dans les autres deux outils.

Le tableau 16 montre l'évaluation d'autres fonctionnalités. Il concerne l'évaluation d'autres éléments complémentaires qui peuvent être utiles pour les utilisateurs.

Tableau 16. Évaluation des résultats d'autres fonctionnalités

	IGraphx	Tibco	BonitaSoft
Logiciels, langage supporté, cadriciel	Visual Basic	ARIS BIRT	Java
Création des couloirs et sous-couloirs dans le même processus	Un couloir et plusieurs sous-couloirs par processus. Il ne supporte pas plusieurs couloirs.	Plusieurs couloirs et sous-couloirs par processus	Création de couloirs et sous-couloirs, mais sans communication. Le symbole du flux de communication de messages (lignes intermittentes) n'existe pas.
Vérification modèle	✓	✓	
Analyse	✓		
Importation/exportation du projet			XML format source de processus format BPM du projet et format compatible avec l'application
Importation/exportation	Divers compatibles avec Microsoft	Divers à travers la programmation ou BIRT (WEB, xml, pdf)	Divers avec la programmation.

Le tableau 18 montre un certain nombre des qualités pour chacun des outils évalués. Néanmoins, ils ne comprennent pas la totalité des avantages qui présente chacun de ces outils.

5.3 Conclusions

Notre chapitre a présenté les outils utiles à la simulation. Nous les avons ensuite évalués. De même, nous avons pris l'initiative d'en évaluer trois en montrant leurs capacités et leurs fonctionnalités. Parmi les trois outils que nous avons testés pour réaliser la simulation, il nous est apparu que l'outil iGrafx est le plus performant. Ce dernier pourrait être utile pour un utilisateur qui veut réaliser des simulations complexes ; TIBCO, pour sa part, pourrait servir à un utilisateur qui est dans le domaine des affaires ; BonitaSoft, quant à lui, pourrait être employé par un utilisateur qui a des connaissances plus techniques.

CONCLUSION

En général, les multiples démarches pour en arriver à la simulation sont vastes et complexes. Les articles et travaux de recherche, que nous avons recensés dans la littérature, nous l'ont démontré.

Notre projet de recherche a d'abord présenté la simulation dans la littérature, puis a tracé un portrait de la simulation en général. Ce projet s'est intéressé de façon particulière à deux champs d'application de la simulation. Finalement, certains outils (logiciels) ont été évalués pour connaître leurs capacités et leurs fonctionnalités de manière à ce que ces dernières puissent offrir la possibilité de réaliser la simulation.

Notre travail s'est inspiré en grande partie de la littérature en vue de mieux connaître les travaux traitant de la simulation, mais aussi nous avons entrepris une analyse plus concrète lorsqu'il a fallu vérifier jusqu'à quel point la simulation est une démarche de première importance qui peut offrir des solutions à certains problèmes que traverse les sociétés actuelles.

La recherche que nous avons entreprise nous a montré que le procédé de la simulation semble se situer encore au niveau de la recherche théorique. Pour que l'on puisse voir l'importance de ce procédé, il faudrait envisager et orienter, dans l'avenir, des travaux, dans ce domaine, beaucoup plus pratiques. Même si notre rapport de recherche n'est pas exhaustif, ce dernier annonce tout de même des avenues encourageantes en ce qui a trait à la simulation.

ANNEXE I

Inventaire de la littérature révisée

Tableau 17. Références dans le domaine des CA

Chaînes d'approvisionnement				
Auteur	Buts	Techniques	Outil	Centre de recherche
(Ren et al., 2008)	Capter, simuler, analyser et optimiser les processus d'affaires afin de diminuer les risques et d'augmenter la flexibilité du logiciel (Métallurgie)	SED	Websphere Business Modeler Supply chain process modeler (SCPM)	IBM Chine Research Laboratory (WBM).
(Manataki, Chen-Burger et Rovatsos, 2010)	Améliorer la performance et la coordination dans les opérations et la configuration	Multi-agents	Modèle théorique	School of Informatics, The University of Edinburgh, Edinburgh, UK
(Wagner, Nicolae et Werner, 2009)	Définir un modèle conceptuel des activités de la SED et mettre en œuvre en utilisant un langage de simulation ER/AOR2. Montrer comment il faut utiliser BPMN dans le but de modéliser la simulation	Agent, SED	ER/AOR	Department of Informatics Brandenburg University of Technology. Cottbus, Germany.
(Rabe, Jaekel et Weinaug, 2006)	Proposer un référentiel pour la modélisation et la simulation des CA. Intégrer les différentes fonctionnalités de différents niveaux. Permettre la configuration, le contrôle et la surveillance des CA.		SPIDER-WIN FLUIDE-WIN	Corporate Management Division Fraunhofer Institute for Production Systems and Design Technology, Berlin, Germany.
(Han et Kang, 2007b)	Démontrer que le modèle de conception est basé sur le rendement au niveau global et la simulation à un niveau plus restreint. Ce modèle permet d'identifier le processus le plus important qui doit être amélioré dans l'entreprise (fabrication des bateaux)	SED avec une distribution normale	EXTEND et Excel	Department of Industrial and System Engineering, Gyeongsang National University. South Korea.

