POLYPUBLIE

Évaluation de la performance de stratégies logistiques inverses dans le secteur de la vente au détail par la simulation à base d'agents

Jean-Gabriel Farmer

Document en libre accès dans PolyPublie
Open Access document in PolyPublie

Date	2015
Type	Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis Mémoire de maîtrise/Master's thesis
URL de PolyPublie PolyPublie URL	https://publications.polymtl.ca/1875/
Conditions d'utilisation Terms of use	© Tous droits réservés / All rights reserved
Référence Citation	Farmer, J.-G. (2015). Évaluation de la performance de stratégies logistiques inverses dans le secteur de la vente au détail par la simulation à base d'agents [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie. https://publications.polymtl.ca/1875/

Détails de la thèse
Thesis details

Directeurs de recherche Advisors	Jean-Marc Frayret
Programme Program	Génie industriel

Ce fichier a été téléchargé à partir de PolyPublie, le dépôt institutionnel de Polytechnique Montréal
This file has been downloaded from PolyPublie, the institutional repository of Polytechnique Montréal
https://publications.polymtl.ca

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉVALUATION DE LA PERFORMANCE DE STRATÉGIES LOGISTIQUES INVERSES DANS LE SECTEUR DE LA VENTE AU DÉTAIL PAR LA SIMULATION À BASE D'AGENTS

JEAN-GABRIEL FARMER

DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES ET DE GÉNIE INDUSTRIEL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION

DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES

(GÉNIE INDUSTRIEL)

AOÛT 2015

© Jean-Gabriel Farmer, 2015.

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

ÉVALUATION DE LA PERFORMANCE DE STRATÉGIES LOGISTIQUES DANS LE SECTEUR DE LA VENTE AU DÉTAIL PAR LA SIMULATION À BASE D'AGENTS

présenté par : FARMER Jean-Gabriel

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

Mme RIOPEL Diane, Doctorat, présidente

M. FRAYRET Jean-Marc, Ph. D., membre et directeur de recherche

M. BASSETTO Samuel, Doctorat, membre

DÉDICACE

Carpe Diem.

REMERCIEMENTS

J’aimerais remercier mon directeur de recherche, Jean-Marc Frayret, pour m’avoir guidé et soutenu dans l’accomplissement de ce projet. M. Frayret m’a également appris à comprendre les enjeux reliés à mon projet, les avenues potentielles à explorer et à bien développer la démarche scientifique appliquée à mon projet. J’aimerais également remercier Lucas Garin, qui a codé l’algorithme d’optimisation des routes utilisé dans quelques-unes des expériences. Grâce à ses talents en informatique, nous avons été en mesure de tester de manière efficace l’impact logistique de certains scénarios envisagés.

Je souhaite ensuite remercier énormément les personnes-ressources chez Renaissance, soit Éric St-Arnaud, directeur des opérations, et Jean O’Neil, superviseur du transport, pour m’avoir supporté et permis de concrétiser ce projet.

Finalement, j’aimerais souligner l’aide d’Alvaro Gil, qui m’a rendu de précieux services et conseils en tant qu’expert d’Anylogic.

RÉSUMÉ

Une bonne gestion de la chaîne d'approvisionnement est primordiale au bon contrôle des coûts d'une entreprise et à l'amélioration de la performance. Le désir de retirer un maximum de chaque dollar investi pousse les entreprises à devoir constamment réévaluer la performance des procédures établies. Devant la complexité amenée par la chaîne d'approvisionnement, ce mémoire propose une approche de simulation à base d'agents afin d'évaluer la performance de plusieurs stratégies logistiques pour Renaissance, un organisme à but non-lucratif œuvrant dans le secteur de la vente au détail d'articles usagés. L'organisme se trouve dans un contexte urbain en forte croissance et doit planifier de manière efficace ses opérations afin d'effectuer à la fois des collectes et des livraisons à chaque site. La technique de simulation à base d'agents s'est avérée efficace afin d'effectuer, dans un premier temps, un diagnostic des opérations actuelles et, dans un deuxième temps, l'évaluation de stratégies logistiques potentielles selon plusieurs scénarios de croissance. Les stratégies évaluées concernent soit des modifications dans la gestion de la flotte de camions, soit dans le moment de visite des sites ou bien dans un changement relié à la procédure de collecte et livraison des sites. Les indicateurs de performance majeurs utilisés sont la distance parcourue, le temps requis par jour et les émissions de CO_2. En logistique verte, ce mémoire est également une autre application démontrant qu'il est possible d'utiliser les bases de données d'émissions de CO_2 afin de simuler les implications environnementales de scénarios en fonction des types de camions et cycles de conduite.

Les principales conclusions sont que la réduction du temps voyagé et de la distance parcourue implique souvent une hausse des émissions en CO_2, à cause de l'utilisation de plus gros camions. Également, les contraintes d'accessibilité des sites et la flotte de camions actuellement utilisée entraînent une réduction de la performance logistique de l'ordre de 10% à 25%. Dans un autre ordre d'idées, la stratégie de visite des sites la nuit peut entraîner une diminution du temps moyen requis par jour d'environ 10%. Or, les restrictions municipales sur l'accès à certains sites par des camions durant la nuit limitent le potentiel de bénéfices amené par cette stratégie. À court-terme, la meilleure stratégie porte sur la modification de la flotte actuelle pour utiliser deux camions 36' pour visiter aussi les centres de dons par opposition aux magasins seulement. Cette stratégie pourrait amener des bénéfices de l'ordre de 10% à 20% sur le temps et la distance totale, en n'impliquant qu'une minime hausse des émissions de CO_2.

ABSTRACT

A good supply chain management is essential in order to control costs and to ensure business success. The desire to maximize the return on investment forces companies to continuously review the procedures in place and their performance in order to confirm that they still are the most appropriate. Considering the complexities incurred by supply chain management, this paper proposes to use an agent-based simulation model approach to evaluate the performance of multiple potential logistics strategies for Renaissance, an non-profit organization in the second-hand retail business. This organization faces a strong growth in an urban context and has to efficiently plan its operations to both collect and deliver goods at every site. The agent-based simulation technique has proven to be capable to, in the first place, make an assessment of the current operations and then to evaluate potential logistics strategies in different growth scenarios. Envisaged strategies concern modifications either to the trucks fleet, to the time of sites visit or to the procedure in place to collect and deliver goods. The main key performance indicators used are the time per day, the distance travelled and the CO_2 emissions. Also, in green logistics, this paper serves as another practical application of the possibility to use CO_2 emissions databases to simulate environmental implications of scenarios, based on the types of trucks used and the drive cycles.

The main conclusions of this paper are that decreasing time and distance travelled usually comes with an increase of CO_2 emissions, due to the use of bigger trucks. Also, the current sites' accessibility and fleet constraints affect the logistics performance by 10% to 25%. With regards to the strategies, visiting sites at night has the potential to decrease the travelling time by 10%. However, current municipal restrictions restraining trucks' accessibility at night limit the benefits of this strategy. The best short-term strategy consists of the modification of the current fleet usage to use two 36' trucks to visit both donation centers and stores, as opposed to only stores. This strategy could potentially bring 10% to 20% benefits of time and distance, while having only a minimal impact on CO_2 emissions.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE III

REMERCIEMENTS IV

RÉSUMÉ V

ABSTRACT VI

LISTE DES TABLEAUX X

LISTE DES FIGURES XI

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS XII

LISTE DES ANNEXES XIII

INTRODUCTION 1

Problématique étudiée 3

Objectif du mémoire 3

Objectif général 3

Objectifs spécifiques 4

Structure du mémoire 4

CHAPITRE 1 REVUE BIBLIOGRAPHIQUE 6

1.1 La chaîne d'approvisionnement 6

1.2 La logistique inverse 6

1.3 Le problème de transport 9

1.4 Outils d'optimisation 10

1.5 La simulation à base d'agents 11

CHAPITRE 2 DÉMARCHE DE L'ENSEMBLE DU TRAVAIL DE RECHERCHE ET ORGANISATION GÉNÉRALE DU DOCUMENT 13

2.1 Démarche de l'ensemble du travail de recherche 13
2.2 Organisation générale du document 13
CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE 15
3.1 Contexte, enjeux et collecte de données 15
3.2 Programmation d'un algorithme de création de routes optimales 15
3.3 Création du modèle et validation 16
3.4 Diagnostic des opérations actuelles 17
3.5 Évaluation des stratégies logistiques selon les scénarios de croissance envisagés 17
3.6 Recommandations 20
CHAPITRE 4 ARTICLE 1: SIMULATION-BASED OPTIMIZATION OF REVERSE LOGISTICS STRATEGIES IN A SECOND-HAND GOODS COMPANY 21
4.1 Introduction 21
4.1.1 Reverse logistics in a second-hand goods context 21
4.1.2 Objectives 22
4.2 Literature review 22
4.2.1 Reverse logistics 22
4.2.2 Logistic strategy optimization 23
4.3 Simulation model 25
4.3.1 General overview 25
4.3.2 Model description 30
4.4 Methodology and experiments 35
4.4.1 Model Implementation 35
4.4.2 Model setup and validation 36
4.4.3 Experimental design and methodology 36
4.4.4 Key performance indicators 39

4.5 Results and analysis 39
4.5.1 Model validation 39
4.5.2 Experimental results and analysis 40
4.6 Discussion and conclusion 48
4.7 Acknowledgment 50
CHAPITRE 5 DISCUSSION GÉNÉRALE 53
5.1 Discussion sur la méthode 53
5.2 Discussion pratique 54
5.3 Leçons et apprentissages 56
CHAPITRE 6 CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET TRAVAUX FUTURS 58
BIBLIOGRAPHIE 59
ANNEXES 63

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1 : Plan d'expériences 20

Table 4.1: Capacity of trucks in the fleet 32

Table 4.2: Travel times matrices used in the model.....34

Table 4.3: Design of experiments 37

Table 4.4: Changes implied by each growth scenario.....38

Table 4.5: Average truck utilization and latest stores delivery time in current strategy.....42

Table 4.6: Average truck utilization and latest stores delivery time, delivery at night.....44

Table 4.7: Average utilization usage and latest stores delivery time, using two 36' trucks.....46

Table 4.8: Average truck utilization and latest stores delivery time, direct delivery.....48

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Contribution de chaque catégorie de dons au revenu total 2

Figure 1.1: La logistique inverse dans la chaîne d'approvisionnement 7

Figure 4.1: Process flows 27

Figure 4.2: Products and bins flows 28

Figure 4.3: Revenue as a function of the number of donations delivered 29

Figure 4.4: Fuel consumption vs. drive cycle average speed for class 2, 6 and 8 trucks (Delorme et al., 2009) 35

Figure 4.5: Real and simulated revenue in function of the number of goods received 40

Figure 4.6: (a) Distance travelled and CO2 emissions, current strategy, (b) total time per day and per shift, current strategy 41

Figure 4.7: (a) Distance travelled and CO2 emissions, delivery at night, (b) total time per day and per shift, delivery at night 43

Figure 4.8: (a) Distance travelled and CO2 emissions, using 2 36’ trucks, (b) total time per day and per shift, using 2 36’ trucks 45

Figure 4.9: (a) Distance travelled and CO2 emissions, direct delivery, (b) total time per day and per shift, direct delivery 47

Figure 5.1: Écart de chaque stratégie par rapport à la stratégie actuelle, par indicateur de performance 55

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ABS	Agent-based modeling
KPI	Key Performance Indicator
SBA	Simulation à base d'agents
VRP	Vehicle Routing Problem

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A – COMPOSANTES DU MODÈLE ET DÉMARCHES ENTREPRISES POUR LES OBTENIR.....63

INTRODUCTION

Dans une entreprise, beaucoup de dirigeants se concentrent habituellement sur des aspects commerciaux pour croître, tels que la pénétration de marché, le bassin de clients, la publicité, etc. Dans un contexte où il devient de plus en plus difficile d'accumuler le capital nécessaire pour investir dans de la publicité ou pour ouvrir de nouveaux magasins, les dirigeants doivent apprendre à considérer leur entreprise sous un autre œil afin d'être en mesure de préserver une bonne croissance. Les entreprises ne se basent désormais plus seulement sur les revenus qu'elles sont capables d'amener et sur la croissance des ventes; mais, de plus en plus, elles se sensibilisent à l'importance de la performance des opérations. Elles comprennent que le profit peut s'accroître non seulement en augmentant les ventes, mais également en diminuant les coûts. La gestion de la chaîne d'approvisionnement représente une partie importante des coûts engendrés; son analyse et son optimisation constituent donc des atouts majeurs afin de mieux gérer la performance opérationnelle.

Ce mémoire propose d'étudier les activités logistiques de Renaissance, un organisme à but non-lucratif œuvrant dans la vente au détail d'articles usagés. Cet organisme a été créé en 1994 dans le but d'offrir un programme de réinsertion sociale aux personnes sans emploi, en ayant mis sur pied un réseau de collecte et de revente de biens usagés à faible prix. Renaissance est également membre du réseau Goodwill Industries, qui a contribué au placement de 189 000 personnes en 2011. L'organisme compte ainsi plusieurs dizaines d'employés qui sont continuellement formés à effectuer les opérations quotidiennes de collecte, de distribution et de revente de dons faits par la population de Montréal et les environs. Son réseau logistique se compose de plusieurs divisions, soit les centres de dons, les boîtes de dons, les magasins et un centre de distribution. Le type de dons collectés et revendus représente un très large éventail de produits, allant des vêtements jusqu'aux électroniques, et en passant par les meubles. La figure 1 illustre la contribution de chaque catégorie sur le revenu total de l'entreprise.

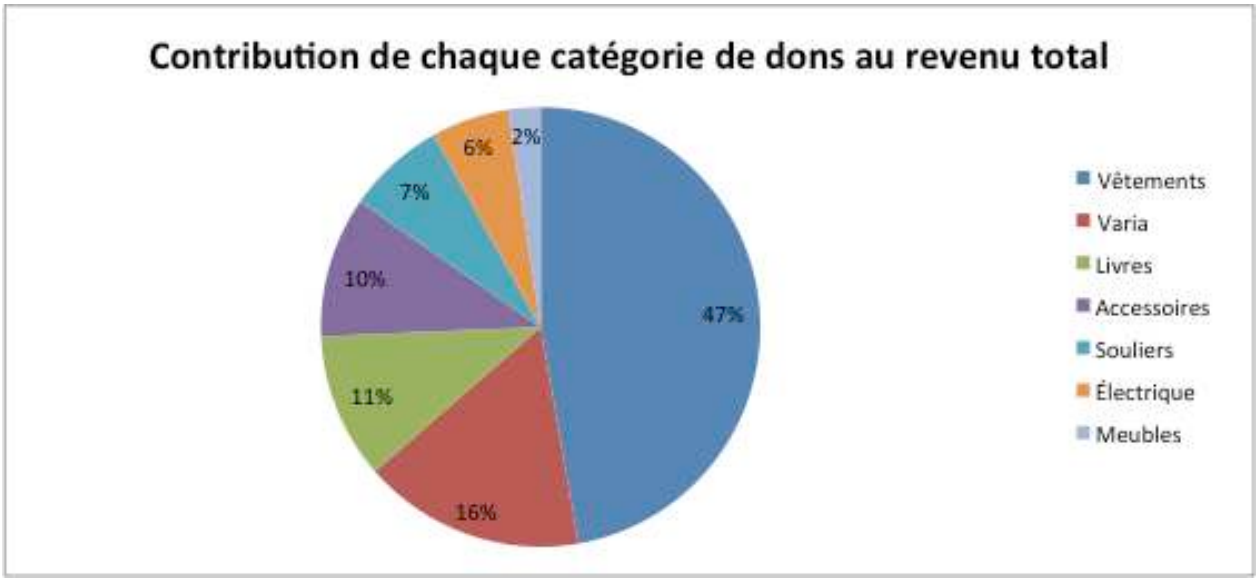


Figure 1: Contribution de chaque catégorie de dons au revenu total

Dans le marché de la vente au détail, Renaissance se démarque de ses compétiteurs en offrant des produits usagés à bas prix, que les consommateurs cibles ne pourraient s'acheter à prix régulier. Devant le succès de l'organisme, certains compétiteurs à but lucratif ont commencé à faire leur apparition afin de vendre des biens usagés. Ceux-ci viennent déloger Renaissance de son statut de seule entreprise offrant ce type de services à Montréal et la pousse donc à considérer de nouvelles avenues pour conserver ses parts de marché. Ce mémoire propose donc d'étudier les activités logistiques de Renaissance et d'étudier différentes stratégies logistiques potentielles afin de les aider à optimiser leur performance opérationnelle pour permettre une meilleure croissance. Un diagnostic sera effectué et des stratégies potentielles seront étudiées en utilisant un outil d'analyse puissant, soit la simulation à base d'agents. Cette technique est utilisée dans des contextes dynamiques et complexes tel que la chaîne d'approvisionnement. La simulation à base d'agents vise à modéliser les interactions de plusieurs acteurs dans un système, appelés agents, ayant la capacité de prendre des décisions et de réagir en fonction de leur environnement. Cette approche est une bonne façon de simuler les prises de décisions humaines et leurs interdépendances mutuelles. Il est donc possible d'étudier différents scénarios et stratégies logistiques grâce à cette méthode.

Problématique étudiée

La croissance marquée des dernières années force l'organisme à constamment revoir ses processus et stratégies logistiques afin de bien préparer l'expansion future de ses activités. Ce projet implique donc dans un premier temps la réalisation de l'analyse du réseau logistique actuel dans le but d'effectuer un diagnostic des éléments critiques et de la performance des opérations. Dans un deuxième temps, des recommandations sur la stratégie logistique à adopter pour supporter la croissance de l'organisme seront élaborées.

