

HEC MONTRÉAL

**Analyse de la distribution des produits alimentaires
à domicile: le cas de Montréal**

par

Alexandru Vrabii

**Sciences de la gestion
(Logistique internationale)**

*Mémoire présenté en vue de l'obtention
du grade de maîtrise ès sciences
(M. Sc.)*

Octobre 2014

© Alexandru Vrabii, 2014

Sommaire

Au cours de la dernière décennie, différents modèles d'affaires ont été mis en œuvre dans la distribution des produits alimentaires à domicile, malheureusement sans succès dans la plupart des cas. La principale cause d'échec a été la stratégie logistique implémentée, dont les opérations inefficaces ont souvent conduit à des capitaux sous-utilisés et des énormes dépenses d'exploitation. Par conséquent, l'amélioration de l'efficacité logistique globale peut être considérée comme une des plus importantes étapes vers la rentabilité de l'entreprise.

Cette recherche se propose d'analyser différents modèles de distribution des produits alimentaires. Cet élargissement du cadre d'analyse permet enfin de proposer, aux distributeurs existants comme aux nouveaux joueurs, un support décisionnel aidant à faire le choix optimal du mode de distribution alimentaire jusqu'à la porte du consommateur. Suite à ces analyses, les résultats montrent que le service de livraison des aliments à domicile s'avère beaucoup moins cher par rapport aux coûts actuels des clients qui visitent eux-mêmes le supermarché en utilisant leur propre voiture et leur temps libre. Enfin, les effets sur l'environnement des différents modèles de livraison à domicile sont analysés. Cette thèse examine cette question de plus près pour le cas de l'épicerie en ligne, et conclut à l'intérêt, sur le plan énergétique et environnemental, du commerce en ligne par rapport à l'achat en magasin.

Mots clés : distribution alimentaire, e-commerce, e-épicerie, dernier kilomètre alimentaire, livraison à domicile

Abstract

Over the last decade, various business models have been implemented in the e-grocery distribution, unfortunately without success in most of cases. The primary cause of failure was the logistics strategy, where the inefficient operations often led to underutilized capital and huge operating expenses. Therefore, improving the overall logistics efficiency can be considered one of the most important steps towards the profitability of the company.

Firstly, this research proposes to analyze different models of grocery distribution. As a result, this extension of the analytical framework proposes a decisional support that will help determine the optimal model of grocery distribution to the consumer's door. Following these analyses, the results show that this service of home delivery is much cheaper compared to current costs of customers visiting the supermarket themselves using their own car and time. The environmental impact of different models of home delivery is also analyzed. This research examines the issue more closely in the case of online grocery shopping, and concludes in favor of online commerce in-store purchase.

Keywords : food distribution, e-commerce, electronic grocery shopping, last food mile, home delivery

Table des matières

Sommaire	ii
Abstract	iii
Table des matières	iv
Liste des tableaux	vi
Liste des figures	vii
Liste d'abréviations	ix
Remerciements	x
CHAPITRE 1. INTRODUCTION	1
1.1 Objectif du mémoire	1
1.2 Industrie alimentaire et consommateurs	5
1.3 Acteurs dans l'industrie alimentaire	7
1.4 Structure du travail	9
CHAPITRE 2. REVUE DE LA LITTERATURE	10
2.1 Analyse comparative entre la distribution traditionnelle et en ligne	10
2.2 Stratégies de distribution des produits alimentaires	15
2.3 Efficacité énergétique des circuits courts et des circuits longs	17
CHAPITRE 3. MODÈLE DE RECHERCHE	21
3.1 Méthodes d'approximation du problème du voyageur de commerce	21
3.2 Description des scénarios	26
3.3 Demande et clients	29
3.4 Coûts fixes d'entrepôt	30
3.5 Préparation de commandes	33
3.5.1. Coût du temps libre (S_l)	33

3.5.2. Préparation des commandes en magasins (S_2)	34
3.5.3. Préparation de commandes en entrepôt (S_3 et S_4)	35
3.6. Coûts de transport	36
3.6.1. Coûts liées au transport personnel (S_1).....	38
3.6.2. Coûts liés au transport commercial (S_2 , S_3 , et S_4).....	42
3.6.3. Coûts liés aux camionneurs.....	51
3.7. Fenêtres de temps.....	52
3.8. Coût d'émission de CO ₂	53
4. ANALYSE DES RÉSULTATS	55
4.1. Choix entre le type d'entrepôt et le niveau de productivité	55
4.2. Analyse des coûts de distribution.....	65
4.3. Impact de la capacité des véhicules sur les coûts de distribution.....	78
4.4. Fenêtres de temps.....	80
4.5. Analyse des émissions de CO ₂	83
4.6. Sommaire des résultats.....	85
5. CONCLUSION	88
5.1. Limites de l'étude	89
5.2. Avenues de recherche	91
ANNEXES	93
BIBLIOGRAPHIE	101

Liste des tableaux

Tableau 1-1. Service de livraison de l'épicerie à Montréal	9
Tableau 1-2. Coûts de construction par secteur au Canada	30
Tableau 1-3. Superficie moyenne des supermarchés au Québec	31
Tableau 1-4. Coûts fixes d'entrepôt	32
Tableau 1-5. Salaire horaire pour les commis d'entrepôt à Montréal	34
Tableau 1-6. Coûts de commande	35
Tableau 1-7. Coûts fixes du transport personnel	39
Tableau 1-8. Coûts variables du transport personnel	41
Tableau 1-9. Coûts d'utilisation annuelle d'un véhicule personnel	42
Tableau 1-10. Frais d'immatriculation et taxes	45
Tableau 1-11. Coûts fixes du transport commercial	47
Tableau 1-12. Coûts variables du transport commercial	49
Tableau 1-13. Coûts d'utilisation annuelle d'un véhicule commercial	50
Tableau 1-14. Coûts liés aux camionneurs	51
Tableau 1-15. Émissions de CO ₂ selon le type de véhicule	54
Tableau 1-16. Impact des fenêtres de temps sur la distance totale parcourue	80

Liste des figures

Figure 1-1. Méthodes de distribution alimentaire	4
Figure 1-2. Répartition des établissements qui vendent des produits alimentaires au détail à Montréal en 2012	6
Figure 1-3. Répartition du commerce des aliments au Québec en 2012 (en %).....	7
Figure 1-4. Processus d'achat en ligne : modèle décentralisé (S_2).....	27
Figure 1-5. Processus d'achat en ligne : modèle centralisé (S_3 et S_4).....	28
Figure 1-6. Espace de chargement de la Ford Transit Connect 2014	44
Figure 1-7. Répartition des coûts du transport en milieu urbain.....	48
Figure 1-8. Coût de commande.....	56
Figure 1-9. Nombre de commandes par heure.....	56
Figure 1-10. Fonctions de coût: scénarios S_2 (60 entrepôts) et S_4	58
Figure 1-11. Fonctions de coût: scénarios S_2 (2 entrepôts) et S_4	59
Figure 1-12. Fonctions de coût: scénarios S_2 (20 entrepôts) et S_3	61
Figure 1-13. Fonctions de coût: scénarios S_2 (2 entrepôts) et S_3	62
Figure 1-14. Fonctions de coût: scénarios S_3 et S_4	63
Figure 1-15. Fonctions de coût: scénarios S_2 , S_3 et S_4	64
Figure 1-16. Fonctions de coût total: scénarios S_3 et S_4	70
Figure 1-17. Fonctions de coût total: scénarios S_2 (21 entrepôts) et S_3	73
Figure 1-18. Impact du nombre d'entrepôts sur le point d'équilibre (scénarios S_2 et S_3)....	73
Figure 1-19. Impact du nombre d'entrepôts sur le point d'équilibre (scénarios S_2 et S_4)....	74

Figure 1-20. Fonctions de coût total: scénarios S_2 (2 entrepôts) et S_4	75
Figure 1-21. Fonctions de coût total: scénarios S_2 (2 entrepôts), S_3 et S_4	77
Figure 1-22. Impact de la capacité des véhicules sur le point d'équilibre (S_2 et S_4).....	78
Figure 1-23. Tendence du coût relatif d'équilibre selon le nombre d'entrepôts.....	79
Figure 1-24. Impact de la fenêtre de temps de 4 heures sur les coûts.....	82
Figure 1-25. Impact de la fenêtre de temps d'une heure sur les coûts	83
Figure 1-26. Émissions annuelles de CO ₂ (en tonnes)	84

Liste d'abréviations

e-commerce - une abréviation de commerce électronique, qui signifie la commande par Internet et la livraison à domicile.

e-épicerie, e-magasinage - une abréviation de l'épicerie en ligne, ou épicerie électronique qui signifie la commande par Internet et la livraison à domicile.

Click and mortar, ou bricks and clicks - des entreprises de commerce électronique qui proposent des processus complémentaires de ventes combinées telles la vente par Internet et la distribution classique vente en magasin.

Brick and mortar - une entreprise ayant la méthode de vente traditionnelle en magasin.

Pure player - une entreprise ayant la méthode de vente basée uniquement sur l'Internet.

Drive-in - la commande s'effectue en ligne, le client se rend ensuite à un point d'enlèvement, où ses achats seront directement déposés dans sa voiture.

Logistique de magasin (décentralisé) ou store-picking - consiste à orienter la commande vers le magasin le plus proche du domicile et à livrer les produits chez le consommateur.

Logistique d'entrepôt (centralisé) ou warehouse-picking - consiste à orienter la commande vers un entrepôt et à livrer les produits chez le consommateur.

ECOMLOG - un regroupement de chercheurs de l'Université de Helsinki qui a fait une étude détaillée de la distribution des produits alimentaires en ligne.