Chaînes d'approvisionnement				
Auteur	Buts	Techniques	Outil	Centre de recherche
(Ding et al., 2006)	Contrôle et configuration des stocks. Évaluer la faisabilité et le risque d'une centralisation pour l'achat de matières premières.	Dynamique	IBM tool	IBM China Research Lab
(Terzia et Cavalieri, 2004)	Savoir comment la simulation technique (surtout la simulation discrète) a permis de mettre en œuvre un environnement « collaboratif » sur le plan de la logistique dans les chaînes d'approvisionnement.	SED	Revue de 80 articles	Department of Industrial Engineering, Università di Bergamo, Italy
(Tako et Robinson, 2012)	Identifier la fréquence d'utilisation de deux méthodes de simulation en ce qui a trait au support et aux décisions dans le cas de la gestion de la logistique des chaînes d'approvisionnement pour réaliser la simulation par évènement discret (SED) et la simulation dynamique (SD).	SED et SD	Revue de 170 articles	School of Business and Economics, Loughborough University, Loughborough, UK
(Carvalho et al., 2011)	Améliorer la résistance d'une perturbation et comprendre le comportement des stratégies d'atténuation en ce qui a trait à la performance de la chaîne logistique. Utiliser la simulation comme un outil de décision afin de mettre en place une CA plus résiliente.	SED	Arena version 9.0, Excel 2003, Visual Basic.	Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Portuga.

Chaînes d'approvisionnement				
Auteur	Buts	Techniques	Outil	Centre de recherche
(Persson et Olhager, 2002)	Évaluer les modèles de la CA au point de vue qualité, des délais, des coûts comme paramètres clés de la performance. Comprendre les interrelations entre les différents paramètres pertinents pour la conception et les opérations de la structure de la CA. Établir la structure de la chaîne et mesurer le rendement.	SED	Logiciel de simulation Taylor II	Department of Production Economics, IMIE, Linköping Institute of Technology, S-581 83 Linköping, Sweden
(Ren et al., 2009)	Valider les capacités du logiciel SCPM dans le cas d'une CA pharmaceutique.		IBM tool – Supply Chain Process Modeler (SCPM)	IBM China Research Laboratory

Tableau 18. Références dans le domaine de la santé

Santé				
Auteur	Buts	Techniques	Outil/ Revue	Centre de recherche
(Gibson, 2007)	Rendre les espaces de travail des centres hospitaliers plus efficaces et sécuritaires (contrôle des infections, faible bruit, diminution des distances) aussi bien pour le patient que pour le personnel soignant.	SED	Non mentionné	Conseil Bovis Lend Lease in Melbourne, Australia
(Komashie et Mousavi, 2005)	Incorporer les opérations et déterminer l'influence des ressources critiques en ce qui a trait à la performance. Déterminer le coût de plusieurs scénarios d'amélioration qui permettraient d'améliorer les services	SED	Arena Simulation (Rockwell Automation) Autocad 2004	School of Design and Engineering, Systems Engineering Research Group (SERG) Brunel University, London
(Lamine et Fontanili, 2010)	Déterminer le niveau de performance d'un centre d'appel d'un service d'aide médical.	SED	Witness 2008 (Lanner 2008)	Centre de recherche en génie industriel Université de Toulouse – Mines d'Albi-Carmaux. France
(England et Roberts, 1978)	Réviser la littérature traitant de la simulation dans le domaine de la santé (1963-1978)			Indiana University School of Medicine and in the Purdue University School of Industrial Engineering.
(Jacobson, Hall et Swisher, 2006)	Réviser la littérature de la SED dans le domaine de la santé.	SED		<i>Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana</i>

Santé				
Auteur	Buts	Techniques	Outil/ Revue	Centre de recherche
(Brailsford et al., 2009)	Réviser la littérature qui traite de la simulation dans le domaine de la santé.			University of Southampton, Cardiff University, Peninsula Medical School, Exeter UK
(Hogan, Sabri et Kapralos, 2007)	Fournir un outil qui faciliterait la tâche des infirmières dans un milieu communautaire	Jeux 3D		Faculty of Health Sciences. University of Ontario. Institute of Technology. Oshawa, Ontario. Canada
(Yang Meng et al., 2010)	Chercher le moyen de diminuer le risque de transmission des infections nosocomiales	Multi-agents, SED, Pascal, Delphi	POST	Warwick Business School, University of Warwick, Coventry, UK;

Tableau 19. Références relié à la simulation générale.

Auteur	Buts	Simulation générale		Centre de recherche
		Techniques	Outil/Revue/Guide	
(Ryan et Heavey, 2006)	Réviser différents aspects de la simulation.		Revue	School of Hospitality Management and Tourism, Faculty of Tourism and Food, Dublin Institute of Technology, Cathal Brugha Street, Dublin 1, Ireland
(Kellner, 1991)	Montrer les avantages de deux approches de modélisation déterministe et stochastique et les comparer aux approches traditionnelles de gestion de projets (chemin critique et PERT).			Software Engineering Institute Carnegie Mellon University Pittsburgh, USA
(Bosilj-Vuksic, Ceric et Hlupic, 2007)	Présenter un guide pour l'évaluation des logiciels de simulation.			University of Zagreb, Faculty of Economics and Business, Zagreb, Croatia
(Kellner, Madachy et Raffo, 1999)	Identifier les questions et les problèmes que la simulation peut traiter (pourquoi) ; les variables qui peuvent être simulées (quoi) ; les approches qui peuvent être plus performantes que d'autres (comment). Recommander le choix des approches de modélisation dans la pratique.		Revue	Software Engineering Institute Carnegie Mellon University Pittsburgh
(Solomon et al., 2010)	Montrer un modèle de prédiction dynamique des processus d'affaires qui réalisent l'optimisation des processus. Un système de filtre est appliqué pour le réglage automatique des paramètres et la minimisation des erreurs.	SD	- IBM WebSphere Business Modeler Advanced - WebSphere Business Monitor dans WebSphere Process Server	York University York University IBM Toronto, Canada