Une des principales difficultés du projet réside dans la complexité du système logistique de collecte et de distribution des dons. En premier lieu, Renaissance transporte vers le centre de distribution et ultimement vers les magasins des dons qu'elle a préalablement collectés dans ses centres de dons. Également, Renaissance transporte différents types de bacs de transport pleins et vides des magasins vers les centres de dons et de distribution. Par soucis de simplification et de rationalisation des tournées, Renaissance réalise ces activités de collecte et distribution de manière indépendante, puisque que tous les dons passent systématiquement par le centre de distribution. En somme, tous les sites présents dans le réseau comportent à la fois des biens à collecter et d'autres à livrer. Par conséquent, les stratégies où les dons pourraient être collectés et redistribués dans la même tournée de véhicule complexifient grandement pour l'entreprise le problème de construction des routes. Dans un autre ordre d'idées, la variabilité du nombre de dons reçus et demandés par les magasins aident aussi à illustrer la complexité du problème étudié. Un outil informatique de simulation permettra ainsi d'évaluer diverses stratégies logistiques en fonction de quelques scénarios de croissance potentiels, tant du point de vue de l'utilisation de la flotte de camions, que du point de vue de la stratégie de collecte et livraison.

Objectif du mémoire

Cette section décrit les objectifs généraux et spécifiques du mémoire.

Objectif général

Dans un premier temps, ce projet a pour objectif d'effectuer un diagnostic des opérations logistiques actuelles de l'organisme Renaissance. Dans un deuxième temps, le projet vise à

étudier différentes stratégies logistiques selon plusieurs scénarios de croissance afin de fournir des recommandations pour soutenir une expansion future de ses activités.

Objectifs spécifiques

Afin d'atteindre l'objectif général du projet, une série d'objectifs spécifiques a été élaborée :

- Modéliser le système logistique de Renaissance et identifier les contraintes;
- Développer un algorithme de construction de routes afin de supporter l'étude de stratégies logistiques[1];
- Faire un diagnostic des opérations actuelles;
- Définir avec l'entreprise un ensemble de scénarios de croissance et de stratégies logistiques à étudier et évaluer leur performance :
    - Évaluer les impacts logistiques d'une croissance de 10% et 20% avec la stratégie logistique actuelle;
    - Évaluer les impacts logistiques de collecter et livrer les dons en partie la nuit, selon trois scénarios de croissance;
    - Évaluer les impacts logistiques d'utiliser deux remorques 36' dans les routes de collecte des centres de don, selon les trois scénarios de croissance;
    - Évaluer les impacts logistiques de collecter les centres de dons et livrer directement aux magasins, selon les trois scénarios de croissance.
- Formuler des recommandations pour améliorer le réseau logistique actuel et futur.

Structure du mémoire

Le mémoire est structuré en présentant en premier lieu une revue de la littérature pertinente pour le projet (Chapitre 1). Ensuite, le Chapitre 2 porte sur la démarche et la méthodologie entreprises pour réaliser les objectifs. Le Chapitre 3 présente un article soumis au mois d'août 2015 à la

[1] Sous projet effectué par Lucas Garin, et en dehors du travail de ce mémoire.

revue *International Journal of Production Research*, expliquant le modèle développé, sa structure, les stratégies étudiées ainsi que les résultats obtenus. Aussi, il présente une interprétation des résultats et contient des recommandations logistiques. Ensuite, le Chapitre 4 présente une discussion sur les résultats obtenus et finalement une conclusion présente des travaux futurs potentiels reliés au projet.

CHAPITRE 1 REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1 La chaîne d'approvisionnement

La chaîne d'approvisionnement comporte plusieurs maillons requérant chacun une stratégie logistique différente, tout en exigeant un parfait synchronisme afin d'assurer une bonne performance. De l'extraction de la matière première jusqu'à la livraison du produit final, plusieurs intermédiaires interviennent, comme le manufacturier, le centre de distribution du grossiste, le centre de distribution du détaillant et les magasins. La mise en place d'une bonne stratégie logistique est primordiale pour le bon fonctionnement des opérations. Dans l'industrie de la vente au détail, les stratégies logistiques ont été extensivement étudiées et présentent des défis logistiques très intéressants amenés par le contact direct avec le consommateur final. Certaines études se concentrent sur les impacts potentiels d'une gestion en flux tirés au lieu d'en flux poussés (Zhang, 2008), d'autres analysent les bénéfices potentiels apportés par l'intégration totale d'un système d'information et de technologies de suivi de produits (Watanarawee, 2010), tandis que d'autres expliquent les bénéfices de créer des partenariats stratégiques entre tous les maillons de la chaîne d'approvisionnement (Ryu, 2009).

Dans ses premiers balbutiements, le contrôle de la chaîne d'approvisionnement se trouvait dans les mains des manufacturiers, forçant ainsi les fournisseurs et les détaillants à s'aligner avec leurs opérations. La croissance de la vente de produits à rabais et des magasins à grande surface a causé un changement radical des marchés, déplaçant ainsi le contrôle de la chaîne d'approvisionnement des manufacturiers vers les détaillants (Arnold, 2002). En ce sens, l'accroissement du pouvoir de la demande, voire des consommateurs, fait en sorte que la bonne compréhension et gestion de la chaîne d'approvisionnement par les détaillants est de plus en plus primordiale (Davies, 2009).

1.2 La logistique inverse

Le modèle d'affaires de Renaissance faisant en sorte de récupérer des articles qui ont été vendus et leur donner une deuxième vie en les revendant convient au concept de logistique inverse. Selon le Council of Logistics Management, ce concept est défini comme étant :

> [Notre traduction] « […] *utilisé pour faire référence au rôle de la logistique dans le recyclage, la disposition des déchets, et la gestion des matières dangereuses; une perspective plus large inclut toutes les questions relatives aux activités logistiques menant à une réduction de l'approvisionnement externe, au recyclage, à la substitution et à la réutilisation des matériaux et à leur disposition.* » (De Brito, 2004)

La logistique inverse intervient en fait à l'endroit exact où la chaîne d'approvisionnement traditionnelle se termine, c'est-à-dire à l'étape de la première vente au consommateur. Le schéma suivant vise à illustrer la position de la logistique inverse dans la chaîne d'approvisionnement (Zhao, 2008). Dans le schéma, les lignes pointillées indiquent la chaîne d'approvisionnement traditionnelle, tandis que les lignes pleines indiquent le cheminement de la logistique inverse.

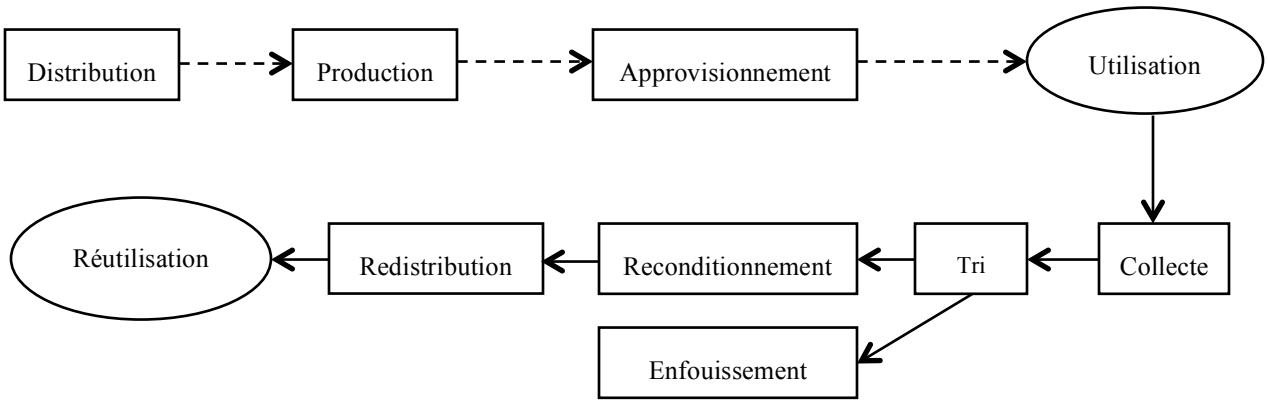


Figure 1.1 : La logistique inverse dans la chaîne d'approvisionnement

On peut observer que le concept de base de la logistique inverse réside dans la réutilisation de produits qui seraient normalement considérés en fin de vie, soit pour une transformation en un produit dérivé, ou bien pour réutiliser la matière première et refaire d'autres produits complètement différents. En effet, après avoir utilisé son produit, le consommateur fait face à une décision pour disposer de son produit de la meilleure manière possible (Olshavsky, 1985). Les arguments majeurs pour tenter de récupérer le mieux possible les produits ont majoritairement trait à la volonté de réduire l'impact environnemental de notre consommation à long terme et développer un système de développement durable (Sarkis, Helms, & Hervani, 2010). On emploie alors le terme de logistique verte pour désigner la sensibilisation face à l'environnement dans le contexte de logistique inverse (Guoyi, 2011). Le recyclage de nos produits ménagers est un exemple typique de la logistique inverse qu'on peut observer à tous les jours. Les secteurs

d'applications de la logistique inverse peuvent toucher soit directement les produits, ou bien encore l'emballage dans lequel ils sont contenus. Rogers et Tibben-Lembke (1999) listent les activités principales touchant les produits comme étant, entre autres, le retour du produit aux fournisseurs, la revente, la récupération et le reconditionnement en vue de revente. Du côté de la logistique relative aux emballages, les activités ont plutôt attrait à leur réutilisation pour un autre produit, à une remise à neuf ou bien à leur décomposition pour récupérer la matière première (Rogers, 1999). En plus de vouloir contribuer à l'environnement, les compagnies cherchent le plus possible à maximiser la rentabilité des activités de logistique inverse. Ainsi, dans un contexte où des produits usagés sont récupérés en vue de la revente, les opérations de Renaissance conviennent donc très bien à cette définition de logistique verte.

Une bonne gestion de la logistique inverse amène des défis très intéressants. Un des défis principaux, en comparaison avec la chaîne d'approvisionnement traditionnelle, réside dans l'incertitude reliée aux produits qui seront collectés. En effet, dans une chaîne d'approvisionnement traditionnelle, où les produits partent des fournisseurs, il est plutôt facile de contrôler et de prévoir la qualité des produits qui seront reçus. À l'inverse, il est très difficile de prévoir la qualité des produits usagés qui sont collectés afin d'être reconditionnés. Également, étant donné que le volume d'apport de produits usagés dans la chaîne logistique inverse est contrôlé par les consommateurs, il est beaucoup plus difficile de planifier les activités afin d'avoir une performance logistique optimale (Zhao, 2008). Ces défis emmènent donc des complexités opérationnelles autant du côté de la planification des ressources humaines que matérielles. Maynard et al. (2013) présentent une étude de cas très intéressante sur les défis opérationnels apportés par la logistique inverse en effectuant une étude de cas sur l'organisme Oxfam.

Tel qu'il est stipulé par Goodhue (Goodhue, 2014), l'évolution normale d'une entreprise dans la vente au détail passe normalement en premier par la croissance du nombre de magasins, des produits vendus et par l'acquisition de la plus grande clientèle possible. À un certain stade, l'évolution normale des opérations de l'entreprise n'arrive plus à soutenir la croissance de la demande, faute de ressources ou de capital. Il est donc primordial pour l'entreprise d'évaluer l'implémentation de nouvelles stratégies, que ce soit par le biais de nouvelles technologies (par exemple un système informatique), de meilleurs équipements ou bien par l'optimisation des opérations. L'évaluation de stratégies logistiques afin d'optimiser les opérations pour soutenir la

croissance de Renaissance s'insère donc parfaitement dans cette définition du cadre normal de l'évolution des entreprises.

Sur un autre point, une des manières essentielles d'établir une bonne base de clientèle réside dans une grande offre des stocks. En même temps, les détaillants exigent de plus en plus des délais de transport rapides et des livraisons plus fréquentes afin de diminuer l'espace requis en entreposage (Gunther, 2010). La gestion de la chaîne d'approvisionnement cherche donc à trouver un équilibre entre les coûts reliés au transport et ceux reliés à l'entreposage. Non seulement une grande part des coûts engendrés par la chaîne d'approvisionnement réside dans les coûts reliés au transport, mais les entreprises deviennent aussi de plus en plus conscientisées à l'impact environnemental (émissions CO_2) de leur flotte de camions. Les opportunités d'amélioration des stratégies de transport sont donc une excellente voie à considérer afin d'améliorer la performance opérationnelle des détaillants.

1.3 Le problème de transport

Dans la littérature scientifique, ce problème, connu sous le terme « problème de transport » (« Vehicle Routing Problem »), est très étudié par les scientifiques en recherche opérationnelle parce qu'il a de multiples applications dans la vie réelle (Panapinun & Charnsethikul, 2005). Laporte fait une revue des différents types d'études de routes de véhicules qui ont été réalisées dans le cadre de l'optimisation du transport. Dans sa forme la plus simple, le problème de transport consiste à créer des routes de camions de telle sorte que chaque site soit visité exactement une fois par un seul camion et où tous les véhicules commencent et reviennent à un dépôt, tout en tenant compte de certaines contraintes. Le type de contraintes qu'on peut retrouver dans ces problèmes peut concerner par exemple une capacité maximale des camions, des fenêtres de temps pour visiter les sites ou bien un temps total maximal pour chaque route (Laporte, 1992). En complément au problème d'optimisation des routes ci-haut mentionné, le terme « logistique urbaine » est également défini afin de désigner les défis spécifiques apportés par la logistique dans un contexte urbain, caractérisé par des temps de routes hautement variables en raison du trafic (Pillac, Gendreau, Guéret, & Medaglia, 2013). Une application typique de la logistique urbaine est la livraison du courrier, présente dans la majorité des milieux urbains. Le lecteur intéressé à la logistique urbaine peut en apprendre un peu plus avec les articles de Barcelo et al. (2007) et Zempekis et al. (2007). Une autre variante du problème de tournée de véhicules, qui

concerne le sujet de ce mémoire, est l'optimisation du transport dans un contexte où chaque site comporte à la fois des collectes et des livraisons. La différence majeure avec le problème de transport typique est que les sites ne comportent habituellement qu'une des deux activités, tandis que, dans ce mémoire, il peut y avoir des routes dites mixtes ou simultanées. Cette particularité vient beaucoup complexifier le problème d'optimisation et de planification des routes, étant donné que le camion est presque toujours à pleine capacité. Ainsi, à chaque site, la capacité utilisée du camion peut soit augmenter ou bien diminuer, selon la quantité de produits à livrer et à collecter. La détermination et la planification d'une solution performante sont donc beaucoup plus difficiles à atteindre (Nagy, Wassan, & Salhi, 2013).

1.4 Outils d'optimisation

Afin d'optimiser la chaîne d'approvisionnement, les logisticiens peuvent avoir recours à plusieurs techniques. Dans les méthodes d'optimisation traditionnelles, on retrouve entres autres, dans le secteur de la recherche opérationnelle, la programmation mathématique et la création de modèles théoriques de gestion des stocks. Le lecteur intéressé à ces méthodes peut se référer à l'article de Dekker et al. (2012), dans lequel l'auteur effectue une revue des outils d'optimisation applicables au domaine de la logistique verte. Dans des contextes présentant beaucoup de variabilité sur les données, la performance de ces outils pour trouver une solution optimale s'améliore de plus en plus. Cependant, il reste toujours difficile de traiter des problèmes comportant des situations complexes, comme lorsqu'il y a de nombreux évènements simultanés, lorsque le comportement ou la prise de décision de certains maillons de la chaîne d'approvisionnement a une influence directe sur d'autres, ou bien dans des contextes non-déterministes. Dans ces cas particuliers, on a plutôt recours à des outils de simulation. La simulation est utilisée dans des contextes stochastiques dans lesquels l'utilisateur cherche à analyser beaucoup plus les tendances et comportements récurrents qu'à identifier la solution optimale. Elle consiste en la représentation de la réalité de manière simplifiée par le biais d'une modèle virtuel dans lequel le phénomène auquel on s'intéresse est défini par un ensemble de variables d'entrée et de sortie, en plus de règles régissant les liens entre elles (Gilbert & Troitzsch, 2005). La simulation est reconnue comme étant la meilleure méthode pour reproduire un système logistique le plus près possible de la réalité afin de l'analyser (Othman & Mustaffa, 2012). Cartier et Forgues (2006) ont fait une revue des avantages reliés à l'utilisation de la simulation dans les sciences appliquées en gestion.

Il existe trois grandes catégories de simulation, soit la simulation à évènements discrets, celle de la dynamique des systèmes et la simulation multi-agents. La simulation à évènements discrets est utilisée dans un cadre de séquencement de plusieurs évènements, où chaque évènement est précédé d'un autre et où le temps du modèle avance de manière incrémentale. Dans ce type de simulation, les évènements et le flot entre ceux-ci sont connus et sont régis par des lois de probabilités, des temps de processus et des règles de priorité connues. Par ailleurs, contrairement à la simulation à évènements discrets, qui est basée sur les processus, la simulation de dynamique des systèmes est plutôt basée sur une compréhension d'un système à haut niveau. Les entités du système, tel que les ressources, les produits et les évènements, sont agrégées et sont seulement représentées par des quantités, avec lesquelles on essaie de représenter des comportements généraux du système, tel que la variation des stocks. Ce niveau d'abstraction peut être utile pour étudier rapidement les tendances générales d'un système, mais ne convient définitivement pas à toutes les situations en étude de chaîne d'approvisionnement. De son côté, la simulation à base d'agents se concentre à un niveau de granularité beaucoup plus petit, en étudiant les interactions des entités au niveau individuel. Le lecteur souhaitant en apprendre plus sur les différences entre les catégories principales de simulation peut consulter l'article de Gilbert et Troitzsch (2005), dans lequel une revue de chaque type et des exemples d'applications sont décrits.