MAPE - pourcentage d'erreur moyenne absolue.

3PL - prestataire logistique tierce partie

Symboles

– Néant ou zéro

\$ Dollar canadien

\$ US Dollar américain

M\$ Millions de dollars

% Pour cent

km Kilomètre

Remerciements

Je désire avant tout exprimer ma profonde gratitude à mon directeur, M. Jean-François Cordeau, pour les nombreux conseils qu'il m'a prodigués et les pistes de recherche vers lesquelles il m'a dirigé tout au long de ce mémoire. Je souhaite faire part de ma reconnaissance envers la Chaire de recherche du Canada en logistique et en transport pour le soutien financier accordé.

Je voudrais remercier le professeur Gilbert Laporte pour m'avoir suggéré la méthode d'approximation de la distance dans le problème du voyageur du commerce et m'avoir fait bénéficier de son expérience pertinente dans le domaine.

Je tiens aussi à remercier Mme Hélène Giroux, pour le partage de son expérience dans le domaine d'achat de l'épicerie en ligne avec la livraison à domicile. Ses remarques m'ont aidé à améliorer ma recherche et à la rendre plus réaliste.

Je suis très reconnaissant envers HEC Montréal de m'avoir donné l'opportunité et la chance de faire mes études dans un domaine qui me plaît énormément et auprès d'une pléiade des meilleurs professeurs.

Finalement, tout mon respect va à ma femme pour son soutien moral et sa compréhension durant cette période de travail, aussi qu'à ma petite fille, Émilie, pour sa présence chaleureuse. Merci de votre appui, de l'aide que vous m'avez accordée et de votre patience.

CHAPITRE 1. INTRODUCTION

1.1 Objectif du mémoire

À la fin des années 90, Internet a remarquablement contribué au développement du commerce à domicile, y compris dans le domaine alimentaire. Il semble par ailleurs que le commerce électronique alimentaire connaisse un regain d'intérêt depuis peu, à en juger par le dynamisme recouvré dans ce secteur. La distribution à domicile de l'épicerie ne représente que 2% des ventes dans ce secteur, mais il est le secteur le plus dynamique avec une croissance de 25% par an (Gartner, 2013). Dans les autres secteurs, comme les produits de beauté par exemple, cette augmentation ne présente que 6% à 8% par année. Selon une autre estimation de Gartner (2013), en 2018, 10% du chiffre d'affaires des grands distributeurs alimentaires proviendra directement du consommateur en ligne, d'où l'intérêt accru de la présente recherche.

En même temps, quand les *pure players* américains, c'est-à-dire les entreprises ayant la méthode de vente basée uniquement sur l'Internet, étaient condamnés à la faillite, les grands distributeurs Européens, *click and mortar*, entreprises de commerce électronique qui proposent des processus complémentaires de ventes combinées telles la vente par Internet et la distribution classique vente en magasin, ont réussi à défricher un marché tout en croissance.

La question qui a amené l'auteur à cette recherche était de comprendre pourquoi la compagnie britannique Tesco (www.tesco.com) excelle jusqu'à présent dans la distribution de l'épicerie en ligne, tandis que le *pure player* Webvan (www.webvan.com) a fait faillite en juillet 2000. Et quelle stratégie il faut mettre en œuvre à Montréal pour avoir du succès dans la distribution alimentaire à domicile ?

Avant d'aller plus loin, il est opportun et nécessaire d'examiner plus en détail les stratégies logistiques déployées par ces deux compagnies, ainsi que les résultats obtenus.

Le Groupe Tesco (www.tesco-group.com) est l'un des plus grands détaillants du monde, qui génère environ 71M \$ de chiffre d'affaires (année fiscale 2013-2014) avec des opérations dans 12 pays, employant plus de 500 000 personnes et des millions de clients chaque semaine. Il est aussi le leader de la distribution britannique avec 31,5 % de part de marché alimentaire, dispose d'un réseau assez dense de 3 378 points de vente qui lui permet de desservir 96 % de la population britannique et qui assurent à Tesco.com un potentiel important de développement (Tesco, 2014). En Grande Bretagne, les principaux concurrents de Tesco.com sont les sites en ligne de Sainsbury, Asda et Ocado (voir l'annexe 1).

La compagnie Tesco a commencé le service de vente en ligne dans le milieu des années 1990. Aujourd'hui, c'est le leader mondial de la vente en ligne des produits alimentaires. En utilisant sa marque existante, les fournisseurs, et la base de données de 10 millions de titulaires de la carte, Tesco a investi 56 millions de dollars pour lancer son nouveau service. Une commande typique de 64 articles est préparée chez Tesco en 32 minutes, à un coût d'environ 8,50 \$, y compris le travail (Reinhardt, 2001), soit deux fois plus rapide que le consommateur ordinaire qui fait son épicerie en une heure.

Tesco.com a revu sa stratégie logistique en adoptant un modèle hybride : distribution physique à partir du réseau de ses supermarchés et en ligne (*click and mortar*). Aujourd'hui, elle continue à pratiquer la préparation en magasins pour les zones à faible densité, mais elle a également recours à la préparation en entrepôt à Londres, où la concentration d'acheteurs en ligne est élevée. Le consommateur peut retirer les produits au magasin, s'il le souhaite (système *drive-in*). Le commerce électronique de l'épicerie est profitable et génère déjà 2,5 milliards de livres sterling de chiffre d'affaires au Royaume-Uni, constituant une progression de 12 % par an (Tesco, 2014).

La page d'accueil www.tesco.com propose deux catégories de produits : les produits livrés à partir d'un magasin physique et ceux livrés à partir d'un entrepôt dédié. Si les prix sont les mêmes que dans les magasins, Tesco.com a choisi de faire payer au consommateur une partie des coûts logistiques. Le forfait de 5 livres sterling (environ 7,5 \$) représente environ 75 % du coût réel de la livraison (voir l'annexe 1).

Le *pure player* Webvan (www.webvan.com) a été créé en 1999 et avait l'ambition de révolutionner le marché de l'alimentaire. L'idée était simple: vendre des produits alimentaires en ligne et les livrer à domicile. Environ 500 millions de dollars ont été investis dans cette compagnie. Avant même de lancer publiquement la plateforme, Webvan comptait 400 employés, avait investi 40 millions de dollars dans un premier entrepôt et 18 millions de dollars en logiciels. La société, qui ne desservait initialement que la région de San Francisco, s'est lancée un mois après le début dans un plan d'investissement d'un milliard de dollars pour construire 26 entrepôts dans les principales villes américaines (Blank, 2013).

La taille d'un centre de distribution était d'environ 350 000 pieds carrés, ce qui équivaut à 18 magasins traditionnels. Webvan a affirmé que ses centres de distribution hautement automatisés avaient une vitesse de cueillette de 450 articles par heure, soit 8000 commandes par jour, 7 jours par semaine (Kelly, Kenneth et Mark, 2003).

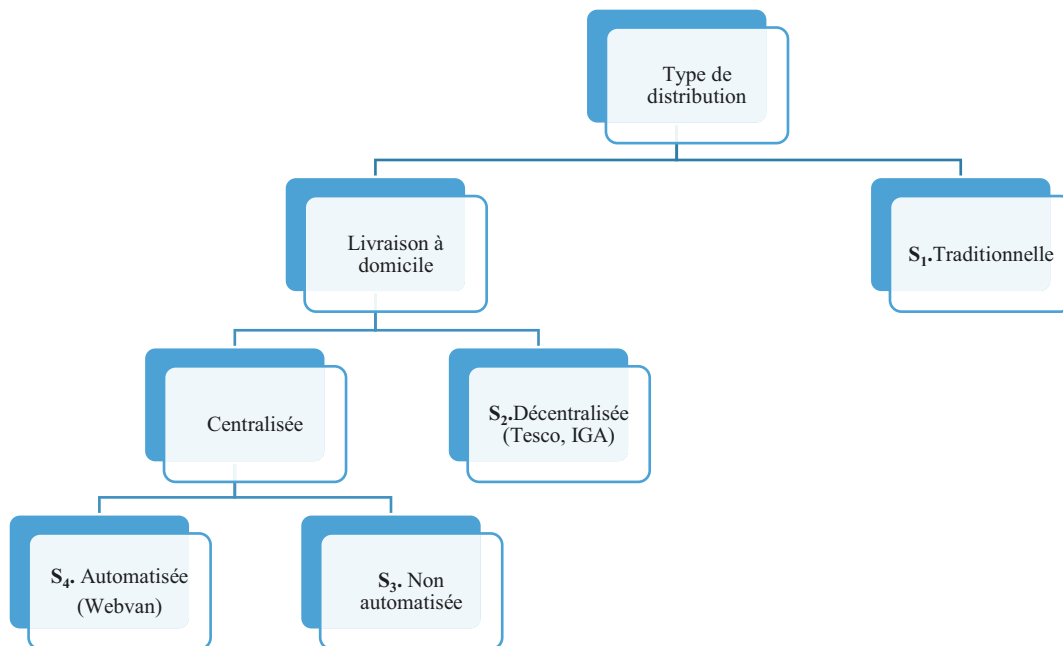
Tout au début, Webvan offrait une fenêtre de 30 minutes pour ses clients. Cependant, l'entreprise a été vite tentée de réduire les coûts de livraison à domicile (environ 15 \$ par commande) en élargissant la fenêtre de livraison à 60 minutes. Le seuil de rentabilité a été calculé à 300 millions de dollars. Elle affichait pour ses six premiers mois 395 000 dollars de ventes et 33 millions de dollars de pertes. Vers l'été 2001, la compagnie a atteint des ventes d'environ 260 millions de dollars et a fait faillite après avoir atteint un milliard \$ de pertes. Chez Webvan, ils se sont basés sur un plan d'affaire très optimiste, qui prévoyait 8000 commandes par jour dès le lancement. En conséquence, l'administration a investi beaucoup. Malheureusement, l'entreprise a atteint seulement 2000 commandes par jour et ses infrastructures ne tournaient qu'à 30% de leur capacité maximale (Blank, 2013).