Auteur	Buts	Simulation générale		
		Techniques	Outil/Revue/Guide	Centre de recherche
(Curtis, Kellner et Over, 1992)	État de la modélisation et de la simulation.		Description des outils des années 90. Statemate entre autres.	Software Engineering Institute at Carnegie Mellon University Software Engineering Institute
(Melao et Pidd, 2003)	Connaître les procédés d'utilisation de la simulation dans l'industrie du Royaume-Uni de la Grande-Bretagne.			
(Raychaudhuri, 2008)	Présenter la méthode de Monte-Carlo.			Oracle Crystal Ball Global Business Unit. USA
(Peterson, 1977)	Présenter les concepts de base de Petri Nets.			Department of Computer Sciences, The University of Texas, Austin, Texas
(Murata, 1989)	Présenter les domaines d'application, exemples de modélisation et des méthodes d'analyses des réseaux Petri.		Revue	Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of Illinois, Chicago
(Wang et al., 2008)	Montrer l'utilisation de Petri Net dans la simulation des processus d'affaires.	SD	WebShpere Integration Developer (WID) and WebShpere Process Server (WPS) developed by IBM Action Workflow from Action Technologies Inc OSWorkflow and JBPM developed by JBoss	College of Computer Science, Zhejiang University, Hangzhou, P.R. China

Auteur	Buts	Simulation générale		Centre de recherche
		Techniques	Outil/Revue/Guide	
(Aalst, 1999)	Montrer l'importance de la vérification et du potentiel de Petri Nets en ce qui a trait aux activités (en général).		Woflan (WOrkFLow Analyzer)	Department of Mathematics and Computing Science, Eindhoven University of Technology, Netherlands
(David M. Raffo, 1999)	Démontrer la validité des outils pour la certification CMM.			Portland State University, Portland, OR
(Lianjun et Jeng, 2005)	Fournir un guide pour le développement de modèles de systèmes dynamiques à partir de la base de BPM.	SD	IBM's Websphere Business Integration (WBI) Modeler	IBM T.J. Watson Research Center
(Solomon et Litoiu, 2011)	Présenter la construction d'un modèle dynamique de prédiction d'un processus d'affaires.	SD	WebSphere Integration Develope. JMulti package for (univariate) ARIMA model	York University Toronto, Canada

Tableau 20. Références relié à la simulation et l'optimisation.

Simulation et optimisation				
Auteur	Buts	Méthodes	Outil	Centre de recherche
(April et al., 2006)	Améliorer la gestion des processus d'affaires grâce à la simulation.	Revue		OptTek Systems, Inc.
(April et al., 2003)	État de la simulation. Faire un résumé des approches développées en ce qui a trait à l'optimisation de la simulation. Utilisation de la métaheuristique dans les logiciels (outils) commerciaux.	Monte-Carlo Scatter Search	Crystal Ball OptQuest	OptTek Systems
(Fu, 2002)	Mettre en évidence entre le décalage entre la recherche et l'optimisation de la simulation. Résumer les approches de la littérature en ce qui concerne l'optimisation. Mentionner les domaines de recherche intéressants et les orientation possible dans la pratique.			University of Maryland, College Park, Maryland
(Marco Better, 2008)	Démontrer les avantages de l'utilisation d'une approche d'optimisation de la simulation (application en finances et conception des processus). Discuter des techniques afin de pouvoir réduire les risques.	Tabu search Scatter search Moyenne de la variante		OptTek Systems, Inc., University of Colorado Denver Texas A&M International University

ANNEXE II

Catégories des études en ce qui a trait à la simulation des soins de santé

Hôpitaux – Modèles de systèmes

1. Contrôle d'admission
2. Lits
3. Systèmes généraux

Hôpitaux : Modèle départemental

4. Ambulance et services d'urgence
5. Laboratoires
6. Radiologie
7. Chirurgie et salle de réveil
8. Service d'approvisionnement et de soutien

Soins ambulatoires

9. Cliniques externes
10. Pratique dentaire
11. Pharmacie
12. La santé publique et le programme de contrôle des infections

Soins d'employés

13. Planification et prévision des effectifs
14. Main-d'œuvre et dotation du personnel de substitution

Système de planification de soins

15. Communautaire et régional
16. National
17. Organismes de maintenance de la santé et plan de prépaiement

Autres modèles de soins de santé

18. Les banques de sang
 19. Les foyers de soins
 20. L'éducation
 21. Divers
-

Source : (England et Roberts, 1978)

Approches de simulation par catégories dans les soins de santé

Hôpitaux – Modèles de systèmes	Approches	Année
1. Contrôle d'admission	-Distribution de Poisson et distribution exponentielle	1954
	-Modèle de simulation discrète SIMSCRIPT	
	-Algorithmes pour optimiser les opérations + chaîne de Markov et distribution de Poisson	1964
	- ASCS et Fortran - théorie de files d'attente, distributions mathématiques, antithèse de nombre aléatoires	1975
2. Lits	Modèle de Poisson (non adéquat)	1960
	Autres modèles. Approches non spécifiées	1969
3. Systèmes générales de l'hôpital et divers	- Modèles de systèmes dynamiques (DYNAMO)	1967
	- Langage Conversational Modeling Language (CML) (HOSPIN)	
Hôpitaux : Modèles départementale	Approches	Année
4. Ambulance et services d'urgence	Analyse coût-efficacité de systèmes alternatifs de la ville de New York.	1969
	Modèle GASP	
	Modèle simulation EMMSIM	
	SIMSCRIPT	
	Hypercube Queuing Model	
	Fortran en utilisant des événements stochastiques	
	Modèles d'optimisation	
5. Laboratoires	Modèle GPSS sur la base de la distribution de Poisson	
	Modèle GPSS	
	Modèle de la banque de sang Modèle de simulation du laboratoire d'hématologie	
6. Radiologie	Modèle GPSS + Fortran	1966
	GPSS simulation du flux de patients	
7. Chirurgie et salle de réveil	Modèles en Fortran	
	GPSS,	
	SIMSCRIPT	
8. Service d'approvisionnement et de soutien	sans information	
Soins ambulatoires	Approches	Année
9. Cliniques externes	Monte-Carlo	
	Distribution de Poisson	
12. Pratique dentaire		
13. Pharmacie		