1.5 La simulation à base d'agents

La simulation à base d'agent (i.e. SBA) est une technique émergente (Macal & North, 2006) qui vise à modéliser les comportements individuels des entités d'un système, appelées agents. Ainsi, au lieu de modéliser les interactions entre les éléments, la SBA se concentre plutôt sur la manière dont les éléments réagissent en fonction de leur environnement, s'influencent mutuellement et prennent des décisions en fonction du contexte variant de manière dynamique. Barbati et al. (2012) ont effectué une revue de la littérature récente portant sur les applications de la SBA dans un contexte d'optimisation. Elle peut entre autres être utilisée pour étudier la chaîne d'approvisionnement en reproduisant les comportements des acteurs principaux. Plusieurs chercheurs décrivent les avantages de la SBA par rapport aux méthodes d'optimisation traditionnelles (Borshchev & Filippov, 2004; Scholl, 2001), tandis que d'autres discutent plus précisément des avantages de son utilisation dans le contexte d'écologie industrielle (Kraines & Wallace, 2008). Entres autres, les articles de Frayret (2007), Farnia (2013) et Sauvageau (2015)

donnent des exemples intéressants d'application de la SBA dans l'industrie des produits forestiers et de l'achat de vieux papier. Ce dernier article étudie la performance de différents modèles de politique d'approvisionnement et de production dans le domaine du papier recyclé. Plusieurs expériences simulant différents scénarios de politiques d'approvisionnement ont été effectuées afin de déterminer les impacts logistiques sur le système, tels que les coûts et l'inventaire. Également, Bollinger et al. (2012) ont réalisé un modèle portant sur le recyclage de téléphones cellulaires. Ce modèle présente beaucoup de similitudes avec le sujet de ce mémoire, soit la collecte et revente d'articles usagés. Par exemple, des contraintes d'incertitude quant à la quantité de matière première reçue, à sa qualité et aux taux de revente sont présentes dans les deux modèles. Une des différences majeures de ce modèle par rapport à celui décrit dans ce mémoire est qu'il modélise la chaîne d'approvisionnement dans un contexte de boucle fermée, c'est-à-dire en modélisant toutes les entités de la chaîne traditionnelle, soit du fabricant jusqu'au consommateur et, ensuite, de la collecte du bien usagé jusqu'au consommateur de l'article reconditionné. Le sujet de ce mémoire porte seulement sur la partie de la logistique inverse dans ce processus.

CHAPITRE 2 DÉMARCHE DE L'ENSEMBLE DU TRAVAIL DE RECHERCHE ET ORGANISATION GÉNÉRALE DU DOCUMENT

2.1 Démarche de l'ensemble du travail de recherche

Ce chapitre décrit la démarche suivie au cours de ce projet de recherche et indique la cohérence de l'article par rapport aux objectifs de recherche. Tel que mentionné au Chapitre 1, les objectifs du projet consistent en l'élaboration d'un diagnostic des opérations logistiques de l'organisme Renaissance et ensuite, dans le développement et l'évaluation de différentes stratégies logistiques sous plusieurs scénarios de croissance à l'aide de la méthode de la simulation à base d'agents. Dans un deuxième temps, des recommandations sur les meilleures stratégies logistiques à adopter afin de soutenir la croissance de l'organisme ont été élaborées.

Afin d'atteindre ces objectifs, il a fallu en premier lieu bien comprendre le contexte et les opérations de l'organisme en effectuant des entrevues et de l'analyse de données. La prochaine étape consistait à programmer un algorithme d'optimisation des routes afin de supporter l'évaluation des diverses stratégies logistiques – la programmation de cet algorithme ne fait pas l'objet de ce mémoire. Ensuite, il a fallu modéliser le système logistique actuel de l'organisme et valider sa qualité, ce qui nous a permis d'effectuer un diagnostic des opérations à l'aide de plusieurs indicateurs de performance. La dernière étape a ensuite consisté en l'élaboration de différentes stratégies logistiques envisagées par l'organisme dans les années futures et en leur modélisation, pour ensuite fournir des recommandations sur les meilleures stratégies à adopter. L'article présenté dans ce mémoire et soumis au *International Journal of Production Research* vise à détailler la méthodologie employée, le développement du modèle de simulation à base d'agents ainsi que les méthodes de validation, en plus de présenter les résultats du diagnostic et de chaque stratégie logistique évaluée et les recommandations. Par le fait même, l'article sert à présenter une application démontrant la possibilité d'utiliser des bases de données d'émissions de CO_2 afin d'évaluer l'impact environnemental de stratégies logistiques à l'aide de la simulation.

2.2 Organisation générale du document

Le Chapitre 1 présentait une introduction au contexte du mémoire ainsi qu'une revue de littérature pertinente sur le sujet étudié. Le Chapitre 3 présente ensuite en détail la méthodologie

employée. L'article fait par la suite l'objet du Chapitre 4, adapté afin d'être conforme à la structure de ce document. Finalement, le Chapitre 5 porte sur une discussion générale sur la méthode, sur les résultats et sur les apprentissages réalisés au cours du projet.

CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE

Cette section décrit la méthodologie suivie pour réaliser le projet d'évaluation des meilleures stratégiques logistiques en fonction de différents scénarios de croissance.

3.1 Contexte, enjeux et collecte de données

La première étape du projet a été de bien comprendre le contexte, la dynamique et les enjeux reliés aux opérations de Renaissance. Cela a permis de bien saisir l'ampleur et la complexité des opérations et d'ainsi ajuster les objectifs du projet. Nous avons également rencontré les dirigeants de Renaissance afin de bien comprendre leurs objectifs et attentes en termes de résultats au terme du projet et d'identifier l'impact du projet sur leurs décisions stratégiques à moyen terme. Des ressources ont également été attitrées à l'interne, soit le directeur des opérations et le superviseur de transport, pour assister à des étapes cruciales du projet, telles que la collecte de données et l'identification de scénarios logistiques à évaluer. Le processus de collecte de données a ensuite été réalisé au moyen d'entrevues, des rapports d'entreprises, du serveur intranet de ventes de l'entreprise, en plus d'un deuxième serveur intranet concentré plutôt sur les activités opérationnelles. Le tableau situé en annexe A vise à indiquer en détail comment chaque paramètre a été collecté et analysé.

3.2 Programmation d'un algorithme de création de routes optimales

L'évaluation de scénarios logistiques nécessite de pouvoir recréer des routes de camions et ce, de manière optimale, afin de pouvoir tester le potentiel complet de chaque stratégie envisagée. Les scénarios de croissance évalués nécessitent eux aussi de modifier les routes des camions, étant donné l'ajout de nouveaux sites dans le réseau. Ce dernier élément est détaillé à la section 2.5. Cet algorithme a été créé par Lucas Garin à l'aide du logiciel R et a été conçu afin de trouver des routes optimales en respectant toutes les contraintes du réseau, telles que les capacités de camions et l'accessibilité des camions aux sites. Cet algorithme prend essentiellement en entrée les demandes de transport et fournit en sortie des routes optimisées. Une des problématiques rencontrées par Renaissance étant le haut niveau de temps supplémentaire effectué par les camions, la fonction-objectif de l'algorithme cherche donc à minimiser le temps maximal parcouru entre tous les camions, à chaque jour. Ceci permet d'assurer un bon équilibre entre

chacune des ressources attitrées au transport des biens. L'implémentation de ce logiciel ne fait pas partie du travail de ce mémoire.

3.3 Création du modèle et validation

Le modèle de simulation a été conçu sur le logiciel Anylogic. L'objectif de la modélisation sur ce logiciel a été de reproduire de la manière la plus fidèle possible à la réalité le système logistique de Renaissance. Ceci a permis d'effectuer en premier lieu un diagnostic des opérations actuelles et de pouvoir ainsi tester l'impact réel des différentes stratégies logistiques et scénarios de croissance envisagés. Les données et paramètres utilisés dans le modèle sont fondés sur les données recueillies chez Renaissance, tel que détaillé dans la section précédente. Elles ont été analysées et modélisées sous Anylogic soit sous forme de lois statistiques, soit en utilisant directement les données réelles, comme pour les routes de camions dans le diagnostic de la situation actuelle. Deux types de validation des données ont été effectués afin de s'assurer que le modèle est cohérent avec la réalité : la validation des variables dites indépendantes et celles des variables dépendantes. Ainsi, toutes les données modélisées sous forme de lois statistiques - constituant les données indépendantes entre elles - ont été comparées aux données réelles. Ensuite, pour s'assurer de la bonne réaction du système par rapport à l'ensemble des variables ayant une influence sur d'autres (comme le nombre d'articles vendus ou rejetés) et donc pour s'assurer de la validité des résultats obtenus, des expériences préliminaires ont été conduites afin de comparer quelques résultats spécifiques du modèle avec des données réelles. Ainsi, en premier lieu, nous avons comparé les revenus obtenus aux magasins avec les revenus réels totaux obtenus durant l'année chez Renaissance, et ce, en utilisant la valeur réelle moyenne d'un article vendu. Ceci a permis de valider le fait que nous avons bien modélisé le processus de création de revenus en fonction du nombre d'articles reçus dans le système. Dans un deuxième temps, nous avons comparé l'inventaire de bacs pleins restants en magasin à la fin de chaque journée avec les données réelles de l'organisme. Ceci a permis de valider que les processus de vente, de rejets et de rotations implantés dans le modèle sont cohérents avec la réalité. Également, nous avons pu confirmer avec cette expérience préliminaire que le modèle simule bien le processus de demande aux magasins en fonction de l'inventaire disponible. Avec ces validations, nous avons pu confirmer que l'ensemble du modèle est cohérent avec la réalité, ce qui nous a permis d'avoir confiance dans les résultats obtenus dans les simulations.

Les expériences ont été menées en récoltant les résultats quotidiens d'un horizon de 365 jours. Les résultats étant variables quotidiennement, mais assez stables au niveau du total annuel, il a été jugé que des simulations de dix réplications par expérience par la méthode Monte-Carlo sont appropriées. Ainsi, la moyenne des résultats de chacune des dix réplications a été utilisée afin d'interpréter les résultats de chaque expérience.

3.4 Diagnostic des opérations actuelles

Dans un premier temps, le modèle a été utilisé afin d'effectuer un diagnostic des opérations actuelles, voire selon la stratégie logistique actuelle, c'est-à-dire en utilisant exactement les mêmes camions qu'actuellement, les mêmes routes de camions, la même quantité de dons reçus, etc. Ce diagnostic, ainsi que les différentes stratégies logistiques présentées dans la prochaine section, a pu être effectué à l'aide d'indicateurs de performance implantés dans le modèle. Ces indicateurs de performance ont été établis en collaboration avec Renaissance, selon les différentes voies d'améliorations opérationnelles qu'ils désiraient tester. La liste suivante décrit les différents indicateurs de performance utilisés dans les expériences. Il est à noter que la manière dont ils ont été calculés est présentée à l'Annexe B.

- Distance totale parcourue pour tous les camions dans l'année;
- Émissions de CO_2 totales émises par tous les camions durant l'année;
- Temps total moyen de transport de tous les camions par jour;
- Taux de remplissage moyen des camions; et,
- Heure de fin de livraison des magasins.

3.5 Évaluation des stratégies logistiques selon les scénarios de croissance envisagés

Le plan d'expériences a aussi été défini en collaboration avec Renaissance, selon les avenues potentielles pouvant survenir de manière réaliste dans les prochaines années. Ainsi, l'objectif des expériences est de tester différentes stratégies logistiques selon plusieurs scénarios de croissance. Les scénarios de croissance sont définis selon la quantité de dons entrant dans le système, ainsi que par le nombre de sites composant le réseau. Trois scénarios de croissance ont été définis, soit

le scénario actuel, c'est-à-dire avec la quantité de dons entrant actuelle et le nombre de sites actuels - tels qu'observés durant l'année 2014 -, un scénario de croissance de 10% et un scénario de croissance de 20%.

La source d'entrée des dons pour les scénarios de croissance de 10% et 20% est un élément majeur dans la modélisation de ces scénarios. En effet, le niveau de pénétration de marché des sites actuels est presque à saturation. Ainsi, une croissance de 10% et de 20% ne peut réalistement pas signifier une augmentation d'entrée de dons de manière uniforme dans les sites existants. La majorité de la croissance viendra plutôt par l'établissement de nouveaux sites et donc par la création de nouveaux marchés. Afin d'être cohérent avec cette réalité, nous avons donc convenu avec Renaissance que, pour les scénarios de 10% et 20%, le modèle comprendra l'ajout de trois nouveaux centres de dons aux 21 existants et un nouveau magasin aux dix existants. Trois de ces sites, incluant le magasin, se situent beaucoup plus loin du centre de distribution que les sites actuels, soit plus près des extrémités de la grande région métropolitaine de Montréal. Le pourcentage de la croissance venant des sites actuels a été défini comme étant d'environ 30% et l'équivalent du pourcentage de croissance restant vient en entier des nouveaux sites. Également, en partie à cause du plus grand éloignement de ces nouveaux sites par rapport au centre de distribution, l'ajout de ces quatre nouveaux sites engendre l'utilisation d'un camion additionnel dans la flotte. Cette façon de modéliser permet donc de simuler de manière réaliste la croissance de l'organisme par la pénétration de nouveaux marchés. Il est aussi important de mentionner que la croissance normale de l'organisme varie actuellement autour de 10% par année. Ainsi, le scénario de croissance actuel constitue un scénario pessimiste, celui de 10% un scénario réaliste et enfin, celui de 20%, un scénario optimiste.

Nous avons ensuite défini trois principales stratégies logistiques à évaluer. Une quatrième a de plus été évaluée pour fin de comparaison, mais ses résultats n'ont pas été mentionnés dans l'article. Chaque stratégie logistique influence plusieurs éléments du système logistique, soit les routes des camions, le moment et la séquence selon laquelle les dons sont collectés et livrés ainsi que le nombre et la capacité des camions utilisés.

La première stratégie logistique représente l'actuel, soit avec entre autres les routes de camions actuelles, les camions actuellement utilisés ainsi que la stratégie de collecte et de livraison

actuelle. Elle est évaluée afin de servir de scénario de base et d'ainsi illustrer où l'organisme se situe actuellement et vers où il se dirige avec la stratégie logistique actuelle.

La seconde stratégie consiste à l'évaluation des impacts d'une collecte et d'une livraison partielle durant la nuit. Dans un contexte urbain, le temps de transport est énormément affecté par le trafic. En combinaison avec la forte croissance du nombre de sites, nous pouvons à ce stade entrevoir un bon potentiel d'amélioration de la performance de transport en effectuant les routes la nuit – un potentiel d'amélioration pouvant s'accroître avec l'augmentation du nombre de sites dans les années futures. Cependant, il est à noter que certains sites (23% des sites) ne peuvent pas être visités la nuit, en raison de restrictions municipales interdisant aux camions de circuler dans certains quartiers résidentiels à des heures définies. Ainsi, nous avons testé l'impact de la collecte et la livraison de tous les sites possibles durant la nuit et des autres, durant le jour.

La troisième stratégie testée consiste en une modification quant à l'utilisation de la flotte de camions. Actuellement, Renaissance utilise un camion semi-remorque de 36' seulement pour la livraison des magasins en matinée. Avec sa forte croissance, il sera éventuellement nécessaire d'utiliser ce camion également pour la collecte des centres de dons en après-midi. De surcroît, l'organisme compte acheter un deuxième camion de cette longueur pour l'utiliser pour la collecte de dons. Ainsi, la troisième expérience consiste à évaluer l'impact logistique d'utiliser deux camions de 36' pour la collecte des dons, en plus du camion utilisé actuellement. Cette stratégie présente des bénéfices potentiels quant à l'optimisation des routes, en permettant de combiner plusieurs sites dans les mêmes routes.

La quatrième stratégie a trait à la séquence de collecte et de livraison. Actuellement, chaque camion collecte les dons d'un centre de don et revient immédiatement au centre de distribution. Les dons y sont triés et sont ensuite rechargés dans un autre camion pour être livrés à leur magasin attitré le lendemain matin. La stratégie logistique évaluée sera donc de collecter les centres de don et de livrer directement à leur magasin attitré, sans passer par le centre de distribution. Dans cette stratégie, il faut cependant souligner le fait que des camions devront tout de même livrer les dons des boîtes de dons aux magasins à partir du centre de distribution.

Finalement, la dernière stratégie évaluée a uniquement trait à l'évaluation de l'impact des contraintes d'accessibilité des sites et de la flotte de camions utilisée sur la performance logistique. Ainsi, cette expérience implique l'utilisation de seulement des camions 36' pouvant

accéder à tous les sites. Elle n'est donc pas applicable à courte échéance. Elle ne servira que de référence afin d'établir le potentiel d'amélioration maximum pouvant être atteint en modifiant seulement la flotte de camions.

Au total, quatre principales stratégies logistiques sont évaluées sous trois scénarios de croissance différents, en effectuant 10 réplications par expérience, pour un total de 120 expériences. Le tableau suivant résume le plan d'expériences réalisé.

Tableau 3.1 : Plan d'expériences

Stratégie logistique	Scénarios de croissance
1. Stratégie actuelle	Actuel, 10%, 20%
2. Livraison et collecte partielle la nuit	Actuel, 10%, 20%
3. Utilisation de deux camions 36' pour la collecte des dons	Actuel, 10%, 20%
4. Collecte de centres de dons et livraison directe aux magasins	Actuel, 10%, 20%

3.6 Recommandations

En fonction des résultats obtenus et après l'analyse de chacun des plans d'expériences, des recommandations sont ensuite effectuées sur les meilleures stratégies logistiques à adopter pour soutenir la croissance de Renaissance.

CHAPITRE 4 ARTICLE 1: SIMULATION-BASED OPTIMIZATION OF REVERSE LOGISTICS STRATEGIES IN A SECOND-HAND GOODS COMPANY

Authors : Jean-Gabriel Farmer, Jean-Marc Frayret

4.1 Introduction

This paper proposes a simulation approach to evaluate potential logistics strategies to reduce the reverse logistic costs of a second-hand goods company's supply chain. The studied organization is a not-for-profit organization in the retail sector that gives a second life to end-of-life goods (e.g., clothes, electronics, furniture) by collecting and reselling them. The logistics of this organization is categorized as reverse logistics. This introduction section proposes an overview of reverse logistics, as well as the specific constraints addressed in this paper.