À cette étape, nous sommes en mesure de constater que Webvan misait gros sur l'Internet comme vecteur de changement des habitudes des acheteurs, tandis que Tesco cherchait à redessiner l'infrastructure du commerce de l'épicerie pour maintenir ses coûts au plus bas. À cette étape, nous sommes tentés de penser que la stratégie employée par Tesco s'avère la plus efficace en termes de coûts, étant donné son succès remarquable dans la distribution alimentaire en ligne.

Dans cette optique, notre objectif consiste à déterminer quelle stratégie sera retenue et laquelle sera abandonnée, pour le cas de Montréal, à la lumière des résultats de la recherche. Ainsi, pour mieux comprendre les conditions du succès des épiciers en ligne et leur processus de développement, une analyse des différents modèles logistiques est nécessaire.

Dans cette recherche, nous faisons appel à la simulation des différents scénarios, afin d'évaluer les différents systèmes de distribution rencontrés chez les distributeurs de l'épicerie. Nous analyserons quatre modèles ou scénarios (S_1 , S_2 , S_3 et S_4) parmi les plus importants dans l'industrie alimentaire: traditionnel (S_1), décentralisé (S_2), centralisé et non-automatisé (S_3), centralisé et automatisé (S_4) :

Figure 1-1. Méthodes de distribution alimentaire



Une description détaillée des scénarios sera faite dans le troisième chapitre, afin de mieux comprendre la méthodologie de la recherche.

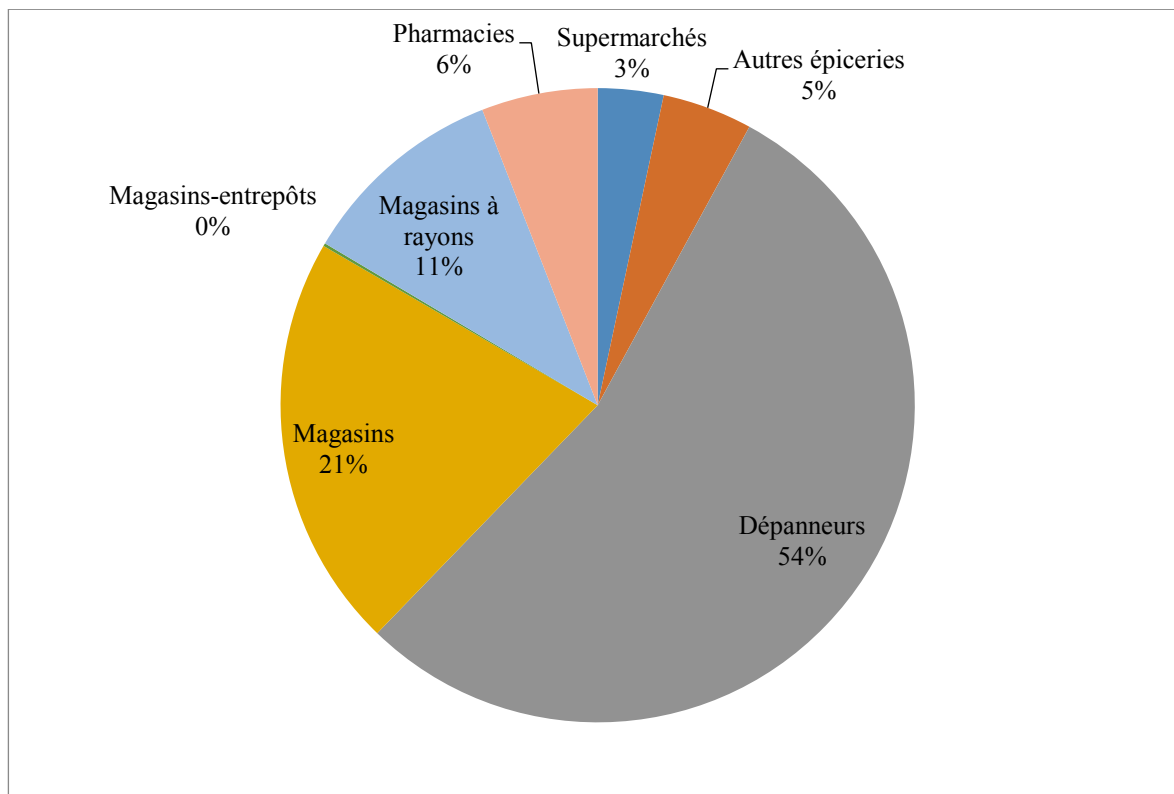
Dans le but de réaliser notre objectif de recherche, nous allons calculer et ensuite analyser les coûts de préparation de commande, les coûts fixes d'entrepôt et de magasin, et les coûts de transport (variables et fixes) pour chacun des quatre modes de distribution.

Pour le travail, nous avons pris l'île de Montréal comme territoire géographique d'analyse. La méthodologie de la recherche sera basée sur le théorème de Figliozzi (2009), qui propose une simple approximation de la longueur totale du problème du voyageur du commerce pour les distances euclidiennes et avec plusieurs véhicules. Cette recherche nous permettra de déterminer à partir de quelle demande et à travers quel mode de distribution la livraison à domicile de l'épicerie est la plus efficace. En analysant différents scénarios, nous serons en mesure de trouver le nombre optimal d'épiceries nécessaires, ainsi que la capacité et le type de véhicule optimal pour la livraison à domicile. Les résultats de cette recherche nous permettront de comprendre si le modèle de livraison à domicile est possible en termes de coûts comparativement à la distribution traditionnelle, et quelle stratégie de distribution il faut appliquer pour exceller dans cette industrie.

1.2 Industrie alimentaire et consommateurs

Le secteur alimentaire est un moteur économique non négligeable pour le Québec puisqu'il apporte 11,2 milliards de dollars, soit près de 4 % du Produit Intérieur Brut (PIB) réel québécois. Il génère 351 000 emplois, à savoir 9 % des emplois de l'ensemble de toute l'économie québécoise en 2012. Le Québec compte plus de 35 000 établissements répartis sur l'ensemble de son territoire. Seulement à Montréal, il y a 2 208 dépanneurs, soit la moitié du nombre total des enseignes (voir la figure 1-2), tandis que les 136 supermarchés ne représentent que 3 % (Ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, 2013).

Figure 1-2. Répartition des établissements qui vendent des produits alimentaires au détail à Montréal en 2012



Source: Bottin statistique de l'alimentation, rapport du Ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (2013)

En 2011, la proportion du budget consacrée à l'alimentation au Québec était de 13,3 %. Ce pourcentage était parmi les plus élevés au Canada, où, la même année, le Canadien moyen a dépensé 11,8 % de son budget pour se nourrir. À titre comparatif, aux États-Unis les consommateurs ont consacré 13,9 % de leur budget pour la même période (Ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, 2013).

Le consommateur québécois se distingue également au regard de la part des dépenses alimentaires effectuées dans les magasins (73,6 %) et les restaurants (26,4 %). Dans notre travail de recherche, nous allons analyser seulement le cas des magasins.

Le nombre décroissant de personnes par ménage signifie que de plus en plus de Québécois sont confrontés à des défis particuliers sur le plan de la consommation. Ainsi, le nombre moyen de personnes par ménage au Québec a diminué, passant de 2,5 personnes en 1996 à

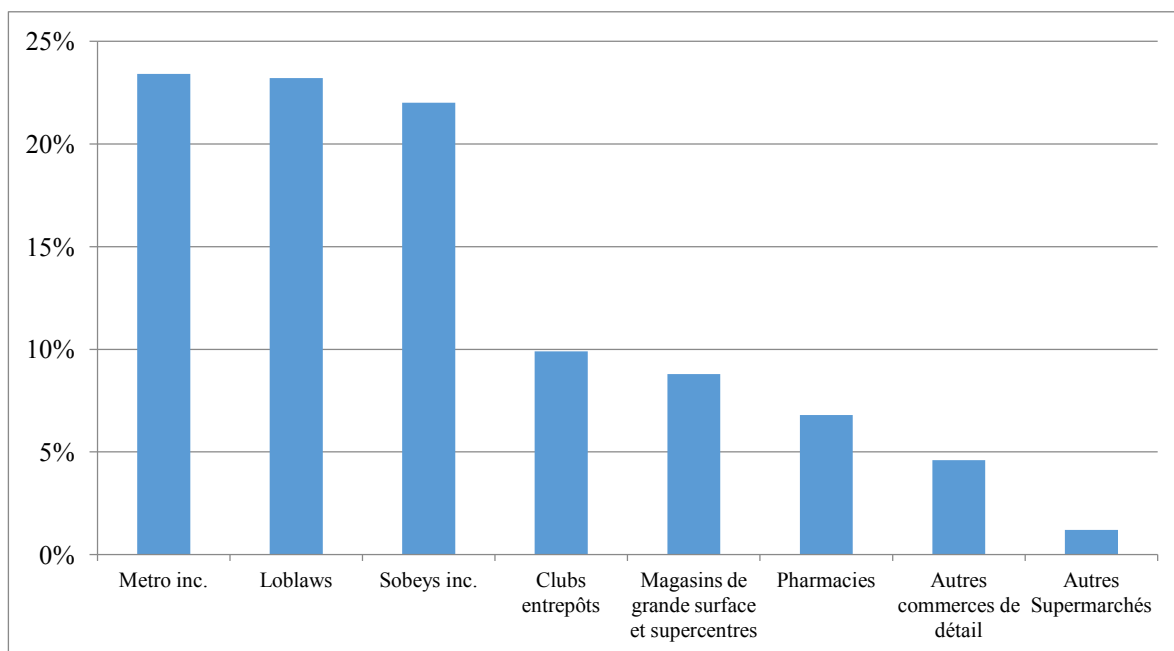
2,3 en 2011. Ils achètent davantage leurs produits alimentaires dans les supermarchés et les pharmacies que les Canadiens, dépensent moins par visite en magasin, mais la fréquence des visites est plus élevée.