12. La santé publique et le programme de contrôle des infections		
Soins d'employés	Approches	Année
13. Planification et prévision des effectifs		
14. Main-d'œuvre et la dotation du personnel de substitution		
Système de planification de soins	Approches	Année
15. Communautaire et régionale		
16. National		
17. Organismes de maintenance de la santé et plan de prépaiement		
Autres modèles de soins de santé	Approches	Année
18. Les banques de sang		
19. Les foyers de soins		
20. Éducation		
21. Divers		

Source : (England et Roberts, 1978)

ANNEXE III

Description de l'évaluation des fonctionnalités des outils

1) Fonctionnalités reliées à la modélisation

A. TIBCO :

Activités : Elles offrent la possibilité d'ajouter des scripts pour la définition des multiples instances.

Tâches : Lorsqu'il s'agit d'une tâche de type services, il y a plusieurs options : connexion à un service web, base de données, fichier, formulaire, etc.

Entrée : Les activités peuvent être empilées ou non et un nombre maximum d'éléments empilés peuvent être saisis. Le choix des types de files d'attente n'est pas offert ni la possibilité pour exprimer le temps d'attente minimale. Toutes les autres fonctionnalités expliquées dans les entrées sont incluses pour tout ce qui implique les ressources. Les scripts donnent la possibilité d'indiquer l'attente minimale.

Ressource : Toutes les spécifications indiquées pour les ressources sont incluses :

- Assigner un ou plusieurs participants à la tâche concernée ainsi que la possibilité de déterminer la priorité ;
- Allouer la stratégie de distribution de la ressource (offrir à tous, offrir à un ou allouer à un) ;
- Donner la possibilité de faire une pile ou non en tenant compte du nombre maximal dans la pile ;
- Attribuer la distribution des tâches des ressources : famille, groupe, chaîne, en parallèle.

Les qualités ou expertises des ressources peuvent être configurées lors de la mise en place du modèle de l'organisation. Dans le modèle d'organisation est déterminé les unités de l'organisation, la position et les responsabilités, les rôles concernant le travail, les capacités, les expertises, les privilèges, la localisation physique, les ressources (personnes, équipements, bâtiments), les requêtes qui n'ont pas besoin d'être validées ou n'ont pas besoin d'une autorisation dans l'organisation, les actions qui ont besoin d'une autorisation pour l'exécution. Finalement, dans le modèle d'organisation sont déterminés les types qui équivalent à un schéma et qui représentent l'organisation concernant leurs composantes et leurs idées.

Sorties : Ne se présentent pas de façon explicite. Il est nécessaire d'utiliser l'option « Interface » pour mettre en place les attributs personnalisés pour la sortie de même que pour déclencher un événement spécifique personnalisé au moment de l'exécution des tâches.

Attributs : La fonction Extended permet de mettre en place des attributs qui peuvent provenir d'un fichier XML ou d'un fichier texte.

Liens avec d'autres processus : Fonctionnalité non présente. Le seul moyen est d'établir un service et d'indiquer les caractéristiques de connexion externe en direction d'une URL.

Données personnalisées : Elle permet de mettre en place des attributs spécifiques et d'indiquer le mode d'utilisation (entrée, sortie ou entrée/sortie).

B. BonitaSoft :

Activités : Les fonctionnalités impliquées dans une activité sont réparties en deux onglets : l'un appelé général et l'autre appelé avancé. L'onglet avancé permet de définir des boucles. La notion de synchrone est introduite dans l'option avancée, ce qui n'existe pas dans le cas d'iGrafx et de TIBCO.

Tâche : Aucune des fonctionnalités impliquées dans une tâche n'est configurée à l'étape de création de l'activité. Il est laissé à l'étape de configuration de la simulation.

Entrée : Ces fonctionnalités se trouvent dans la configuration de la simulation. C'est sont uniquement les évènements qui peuvent avoir des règles qui se configurent pour leur déclenchement.

Ressource : La gestion des ressources correspond à l'étape de simulation.

Sorties : Il n'existe pas de façon d'exprimer les décisions. Lorsqu'il s'agit d'une boucle, il est possible d'indiquer la valeur à rechercher avant ou après la boucle la valeur cible pour la fin de la tâche, le nombre maximum de boucles. De même, il est possible de signaler et si le mode est en synchrone.

Attributs : Sous l'onglet Général/Données se fait la mise en place des attributs personnalisés concernant chacune des activités. Les caractéristiques du comportement des activités se fait sous l'onglet simulation/général et simulation/data.

Lien avec d'autres processus : Le lien établi utilise des connecteurs pour établir le lien avec des services de types divers ou d'autres URL, mais il n'est pas utilisé pour se brancher à d'autres processus.