4.1.1 Reverse logistics in a second-hand goods context

One of the main challenges of reverse logistics lies in the uncertainty related to supply volume and quality. In the context of second-hand goods, the quantity of products donated by people every day is highly variable and presents a high seasonality. This variation and seasonality can be explained in part by external conditions, such as weather (i.e., people donate less in winter) or by specific behaviours, such as the annual spring cleaning. Another challenge is related to the quality of the items donated. Indeed, a large part of these items cannot simply be resold because it would cost more to refurbish them than buying them new. Therefore, second-hand goods companies must optimize their ability and capacity to collect these goods and sort them.

The optimization problem studied in this paper is that of a non-profit organization based in Montreal, Quebec, which operates in high-density urban conditions. This paper develops and uses a hybrid simulation platform to analyze the performance of several logistics strategies in order to optimize its future operations.

The logistics network of this organization consists of donation centers, donation boxes, stores and one distribution center. One of the main challenges of the project lies in the complexity of their logistics network. Indeed, the organization collects donations from its many donation centers and

boxes, and ships them to its distribution center, before it distributes them to its stores. Different types of empty and full bins are also transferred to donation centers, stores and its distribution center. In other words, bins can be both picked-up and delivered at any site.

In order to simplify vehicle routes planning, these logistic activities are currently carried out independently (i.e., there is no pick-ups and deliveries on the same route), and all donations are transferred through the distribution center before being shipped to their designated stores.

4.1.2 Objectives

The objective of this paper is to assess different logistic strategies using a hybrid discrete event and agent-based simulation model, while considering different growth scenarios. Because there are a limited number of strategies to assess, simulation was used in order to easily cope with the high variability of donations. First, Section 2 presents an overview of the relevant literature. Next, Section 3 introduces the proposed simulation model. Finally, based on the carried out simulation experiments, an evaluation of the impact of different logistics strategies in the context of multiple growth scenarios is presented. Performance is evaluated in terms of overall transportation distance, average travel time per day, and CO_2 emissions.

4.2 Literature review

Supply chains consist of suppliers, manufacturers, distribution centers and stores Supply chain logistic strategies have been extensively studied in the retail business. For example, Zhang (2009) studies the impact of pull flow vs. push flow in various contexts. Watanarawee (2010) studies the benefits of a fully integrated IT strategy combined with product-tracking technologies, while others, such as Ryu (2009) explain the long-term benefits of creating strategic partnership across the supply chain.

4.2.1 Reverse logistics

Reverse logistics starts where the traditional supply chain ends, namely when the end customer buys the product. According to the Council of Logistics Management, reverse logistics is “used to refer to the role of logistics in recycling, waste disposal, and management of hazardous materials; a broader perspective includes, all issues relating to logistics activities to be carried out in source reduction, recycling, substitution, reuse of materials and disposal” (De Brito, 2004). It

takes its roots in the reuse of end-of-life products, either to transform them into usable by-products, or to extract raw material and create completely different products. Olshavsky (1985) explains that customers must dispose of their end-of-life products in the best possible way. For them, recycling products is linked to their willingness to reduce the long-term environmental impact of their mode of consumption and to achieve sustainable development (Sarkis, Helms, & Hervani, 2010). The term "green logistics" has emerged and is used to designate the awareness of the environment in a reverse logistics context (Guoyi, 2011). The recycling of domestic products is a good example of an everyday application of reverse logistics. The interested reader is also referred to Dekker *et al*., (2012) for a review of optimization technics in green logistics.

Rogers and Tibben-Lembke (1999) have proposed a categorization of reverse logistics applications. They either concern the product itself, or its packaging. The authors also present the main activities related to end-of-life products management, including their return to their suppliers, their reselling, their recycling and their reconditioning/refurbishing for resale. Concerning packaging, the main activities include their reuse for another product, their refurbishing for resale, and their recycling to use as raw material. Beyond the need to comply with regulations or their desire to contribute to sustainable development, companies strive to increase the efficiency of their reverse logistics activities, as these activities do not necessarily involve direct added value. However, as mentioned in Section 1, the optimization of these activities is difficult thanks to the intrinsic variable quantity and quality of returned goods (Zhao, 2008). For the interested readers, Maynard *et al*., (2013) present a case study on the logistics challenges encountered by the non-profit organization Oxfam.

Furthermore, in the context of a second hand goods company, logistics involves both the return of end-of-life product and their distribution for resale. Like in the retail industry, one way to establish a strong customer base is to give customers product diversity. In a second hand goods company, this involves moving frequently unsold items from one store to the other. This entails a constant management of inventories both in terms of rotation and transportation.

4.2.2 Logistic strategy optimization

In this paper, the design of an efficient logistic strategy involves two distinct challenges. First, because both resources (e.g., trucks, trailers) and processes (e.g., routing constraints, route schedules) can be affected by the strategic design, this project involves solving a common

transportation optimization problem known as the vehicle routing problems (VRP). VRP has been studied a lot in scientific literature in operational research because of its multiple applications in our everyday lives (Panapinun & Charnsethikul, 2005). Laporte (1992) presents a survey of the different solutions to various classes of VRP. In its most basic form, VRP consists of creating routes in such a way that all sites are visited exactly once by only one truck and all vehicles start and finish at a depot. VRP may involve constraints such as truck capacity, time windows for pick-up or delivery, and a maximum total time per route. The term "urban logistics" has been defined to designate classes of VRP characterised by a high variability in transportation time due to traffic (Pillac, Gendreau, Guéret, & Medaglia, 2013). The interested reader is referred to Barcelo *et al*., (2007) and Zempekis *et al*., (2007) for more information on this class on VRP. Another variation of the VRP, which concerns the subject of this paper, involves the creation of routes with both pick-ups and deliveries. In other words, the space used in the truck can either increase or decrease, depending on the quantity of goods to be delivered and collected. Again, in the context of a second-hand goods company, the high variability of the collected goods renders the definition of an efficient logistic strategy a difficult task (Nagy & Salhi, 2005).

Second, because of the variability of both demand and supply, this project also involves the need to assess the impact of variability on the quality of the logistic strategy. Logistics and supply chain optimization can be supported by different methods (e.g., inventory theory, mathematical programming). These techniques are effective to optimize supply chain operations. However, they are either limited or complex to implement when dealing with various sources of uncertainty in complex systems. In this type of environment, simulation is appropriate and usually easier to implement. Simulation is used in order to identify tendencies and recurring behaviours, and analyze the performance of specific solutions in various environmental conditions. This ability to represent stochastic contexts supports making informed decisions even with highly variable attributes. Simulation consists in creating a simplified virtual model of the studied phenomenon. The model consists of a set of input and output variables, with more or less complex rules dictating the links between them (Gilbert & Troitzsch, 2005). Cartier and Forgues (2006) and (Othman & Mustaffa, 2012) discuss the benefits of simulation.

Agent-based simulation (ABS) is an emergent simulation technique (Macal & North, 2006) that aims at modeling the individual behaviours and interactions of the different entities of a system. Instead of modeling the interconnections between the aggregated components of a system in a

sequential manner, such as in discrete-event simulation, ABS focuses on the way the actors of a system react to their environment, influence each other and make decisions related to a constantly evolving context. Barbati *et al*., (2012) made a survey of the recent literature related to the applications of ABS in an optimization context. Among other applications, ABS can be effectively used in supply chain optimization, by reproducing the behaviour of its main actors. (Borshchev & Filippov, 2004; Scholl, 2001) describe the benefits of ABS. In the green logistic context, (Kraines & Wallace, 2008) explore its possible usage in industrial ecology. For example, Sauvageau and Frayret (2015) use ABS to study the performance of different supply and production policies in a waste paper procurement supply chain. Similarly, Bollinger *et al*., (2012) propose an ABS approach to study mobile phone recycling, which is similar to the context of this paper, which involves the collection and delivery of second-hand products, and uncertainties related to the quantity and quality of collected products. The next section presents our hybrid discrete event and agent-based model.

4.3 Simulation model

The first section presents a general overview of the model developed, while the second section details all components of the model and describes their interactions.

4.3.1 General overview

The general overview of the model includes many aspects of the reverse logistic problem on hand. The first sub-section describes the company's operating sites.

4.3.1.1 Supply chain sites

The studied logistic system is essentially composed of five types of sites. The first type of sites includes 21 donation centers. They are used exclusively to receive donations from people and are strategically located in richer areas to maximize the number and value of donations. There is generally only one working employee per site and his/her task simply consists of receiving and sorting donations. The sorting process is described below.

The second type of sites includes about 90 donation boxes. These boxes are usually located in areas with high pedestrian traffic, such as train stations or commercial centers. People can bring

bags of articles to be donated and deposit them in these boxes. The number and location of these boxes change constantly.

The third type of sites is comprised of 10 stores. They consist of multiple aisles stores where articles are displayed on tables. The target market of the organization is mainly people with lower income. Therefore, stores are strategically located in less privileged areas of the city. They also serve as donation centers. The organization has also libraries, which are located in specific donation centers, where people can buy second-hand books.

The fourth type of site is the distribution center, where all donations transit and where trucks start and end their routes. The process at the distribution center is described below. Finally, attached to the distribution center is a liquidation center.

4.3.1.2 Types of donations

Donations include any types of household objects in good condition, such as clothing, jewellery, furniture, dishes, books, shoes, televisions, tools, and sports equipment. This variety of items results in a large range of sizes that must be handled in different manners. Several types of bins are used to transport these products. The most common type of bins is about two cubic feet. It is used to transport everything from and to donation centers and stores. Color-coding is used to differentiate between types of goods. Clothes and other specific goods are transported in 50 cubic feet bins. 30% of goods are transported in large bins, while 70% are transported in small bins. Finally, articles from donation boxes are collected and aggregated in an octagonal corrugated carton box of 50 cubic feet called a Gaylord.

4.3.1.3 Product flows

In order to simplify vehicle routes, all donations, except those received directly in stores, transit through the distribution center. Similarly, all goods collected from any donation center are always shipped to the same store. At most, 3 donation centers are associated to each store. Goods collected with donation boxes can be shipped to any store.

In brief, donations are first sorted into hard goods or clothes, and placed in their associated bins. A truck then picks them up, after delivering empty bins to replace the ones that have just been filled. At the same time, another truck picks-up the goods received in donation boxes. All goods are transported to the distribution center, where they are sorted by store to which they will be

delivered. Afterwards, trucks deliver the donations to their designated stores, where they are received and stored. There, trucks also collect empty bins. Then, donations are segregated into two categories: saleable products and unsalable products. Unsalable products are products that are too damaged to be sold. On the other hand, saleable products are labeled and displayed. Unsalable products are placed back into bins and returned to the distribution center. There, they can either be exported or simply compacted and trashed.

When products in stores are not sold, they are shipped to another store. This process is called a rotation. After 2 or 3 rotations, if an article is still unsold, it is sent back to the liquidation center. If it remains unsold, it is either exported or trashed. Approximately 50% of donations cannot be sold, and about 30% will go through one or several rotations. The rest is sold at the store where they were initially delivered. Figure 4.1 and 4.2 illustrate respectively the process flows and the products and bind flows.

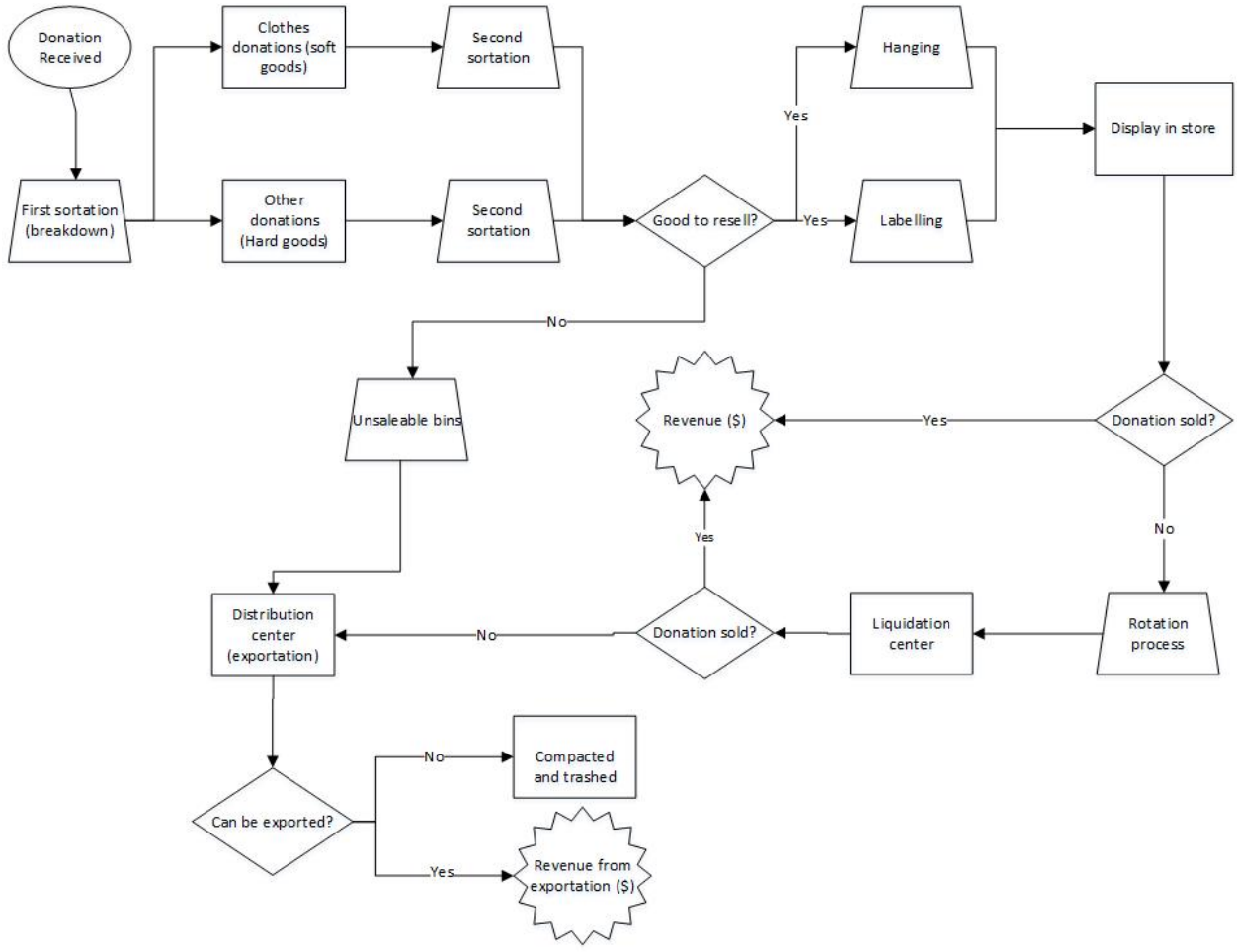


Figure 4.1: Process flows

Trucks leave the distribution center to resupply the stores fully loaded. Then, they usually come back loaded at 80% capacity with unsalable products and rotations. The remaining capacity includes trash and cartons. Consequently, trucks are always full, which leaves little opportunity for improvement with backhauling strategies.

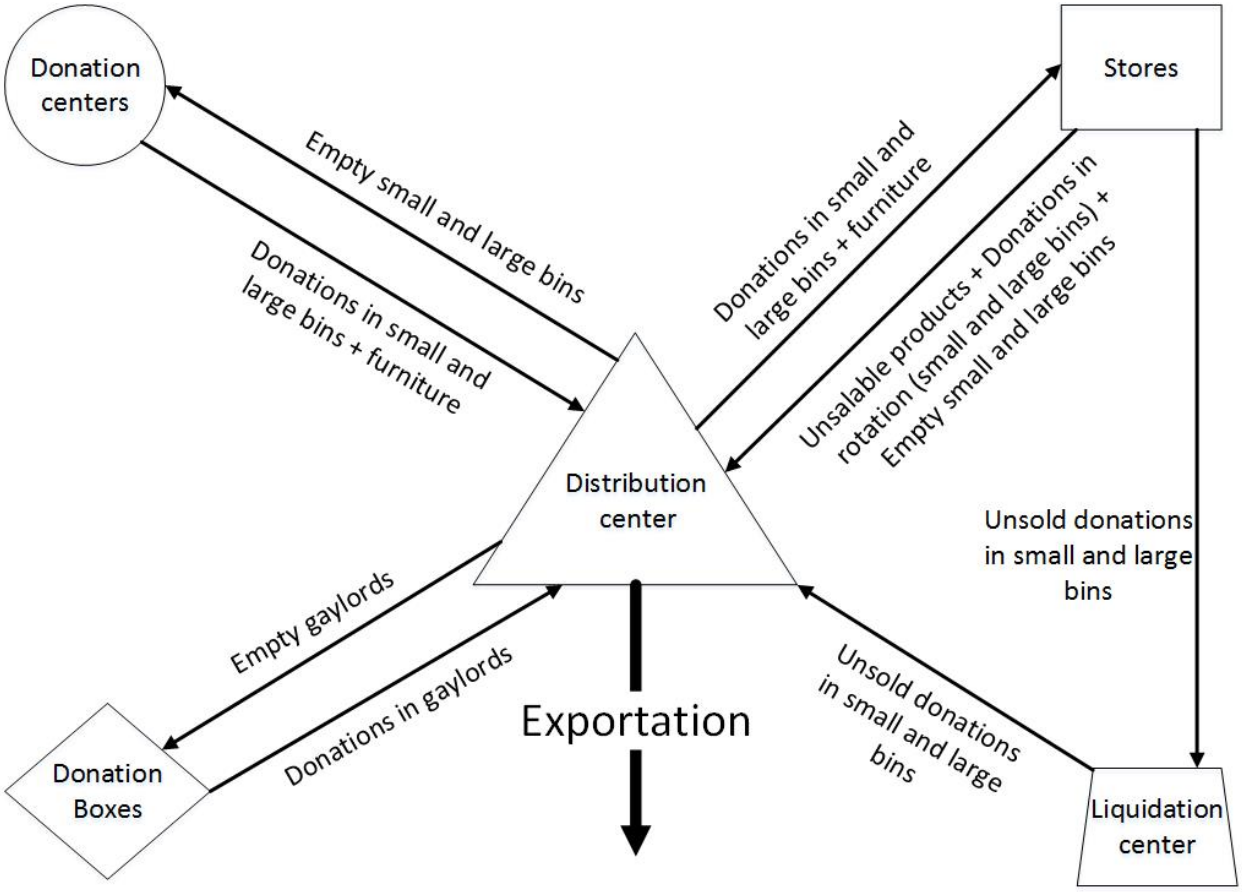


Figure 4.2: Products and bins flows

4.3.1.4 Seasonality

The volume of donations presents a strong seasonality. It varies a lot depending on the time of the year. As mentioned in the introduction, people donate according to external conditions such as weather, moving period, and statutory holidays. The monthly variation from the average number of donations is about 30%. Once donations volumes are forecasted, a target inventory level is planned for each store. In order to meet demand during low donation seasons, inventory must be accumulated at the distribution center. Because the market is not saturated, only donations volume forecast, actual inventory levels in the stores, and inventory level target in the distribution

center are used to resupply the stores. In the context of this project, actual data from the organization's ERP was used to define accurate donation and demand profiles.