La demande alimentaire québécoise pour 2013 est estimée à 37 800M \$, tandis que la demande alimentaire évaluée par les ventes alimentaires dans les magasins et dans le réseau des services alimentaires représente une dépense annuelle moyenne d'environ 8600 dollars par ménage pour l'alimentation et les boissons alcoolisées et non alcoolisées (Boudreau *et al.*, 2014).

1.3 Acteurs dans l'industrie alimentaire

Malgré la multiplication des acteurs à travers le Canada, le commerce de détail alimentaire reste relativement consolidé. En effet, six grandes chaînes, à savoir Loblaws, Sobeys, Metro, Costco, Walmart et Safeway Canada, contrôlent 90% du marché canadien de l'alimentation, tandis qu'au Québec, les trois premières (Loblaws-Provigo, Sobeys-IGA et Metro) accaparent près de 70% du marché (figure 1-3).

Figure 1-3. Répartition du commerce des aliments au Québec en 2012 (en %)



Source: Portrait du secteur des magasins d'alimentation au Québec (Petit, Morissette et Bourhis, 2014)

Tout récemment, Walmart a accéléré le rythme de l'implantation de ses établissements au Canada. Il s'agit d'un concept de magasin à grande surface qui regroupe à la fois la marchandise normalement offerte chez Walmart et une épicerie complète (fruits, légumes, viande, poissons et produits de boulangerie).

Les chaînes d'alimentation utilisent différentes dénominations sociales ou approvisionnent d'autres distributeurs pour rejoindre les consommateurs. C'est le cas de Sobeys Québec inc. qui regroupe notamment les enseignes IGA et IGA Extra, Rachele-Béry, Les Marchés Tradition et Bonichoix (voir l'annexe 2 pour d'autres détails).

L'essentiel du commerce de détail alimentaire au Québec se fait surtout par l'intermédiaire de détaillants indépendants (63% des ventes) plutôt que par des chaînes de magasins d'entreprise (37% des ventes) (Ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, 2013).

Les supermarchés IGA offrent la possibilité de faire son épicerie par Internet depuis 1998. Ils ont été le premier joueur à offrir ce service au Québec. Le processus d'achat est assez simple. Le site comporte un catalogue qui permet au client, un peu comme en magasin, d'aller de catégorie en catégorie et de choisir chacun de ses aliments. Il peut compléter une commande, l'envoyer au magasin de son choix, puis soit se faire livrer la commande à la maison, ou aller la cueillir en magasin.

Les frais d'assemblage de la commande étaient au départ de 3 \$ et ont aujourd'hui grimpé à 4 \$. Enfin, si le consommateur choisit la livraison, un frais s'ajoute. Ce frais est variable selon le magasin. Par contre, nous avons fait un achat en ligne et ce frais est égal à 4,25 \$ pour le supermarché Denis Deschênes inc. (Verdun) Montréal (voir l'annexe 3). Le paiement peut se faire par carte de crédit en même temps que l'on passe sa commande par Internet ou en argent comptant, directement au livreur. Un minimum de 45 \$ d'achats est requis pour passer une commande en ligne (voir le tableau 1-1). Il faut prévoir un délai de 4 heures pour une cueillette et de 6 heures pour une livraison.

Tableau 1-1. Service de livraison de l'épicerie à Montréal

	IGA	Provigo	Metro
Moyen de faire la commande	par Internet ou en personne	par téléphone ou en personne	par téléphone ou en personne
Option supplémentaire	<i>drive-in</i>	-	-
Achat minimum requis	45 \$	40 \$	aucun
Frais de livraison	4 \$ (préparation de commande) + 4,25\$* (coût de transport variable, selon le magasin)	gratuit pour commande >200 \$	
		ordinaire	pour les ainés
		3,99 \$	1,99 \$
			4,99 \$

Note: * 4,25\$ représente le coût de transport pour le supermarché Denis Deschênes inc. (Verdun) Montréal.

Les autres enseignes, Provigo et Metro, offrent aussi le service de livraison à domicile, mais les commandes sont effectuées par téléphone seulement.

1.4 Structure du travail

Afin d'atteindre les objectifs désirés, le présent mémoire s'appuie sur la réalisation de plusieurs étapes successives. Le premier chapitre présente le contexte actuel du secteur alimentaire, les acteurs de la grande distribution et les caractéristiques du consommateur québécois. Aussi, la problématique et les questions de recherche sont directement discutées. Dans le but de placer le lecteur dans la thématique du travail, une brève description de la revue de la littérature sera résumée dans le second chapitre. Il nous apporte une idée générale sur la distribution traditionnelle et en ligne ainsi que les différentes stratégies de distribution les plus répandues dans le secteur alimentaire. À la fin du chapitre, la notion de l'efficacité énergétique des circuits courts et des circuits longs sera traitée. Dans le troisième chapitre sera présentée la méthode de résolution adoptée. Dans cette partie, quatre scénarios représentant différents types de distribution alimentaire seront abordés. Au quatrième chapitre, nous allons présenter les résultats obtenus et l'interprétation de ces derniers. Finalement, le dernier chapitre énoncera les différentes contributions et les limites du présent travail, ainsi que des futures pistes de recherche.

CHAPITRE 2. REVUE DE LA LITTÉRATURE

Ce chapitre donne un bref aperçu de l'état actuel de la littérature sur plusieurs aspects de la distribution des produits alimentaires à domicile. La première section nous apporte une analyse comparative entre la distribution traditionnelle et la distribution en ligne sous les dimensions économique, technologique, comportementale et environnementale. Les deuxième et troisième sections de la revue de la littérature couvrent de manière plus approfondie les différentes stratégies de distribution des aliments et mettent le focus sur l'efficacité énergétique de deux formes de distribution alimentaire: les circuits de proximité et les circuits longs.

2.1 Analyse comparative entre la distribution traditionnelle et en ligne

Avec le progrès technologique et l'essor du commerce en ligne depuis plus d'une décennie, les enjeux de l'organisation des livraisons dans les villes prennent de l'ampleur, notamment ceux effectuées à domicile (Moati, 2011).

Il existe de nombreuses recherches académiques consacrées au e-commerce (Chaffey, 2009), mais la littérature apporte en revanche peu de réponses pour le secteur du magasinage alimentaire en ligne. Pour une majorité de consommateurs alimentaires, le regard sur les types de produits, le moment d'achat et le lieu d'achat est très routinier. Les courses alimentaires apparaissent ainsi très machinales, ce qui rend leur évolution plus lente et difficile que pour d'autres catégories de produits (Raijas, 2002). Ces spécificités limitent la généralisation des résultats des travaux existants sur l'e-épicerie (épicerie électronique ou en ligne) menés sur d'autres secteurs et mettent en lumière la nécessité de développer des recherches spécifiques sur la distribution alimentaire en ligne.

L'essor du commerce électronique s'est accompagné d'une intense activité de recherche se traduisant par de nombreuses études à la fois théoriques et empiriques. Par exemple, ECOMLOG (www.tuta.hut.fi/ecomlog) est un regroupement de chercheurs de l'Université de Helsinki (www.helsinki.fi) qui a fait une étude détaillée des services offerts par les

distributeurs de produits alimentaires en ligne. Ils ont produit, entre autres, plusieurs articles sur les épiceries en ligne. Dans ces recherches (Kämäräinen, Saranen et Holmström, 2001; Punakivi, Yrjölä et Holmström, 2001; Småros, Holmström et Kämäräinen, 2000; Yrjölä, 2001), les auteurs ont étudié différentes façons de recevoir, traiter et livrer les commandes, et leurs effets sur les coûts. Selon eux, les services offerts sont caractérisés par les coûts de livraison, les heures et les délais de livraison, les durées des fenêtres de temps, et le modèle de distribution.

Chambolle et Dumans (2002) proposent de faire le point sur les perspectives, enjeux et conséquences de l'utilisation d'Internet au sein du commerce des produits alimentaires. Après avoir abordé les éléments distinctifs du commerce électronique et de la distribution classique, elles ont ensuite comparé les deux types de distributeurs, c'est-à-dire les *pure-players* et les *clicks and mortar*. D'une part, les auteurs analysent les points forts du commerce en ligne des aliments comparé à la forme classique de distribution, notamment la variété et la personnalisation de l'offre, l'accès aisé et rapide à des informations complémentaires sur les produits (valeur nutritionnelle, provenance, etc.), et ce pour un coût marginal très faible. D'autre part, le commerce électronique comporte des inconvénients, comme la sécurité des paiements, l'incertitude sur le vendeur et les produits, l'existence d'un délai entre l'achat et l'obtention du bien, ou tout simplement le temps d'adaptation de la demande à ce nouveau mode de distribution. Les auteurs ont conclu que la plupart des *pure players* sont aujourd'hui en situation difficile, et la faillite de la compagnie américaine Webvan en juillet 2000 confirme que leur avenir est menacé.