Données personnalisées : Il ne se ressemble pas aux autres logiciels (outils). Il semble qu'il est nécessaire de faire la programmation et de concevoir des objets accompagnés de ses

attributs. Par contre, il permet la création de formulaires pour la saisie des données. Il n'y a pas eu d'exploration pour savoir si ces données peuvent alimenter de façon dynamique la simulation. Les exemples ne le montrent pas.

C. IGrafx

Activités : Il utilise les générateurs pour la configuration des règles d'affaires pour l'initialisation de tâches ou d'activités. Il peut avoir plusieurs générateurs de divers types : de demande, d'arrivée intermédiaire, d'emploi du temps, d'évènement, de changement d'attribut. Il est possible d'indiquer le nombre de transactions pour chaque itération ainsi que les règles d'arrêt, le démarrage, le processus, l'initialisation des attributs, les données externes, le format, les règles de sélection des rangées séquentielles, aléatoires avec ou sans réutilisation lorsqu'il s'agit de l'alimenter en utilisant un fichier de format Excel.

Attributs : Ils permettent de concevoir des attributs personnalisés et des fonctions qui auront une distribution choisie et qui peuvent utiliser les attributs conçus.

Données personnalisées : Le mode d'utilisation (entrée, sortie ou entrée/sortie) de ces types de données est utilisé pour faire la configuration de la simulation.

Risques : Les risques sont possibles. Il s'agit de les indiquer pour chacune des activités (risque maximum et risque minimum).

Informations des responsables. Pour chacune des tâches, il est important d'indiquer pour savoir quelle est la personne responsable ou quelles sont les personnes responsables. Ce type de possibilité n'existe que pour cet outil.

2) Analyse de la fonctionnalité reliée à la configuration

A) iGraphx :

- a. Le temps de la simulation comprend :
 - Le choix d'un calendrier (24 heures /jours et 7 jour par semaine ou le choix d'un nombre d'heures, nombre de jours et nombre de jours travaillés / mois)
 - Début de la simulation (choix jour ; heure);
 - Fin de la simulation (transactions terminées ou après un nombre de jours);
 - Temps de réchauffement avant le début de la simulation ;
- b. L'initialisation des rapports :
 - Plusieurs choix sont offerts : Conception d'un nouveau rapport, ajouter un élément au rapport ou tout simplement modifier l'exécution de la simulation
 - Nom du rapport
 - Limite du nombre de boucles pour arrêter le processus en cas d'erreur
 - Utiliser le générateur du nombre aléatoire.
- c. La configuration par des points de repérage spécifique de la simulation peut se faire par année, par mois, par semaine, par heure, par jour ou par minute. Il est possible d'en ajouter un ou plusieurs points de repère.
- d. Contrôle de la vitesse de la simulation : il peut être régularisé selon le besoin de l'utilisateur.

B) TIBCO :

Durée : constante, uniforme (max. min.), normal (moyenne, écart-type), exponentiel (moyenne) ;

Temps : mois, jour, heure, minute, seconde ;

Durée : durée maximale du niveau de service et de la valeur désirée ;

Chaque activité permet de choisir une distribution. Selon la distribution choisie, il sera nécessaire d'indiquer la moyenne et/ou l'écart type.

Le guide inclut la possibilité de posséder un contrôleur de vitesse, mais la version communautaire n'a pas cette possibilité. De plus, le guide ne donne pas d'autres informations complémentaires.

C) BonitaSoft :

La configuration de la simulation se fait pour l'objet même et pour l'ensemble de la simulation. La configuration de l'objet même se fait sous l'onglet, simulation correspondant aux propriétés du même objet, tandis que la configuration de la simulation se fait sous le menu « Gérer le profil de charge et gérer les ressources ». Pour le processus, il y a deux aspects qui peuvent être configurés :

- Le *profil de charge* correspond à une configuration d'un ensemble d'attributs. Il a la possibilité d'en réaliser plusieurs. Ce profil de charge facilite la conception de scénarios. Pour chaque exécution de la simulation, il est donc possible de mettre en place nouveau profil de charge. C'est une caractéristique de BonitaSoft. Ni iGrafx ni TIBCO n'ont cette caractéristique.
- Les *ressources* peuvent être gérées sous l'onglet simulation de façon individuelle et sous le menu de l'option « gérer les ressources ». La différence, c'est qu'au niveau du menu, les ressources sont gérées par groupes selon leur rôle. C'est ici qu'on indique le nombre des ressources existantes jouant ce rôle. De même, on indique la quantité cible, le coût unitaire, le coût d'utilisation et le coût horaire par unité de temps.

Pour le *profil de charge*, les informations qui peuvent être configurés :

- Les dates, heure et minute du début et de la fin ;
- Le type de répartition : constant (les itérations seront à périodes constantes) ou direct (toutes les itérations vont commencer au début de la simulation);
- Le nombre des instances ou d'itérations à réaliser ;

- La définition de l'horaire du travail pendant la semaine : jours, heures et minutes. Une possibilité d'indiquer la disponibilité pendant la journée en considérant une échelle de 24 heures.

La configuration de la simulation pour chacune des tâches se réalise à trois niveaux :

- Au niveau de la tâche* : le genre de sortie (unique ou non), le déroulement de la tâche (continue ou avec interruption), la durée, le temps estimé et le temps maximum ;
- Au niveau des données* : il s'agit de la création des expressions en utilisant les données ou les attributs conçus lors de l'étape General/Simulation. Le guide ne spécifie pas les détails des résultats de ce type d'information. Il peut s'agir d'un moyen de générer des indicateurs personnalisés ;
- Au niveau des ressources* : Nombre, quantité et durée fixe ou personnalisée exprimée en JJ : HH : MM : SS.