4.3.1.5 Revenue generation

Based on the data provided by the organization, we observe that the higher the inventory level in stores, the higher the revenue. This relation is almost directly proportional. Figure 4.3 illustrates this situation by representing the monthly revenue as a function of the number of monthly donations deliveries. A 38% increase of deliveries from the lowest month, generate a similar increase in terms of revenue.

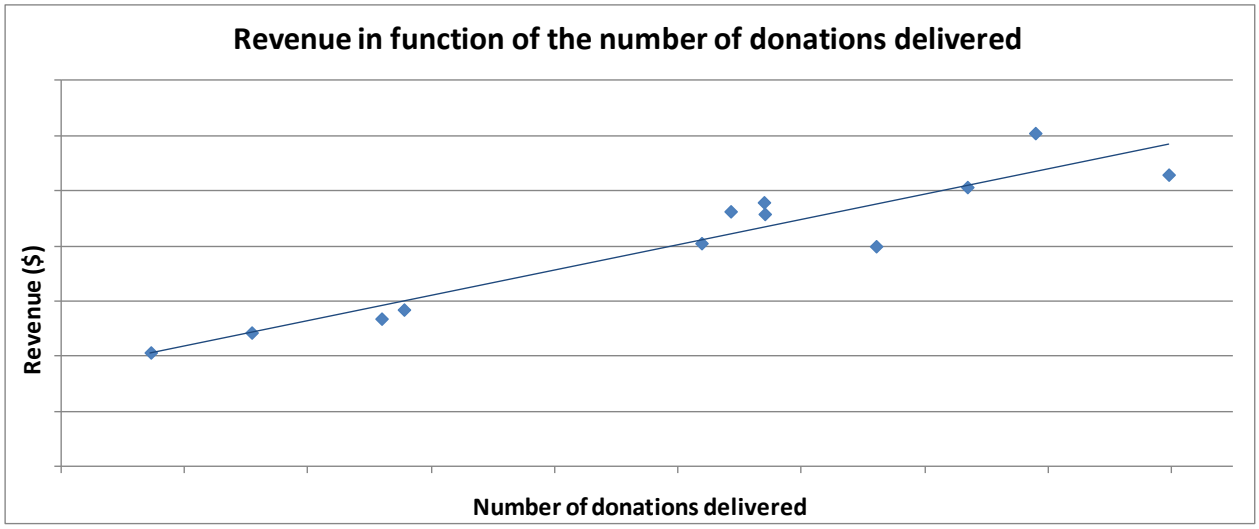


Figure 4.3: Revenue as a function of the number of donations delivered

4.3.1.6 Collection and delivery processes

First, donation boxes are managed separately. They are visited at a predetermined frequency that is set and constantly adjusted with historical data. Next, store deliveries are done in the morning, while donation centers are visited in the afternoon. In other words, a donation collected at a donation center in the afternoon transits through the distribution center in order to be delivered to its associated store the next morning.

Initially, the trucks capacity allowed multiple pickups or deliveries per route. However, the growth of the organization led to a limit of only one site per route in high season and up to two or three sites in low season. Routes with more than one pickup or delivery are usually composed of recently opened sites where the rate of donations is still low.

In the context of this project, a basic VRP algorithm was implemented in order to support the routing constraints of new logistic strategies. In order to maintain good working conditions for truck drivers, the objective function of this algorithm was to minimize the maximum travelling time between routes. In other words, the algorithm aims to avoid having a route with twice the travelling time of another one.

4.3.2 Model description

This section describes in detail all components of the model and how they were integrated.

4.3.2.1 Load unit

In order to simplify the modeling of the different types of bins transiting in the system, and because small bins are the most commonly used, the model considers that all bins are small. Thus, a full large bin was modeled as 15 small bins, while an empty large bin was modeled as 30 small bins. Empty bins are modeled as equivalent to half a full bin because they can be piled up. For the remaining of this paper, only small bins are considered.

4.3.2.2 Donation centers agents

Donation centers are represented in the model as agents. Each donation center is modeled as a unique agent where a certain quantity of donations is received each day. The quantity of donations received at each site was modeled using 2014 historical data and analyzed with Statistica (StatSoft). This data was cleaned and analyzed to determine the coefficient of seasonality of each month. Next, a normal probability distribution describing the volume of donations received was determined for each site. In other words, every simulated day, donation center agents compute a seasonally adjusted quantity of donated articles. Then, depending on the number of empty bins available at each donation center, the donation center agents compute the number of empty bins needed to maintain a target number of bins. The need for empty bins is proportional to the number of bins filled with donations. Each agent communicates its need to the distributer center agent.

4.3.2.3 Stores agents

The stores are also represented in the model as agents. Like the donation centers, stores can receive donations. In this matter, the same process to calculate the number of donations received

was used and modeled, along with the same seasonality coefficients. Concerning the target donations inventory level, the 2014 inventory targets data was used to set the simulation target of each store.

In order to achieve these target inventory levels, the donations received at the donation centers are delivered to their associated store. However, these deliveries, plus the donations received directly at stores, are not always enough to achieve the inventory target level. If this happens, the store agents define how many bins are required from the distribution center's stock to meet their target. They send this number to the distribution center agent.

When the donations are delivered at the stores, the sorting process for saleable and unsalable products starts. This process is modeled as a triangular distribution law that was determined in collaboration with the organization. A certain proportion of the bins received are emptied and placed on tables, while the remaining unsalable products are re-loaded into bins in order to be collected by a truck. The store agents send the distribution center agent the number of bins of unsalable products that must be collected.

Of the remaining articles in the stores, some are sold to customers. The proportion of the number of articles sold was also modeled as a triangular probability law. Once sold, these articles exit the model. Other articles, as described in the previous section, are not sold and have to be rotated to other stores. Thus, a certain number of articles that have not been sold is also modeled to be rotated using a triangular probability law. These articles are re-loaded into bins and the store agents send the distribution center agent the number of bins that must be collected for rotation. This process of receiving articles and converting into unsalable products, sold products and rotations also produces empty bins. Consequently, a certain number of empty bins must be collected. This number is also sent to the distribution center agent.

4.3.2.4 Distribution center agent

The distribution center agent has a central role in the model. It decides how much of needs of donations centers and stores will actually be fulfilled, depending on many parameters. These parameters include current inventory levels of full and empty bins as well as trucks' capacity. For example, a store asking for a certain quantity of bins to achieve its target might not receive the full quantity on the same day, because there are not enough bins currently in stock. In this situation, the distribution center agent decides to not deliver the same day, but later instead. The

distribution center agent also analyses every truck's route and prioritizes the delivery of full bins to stores before the delivery of empty bins to donations centers, in order to maximize revenue generation. Then, the trucks are loaded based on the available inventories. Every time a truck comes back from visiting a site and needs empty or full bins to complete its route, the available inventory at the distribution center is re-evaluated.

4.3.2.5 Trucks agents

The trucks are also modeled as agents. The organization uses two types of trucks: cube and semi-trailer trucks. For cube trucks, the fleet is composed of 3 trucks of 20' length, 3 trucks of 24' and 1 truck of 26' feet. There is also a 36' semi-trailer truck. These trucks are categorized in two different types, depending on their ability to access every site. Indeed, 5 of these trucks have a door on the side, while the remaining 3 have a back door. Some sites can only be accessed by trucks with a side door, because of the street and docks configuration. Also, other sites can only be accessed by small trucks. Of the 31 sites, 24 can be accessed by all trucks, 4 can only be accessed by trucks with a side-door, 2 by only 24' trucks with a side-door and 1 by all except the semi-trailer truck. In order to ensure a proper representation of this reality in the evaluation of the strategies scenarios, these accessibility constraints have been included in the route creation algorithm. Furthermore, each truck has a capacity, which is included in the model as a capacity expressed in equivalent full bins. Table 4.1 gives the capacities of all trucks.

Table 4.1: Capacity of trucks in the fleet

Size of truck	**Capacity**
CUBE - 20 feet	180
CUBE - 24 feet	270
CUBE – 26 feet	300
SEMI-TRAILER – 36 feet	400

Currently in the organization, collects and deliveries are planned with a fix set of truck routes that presents some slight variations in high and low season. Because of the trucks' capacity, these routes generally visit (i.e., for a pickup or delivery) only one site. In other words, each truck starts at the distribution center, visits one site and then comes back to the distribution center. However, during low season, some routes visit 2 or 3 sites because the quantity of donations received is lower than average.

Finally, before leaving a site, the trucks agents decide how many full and empty bins must be loaded from the distribution center, depending on the sites visited in the corresponding route. For routes with multiple sites, empty bins can be collected at the first site and delivered at the second, reducing the need to load them at the distribution center. Also, all loading decisions at sites are made based on the available capacity of the trucks.

4.3.2.6 Routes

In order to simplify routes complexity, the organization dedicates a truck to collect the donations boxes, based on their pre-determined frequency of collect. Thus, each day represents a different set of donations boxes to be collected. Because of the fact that the organization does not plan to change this process and because of the high quantity of donation boxes in the system (about 90), the routes dedicated to the donations boxes were not modeled as-is. Instead, the volumes of goods originating from donation boxes were modeled as a volume directly entering the distribution center each day, based on 2014 historical data.

Next, the routes for donation centers and stores are divided in two different categories: the morning routes and the afternoon routes. The morning routes aim to deliver donations to the stores, while the afternoon routes aim to pickup donations from the donations centers. This method ensures that new inventory is delivered every morning at the stores in order to ensure maximum inventory availability for their customers. On the opposite, the highest inventory level of donation centers occurs in the afternoon. This method ensures that the truck will collect the maximum number of goods that were donated during the day.

Each potential segment of route is characterized by its distance, which is implemented in the model as an origin-destination matrix calculated with Google Maps. Similarly, each segment is also characterized by a travel time. In order to add precision to the calculation of the travel times, 3 different travel time matrices were implemented to account for the urban logistic context of this logistics problem: day time travel with and without traffic, and night time travel. Therefore, during simulation, when a truck leaves a site, the appropriate travel time is used to travel to the next site. Table 4.2 describes which matrix is used for each period of the day.

Table 4.2: Travel times matrices used in the model

Time of the day	**Matrix used for travel times**
6 am – 9 am	Day in traffic
9 am – 4 pm	Day outside traffic
4 pm – 7pm	Day in traffic
7 pm – 6 am	Night

In order to simulate the current situation, the real routes were used while in the context of the simulation, new routes were calculated. A route creation algorithm was developed and used in order to find new optimal routes for every strategy tested and for the growth scenarios. The development of this algorithm is not in the scope of this paper. Based on the number of bins to be collected and delivered at every site and on the truck's capacity and accessibility constraints, the algorithm generates different sets of routes multiple times in the year, based on the parameters described above. It takes as an input the average number of bins to be collected and delivered for every site and every month and then calculates the best monthly set of routes as an output. It has the objective of creating the best set of routes in which every site is visited, while minimizing the maximum travelling time between routes. Thus, the routes are first generated offline and are then integrated in the simulation.

Trucks also have loading and unloading times integrated in the model. Because of the lack of data for this, trucks have fix loading and unloading times. These were estimated with the organization.

Furthermore, in order to estimate the CO_2 emission of each logistics strategies, we estimated the CO_2 emission levels of each potential segment and each type of drive cycle. To do so, we first estimated fuel consumption. Fuel consumption varies depending on the drive cycle (e.g., highway, urban with traffic). For instance, a drive cycle with a lot of stop-and-gos in high traffic context consumes more fuel than another with few stop-and-gos on a highway. As presented in Delorme et al., (2009), fuel consumption for various drive cycles is different than steady-state fuel consumption at a constant speed. Steady-state fuel consumption and drive cycle fuel consumption tend to be closer to each other with higher average speed (i.e. when there is less stop-and-gos). Therefore, fuel consumption has been modeled as a function of the drive cycle average speed. 4.4 shows the fuel consumption in diesel depending on the drive cycle average speed for the types of trucks used in the model. The 20' trucks are associated to class 2, 24' and

26' trucks to class 6 and the 36' trailer to class 8. Next, matrices of average speed per origin-destination segment were created based on the distance and travel time matrices. To estimate CO_2 emissions for each type of truck, each segment, and each drive cycle, matrices of fuel consumption were calculated, based on the closest speed point in Figure 4.4. With three matrices of travelling time and three types of trucks, we created nine different matrices of fuel consumed per segment. These fuel consumption matrices were then transformed in CO_2 emission quantity, with 1 liter of diesel = 2.7 kg.CO_2 (Natural Resources Canada, 2009). Therefore, in the simulation, each time a truck leaves a site, the total CO_2 emission is increased by the value corresponding to this segment in the appropriate table.

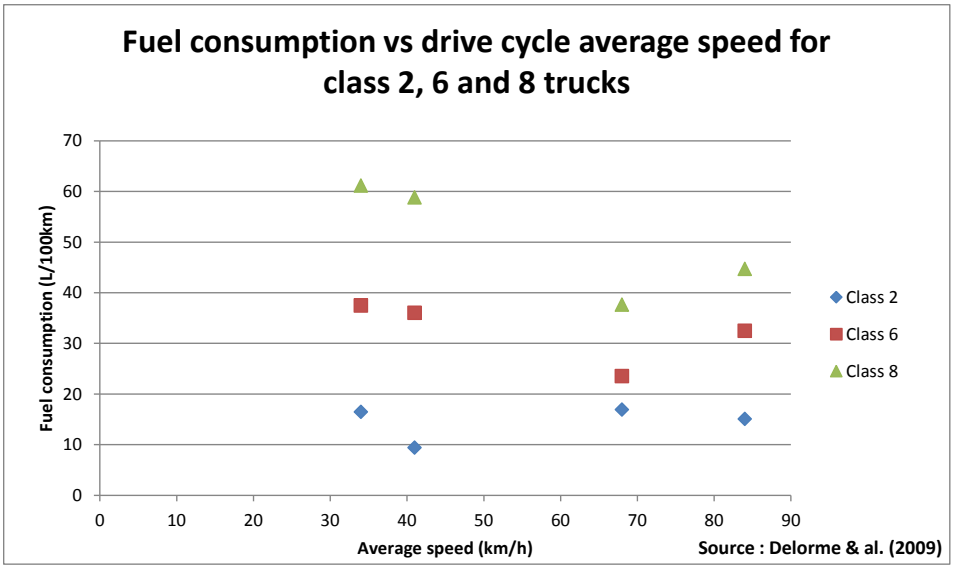


Figure 4.4: Fuel consumption vs. drive cycle average speed for class 2, 6 and 8 trucks (Delorme et al., 2009)

4.4 Methodology and experiments

This section describes the methodology used in order to carry out the different experiments. Section 5 describes the results of these experiments.

4.4.1 Model Implementation

Many agent-based simulation platforms are capable of implementing the model described above. The *Anylogic* simulation software was used because it is relatively easy to implement hybrid

agent-based and discrete event simulation model such as the one proposed. Furthermore, *Anylogic* can be used to implement specific functions based directly in JAVA.

4.4.2 Model setup and validation

The model was developed and setup with the support of the partner organization. Information and data were gathered through interviews, historical data, as well as public scientific reports (i.e., for CO_2 emissions) and Google Maps. In order to validate the model, different outputs of the model were compared to actual data. Validation experiments were carried out by doing ten replications of the base scenario (i.e., current logistics strategy with current input functions). Two types of output were observed: independent variables (i.e., statistical input functions) and dependent variables (i.e., resulting performance indicators). This allowed us to observe that independent parameters are well adjusted and modeled, and that the simulation model is well calibrated.

More specifically, the independent variables that were validated include the number of goods received at each site, the percentage of unsalable items and the percentage of sold items. Concerning the dependent variables, we validated the total revenues as well as the stores' inventory levels at the end of each day. First, the simulated total revenues was calculated based on the average value of a single good sold and was compared to historical sales reports for 2014. These validation experiments confirmed that the model simulates accurately not only the flow of products entering and exiting the system, but most importantly the process of revenue creation as a function of the number of goods received per site and available at stores. Next, the stores' inventory level was also validated with the total number of bins remaining at the stores each day. Because the organization does not hold any data on on-hand inventory, it was only qualitatively compared with the support of the partner organization. This validation served as another confirmation that the model simulates accurately customer demand as a function of the available stock in stores, as well as the flow of rotations and unsalable articles. The results of these validation experiments are presented in section 5.1.