Le commerce alimentaire en ligne est aujourd'hui dominé par des modèles *click and mortar*, aussi bien aux États-Unis qu'au Royaume-Uni. Ainsi, de lourds coûts fixes (entrepôts, parc de véhicules) et la construction lente de la confiance du consommateur envers les *pure players* ont fragilisé les modèles *all click* (Ring et Tigert, 2001; Tanskanen, Yrjölä et Holmström, 2002).

À partir d'une analyse des meilleures pratiques des quatre principaux acteurs britanniques, Hackney, Grant et Birtwistle (2006) isolent cinq facteurs clés de succès d'un modèle *brick and mortar*, une entreprise ayant la méthode de vente traditionnelle en magasin: la

rentabilité comme premier objectif dès l'initiation du projet, une démarche d'apprentissage expérientiel nécessitant un développement progressif, une large offre incluant des services et un contenu informationnel, le développement d'actifs spécifiques sur lesquels fonder un avantage concurrentiel et la construction d'une marque forte.

Punakivi et Saranen (2001) montrent que le service de livraison des produits alimentaires à domicile s'avère de 43% moins cher par rapport aux coûts actuels des clients qui visitent eux-mêmes le supermarché en utilisant leur propre voiture et leur temps libre.

Plusieurs autres études (Estia-Via, 2006, 2007, 2009) examinent cette question pour le cas de l'épicerie en ligne et concluent à l'intérêt, sur le plan énergétique et environnemental, du commerce électronique (avec livraison à domicile) par rapport à l'achat en magasin. Ainsi, la distance moyenne parcourue par les clients est 3,8 fois plus courte dans le modèle e-commerce, les déplacements sont plus courts de 20 minutes, les coûts de déplacements sont quatre fois plus faibles, l'émission moyenne de CO₂ est divisée par un facteur compris entre 3,83 et 4,65 et l'écart moyen entre le circuit physique et le modèle e-commerce est de 2,670 kg équivalent CO₂ par livraison.

Marousseau (2007) considère que la rentabilité de différents modèles de distribution n'est pas très facile à assurer. Pour Yrjölä (2003), un modèle logistique dédié à l'épicerie en ligne se justifie dès lors que le nombre de commandes au km² est élevé. En France, par exemple, seuls deux acteurs s'affirment rentables, Natoora (www.natoora.fr) depuis 2004 et Houra (www.houra.fr) depuis 2006, et en Suisse le distributeur www.leshop.ch depuis 2006 (Marousseau, 2007).

Au-delà des dimensions économique et technologique, une perspective comportementale doit être intégrée à l'analyse du e-commerce alimentaire (Angell *et al.*, 2012; Grunert et Ramus, 2005; Hackney, Grant et Birtwistle, 2006).

Les coûts de transaction, qui consistent à évaluer le coût de visite d'un supermarché, jouent un rôle important dans le choix du consommateur. Les chercheurs ont appliqué la notion de coûts de transaction, en particulier, le rôle des coûts de temps et les coûts de transport, afin

d'analyser le choix du consommateur pour les magasins traditionnels (Bell, Ho et Tang, 1998), les magasins en ligne (Brynjolfsson et Smith, 2000; Smith, Menon et Sivakumar, 2005), et entre les deux (Forman, Ghose et Goldfarb, 2009; Kwik, 2002; Liang et Huang, 1998; Sinai et Waldfogel, 2004).

Chintagunta, Chu et Cebollada (2012) intègrent les différents coûts de transaction dans un cadre de choix du canal de distribution et analysent empiriquement les coûts relatifs de transaction lorsque les ménages choisissent entre la méthode d'achat en ligne et la méthode traditionnelle de la même chaîne d'épicerie. Parmi ces coûts de transaction, nous pouvons énumérer les temps de déplacement et les coûts de transport, les temps de courses et de cueillette. Ceux derniers qui ont un impact sur le choix du consommateur. Les auteurs constatent que ces coûts jouent un rôle important dans le choix entre les deux canaux de distribution.

Pour les acheteurs des aliments en ligne, les principaux freins résident dans le coût du service, les difficultés rencontrées avec le personnel de livraison (Morganosky et Cude, 2002) et surtout la fiabilité du système de livraison (Wilson-Jeanselme et Reynolds, 2006). Selon ces derniers, le passage d'un magasinage traditionnel à un magasinage alimentaire en ligne dépendrait donc du degré de familiarité du consommateur avec Internet et de sa confiance en matière de prix et de qualité envers le site. Pour le magasinage en ligne, le service de livraison et le niveau de prix représentent des caractéristiques déterminantes dans le choix du consommateur.

L'un des enjeux majeurs de l'association d'Internet et des magasins concerne l'organisation de la logistique dans les livraisons à domicile, qui reste l'un des facteurs les plus déterminants du succès de la vente en ligne. Outre la prise en charge des opérations d'après vente, les magasins peuvent servir de relais pour la mise à disposition des commandes passées sur Internet et contribuer ainsi à la maîtrise du coût logistique (Durand et Senkel, 2007).

Kenneth, Hult et Mark (2003) examinent les données sur le processus de commande et de livraison de plusieurs épiceries, à la fois aux États-Unis et au Royaume-Uni. Ils ont analysé

les données sur la méthode de placement de la commande, la cueillette et le mode de livraison de quatre distributeurs: Ocado, Sainsbury's, Peapod and Lowes Foods. Cet article examine les défis opérationnels impliqués afin d'offrir un service à valeur ajoutée aux consommateurs et postule l'argument selon lequel les efforts antérieurs (notamment Webvan) ont échoué en grande partie due à une mauvaise exécution opérationnelle et au modèles d'affaires mal planifié.

Dans la même voie, Kämäräinen *et al.* (2001) examinent les deux types de distribution, mais ils se sont concentrés plus sur une analyse coûts-bénéfices des différents formes de cueillette et préparation de la commande. En décrivant les facteurs déterminants qui mènent à réduire les coûts opérationnels de la distribution en ligne, ils acheminent des solutions pour obtenir une cueillette plus efficace. En présence d'une demande suffisante, ils ont montré que la logistique d'entrepôt domine la logistique de magasin. Dans ce sens, il est opportun d'investir dans un système de cueillette automatisé.

Plus tard, Punakivi (2003) développe et analyse différents modèles, existants et émergents, de livraison à domicile de l'épicerie. Les coûts du modèle de livraison à domicile avec surveillance (le client est obligé de se trouver à la maison pour la livraison) sont comparés avec la réception sans surveillance, et leur faisabilité a été évaluée à l'aide des données réelles d'un point de vente et d'un outil de routage de véhicules. Ils ont montré qu'en utilisant des boîtes de réception spécifiques pour le client, les coûts de livraison à domicile connaissent une réduction de 44 à 53%. Selon les résultats, les coûts de transport de livraison à domicile par l'intermédiaire d'une boîte de réception partagée sont 55-66% plus faibles comparé avec les coûts de la livraison avec surveillance et une fenêtre de temps de deux heures. Ces résultats montrent que le modèle de livraison à domicile de l'e-épicerie le plus rentable est basé sur la réception sans surveillance, ce qui permet un routage optimal et l'ordonnancement de véhicules. De plus, les effets sur l'environnement des différents modèles de livraison à domicile sont analysés.

D'un point de vue environnemental, les auteurs de nombreux travaux s'interrogent sur la contribution de la logistique centralisée et décentralisée à la réduction de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre (Edwards, McKinnon et Cullinane, 2011;

Mariola, 2008; Pirog, 2004; Redlingshöfer, 2008). Tout à fait, leur performance varie en fonction des volumes de production, des kilomètres alimentaires parcourus, du trajet de retour à plein ou à vide et du type de carburant utilisé (Redlingshöfer, 2008).

Dans ce contexte, les débats sont actuels. Si la majorité des auteurs s'accordent sur la nature des méthodes possibles d'optimisation (Van Hauwermeiren *et al.*, 2007; Wallgren, 2006), certains concluent que le bilan énergétique et le millage total de la distribution des produits en circuit local (décentralisé) est fortement pénalisé par une faible optimisation de la logistique (Coley, Howard et Winter, 2009; Edwards-Jones *et al.*, 2008; Rizet *et al.*, 2008; Schlich *et al.*, 2006; Schlich et Fleissner, 2005), alors que d'autres considèrent que la réduction des distances de transport et du nombre d'intermédiaires permet de réduire considérablement les impacts écologiques et les coûts qui leur sont attribués (Jarosz, 2008; Jungbluth et Demmeler, 2005; Pimentel *et al.*, 2008; Pretty *et al.*, 2005).

2.2 Stratégies de distribution des produits alimentaires

La logistique constitue, selon Dornier et Fender (2007), une composante essentielle de la stratégie des distributeurs: elle joue un rôle majeur dans le succès de la vente en ligne. Pour mieux comprendre les conditions du succès des épiciers en ligne et leur processus de développement, une analyse des différents modèles logistiques est nécessaire.

La stratégie de la logistique (les coût plus bas, la différenciation des produits, le service), le type de produit (fonctionnelle, distribution innovante), en fonction du temps (centralisé ou décentralisé), le cycle de vie du produit, et les exigences du client (densité de la clientèle, besoin de soutien) peuvent être utilisés comme des heuristiques lors du choix de la stratégie de distribution (Inkiläinen, 1998).