Autres possibilités

iGraphx

Il est possible d'utiliser un éditeur Visual Basic pour ajouter du code, faire des « macros », utiliser des contrôles ActiveX et importer tous les objets Microsoft.

3) Analyse de fonctionnalités reliées aux résultats

Les résultats de la simulation sont présentés sous forme de rapports. Deux options se présentent : soit, que ces résultats sont intégrés au même logiciel soient que ce dernier utilisent des « plugins » pour bonifier la flexibilité et la présentation de leurs rapports.

L'évaluation des résultats produits par la simulation se fera selon les rapports produits par chacun des outils (logiciel) analysés.

Générateur du rapport

Tous les outils analysés ont leur générateur du rapport intégré à l'outil.

TIBCO utilise le logiciel BIRT (Business Intelligence Reporting Tool) qui permet de générer des rapports personnalisés et de faciliter l'accès à une base de données. BIRT permet la réalisation des graphiques selon le besoin de l'utilisateur.

iGraphx a un générateur de rapport intégré à l'outil. Il permet la personnalisation des rapports ainsi que des indicateurs de performance personnalisés.

Les statistiques concernent les transactions, les activités et les ressources. Les caractéristiques et les évaluations sont indiquées dans la section 5.2.3.

ANNEXE IV

Définitions des termes de la logistique de CA

LSCM issues	Brief explanation
Supply chain structure	Designing the supply chain structure refers to the configuration of the chain, the sequential links between different activities or processes. Typical decisions made are related to the flow of materials between stages, involvement or not of intermediaries, pull versus push configurations, etc.
Process redesign	Supply chain redesign or re-engineering involves changes in its structure (facilities, production processes, transportation) and processes. An emerging stream of work in this category explores the streamlining of physical transformation processes to simplify the decision-making and control to eradicate waste, such as: Total Quality Management, Just-in-Time, Kaizen etc. Supply chain redesign is associated with strategic management as it requires an overall understanding of business processes.
Supplier selection	Related to procurement that is the process of purchasing raw materials needed to make finished goods or to support the operations of a firm. The selection of intermediaries or suppliers is made based on the evaluation of procurement bids for multiple products or suppliers.
Facilities/capacity planning	Typical decisions are the determination of the facility role and processes to be performed, facility location and capacity allocation, etc. These decisions are usually linked with the objectives and long term vision of the firms or partners in the chain and hence considered a strategic issue.
System performance	The performance of the supply chain is evaluated using a number of criteria, such as transportation cost, resources utilisation, inventory level, order cycle time, delivery performance, etc.
Bullwhip effect	The phenomenon of upstream order magnification in the supply chain. Due to the fluctuations, supply chain partners do not receive a reliable picture of inventory levels which results into a poor alignment between demand and production patterns across echelons.
Supply chain integration	Supply chain integration enables the cooperation of two or more systems in pursuit of complementary objectives. This category includes a number of coordination mechanisms such as: vendor managed inventory, quantity discounts, quantity flexibility, allocation rules, quick response, strategic partnerships, etc.
Information sharing	Information sharing strategies are introduced as a sub-set of supply chain integration mechanisms, which aim to reduce the bullwhip effect and to improve the supply chain performance. Some of the hurdles encountered in operationalising these strategies are the reluctance of firms to share information on sales, demand, production and delivery, inventory levels, etc. This is considered as a separate category, due to the large number of papers on information sharing.
Supply chain optimisation	Supply chain optimisation is mainly concerned with the identification of optimal policies that optimise key performance indicators, such as profits, costs, product flows, etc.
Cost reduction	Cost reduction is often the incentive of various policies undertaken such as electronic data interchange, inventory management, etc.
Replenishment control policies	These policies deal with the control of stock levels in the echelons of the supply chain and the ordering policy. The aim is to have the right product quantity at the right location and at the right time. The choice of inventory replenishment policies aims to achieve low inventory while maintaining high delivery performance.
Inventory planning/management	Deals with the management and movement of goods throughout the supply chain. Studies on inventory planning and management focus on optimisation of service levels or process time by varying the location or quantity of inventory. In each echelon, a decision is made to manage the inventory based on inventory levels, holding and backlog costs and replenishment control policies.
Planning and forecasting demand	It can be the primary or secondary focus of simulation studies, where the objective is to anticipate or to mitigate the risks involved. These models generate forecasts of the expected future demand and investigate the impact of major demand changes on supply chain echelons.
Production planning and scheduling	Production planning and scheduling deals with the management of manufacturing processes and the policies that determine the configuration of the production sequence and resource allocation, material handling, scheduling of machines and work centres. Simulation models are often concerned with the effect of different production planning rules on supply chain performance.
Distribution and transportation planning	Deals with the physical movement of inventory (products, materials) from one stage of the supply chain to another. Some decisions made are: the design of the transportation network, choice of transportation models, the management of vehicle fleet (routing and scheduling), etc.
Dispatching rules	Dispatching rules deal with decisions made regarding the fulfilment of specific customer orders, considering on one-hand delivery dates and on the other hand utilisation of the manufactures' shop floor.
Reverse logistics	Reverse logistics is concerned with the recovery of products as spare parts or recycled products at the end of their life cycle. Product recovery is driven by economical and environmental incentives, which at the same time affects companies' manufacturing and collection activities.