4.4.3 Experimental design and methodology

In collaboration with the partner organization, we assessed the operational performance of the current logistics strategy and defined potential strategies. All strategies were evaluated with

respect to 3 different growth scenarios, including the base scenario (current data), 10% growth and 20% growth. Table 4.3 describes all experiments made and the growth scenarios tested.

Table 4.3: Design of experiments

	Logistics strategy tested	**Growth scenario**
#1	Current logistics strategy	Base, 10% growth, 20% growth
#2	Partial delivery and pickups during night shift	Base, 10% growth, 20% growth
#3	Use of 2 36' trucks in the afternoon	Base, 10% growth, 20% growth
#4	Pickup and directly delivery to stores	Base, 10% growth, 20% growth

In Table 4.3, the experiment of the current logistic strategy in the base scenario was used for model validation. In other words, it represents the current situation (i.e. with the current input of goods received and the current demand from stores). The organization currently observes about 8% annual growth. Therefore, the 10% growth scenario represents the actual growth, while the base scenario is a pessimist scenario and 20% growth is an optimistic scenario. Concerning growth scenarios in the organization, growth is mostly (i.e., 70%) achieved by adding new sites, while 30% of the growth comes evenly from the current sites. In order to be coherent with this, the 10% and 20% growth scenarios involve the addition of 3 new donations centers, and 1 new store, strategically located to develop new markets. Also, in order to be coherent with the current fleet management policy, the creation of these new sites necessitates the use of an additional truck. Therefore, both growth scenarios were designed with the support of the organization. In the 10% growth scenario, the same routes are used, with the addition of the new donation centers being visited by a 20' truck (class 2) and the new store by the semi-trailer (class 8). Concerning the 20% growth scenario, the new donation centers are visited by a 26' truck (class 6) instead. Table 4.4 summarizes the changes in the model implied by each growth scenario.

Table 4.4: Changes implied by each growth scenario

Description	Growth scenario		
	Actual	**10% growth**	**20% growth**
Number of sites	31	35 (1 add. store + 3 donations centers)	35 (1 add. store + 3 donations centers)
Number of goods donated per day	X	X2 = X + 10%, with 30% from current sites and 70% from new sites	X3 = X2 + 10%, with 30% from current sites and 70% from new sites
Number of trucks used	3	4	4
Types of trucks used	Class 2 : 1 Class 6 : 1 Class 8 : 1	Class 2 : 1 Class 6 : 2 Class 8 : 1	Class 2 : 0 Class 6 : 3 Class 8 : 1
Target inventory at each store	I_s	$I_s2 = I_s + 10\%^*$ *with 30% to current stores and 70% at new store	$I_s3 = I_s2 + 10\%^*$ *equally applied among all 11 stores
Daily inventory target at distribution center	I_{dc}	$I_{dc}\ 2 = I_{dc} + 10\%$	$I_{dc}\ 3 = I_{dc}\ 2 + 10\%$

The testing of the current logistics strategy with the 3 growth scenarios serves as a base case scenario to which the other scenarios are compared. These tests aim at assessing the logistics performance of the current strategy and at creating status quo data (i.e., if the strategy does not change) to assess the performance of the new strategies.

Because the urban context has a strong influence on travel times, the second experiment aims at evaluating the potential benefits of partially collecting and delivering the sites during the night. The current municipal laws do not allow trucks to circulate at night in certain areas, which prevent visiting some sites at night. Therefore, this experiment includes night routes only for the sites that can be visited and other routes for the remaining sites during the day. Sites are visited by the same trucks as during the day.

The next experiment aims at assessing a strategy with a different fleet of trucks. Currently, the 36’ trailer is only used in morning routes for deliveries. However, the growth of the organization requires using bigger trucks to collect and deliver each site with only one visit per day. Thus, this

experiment evaluates the benefits of using 2 36' trucks in the afternoon instead of the smaller trucks. With this strategy, new routes are calculated and added in the model for the afternoon.

The final and fourth experiment concerns a strategy defined in order to assess the impact of including both pickups and delivery in the routes. In the current strategy, all goods transit through the distribution center and are thus handled (i.e., loaded and unloaded) many times. Thus, this strategy aims to evaluate the impacts of collecting donations and delivering them directly to stores, using the current fleet of trucks. However, the goods collected from the donation boxes and stored at the distribution center still require to be shipped from the distribution center. New routes were also developed specifically for this experiment.

All experiments were replicated 10 times with a horizon of 365 days. There are four different strategies tested with 3 growth scenarios, for a total of 120 simulation runs. Also, because historical data is used to initiate the simulation, warm-up period is negligible.

4.4.4 Key performance indicators

Finally, in order to assess the performance of the current logistic strategy and evaluate the impact of the experiments on the organization's performance, several key performance indicators (i.e. KPI) were developed in collaboration with the industrial partner. The KPIs used are the total annual distance, the total time for collection and delivery per day and the total emissions of CO_2. More details of these KPIs can be found in Appendix A.

4.5 Results and analysis

This section first presents the validation results of the model. Next, the results of all experiments are presented and analyzed.

4.5.1 Model validation

We validated 2 different elements of the model: the generated statistical input parameters, and the general behaviours of the model. Because it is the most important parameters from which the entire simulation depends on, the number of donations received was compared to the 2014 historical data used to create the statistical distributions. An average monthly difference of 2.3% with real data was observed in low season and of -0.8% in high season, which is acceptable.

Next, in order to validate the general behaviour of the model, two elements were validated. First, the revenue function was compared to historical sales reports for 2014 (see Figure 4.5). This analysis confirms that the modeled revenue creation process (i.e., revenue as a function of the number of goods received per site) of the simulation model is accurate. Furthermore, revenues per month had an average difference of 1.7% with historical data, which is, again, acceptable.

The second general element validated is the remaining inventory level at the end of each day in stores. Thus, the number of goods remaining in stock at the end of a business day in stores was analyzed as a percentage of the total goods received during that day. An average of 32% of the goods received remains in stock at the end of each day. The partner organization validated qualitatively this element, which was evaluated at 30% of the total goods received. This overall validation allowed us to pursue the remaining experiments.

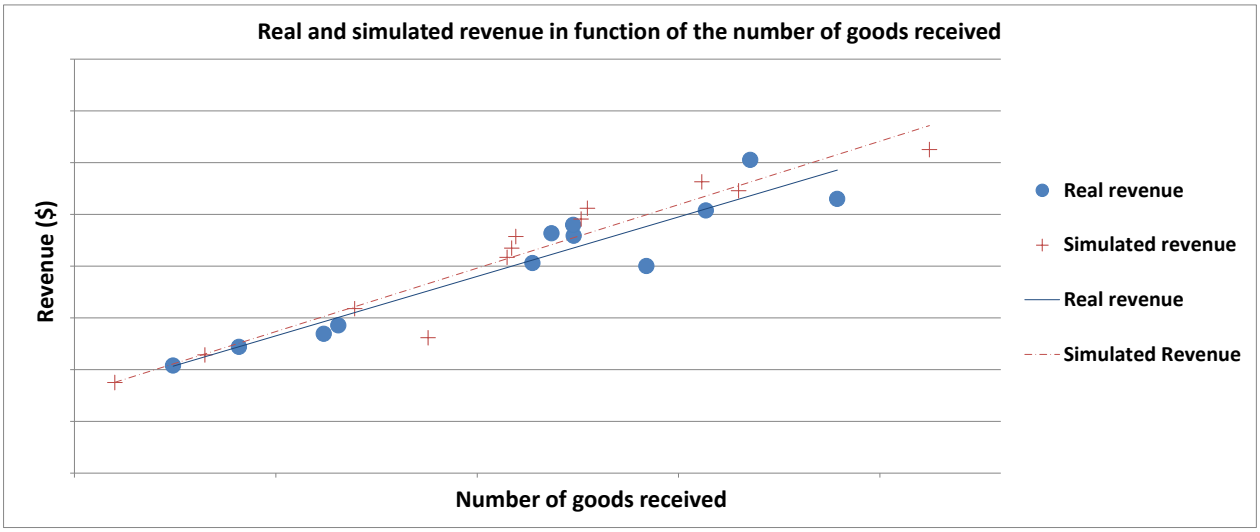


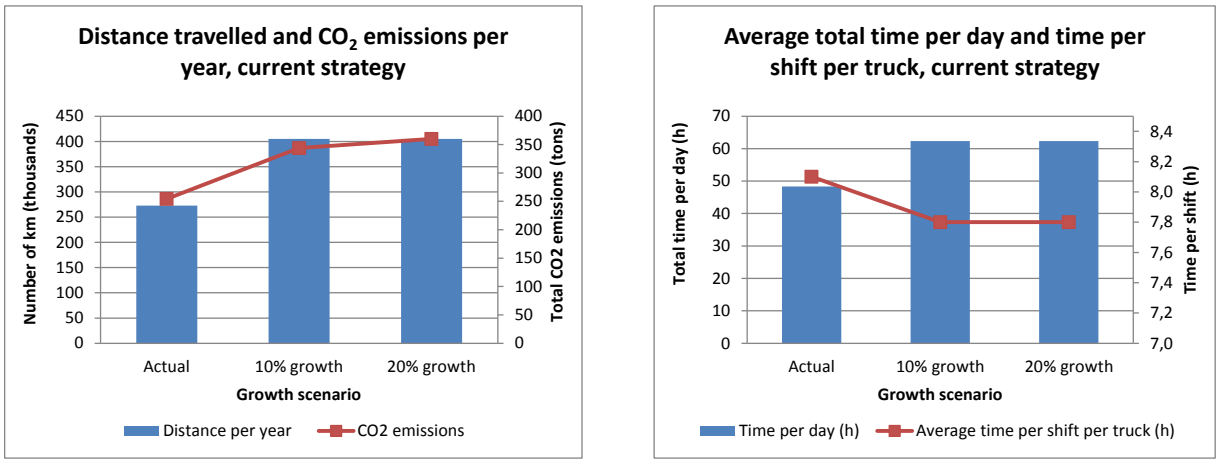
Figure 4.5: Real and simulated revenue in function of the number of goods received

4.5.2 Experimental results and analysis

The results for every strategy are shown in this section and analyzed with respect with the KPIs defined previously.

4.5.2.1 Current strategy

The current strategy experiments serve as a base case to which the other strategies are compared. Figure 4.6 presents the results for the current logistics performance.



(a) (b)

Figure 4.6: (a) Distance travelled and CO_2 emissions, current strategy, (b) total time per day and per shift, current strategy

As shown in Figure 4.6a, the total travelled distance per year is about 270.000 km, for an average of 23.9 km per site, and increases to 400.000 km for an average of 31.3 km per site with the new sites in 10% and 20% growth. This increase is due to the fact that the new sites are farther than the current sites. Also, this 48% increase of distance travelled only result in a 35% increase in CO_2 emissions. This is because there are more sites visited by smaller trucks (class 2), which have a lower fuel consumption. In the 20% growth scenario, in which the small truck capacity is not sufficient to haul the total demand, a bigger truck (class 6) is used instead. This causes a 4.7% increase in the CO_2 emissions for the same travelled distance.

Next, as shown in Figure 4.6b, the current strategy has an average of 48h of total travel time in current conditions, which increases by 29% for both the 10% and 20% growth, up to 62h. In other words, the travel time per visited site increases from an average of 1.5h per site to 1.8h. Again, this is due to the longer average site distance. However, the average time per shift per truck decreases by 4%, from 8.1h to 7.8h. Therefore, the additional truck for the 10% and 20% growth scenarios, which include four new sites, leads to a little less travel time for all routes.

Table 4.5: Average truck utilization and latest stores delivery time in current strategy

Description	Growth scenario		
	Current	**10% growth**	**20% growth**
Average truck utilization	73.8%	77.1%	79.5%
End of store deliveries	11h30	12h15	12h15

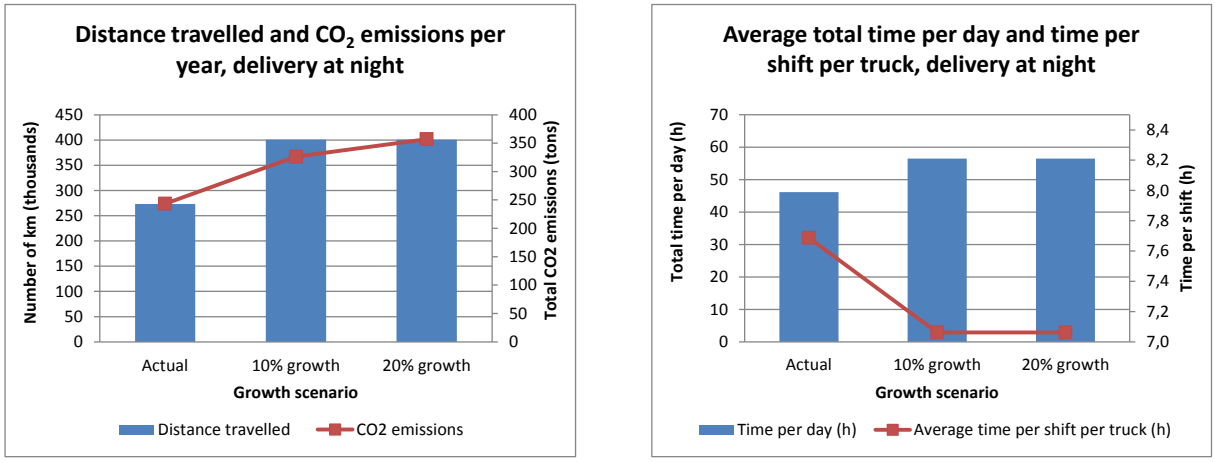
Table 4.5 shows that the current average truck utilization is about 74%. Furthermore, some items are not considered in the experiments, such as trash and cartons. As a result, if we only consider only the bins, there is in practice a higher truck utilization, which leaves little room to absorb growth with the current fleet. Also, these results are based on a perfect usage of the trucks' capacity, while it might not necessarily be the case in reality. Indeed, some bins can be overfilled, which affects the ability to pile them up and reduces the available truck capacity. Also, the second type of bins (i.e., the bigger bins) was modeled as an equivalent number of small bins when in reality, the large bins might not always be filled up at 100%, which also results in lost space.

Similarly, the average truck utilization increases by 3.3% in the 10% growth scenario and by 2.4% in the 20% growth scenario. Because 30% of the 10% growth comes from current sites, we can expect a 3% increase in truck utilization for the same routes. The difference can be explained by the fact that truck utilization for the new routes (i.e., to the new sites) is higher in the 10% growth scenario than in 20% growth, for which a bigger truck is used.

Finally, in the current strategy, in which the stores are delivered in the morning, the latest time of stores delivery is at 11h30 and increases to 12h15 with an additional store, based on a shift start time of 6h. This result is to be seen as the total time required from the shift start to the delivery of the last store and does not consider attributes related to the store itself, such as docks or manpower availability. Table 4.5 shows that the maximum inventory level at the last store delivered in the 10% and 20% growth scenarios will occur approximately 45 minutes later than in the current conditions.

4.5.2.2 Delivery and Collect at night

In this strategy, most sites are visited during the night, and others are not due to municipal restrictions. These sites are visited in the morning instead. Figure 4.7 summarizes the results.



(a) (b)

Figure 4.7: (a) Distance travelled and CO_2 emissions, delivery at night, (b) total time per day and per shift, delivery at night.

Here, the distance travelled is the same as in the current strategy. However, the total CO_2 emissions are lower than in current strategy because the drive cycles contain less stop-and-gos. In the current conditions, CO_2 emissions are 4% lower in the delivery at night strategy than in the current strategy. Concerning the 10% growth scenario, the 48% increase in distance travelled result in a 34% increase of CO_2 emissions, which is about the same increase as in current strategy. Concerning the 20% growth scenario, CO_2 emissions are higher (i.e., 9.4% more than 10% growth scenario) because of the use of a class 6 truck for the new sites (higher fuel consumption). This causes emissions to be almost equal in both strategies at 20% growth.

Concerning the total travel time per day, the scenario with the current conditions has a total travelled time of 46.1h, which is 5% smaller than the current strategy. Both the 10% and 20% growth scenarios result in a total travelled time of 56.5h, which is 9.4% smaller than the current strategy. Thus, the opportunity of improvement of this strategy increases with the number of sites and the distance travelled. The average time per shift also follows the same rule, with a decrease of 4% with the current conditions, and a decrease of 10% with both growth scenarios.