Dans le cas du commerce alimentaire en ligne, sept principaux modèles d'organisation logistique peuvent être mis en évidence (Durand, 2008; Durand et Senkel, 2007). Ces modèles sont: (1) e-magasinage et retrait des produits dans l'espace magasin (parking ou

entrée du magasin); (2) e-magasinage et retrait du produit dans un autre lieu que le magasin (entrepôt, par exemple); (3) e-magasinage et mise en chariot lors de la visite en magasin; (4) e-magasinage et livraison à domicile; (5) magasinage par bornes de commande, sans entrée du client en magasin; (6) magasinage en magasin et par bornes de commandes et (7) magasinage et livraison à domicile.

Les modèles (1), (2) et (5) correspondent à des systèmes de *drive-in* c'est-à-dire, par analogie au service proposé par l'enseigne Mc Donald, à un système de retrait des courses en voiture. Pour les distributeurs inscrits dans une stratégie *click and mortar*, le système du e-magasinage et *drive-in* est aujourd'hui privilégié par les distributeurs alimentaires à la fois dans le but de répondre au *last mile issue* (dernier kilomètre) (Punakivi, Yrjölä et Holmström, 2001) et d'attirer de nouveaux clients.

Cependant, si on se limite au système de préparation des commandes en ligne et à la distribution, il est important de retenir deux modèles de base (Ferne, Sparks et McKinnon Alan, 2010; Holmstrom, Tanskanene et Kamarainen, 1999; Kämäräinen, 2000; Paché, 2008): la logistique de magasin (*store-picking*) et la logistique d'entrepôt (*warehouse-picking*).

La livraison à partir des magasins physiques a été adoptée par Tesco, le premier groupe mondial de commerce électronique alimentaire (plus tard par Albertson's, Safeway, Sainsbury's et MyWebGrocer). Il consiste à orienter la commande vers le magasin le plus proche du domicile du consommateur.

Ce type d'organisation (décentralisé) fonctionne donc dans le cas d'un réseau très dense de magasins de proximité implanté à l'intérieur des villes comme l'a montré au Royaume-Uni la chaîne Tesco (Brousseau et Kessous, 2003).

En ce qui concerne la logistique d'entrepôt, l'objectif est d'orienter la commande vers un entrepôt et à livrer les produits chez le consommateur (par exemple Ahold, Sainsbury's, Ocado et Webvan). Cette fois-ci, le principal inconvénient est l'importance du coût d'investissement à engager. Par exemple, Target Corporation a fait construire en 2013 un

entrepôt entièrement automatisé de 1,5 millions de pieds carrés à Denton (TX), États-Unis, dans lequel il a investi 100 millions dollars. Contrairement au système de livraison à partir des magasins, ce système d'entrepôt n'apparaît rentable qu'à partir d'une demande minimale.

Quand les volumes deviennent suffisamment importants et que le chiffre d'affaires dépasse un certain niveau, soit 3 millions d'euros, selon Yrjölä (2003), ce modèle devient plus efficace que celui du magasin.

Les supermarchés en ligne qui choisissent la méthode du magasin n'ont pas besoin de consacrer l'essentiel de leurs investissements aux entrepôts. Ainsi, ils offrent plus de proximité au consommateur et assurent plus de flexibilité (Humby *et al.*, 2003; Humby *et al.*, 2008).

Marouseau (2005), par contre, soutient que la performance des supermarchés provient plus d'un mélange entre marketing, logistique et système d'information que de la primauté d'un modèle du magasin versus celui d'un entrepôt.

Les modèles mixtes ou hybrides (Durand et Senkel, 2007; Yousept et Feng, 2005) constituent la solution logistique optimale pour le développement des e-épiceries dans des zones hétérogènes, tant au niveau des densités de population que de la demande des clients.

Dans la même voie, d'autres études confirment que le succès des supermarchés en ligne repose sur les *click and mortars*, sur leur capacité à créer de fortes synergies entre les deux formes de distribution et sur une forte cohérence entre la logistique et le marketing (Colla et Lapoule, 2009, 2011). Au contraire, comme le montre le cas Tesco, le choix du modèle du magasin n'est pas suffisant pour assurer le succès à long terme.

2.3 Efficacité énergétique des circuits courts et des circuits longs

Concernant l'épicerie en ligne, il est légitime de s'interroger sur l'efficacité énergétique de ce mode de distribution qui peut devenir un jour le mode majeur de distribution. Après une

description des différents types d'organisations logistiques mis en œuvre par les distributeurs, la question de la comparaison sur le plan énergétique du commerce électronique avec d'autres modes de distribution est posée. Olivier (2011) montre que, dans le cas de Rennes (France), un habitant du centre-ville peut se déplacer en véhicule particulier vers un supermarché en consommant une quantité d'énergie comparable ou inférieure à celle consommée par une livraison à domicile depuis un entrepôt de préparation de commandes.

Maintenant, nous allons aborder la logistique de magasin, nommée aussi selon plusieurs auteurs le circuit court ou de proximité, comparé à la logistique d'entrepôt ou le circuit long. Dans ce contexte, on observe un foisonnement d'initiatives autour des circuits courts alimentaires ou le mode décentralisé (Goodman, 2004; Maye, Holloway et Kneasfey, 2007; Wiskerke et van der Ploeg, 2004), la proximité étant définie selon une double entrée: géographique et relationnelle (Praly *et al.*, 2009). Ces résultats montrent que les différents intermédiaires intervenant dans ces circuits participent à la construction du lien producteurs-consommateurs, à la fois en rendant fonctionnelle la proximité géographique, et en médiatisant la proximité relationnelle.

Sur ce chemin, certains auteurs mettent en avant la forte influence du dernier kilomètre, soit le trajet des consommateurs, sur l'efficacité énergétique (Davis et Sonesson, 2008; Van Hauwermeiren *et al.*, 2007), tandis que d'autres comparent des chaînes d'approvisionnement à différentes échelles: nationale, européenne ou internationale (Sim *et al.*, 2007). Ces derniers étudient de façon empirique si, d'une manière générale, les produits alimentaires provenant de chaînes d'approvisionnement régionales sont caractérisés par une consommation d'énergie finale inférieure à celle des produits provenant des chaînes d'approvisionnement mondiales. Ce projet vise aussi à explorer les impacts environnementaux associés à des chaînes d'approvisionnement en produits frais, afin de comprendre l'importance relative du transport par rapport aux autres activités de la chaîne d'approvisionnement (stockage et emballage). D'autre part, ce travail se propose de vérifier en même temps la thèse selon laquelle la taille de l'entreprise influe significativement sur la consommation d'énergie finale, à l'instar des lois économiques.

Un lien théorique est établi entre la réduction des distances parcourues par les aliments et la diminution de la dépense d'énergie attribuable aux transports (Gilg et Battershill, 2000; Jarosz, 2008; Pimentel *et al.*, 2008). Ces études montrent que la consommation de carburants dans l'industrie alimentaire pourrait être réduite d'environ 50% seulement par des changements technologiques appropriés dans la production alimentaire, la transformation, l'emballage, la consommation et surtout, le transport. Les résultats suggèrent que, globalement, les agriculteurs bénéficieront de tels changements ainsi que les consommateurs. Les défenseurs d'une telle approche s'appuient souvent sur la notion de *food miles*, proposée notamment par Pirog (2004).

Plus tard, Morganti (2011) a combiné les deux termes, *last miles* et *food miles* pour adopter la notion de dernier kilomètre alimentaire. Il s'agit alors de la livraison finale des marchandises périssables vers les points de vente alimentaires urbains. Ce concept inclut des critères logistiques liés à l'efficacité et l'efficacités des systèmes de distribution, liés à la durabilité économique, environnementale et sociale des communautés urbaines. Il se compose généralement dans de petites livraisons gérées par les opérateurs de transport et fournisseurs, des grossistes et distributeurs.

Mundler et Rumpus (2012), quant à eux, sur la base de mesures effectuées pour divers modes de distribution de paniers de fruits et légumes, nous montrent que la performance de ces circuits courts, en termes d'efficacité énergétique, est comparable à celle de circuits plus longs, voir meilleure. En effet, les circuits de proximité étudiés se traduisent par des efforts d'organisation locaux ou à l'échelle de petits réseaux territoriaux dont ne peuvent rendre compte les études reposant sur des moyennes qui ignorent les pratiques spatiales concrètes des acteurs, qu'il s'agisse des agriculteurs ou des consommateurs.

De l'autre côté de la barricade, comme le remarquent certains pionniers, le nombre de kilomètres parcourus par les aliments ne permet pas de tenir compte du fait que le commerce de proximité met sur les routes quantité de petits véhicules transportant peu de volume et dont le bilan carburant consommé sur le volume transporté n'est pas forcément bon (Mariola, 2008; Milà i Canals *et al.*, 2007; Saunders, Barber et Taylor, 2006).

L'étude de Pretty *et al.* (2005), reposant sur la mesure de l'ensemble des externalités attribuables au système alimentaire en Grande-Bretagne, conclut qu'une variété de mesures favorisant l'approvisionnement décentralisé permettrait de réduire les coûts de transport et environnementaux. Ces travaux conduisent donc à considérer que la réduction des kilomètres alimentaires permet d'améliorer l'efficacité énergétique de la distribution et la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Dans la même direction, d'autres études apportent des éclairages complémentaires en montrant les conditions dans lesquelles les systèmes de distribution centralisés sont moins énergivores que les systèmes de distribution décentralisés (Coley, Howard et Winter, 2009; Van Hauwermeiren *et al.*, 2007; Wallgren, 2006). Les mêmes résultats sont trouvés par Rizet *et al.* (2008) dans une étude concernant l'analyse énergétique des chaînes logistiques dans divers systèmes de distribution de fruits et légumes (tomate et pomme). Ces travaux montrent que les circuits courts sont pénalisés par les faibles quantités vendues, malgré les petites distances parcourues.