Source : (Tako et Robinson, 2012)

LISTE DES RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aalst, W.M.P. van der. 1999. « Formalization and verification of event-driven process chains ». *Information and Software Technology*, vol. 41, n° 10, p. 639–650.
- April, Jay, Marco Better, Fred Glover, James Kelly et Manuel Laguna. 2006. « Enhancing Business Process Management With Simulation Optimization ». *IEEE. Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*.
- April, Jay, Fred Glover, James P. Kelly et Manuel Laguna. 2003. « Practical. Introduction to Simulation Optimization ». *IEEE. Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, p. 71-78.
- Berrah, Lamia. 2002. *L'indicateur de performance: Concepts et applications*. Toulouse.
- Bosilj-Vuksic, Vesna, Vlatko Ceric et Vlatka Hlupic. 2007. « Criteria for the Evaluation of Business Process Simulation Tools ». *Interdisciplinary Journal of Information, Knowledge, and Management*, vol. 2.
- Brailsford, Sally C., PR Harper, B Patel et M Pitt. 2009. « An analysis of the academic literature on simulation and modelling in health care ». *Journal of Simulation. Operational Research Society Ltd.*, vol. 3, p. 130–140.
- Carvalho, H., A.P. Barroso, V.H. Machado, S. Azevedo et V. Cruz-Machado. 2011. « Supply chain redesign for resilience using simulation ». *Computers & Industrial Engineering*.
- David M. Raffo, Joseph V. Vandeville, Robert H. Martin. 1999. « Software Process Simulation to Achieve Higher CMM Levels ». *Journal of Systems and Software*, vol. 46, No. 2/3, n° 2/3, p. 163-172.
- Ding, Hongwei, Changrui Ren, Wei Wang et Jin Dong. 2006. « Applying Simulation In A Supply Chain Transformation Case ». *IEEE. Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*, p. 614-620.
- England, William, et Stephen D. Roberts. 1978. « Applications of computer simulation in health care ». In *Proceedings of the 1978 Winter Simulation Conference*. (Miami Beach, Florida, USA), sous la dir. de H.J. Highland, L.G. Hull, N.R. Neilsen. Vol. 4-6, p. 665-676. Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Ferreira, João, André Carvalho, João Pimentel, Marco Guedes, Francesco Furini et Nuno Silva. 2007. « Modeling Product Engineer and Manufacturing Activity in Automobile

- Industry ». In *EATIS '07: Proceedings of the 2007 Euro American conference on Telematics and information systems*. p. 1-6. ACM.
- Fu, Michael C. 2002. « Optimization for Simulation: Theory vs. Practice ». *INFORMS Journal on Computing*, vol. 14, n° 3, p. 192-215.
- Gibson, Ian W. 2007. « An Approach to Hospital Planning and Desing using Discrete Event Simulation ». In *WSC '07: Proceedings of the 39th conference on Winter simulation: 40 years! The best is yet to come* sous la dir. de DL, ACM, p. 1501-1509. IEEE Press Piscataway, NJ, USA.
- Han, Kwan Hee, et Jin Gu Kang. 2007a. « A process-based performance measurement framework for continuous process improvement ». *International Journal of Industrial Engineering*.
- Han, Kwan Hee, et Jin Gu Kang. 2007b. « Two-stage Process Analysis Using the Process-based Performance Measurement Framework and Process Simulation ». In *IEEE. Fifth International Conference on Software Engineering Research, Management and Applications*. p. 655-661. In *BPMLibrary*.
- Hogan, M., H. Sabri et B. Kapralos. 2007. « Interactive community simulation environment for community health nursing ». In *Proceedings of the 2007 conference on Future Play* (New York, NY, USA), p. 237-240. ACM.
- Jacobson, Sheldon H., Shane N. Hall et James R. Swisher. 2006. « Discrete-Event Simulation of Health Care Systems ». In *Patient Flow: Reducing Delay in Healthcare Delivery* Vol. 91, p. 211-252. International Series in Operations Research & Management Science.
- Kellner, Marc I. 1991. « Software Process Modeling Support for Management Planning and Control ». In *First International Conference on the Software Process*. (Held at Redondo Beach, California), sous la dir. de IEEE 3, p. 8 - 28 IEEE Compter Society Press,.
- Kellner, Marc I., Raymond J. Madachy et David M. Raffo. 1999. « Software Process Simulation Modeling: Why? What? How? ». *Journal of Systems and Software*., vol. 46, n° 2/3 (15 April 1999), p. 18.
- Komashie, Alexander, et Ali Mousavi. 2005. « Modeling Emergency Departments using Discrete Event Simulation Techniques ». In *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*. (Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference), p. 2681-2684. M. E. Kuhl, N. M. Steiger, F. B. Armstrong, and J. A. Joines, eds.