Table 4.6: Average truck utilization and latest stores delivery time, delivery at night

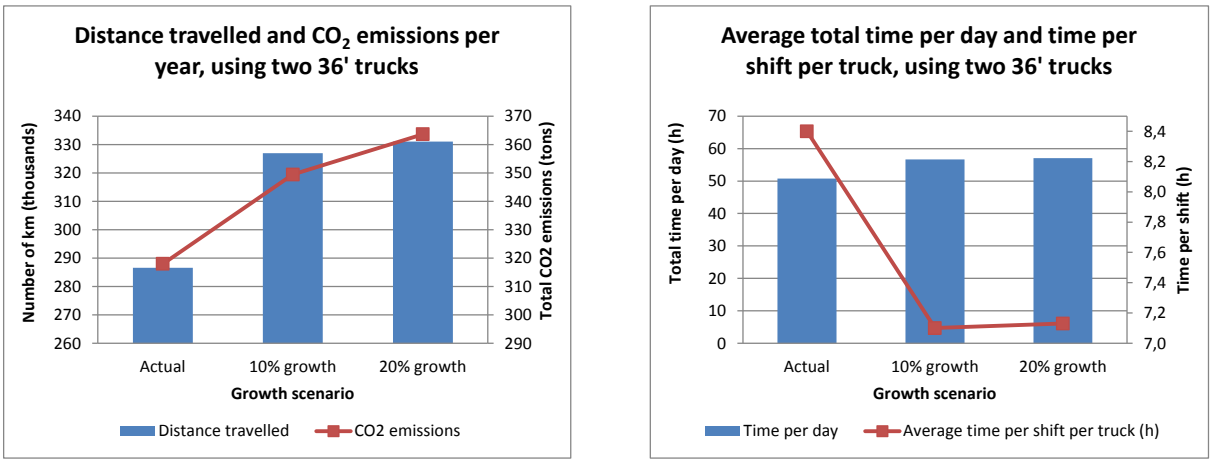
Description	Growth scenario		
	Current	**10% growth**	**20% growth**
Average truck utilization	70.2%	74.2%	76.9%
End of store deliveries			
Stores accessible at night (start at 20h)	0h15	1h	1h
All other stores (start at 6h30)	8h	8h	8h

Table 4.6 shows that the average truck utilization during the night is also around 75% for night deliveries. However, it is slightly lower than the current strategy because routes were modified to meet municipal regulations. The latest delivery time for the sites that can be visited during the night shift varies between 0h15 and 1h, while the other stores are delivered before 8h (truck restriction ends at 7h). Here, although some stores cannot be delivered during the night, all stores can still be visited early in the morning and before the opening.

In brief, the delivery at night strategy improves travel time by 5% to 10%. However, this strategy involves modifying and creating new schedules for direct labour and supervision, as well as adding a night premium for employees. Furthermore, the night access to the sites must also be take care of by either entrusting the truck drivers with the keys, or by adding a night shift at the sites, which has other consequences.

4.5.2.3 Use of 2 36’ trucks in the afternoon

This strategy enables combining several donations centers in the same routes. It implies using the 36’ truck currently used in the morning routes for stores, plus buying or leasing another one. Figure 4.8 shows the results for this strategy.



(a) (b)

Figure 4.8: (a) Distance travelled and CO_2 emissions, using two 36' trucks, (b) Average total time per day and per shift, using two 36' trucks.

As opposed to the first two strategies, the distance travelled increases slightly for both growth scenarios (respectively 14% and 15.5%), because the higher demand at each site lowers the capacity to optimize routes (i.e., trucks are fully loaded more quickly). This shows that having more sites (25% more sites in afternoon routes) results in better routes optimization. Compared to the base case, the distance travelled in the current conditions scenario is 5% higher in this strategy. This can be explained by the fact that routes are computed in order to minimize the maximum travelling time. However, with more sites to visit, the distance travelled is lower than in the current strategy with respectively 19% and 18% for the 10% and the 20% growth scenarios.

Using 2 36' trucks in the afternoon routes instead of none also has a significant impact on CO_2 emissions (i.e., higher fuel consumption). In the current condition scenario, emissions are 25% higher than in the base case. Each travelled km releases in average 1.1 kg, as opposed to 0.9 kg in the base case. Adding more sites also has a significant impact on CO_2 emissions. The increased distance travelled in both growth scenarios increases CO_2 emissions to the same level than the base case, even if the distance travelled is 19% lower.

Next, the total time per day is 50h in the current condition scenario. It is 5% higher than in the base case not only because the distance travelled is 5% higher, but also because this distance is partially made in traffic conditions. However, the total time per day in both growth scenarios

only increases by 12%. In these scenarios, the total time is 9% less than in the base case. Similarly, the time per shift is also higher in the current condition scenario, but drops to 7.1h per shift in average in both growth scenarios, which is a bit lower than a regular day shift.

Finally, Table 4.7 shows that the average truck utilization is about the same than in the base case. Similarly, the latest delivery time to the stores is also the same.

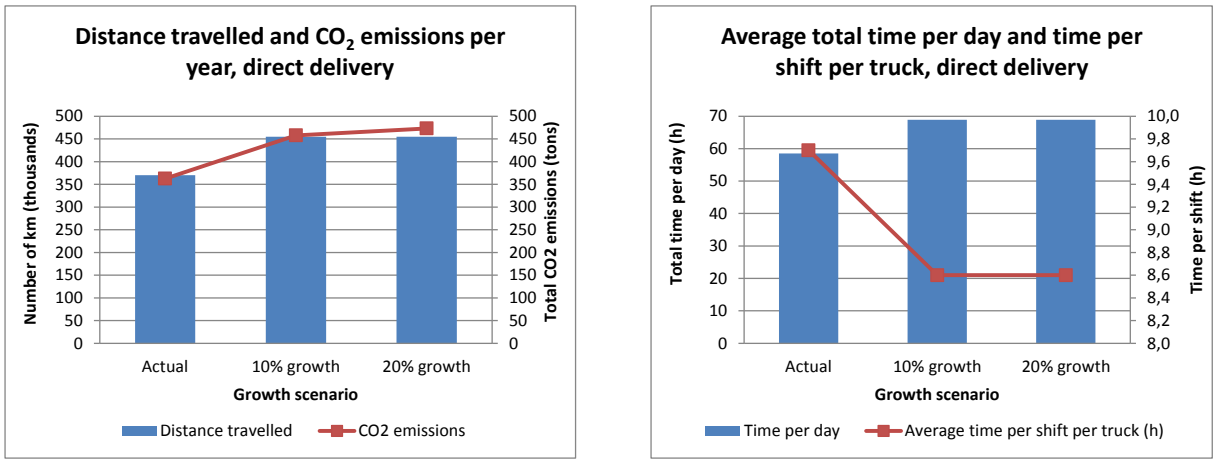
Table 4.7: Average utilization usage and latest stores delivery time, using two 36' trucks

Description	**Growth scenario**		
	Current	**10% growth**	**20% growth**
Average truck utilization	73.6%	76.2%	79.3%
End of store deliveries	11h30	12h15	12h15

These results show that this strategy is interesting for both growth scenarios in terms of distance travelled and time per day. However, CO_2 emissions are negatively impacted due to higher consumption trucks.

4.5.2.4 Direct delivery

This final strategy aims at testing the direct collect and delivery of bins from donations centers to their associated stores. In this direct delivery strategy, the small proportion of goods collected in donation boxes still go through the distribution center through a separate route. In order to take into account the fact that the stores are visited more than once (3 times in average), but with less bins to unload/load each time, loading time has been diminished by half. This considers a fix time that cannot be removed. Figure 4.9 shows the results for this strategy.



(a) (b)

Figure 4.9: (a) Distance travelled and CO_2 emissions, direct delivery, (b) Average total time per day and per shift, direct delivery.

The distance travelled is at 370.000 km for current condition scenario and increases to 455.000 km for both growth scenarios (23%). This strategy in both growth scenarios incurs a smaller increase than with the base case because a new efficient route includes the 2 new donation centers and the new store. With this strategy, the distance travelled is much higher (35%) than with the base case, but only 12% higher in the growth scenarios. This can be explained by the fact that, with the current donations centers-stores associations, the current stores are not located near the return journey of the donations centers to the distribution center. Therefore, the detour incurred by a direct delivery increases significantly the distance. In order to optimize this strategy, new associations should be defined in order to optimize the routes.

Concerning CO_2 emissions, the increase in distance travelled increases by 26% and 30% respectively in the 2 growth scenarios (respectively +42%, +33% and +31% with the base case). This difference can be partly explained by the creation of a new route to deliver goods collected at donation boxes, made by a bigger (Class 8) truck.

As Figure 4.9b also shows, this increase in distance travelled, also increases travel time per day (58h for the current condition scenario, and 69h for both growth scenarios). Concerning working conditions, this is also well above a normal working day (between 9.6h and 8.6h). Therefore, this strategy requires either an additional truck driver or an increase of the drivers' shift.

In summary, the direct delivery strategy results in much higher distances and time required for current condition scenario. However, the difference shrinks in the growth scenarios specifically because of the geographical locations of the new sites. Yet, we can also conclude that different donation centers-stores associations could potentially bring better results. However, CO_2 emissions are still much higher. On the other hand, although the distance travelled is higher than in base case, the direct delivery strategy does not require as much inventory space. It also reduces direct handling costs.

Table 4.8: Average truck utilization and latest stores delivery time, direct delivery

Description	**Growth scenario**		
	Current	**10% growth**	**20% growth**
Average truck utilization	66.1%	69.3%	72.1%

Finally, Table 4.8 shows that the average trucks utilization is less efficient than in all other strategies. Concerning the latest store delivery time, it is not relevant because stores are the last sites visited in this strategy. Direct delivery also has an impact on product availability in stores; inventory levels are more likely to be smooth because of more frequent deliveries (with fewer goods) than with the base case (where the highest inventory level is in the morning).

4.6 Discussion and conclusion

This paper proposes an hybrid agent-based simulation approach to assess the current logistics performance of a non-profit organization and study the impact of new strategies. Several growth scenarios were studied. The complexity incurred by the simultaneous pick-up and deliveries context and the inherent variability of donations justifies a simulation approach. A model was developed to simulate all processes and behaviours as accurately as possible.

The strategies studied involved either a change in the moment of deliveries or collects, a change in the fleet management or, on a higher level, a change in the way the sites are visited. The KPIs used for comparison were the distance travelled, the travel time per day and the CO_2 emissions.

The main conclusion is that the current strategy is the best one in the current conditions. However, the other strategies show good potential benefits in both growth scenarios. With the

historical 10% growth, these strategies can reduce up to 30% of the distance travelled and up to 22% of the travel time. However, they also incur higher CO_2 emissions than the current strategy. The best short-term strategy is to start using 2 36' trucks in order to visit not only the stores, but also the donations centers. The route optimization of this strategy incurs significant potential benefits.

However, the results of these experiments only represent a portion of the possible options of this reverse logistics network. For example, the observed improvements only come from small variations of travelling time and sites visit frequency. Further analysis could explore optimization techniques to improve loading and unloading time. Also, our model does not integrate total costs, which forces us to discard the direct delivery strategy because savings in inventory space requirement are not included. Further research could also include the development of a route optimization algorithm that can find optimal routes based on the time of the day the sites are visited.

On a different token, this study also demonstrates that it is possible to use databases on CO_2 emissions to simulate environmental impacts of different scenarios, based on different truck types and drive cycles. Also, using a more extensive set of data on fuel consumptions, or even using a drive cycle simulator embedded within the agent-based simulation, would strongly improve the accuracy of the simulation of CO_2 emissions.

Overall, the model achieves the initial objectives. However it also presents some limitations that were not considered. For instance, in Canada, travelling times can vary substantially depending on the season, where average speeds in winter are much slower than in summer. Also, donations boxes were aggregated as a simple input of donations directly to the distribution center. They were not integrated into the routes calculations. This was justified partly because of their high number, but mainly because no strategies considered any changes in their management.

Finally, this paper shows that agent-based simulation can be an effective way to study and identify the best logistics strategies for an organization, and the trade-offs between the different performance indicators.

4.7 Acknowledgment

This project was supported by the NSERC Discovery Grant Program and developed with the contribution of our industrial partner. The authors would like to thank the industrial partner for the precious support and information provided, as well as Lucas Garin for his contribution with the route creation algorithm.

Appendix A: Key performance indicators definition

The three KPIs used in the model are defined in this section. The first KPI is the total distance made by trucks in the year and is defined in Equation (1). This KPI is calculated for the entire year.

$$Total\ distance = \sum_{i \in S} \sum_{j \in S} \sum_{c \in C} Distance_{i,j} * R_{c,i,j} \quad (1)$$

with

C is the set of trucks used in this strategy and growth scenario;

S is the set of sites contained in this strategy and growth scenario;

$Distance_{i,j}$ is the distance between the site i and the site j;

$$R_{c,i,j} = \begin{cases} 0 & \text{if the truck c did not take the route between sites i and j;} \\ 1 & \text{if the truck c took the route between sites i and j;} \end{cases}$$

The next KPI is the total time per day for delivery and collection, as defined in Equation (2). This KPI is calculated each day.

$$Total\ time\ per\ day = \sum_{t \in T} \sum_{i \in S} \sum_{j \in S} \sum_{c \in C} (Time_{i,j,t} + Load_i) * R_{c,i,j,t} \quad (2)$$

with

T is the set containing the three periods in the model (traffic, without traffic and night);

$Time_{i,j,t}$ is the travelling time between sites i and j during the period t;

$Load_i$ is the loading/unloading time at site I;

$$R_{c,i,j,t} = \begin{cases} 0 & \text{if the truck c did not take the route between sites i and j during the period t;} \\ 1 & \text{if the truck c took the route between sites i and j during the period t;} \end{cases}$$

The third KPI is the total CO2 emissions made in the year. It is defined by Equation (3).

$$Total\ CO_2 = \sum_{i \in S} \sum_{j \in S} \sum_{c \in C} CO2_{c,i,j,t} * R_{c,i,j,t} \quad (3)$$

with

C is the set of trucks used in this strategy and growth scenario;

S is the set of sites contained in this strategy and growth scenario;

$CO2_{c,i,j,t}$ is the CO_2 emissions made by truck c between the site i and the site j during period t;

$$R_{c,i,j,t} = \begin{cases} 0 & \text{if the truck c did not take the route between sites i and j during the period t;} \\ 1 & \text{if the truck c took the route between sites i and j during the period t;} \end{cases}$$

CHAPITRE 5 DISCUSSION GÉNÉRALE

Ce mémoire propose une simulation à base d'agents afin d'effectuer un diagnostic logistique des opérations actuelles de Renaissance, d'étudier des stratégies logistiques potentielles pouvant soutenir la croissance le plus efficacement possible et enfin fournir des recommandations.

5.1 Discussion sur la méthode

La méthode de simulation à base d'agents a permis de reproduire de manière efficace un système logistique d'entreprise présentant un niveau de complexité intéressant, tels que l'optimisation en contexte urbain et la nécessité de collecte et de livraison pour tous les sites. Cette technique s'est avérée très utile dans un contexte où les différentes interactions entre les entités, avec la complexité qu'ils comportent, sont critiques au bon fonctionnement du système. Une étape de validation du modèle a permis de s'assurer que le modèle représente les comportements majeurs des différentes entités logistiques de l'entreprise. Une validation fonctionnelle a été effectuée afin de confirmer que le comportement de chaque agent est conforme à la réalité, en plus d'avoir ensuite effectué des tests d'intégration, qui ont permis de confirmer que le système en entier réagit bien.

L'utilisation de matrices de temps de déplacement selon des périodes différentes dans la journée, soit dans le trafic, hors trafic et durant la nuit, a permis d'ajouter un élément de complexité significatif ajoutant du réalisme aux résultats. Cet ajout a ensuite permis d'intégrer des matrices de consommation de CO_2 tenant compte des cycles de conduite, selon le moment de la journée. En combinaison avec ceci, l'utilisation de trois types de classes de camion dans les expériences nous a aidé à mieux comprendre l'impact environnemental relié à des modifications de la gestion de la flotte (changements de capacités) et aux moments de collectes et livraisons (changement dans les vitesses moyennes et cycles de conduite). Ce mémoire a donc démontré qu'il est possible d'utiliser des données d'émissions de CO_2 disponibles dans la communauté scientifique afin de simuler les variations d'émissions de CO_2 dans un réseau logistique. Avec une base de données plus grande sur la relation de la consommation d'essence en fonction de la vitesse moyenne du cycle de conduite et des types de camions, voire l'utilisation d'un simulateur de cycle de conduite intégré au modèle à base d'agents, il serait possible d'effectuer des simulations encore plus précises sur les variations d'émissions de CO_2.

Dans un autre ordre d'idées, les changements importants qui sont souvent entraînés par la modification d'une stratégie logistique d'une entreprise justifiait aussi la pertinence d'utiliser la simulation afin de tester les impacts réels.

5.2 Discussion pratique

Les séries d'expériences réalisées dans ce mémoire ont été développées dans le but de tester l'impact logistique de différentes stratégies logistiques selon trois scénarios de croissance différents. Le scénario de croissance actuel a été effectué afin d'effectuer dans un premier temps un diagnostic des opérations actuelles, mais aussi de juger quel aurait été l'impact des stratégies proposées dans le contexte actuel. Les scénarios de croissance de 10% et 20%, quant à elles, impliquent un changement dans le réseau en ajoutant des nouveaux sites. Ils ont donc permis d'évaluer et d'identifier les meilleures stratégies à implanter dans un avenir rapproché. Plus précisément, les stratégies testées concernaient un changement dans le moment de collecte et livraison des sites (durant la nuit), un changement dans la gestion de la capacité de flotte (deux camions plus gros (36') pour les routes de l'après-midi) et, enfin, un changement radical dans la méthode de collecte et livraison des sites (livraison directe des centres de dons aux magasins).

Également, à titre de référence, nous avons procédé à l'évaluation de l'impact des contraintes logistiques actuelles, avec une stratégie d'utilisation de seulement des gros camions, ayant accès à tous les sites. Cette stratégie a été développée afin d'évaluer le potentiel maximal d'optimisation du réseau, en plus de servir comme borne de référence pour les indicateurs de performance. Les principales conclusions de cette expérience sont que les contraintes d'accessibilité aux sites et de capacités actuelles des camions utilisés ont une grande influence sur la performance du réseau, de l'ordre de 10% à 25%. En effet, sans les contraintes d'accessibilité et de capacité actuelles, la distance totale parcourue dans les conditions actuelles et dans les 2 scénarios de croissance pourrait être réduite de respectivement 9%, 27% et 24%, en optimisant les routes. Quant à lui, le temps total par jour pourrait aussi être réduit de respectivement 9%, 22% et 19%. Nous observons également ici que l'ajout de sites dans le réseau permet une meilleure capacité d'optimisation. D'un autre côté, malgré une plus petite distance totale parcourue, les émissions de CO_2 sont bien supérieures à celles aux conditions actuelles (31%, 12% et 11%), étant donné l'utilisation de plus gros camions. En bref, les contraintes d'accessibilité et de capacité des camions actuelles affectent beaucoup la performance logistique

actuelle, mais la complexité apportée par la modification complète de la flotte actuelle et le déménagement des sites font en sorte que cette stratégie peut cadrer beaucoup plus dans des considérations à long terme. Il serait donc intéressant de considérer un déménagement des sites non-accessibles par tous les camions dans les mêmes quartiers, mais dans un édifice différent.