CHAPITRE 3. MODÈLE DE RECHERCHE

Ce chapitre nous donne tout d'abord un survol de diverses méthodes d'approximation du problème du voyageur de commerce. Par la suite, une explication détaillée de toutes les méthodes de calculs des différents coûts est abordée. Ces coûts sont liés aux entrepôts, à la préparation des commandes, au transport et aux camionneurs. Dans la dernière partie du chapitre, les fenêtres de temps et les coûts environnementaux seront discutés.

3.1 Méthodes d'approximation du problème du voyageur de commerce

Le problème du voyageur de commerce (PVC) a été abordé pour la première fois par Euler (1736). Ce problème consiste à trouver le chemin le plus court qui visite toutes les villes une seule fois, tout en revenant au point de départ. Ce problème a été si largement étudié dans la littérature que déjà en 1986, on répertoriait plus de 600 références (Lawler, 1985; Lawler *et al.*, 1986).

Depuis près d'un siècle, les instances géométriques du PVC générées aléatoirement ont reçu une attention particulière des chercheurs en mathématiques, statistiques et logistique. Dans ce problème, chaque ville correspond à un point choisi indépendamment et uniformément, c'est-à-dire chaque point (x, y) avec x et y compris entre 0 et 1, est également susceptible d'être sélectionné comme une ville. Le coût de voyage entre les villes est mesuré par la norme euclidienne. Ces cas ont été ciblés par l'étude de Mahalanobis (1940) dans le cadre de son travail d'enquêtes sur les terres agricoles. Le problème qui a intrigué Mahalanobis et beaucoup d'autres était de déterminer la longueur de la distance parcourue sur n villes, choisies de manière aléatoire. Il soulève que la longueur devrait croître à peu près en proportion de \sqrt{n} .

Plus tard, Marks (1948) et Ghosh (1948) ont attaqué le même problème mais des deux côtés: Ghosh prouve que la longueur d'une tournée optimale n'est pas plus de $1,27\sqrt{n}$ et Marks montre que cette longueur L est au moins:

$$L = \frac{\sqrt{n} - \frac{1}{\sqrt{n}}}{\sqrt{2}}$$

Ces travaux ont conduit au célèbre résultat de Beardwood, Halton et Hammersley (1959). Selon ces derniers, si les positions des sommets (dans notre cas ce sont les clients) sont des variables aléatoires indépendantes et uniformément distribuées sur le carré unitaire et si les longueurs des arêtes sont données par les distances euclidiennes, alors la longueur du tour optimal $L(n, A)$ à travers n sommets normalisée par \sqrt{n} tend presque sûrement vers une constante k . Cette constante est estimée à 0,75 et A représente l'aire géométrique du territoire (dans ce cas l'aire du carré $1 \times 1 = 1$) :

$$L(n, A) = k\sqrt{n \times A}$$

Plusieurs auteurs ont trouvé des valeurs différentes pour la constante k en fonction de la forme géographique, fonction de la densité et méthode de recherche :

Les valeurs de la constante k	Les auteurs et l'année de la publication
0,75	Beardwood, Halton et Hammersley (1959)
0,765	Stein (1978)
0,74	Ong et Huang (1989)
0,73	Fiechter (1994)
0,721	Lee et Choi (1994)
$0,7120 \pm 0,0002$	Percus et Martin (1996)
$0,7124 \pm 0,0002$	Johnson, McGeoch et Rothberg (1996)
0,7119	Jacobsen, Read et Saleur (2004)
0,708	Goemans et Bertsimas (1991)

Le remarquable théorème de Beardwood, Halton et Hammersley (1959) a attiré une attention considérable dans la communauté de recherche. Dans la recherche opérationnelle et l'informatique, le théorème a été la cible de nombreuses études empiriques, conduisant à

un travail général sur l'estimation de la qualité des algorithmes heuristiques. Pour notre recherche, nous avons retenu la valeur de 0,75 pour la constante k .

Christofides et Eilon (1974) ont estimé la distance totale de voyage pour visiter n clients situés aléatoirement dans une zone d'aire A . Si d représente la distance euclidienne moyenne entre les travailleurs et le lieu de travail, alors, la distance totale de voyage L est:

$$L = c_1 d + c_2 \sqrt{nd} \times \sqrt{A}$$

Sachant que les travailleurs sont placés de façon aléatoire dans un carré, les auteurs nous suggèrent de prendre les valeurs suivantes pour les constantes: $c_1 = 1,8$ et $c_2 = 1,1$. Plus tard, ils ont étudié aussi l'influence de la zone desservie, la localisation de l'entrepôt et le nombre des routes sur la distance moyenne.

Dix ans après, Daganzo (1984a) trouve la longueur de la tournée en utilisant plusieurs véhicules et différentes zones géographiques (Daganzo, 1984b). Il a proposé une formule simple et intuitive pour le problème de tournée de véhicule avec capacité lorsque le dépôt n'est pas nécessairement situé dans la zone qui contient les clients :

$$L(n, A) \approx \frac{2\bar{r}m}{C} + 0,57\sqrt{n \times A}$$

où

$L(n, A)$ – longueur totale dans le problème de tournée de véhicule avec capacité

A – aire géométrique du territoire

n – nombre de clients à visiter

m – nombre de véhicules

\bar{r} – distance moyenne entre le client et l'entrepôt

C – capacité du véhicule.

Stokx et Tilanus (1991) ont utilisé les normes euclidiennes pour estimer la longueur de la distance pour les déplacements des pétroliers. Cette longueur peut être présentée par la formule suivante:

$$T = a \sum_{i=1}^d \frac{r_i}{d} + b \left(\sum_{i=1}^d r_i \right)^{1/2}$$

où

T – estimation de la longueur du voyage

d – nombre de clients desservis dans un seul voyage (autrement dit, capacité du véhicule)

r_i – distance euclidienne entre le client i et l'entrepôt

a, b - constantes de régression.

Pour les déplacements des pétroliers en Belgique ils ont trouvé que: $a = 1,48$ et $b = 9,69$ et pour les Pays-Bas les valeurs de ces constantes sont: $a = 1,81$ et $b = 6,93$.

Hindle (2004) examine la façon dont la longueur moyenne du voyageur de commerce est influencée par le modèle et le nombre de points à visiter. Deux fonctions mathématiques pour estimer la distance totale sont présentées. La première fonction calcule la longueur de la distance lorsque n points sont générés de façon aléatoire dans un carré de dimensions 100 par 100, avec la constante $k = 0,75$:

$$\text{Longueur moyenne du PVC} = k \times 100\sqrt{n}$$

et la deuxième donne la longueur totale du voyageur du commerce lorsque certaines zones sont plus susceptibles d'être visitées que les autres, tel que défini par la « demande sectorielle » :

$$\text{Longueur moyenne du PVC} = a(n) + b \times \ln(n) + c$$

où

a, b et c sont des constantes.

Pour un carré, ces valeurs sont: $a = 3,63$, $b = 85,78$ et $c = 62,67$.

Afin d'estimer la distance, Chien (1992) a testé la précision de sept modèles différents. Il a utilisé 16 formes géographiques différentes pour la région desservie. L'entrepôt était toujours situé à l'origine, le coin gauche inférieur de la zone rectangulaire. Il générerait aléatoirement 4160 problèmes à tester avec une taille de 5 à 30 clients. Ensuite il a résolu de façon optimale chaque problème. À l'aide de régressions, Chien a trouvé les meilleurs

paramètres d'ajustement. Le pourcentage d'erreur moyenne absolue (MAPE) a été le point de référence pour comparer les spécifications. Chien constate que la MAPE pour le meilleur modèle est égale à 6,9%. Selon lui, l'estimation de la distance du voyageur du commerce ($PVC(V^n)$) peut être décrite de la manière suivante:

$$PVC(V^n) \approx 2,1\bar{r} + 0,67\sqrt{n \times A}$$

Kwon, Golden et Wasil (1995) ont également effectué des simulations et des régressions linéaires mais en plus que le travail fait par Chien, ils ont utilisé les réseaux de neurones pour identifier de meilleures approximations. Pour vérifier la précision des modèles, ils ont testé le PVC dans les zones rectangulaires avec huit ratios différents (longueur sur largeur) allant de 1 à 8. La taille des problèmes vont de 10 à 80 clients. Deux modèles différents ont été employés, un avec l'entrepôt situé à l'origine et l'autre au centre du rectangle :

$$L = c_1 + c_2n + c_3 \frac{S}{n} \sqrt{n \times A}$$

$$L = d_1 + d_2n + d_3 \frac{S}{n} \sqrt{n \times A} + d_4D$$

où

L – longueur totale du voyage

A – aire géométrique du territoire

n – nombre de clients à visiter

S – ratios longueur/ largeur (plus grand où égal à 1)

D – distance moyenne de l'entrepôt jusqu'au client

c_i, d_i - sont des constantes qui prennent les valeurs suivantes selon le placement de l'entrepôt:

entrepôt situé à l'origine	entrepôt situé au centre
$c_1 = 0,8326$	$c_1 = 0,8740$
$c_2 = 0,0011$	$c_2 = 0,0016$
$c_3 = 1,1147$	$c_3 = 1,3403$
$d_1 = 0,7755$	$d_1 = 0,7896$
$d_2 = 0,0008$	$d_2 = 0,0012$
$d_3 = 0,9027$	$d_3 = 0,9746$
$d_4 = 0,4147$	$d_4 = 1,1470$

Une autre approximation de la distance moyenne du problème de tournées de véhicules a été récemment apportée par Figliozzi (2009), lorsque le nombre de clients servi n et le nombre de routes m sont donnés. La formule propose un arbitrage entre la distance de proximité et la distance de voyage totale lorsque le nombre de tournées augmente:

$$\bar{L}_{km} = 2m \times \bar{d}_{0i} + (n - m) \times k \times \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{n}}$$

où

\bar{L}_{km} – la longueur totale pour m tournées

A – aire géométrique du territoire

n – nombre de clients à visiter

k – constante

m – nombre de tournées

\bar{d}_{0i} – distance moyenne de l'entrepôt jusqu'au client i

C'est la première recherche qui a étudié et testé des approximations de la longueur moyenne pour les problèmes de tournées de véhicules lorsqu'il existe une variabilité dans le nombre de clients, les fenêtres de temps et le niveau de la demande. Cette approximation de la distance sera retenue pour notre recherche, parce qu'elle répond le mieux à nos besoins d'analyse en employant les distances euclidiennes et le cas avec plusieurs véhicules.