- Lamine, Elyes, et Franck Fontanili. 2010. « Modélisation et simulation des appels téléphoniques d'un service d'aide médicale d'urgence (samu 81) ». In *8e Conférence Internationale de MODélisation et SIMulation - MOSIM'10 - « Evaluation et optimisation des systèmes innovants de production de biens et de services »*. (Hammamet - Tunisie).
- Lianjun, An, et Jun-Jang Jeng. 2005. « On Developing System Dynamics model for Business Process Simulation ». *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*, p. 2068-2076.
- Lowery, Julie C. 1998. « Getting started in simulation in healthcare ». In *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*. Vol. 1, p. 31-35 vol. 1. IEEE.
- Manataki, Areti, Yun-Heh Chen-Burger et Michael Rovatsos. 2010. « Towards Improving Supply Chain Coordination through agent ». *Advances in Intelligent and Soft Computing* vol. 71, n° AISC, p. 217-224.
- Marco Better, Arco Better, Fred Glover, Gary Kochenberger, Haibo Wang. 2008. « Simulation Optimization :Applications in risk Management ». *International Journal of Information Technology & Decision Making*, vol. 7, n° 4, p. 571-587.
- Martin, Robert, et David Raffo. 2001. « Application of a hybrid process simulation model to a software development project ». *The Journal of Systems and Software*, vol. 59, n° 2001, p. 237-246.
- Melao, Nuno, et M. Pidd. 2003. « Use of business process simulation: A survey of practitioners ». *Journal of the Operational Research Society*, vol. 54, p. 2-12.
- Moyaux, T., B. Chaib-draa et S. D'Amours. 2006. « Multiagent based Supply Chain Management ». In *Supply Chain Management and Multiagent Systems: An Overview*. Springer, Berlin: Chaib-draa, B., Müller, J.P.
- Murata, Tadao. 1989. « Petri Nets: Properties, Analysis and Applications ». In *Proceeding of the IEEE*. Vol. 77, p. 541-580.
- Naim, A.K., et A. Kheir. 1995. *System Modeling and Computer Simulation*. Marcel Dekker Inc., New York.
- OMG, Object Management Group. 2011. « Busienss Process Modeling Notation (BPMN). Version 2.0 ». < <http://www.bpmn.org> >. Consulté le Octobre.

- Persson, Frederik., et Jan. Olhager. 2002. « Performance simulation of supply chain designs ». *International Journal of Production Economics*, vol. 77, n° 3, p. 231-245.
- Peterson, James L. 1977. « Petri Nets ». *Computing Surveys*, vol. 9, n° 3, p. 223-252.
- Rabe, Markus, Frank-Walter Jaekel et Heiko Weinaug. 2006. « Reference Models For Supply Chain Design And Configuration ». *IEEE. Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*, p. 1143-1150.
- Raychaudhuri, Samik. 2008. « Introduction to Monte Carlo Simulation ». In *Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference*. sous la dir. de S. J. Mason, R. R. Hill, L. Mönch, O. Rose, T. Jefferson, J. W. Fowler eds.
- Ren, Changrui, Wei Wang, Jin Dong, Hongwei Ding, Bing Shao et Qinhua Wang. 2008. « Towards A Flexible Business Process Modeling And Simulation Environment ». *IEEE. Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference*, p. 1694-1701.
- Ren, Changrui, Wei Wang, Bing Shao, Qinhua Wang, Jin Dong et Hongwei Ding. 2009. « The Use Of Simulation For Global Supply Network Rationalization In The Pharmaceutical Industry ». *IEEE. Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*, p. 2250-2261.
- Ryan, John, et Cathal Heavey. 2006. « Process modeling for simulation ». *Computer in industry*, vol. 57, p. 437-450.
- Siebers, Peer-Olaf, CM Macal, J Garnett, D Buxton et M Pidd. 2010. « Discrete-event simulation is dead, long live agent-based simulation! ». *Journal of Simulation*, vol. 4, p. 204–210.
- Solomon, Andrei, et Marin Litoiu. 2011. « Business process performance prediction on a tracked simulation model ». In *Proceeding of the 3rd international workshop on Principles of engineering service-oriented systems. PESOS 11*. (Waikiki, Honolulu, HI, USA), sous la dir. de ACM Vol. May 2011. ACM.
- Solomon, Andrei, Marin Litoiu, Jay Benayon et Alex Lau. 2010. « Business Process Adaptation on a Tracked Simulation Model ». *Proceedings of the 2010. Conference of the Center for Advanced Studies on Collaborative Research, ACM*, p. 184-198.
- Stepán Kuchar, David Jezek, Jan Kozusznik, Svatopluk Stolfa. 2012. « Comparison of system dynamics and BPM for software process simulation ». *International Journal of Digital Information and Wireless Communication (IJDIWC)*. vol. 1, n° 2, p. 339-363.

- Tako, Antuela A., et Stewart Robinson. 2012. « The application of discrete event simulation and system dynamics in the logistics and supply chain context ». *Decision Support Systems*, vol. 52, p. 802–815.
- Taylor, SJE, T. Eldabi, G. Riley, R.J. Paul et M. Pidd. 2009. « Simulation modelling is 50! Do we need a reality check? ». *Journal of the Operational Research Society*, vol. 60, p. 569-583.
- Terzia, Sergio, et Sergio Cavalieri. 2004. « Simulation in the supply chain context: a survey ». *Computers in Industry*, vol. 53, p. 3-16.
- Wagner, Gerd, Oana Nicolae et Jens Werner. 2009. « Extending Discrete Event Simulation By Adding An Activity Concept For Business Process Modeling And Simulation ». In *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*. IEEE.
- Wang, Haining, Shouqian Sun, Juanfang Xu, Fuqian Shi et Ning Zou. 2008. « Petri Net Based Business Process Simulation and Analysis Technology ». In *Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering, 2008. ICIII '08. International Conference on* Vol. 2, p. 148 - 152 IEEE.
- WFMC, The Workflow Management Coalition Specification. 1999. « Workflow Management Coalition Terminology & Glossary. ». Document Number WFMC-TC-1011. Document Status - Issue 3.0. < http://www.wfmc.org/standards/docs/TC-1011_term_glossary_v3.pdf >. Consulté le Février 2012.
- Yang Meng, R. Davies, K. Hardy et P. Hawkey. 2010. « An application of agent-based simulation to the management of hospital-acquired infection ». *Journal of Simulation*, vol. 4, n° 1, p. 60-67.
- Zhang, H., M. Huo, B. Kitchenham et R. Jeffery. 2006. « Qualitative simulation model for software engineering process ». In., p. 10 pp.-400. Ieee.