La figure 5.1 illustre l'écart de chaque stratégie (incluant la stratégie de référence mentionnée ci-haut) dans tous les scénarios de croissance par rapport à la stratégie actuelle.

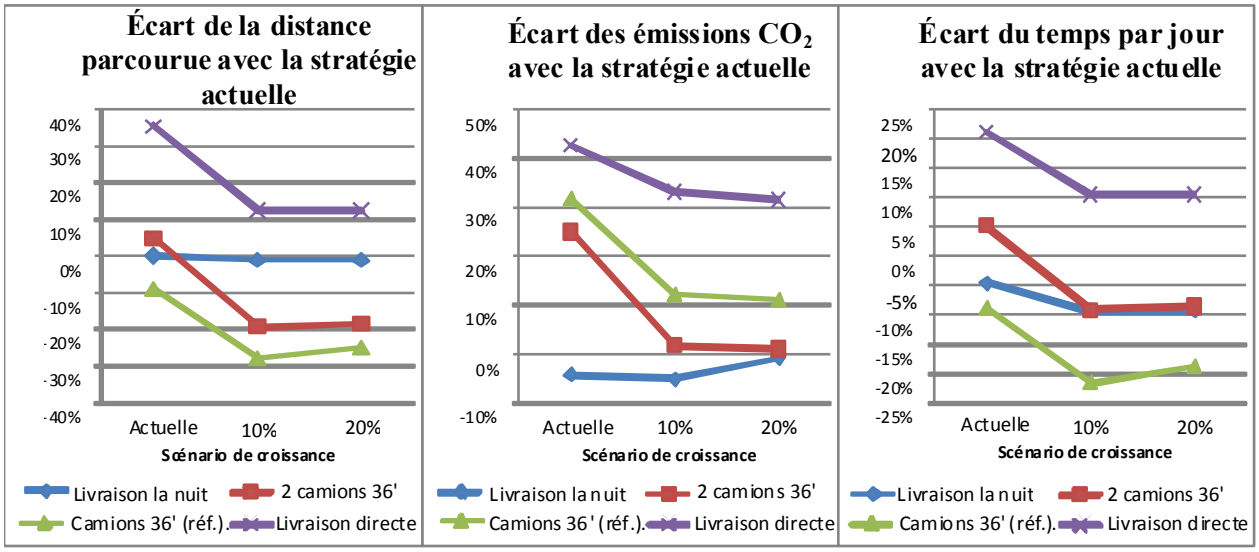


Figure 5.1: Écart de chaque stratégie par rapport à la stratégie actuelle, par indicateur de performance

La meilleure stratégie à court-terme est d'utiliser deux camions 36' pour non plus seulement visiter les magasins, mais aussi les centres de dons. Cette stratégie a le potentiel d'apporter des bénéfices en temps et distance de 10% à 20%, alors qu'elle n'entraîne qu'une minime augmentation des émissions de CO_2. Quant à elle, la stratégie de livraison la nuit apporte aussi quelques bénéfices, mineures dans les conditions actuelles mais pouvant atteindre jusqu'à 10% de réduction dans les scénarios de croissance. La figure 5.1 démontre également que la pire stratégie est la livraison directe aux magasins, augmentant à la fois la distance, les émissions de CO_2 et le temps total par jour, par rapport à la stratégie actuelle.

Dans un scénario pessimiste, la stratégie actuelle demeure une très bonne stratégie, alors que les stratégies d'utiliser 2 camions 36' et de livraison la nuit présentent de bonnes opportunités

d'optimisation dans les scénarios de croissance. Une combinaison de ces 2 stratégies pourrait également être considérée afin d'apporter un maximum de bénéfices.

Dans un autre ordre d'idées, nous pouvons également noter que, même si la stratégie de livraison directe semble la moins bonne, elle pourrait s'avérér une excellente option à long terme, au fur et à mesure que de l'organisation croît et que de nouveaux sites s'ajoutent au réseau, simplement à cause de la forte réduction en espace requis au centre de distribution et donc, en coûts d'entreposage et de main-d'œuvre. Dans ce cas, la réaffectation des centres de dons à des nouveaux magasins, plus proches les uns des autres, serait également requise afin d'assurer une bonne optimisation du transport.

Enfin, nous constatons que les résultats ont un bon degré de précision, mais il est important de noter qu'il y a quantités d'impondérables n'ayant pas été simulés dans le cadre de cette étude, rendant ces résultats souvent difficiles à atteindre. Ceci étant dit, toutes les stratégies ayant le même potentiel d'éléments impondérables, nous pouvons tout de même comparer la qualité de chacune de ces stratégies en se fiant aux résultats obtenus.

5.3 Leçons et apprentissages

Bien que les résultats aient permis de représenter la réalité et de simuler de manière efficace des stratégies, le développement d'un modèle comme celui proposé dans ce mémoire est le fruit d'un très long processus. La démarche scientifique permettant de simuler un phénomène réel comme un système logistique comporte plusieurs étapes complexes à mettre en œuvre. En premier lieu, une très bonne compréhension des processus est primordiale afin de pouvoir décider de la meilleure manière de modéliser, en jugeant du niveau d'abstraction et de détail requis pour chacun des éléments. Ensuite, la collecte de données est souvent un long processus à la fin duquel certaines données ne sont tout simplement pas disponibles, nous entraînant à poser plusieurs hypothèses. À cet effet, quelques aspects de validation ont dus être effectués de manière qualitative plutôt que quantitative. Également, pour les données qui sont obtenues, il est tout de même nécessaire d'effectuer une étape de traitement, nettoyage et de validation. En effet, les données peuvent être soit manquantes, ou bien présenter des incohérences puisqu'elles ont été entrées manuellement par exemple. Ainsi, cette étape est très importante car toute l'étude repose sur la bonne compréhension et modélisation de ces données. Également, il est à noter que la

bonne maîtrise du logiciel sur lequel le modèle est développé a aussi représenté un très long processus. Cependant, la reproduction du modèle peut sans problème se faire sur d'autres logiciels de simulation.

Dans un autre ordre d'idées, les expériences ont permis de constater que chaque réplication en simulation peut donner une relativement grande variation dans les résultats. C'est pourquoi le choix d'un bon nombre de réplications et d'un bon horizon est primordial à la bonne interprétation des données.

Finalement, il est à noter que, pendant le développement d'un modèle de simulation, l'entreprise continue d'évoluer, impliquant potentiellement des changements de procédures ou de flotte. Ces changements ne peuvent pas être pris en compte dans le développement du modèle, sans quoi il deviendrait très difficile d'arriver à des résultats dans un laps de temps raisonnable. Il est donc nécessaire de fixer dès le départ un scénario de base sur lequel les simulations seront effectuées, peu importe les changements réels survenant durant la modélisation.

CHAPITRE 6 CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET TRAVAUX FUTURS

Les expériences de ce mémoire présentent une application de la simulation à base d'agents dans le but de déterminer les meilleures stratégies logistiques pour une entreprise selon différents scénarios de croissance. Une forte contribution scientifique est également apportée en lien avec l'écologie industrielle. Ce mémoire a permis de constater que l'utilisation de bases de données d'émissions de CO_2 en fonction des cycles de conduite et des classes de camions peut être utilisée de manière efficace afin de simuler les impacts environnementaux du transport. Cet élément représente une avenue très intéressante en vue de travaux futurs. Également, la réussite de l'évaluation des impacts de performance des stratégies testées peut servir d'exemple d'application additionnel à démontrer que la simulation à base d'agents est une méthode efficace pour représenter des systèmes logistiques complexes.

D'un côté plus pratique, les stratégies évaluées ne représentent qu'une petite partie des avenues d'exploration futures pour l'organisation. Par exemple, toutes les stratégies, sauf celle de la livraison directe, prennent en considération que chaque site ne peut être visité qu'une seule fois par jour au maximum. Au fur et à mesure que l'organisation croît et que la population devient plus sensibilisée à la réutilisation des biens, il deviendra probablement nécessaire de visiter les sites plusieurs fois par jour afin d'accommoder la demande. Une seconde avenue d'exploration intéressante pourrait être d'essayer d'intégrer la collecte des boîtes de dons aux routes des magasins et des centres de dons, considérant que beaucoup de ces boîtes sont situées près des sites actuels. Dans un même ordre d'idées, ces boîtes sont actuellement collectés selon une fréquence fixe, déterminée par leur historique de remplissage. Il serait intéressant de tester l'impact sur la performance d'intégrer un système intelligent à ces bacs, indiquant instantanément à quel niveau de remplissage ils sont rendus. Ceci permettrait d'optimiser les routes de collecte des bacs en fonction de leur taux de remplissage.

À plus long terme, suivant une orientation plus commerciale que logistique, la détermination des meilleures localisations où s'installer, en fonction du niveau de pénétration de marché de l'organisation, de la saturation et de la maturité du marché, pourrait constituer un modèle de simulation très prometteur.

BIBLIOGRAPHIE

Arnold, S. (2002). “Lessons learned from the world’s best retailers”. *International Journal of Retail & Distribution Management , Vol 30* (Nos. 11-12), pp. 562-570.

Barbati, M., Bruno, G., & Genovese, A. (2012). Applications of agent-based models for optimization problems: A litterature review. *Expert Systems with Applications* , pp. 6020-6028.

Barcelo, J., Grzybowska, H., & Pardo, S. (2007). Vehicle routing and scheduling models, simulation and city logistics. *Dynamic Fleet Management, Operations Research/Computer Science Interfaces , Vol. 38*, pp. 163-195.

Bollinger, L., & Davis, C. (s.d.). Modeling metal flow systems. *Journal of Industrial Ecology , Vol. 16* (No. 2), pp. 176-190.

Borshchev, A., & Filippov, A. (2004). From system dynamics and discrete event to practical agent based modeling : reasons, techniques, tools, . *The 22nd International Conference of the System Dynamics Society.* Oxford, England.

Cartier, M., & Forgues, B. (2006). Intérêt de la simulation pour les sciences de gestion. *Revue Francaise de Gestion* , 125-137.

Davies, M. (2009). "Identifying the real challenges". *Logistics Management , Vol 48* (No 2), p. 5.

De Brito, M. P. (2004). *Managing reverse logistics or reversing logistics management. PhD Thesis.* Erasmus University Rotterdam, Pays-Bas.

Dekker, R., & Bloemhof, J. (2012). Operation research for green logistics - An overview of aspects, issues, contributions and challenges. *European Journal of Operation Research , Vol. 219* (No. 3), 671-679.

Delorme, A., Karbowski, D., & Sharer, P. (2009). *Evaluation of Fuel Consumption Potential of Medium and Heavy Duty Vehicles through modeling and simulation.* Washington.

Farnia, F., Frayret, J.-M., Lebel, L., & Beaudry, C. (2013). Multiple-round timber auction design and simulation. *International Journal of Production Economics* .

Frayret, J.-M., & D'amours, S. (2007). Agent-based supply-chain planning in the forest products industry. *International Journal of Flexbile Manufacturing Systems* , 358-391.

Gilbert, N., & Troitzsch, K. (2005). Simulation for the social scientist. *Open University Press* .

Goodhue, A. (2014). *"Ecommerce logistics : The Industry transformation"*. Récupéré sur GCL Group: http://gclgroup.ca/e-commerce-logistics-the-industry-transformation/

Gunther, H. O. (2010, March 20). "Operative transportation planning in consumer goods". *Springer Science* .

Guoyi, X. (2011). An International Comparative Study on the Developments of green logistics. *International Conference on Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer* .

Hong, H. (2010). Study on the integration of supply chain management in retail business. *International Conference on E-Product E-Service and E-Entertainment*, (p. 4). Management Department, Henan University of Sci & Tec, China.

Kraines, S., & Wallace, D. (2008). Applying agent-based simulation in industrial ecology. *Journal of industrial ecology , Vol. 10*, 15-18.

Laporte, G. (1992). The Vehicle Routing Problem : An overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research* , 345-358.

Macal, C., & North, M. (2006). Introduction to agent-based modeling and simulation. Center for Complex Adaptative Systems Simulation. Argonne National Laboratory.

Maynard, S., Cherrett, T., Hickford, A., & Crossland, A. (2013). *Take-back mechanisms in the charity sector : a case study on Oxfam.* School of Civil Engineering and the Environment, University of Southampton.

Nagy, G., & Salhi, S. (2005). Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pickup and deliveries. *European Journal of Operational Research* (162), 126-141.

Nagy, G., Wassan, N. A., & Salhi, S. (2013). The vehicle routing problem with restricted mixing of deliveries and pickups. *Springer Science, Business Media* .

Natural Resources Canada. (2009, 04 20). *Calculating estimated annual carbon dioxyde emissions*. Consulté le 02 14, 2015, sur Natural Resources Canada: http://oee.nrcan.gc.ca/publications/transportation/fuel-guide/2007/calculating-co2.cfm?attr=8

Olshavsky, R. (1985). Toward A More Comprehensive Theory of Choice. (E. C. Holbrook, Éd.) *Advances in Consumer Researches , Vol. 12*, pp. 465-470.

Othman, S., & Mustaffa, N. (2012). Supply chain simulation and optimization method : An overview. *Third International Conference on Intelligent Systems Modelling and Simulation*, (pp. 161-167). Malaysia.

Panapinun, K., & Charnsethikul, P. (2005). *Vehicle routing and scheduling problems : a case study of food distribution in greater Bangkok.* Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University.

Pillac, V., Gendreau, M., Guéret, C., & Medaglia, A. (2013). A review of dynamic vehicle routing problems. *European Journal of Operational Research* .

Randall, W. G. (2011). "Retail supply chain management : Key Priorities and Practices". *The International Journal of Logistics Management , Vol. 22* (3), pp. pp. 390-402.

Renaissance. (2015). *Affiliation Goodwill*. Consulté le Janvier 2015, sur Renaissance Quebec: http://www.renaissancequebec.ca/fr.php?id=32

Rogers, D. a.-L. (1999). Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices. *University of Nevada, Reno: Reverse Logistics Executive Council* , p.10.

Ryu, I. (2009). The role of partnership in supply chain performance. *Industrial management & Data systems* , 496-514.

Sarkis, J., Helms, M., & Hervani, A. (2010). Reverse logistics and social sustainability. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management* .

Sauvageau, G., & Frayret, J.-M. (2015). Waste paper procurement optimization : an agent-based simulation approach. *European Journal of Operation Research , Vol. 242* (No. 3), 987-998.

Scholl, H. (2001). Agent-based and Systems Dynamics Modeling : A call for cross study and joint research. *34th Hawaii International Conference on System Sciences.*

Watanarawee, K. (2010). The evaluation of information sharing and transshipment mechanisms on supply chain performance: The case study from Thailand' retail chain. *2nd International Conference on Industrial and Information Systems* , 506-509.

Zeimpekis, V., Minis, I., Mamassis, K., & Giaglis, G. (2007). Dynamic Management of a delayed delivery vehicle in a city logistics environment. *Dynamic Fleet Management, Operations Research/Computer Interface Series* , pp. 197-217.

Zhang, X. (2008). Performance Comparison of Supply Chain between Push and Pull Models with Competing Retailers. *4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, (pp. 1-4). School of Politics and Public Administration, Soochow University, China.

Zhao, C. (2008). Reverse Logistics. *International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering* , 349-353.

ANNEXE A – COMPOSANTES DU MODÈLE ET DÉMARCHES ENTREPRISES POUR LES DÉFINIR

Agent	Composante	Source
1. Site – Centre de distribution	1.1 Type de bacs utilisés	Entrevues avec directeur des opérations et superviseur de transport
	1.2 Entrée des dons (provenant des boîtes de dons)	Analyse des rapports de collecte de boîtes de dons
2. Site- Centre de dons	2.1 Entrées de dons	Rapports de l'entrée de dons à chaque centre de don pour l'année 2014
	2.2 Besoin en bacs vides en fonction du nombre de dons reçus	Entrevues avec directeur des opérations et superviseur de transport
	2.3 Tri des dons en fonction de sa nature	Entrevue avec le superviseur des centres de dons
3. Site - Magasin	3.1 Association des centres de dons pour chaque magasin	Analyse de rapports de dons transportés dans l'année 2014
	3.2 Entrées de dons aux magasins	Rapports de l'entrée de dons à chaque magasin pour l'année 2014
	3.3 Budget de chaque magasin en nombre de dons requis par jour	Rapports du budget de chaque magasin pour l'année 2014
	3.4 Taux de ventes des articles	Entrevues avec directeur des opérations et analyse des rapports de ventes sur l'intranet
	3.5 Taux de rejets des articles	Entrevues avec directeur des opérations et analyse des rapports de transport d'articles
	3.6 Taux de rotation des articles	Entrevues avec directeur des opérations et analyse des rapports de transport d'articles
	3.7 Revenus par magasin	Analyse des rapports de ventes sur l'intranet
4. Camions	4.1 Description des types de camions	Entrevues avec superviseur du transport
	4.2 Capacité des camions	Entrevues avec superviseur du transport
	4.3 Routes des camions	Entrevues avec superviseur du transport et analyse des rapports de transports sur l'intranet
	4.4 Accessibilité des camions à chaque site	Entrevues avec superviseur du transport et directeur des opérations
	4.5 Temps de route des camions	Analyse des temps de routes entre chaque site pour les périodes de pointe, hors-pointe et de nuit avec Google Maps
	4.7 Distances entre chaque site	Analyse des distances de routes avec Google Maps
	4.8 Temps de chargement et déchargement	Entrevues avec directeur des opérations et superviseur des transports