3.2 Description des scénarios

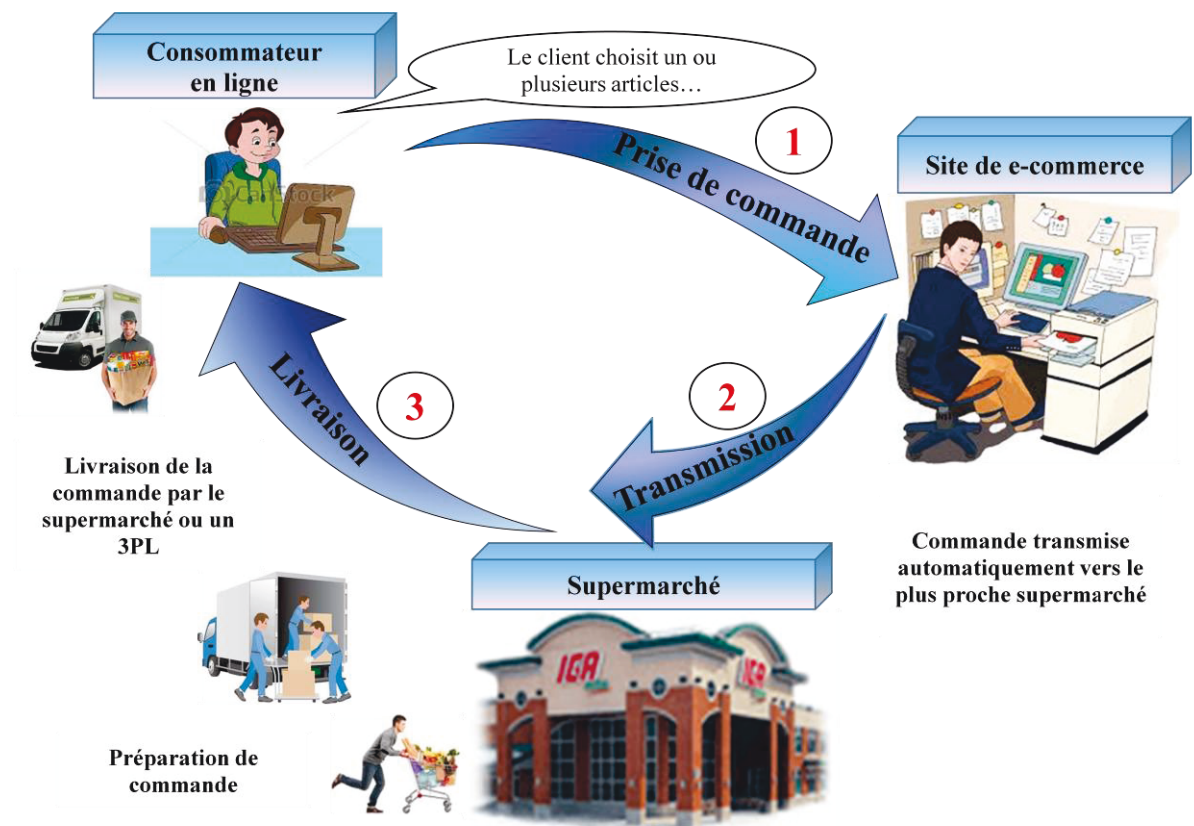
Dans le premier chapitre, nous avons présenté dans la figure 1-1 les quatre modèles de distribution des produits alimentaires. Dans cette partie nous allons faire une description plus approfondie des scénarios suivants :

1. Traditionnel (S_1)
2. Décentralisé (S_2)
3. Centralisé et non-automatisé (S_3)
4. Centralisé et automatisé (S_4)

La méthode traditionnelle (S_1) consiste dans la méthode classique où les consommateurs achètent eux-mêmes les produits alimentaires dans un supermarché de proximité et se déplacent avec leur propre voiture.

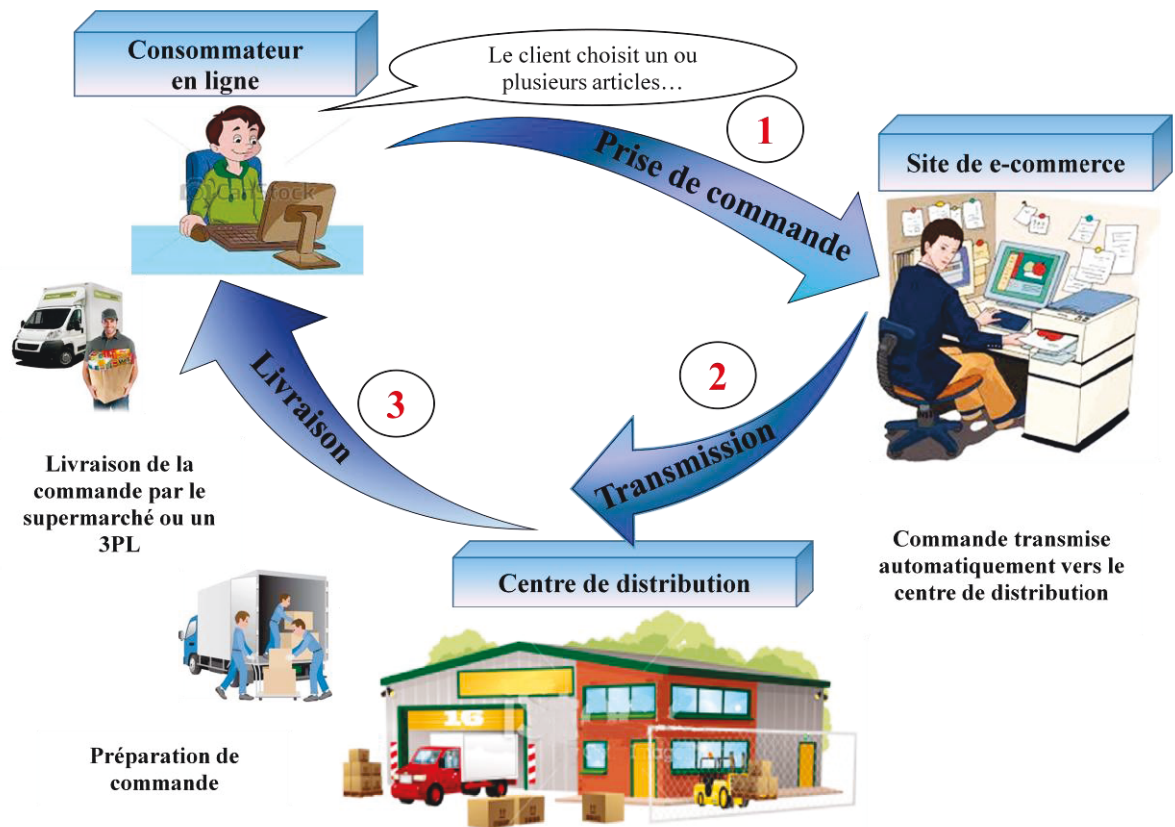
Le modèle décentralisé (S_2) repose sur le fait qu'une commande passée en ligne (étape 1 dans la figure 1-4) est directement transmise (étape 2) au magasin le plus proche du lieu de vie du consommateur. Des préparateurs prélèvent ensuite les articles dans les rayons du point de vente. Une fois la préparation terminée, les livraisons sont réalisées par la flotte du commerçant, ou sont confiées à un 3PL (prestataire logistique tierce partie) (étape 3). Ce modèle utilise donc les infrastructures existantes, d'où un investissement réduit. Cette organisation est souvent employée par les enseignes de distribution qui possèdent un large réseau de magasins (exemples: IGA au Canada et Tesco en Angleterre).

Figure 1-4. Processus d'achat en ligne : modèle décentralisé (S_2)



La méthode centralisée (S_3 et S_4) est très similaire au mode décentralisé, la différence consiste seulement dans le prélèvement de l'ensemble des commandes dans un entrepôt central (dans notre analyse unique) réservé aux commandes sur Internet. Cette méthode peut être classée en deux grandes catégories: les méthodes utilisant des hommes (non-automatisée, S_3) et les méthodes utilisant des machines (automatisée, S_4), mais le processus reste le même (voir la figure 1-5).

Figure 1-5. Processus d'achat en ligne : modèle centralisé (S_3 et S_4)



La méthode centralisée et non-automatisée (S_3) est la plus répandue, car ce système ne demande pas un investissement immense et le préparateur doit se déplacer dans les allées d'entreposage afin de préparer les commandes.

En ce qui concerne la méthode centralisée et automatisée (S_4), le processus de réception, de sélection et d'expédition est entièrement informatisé et géré avec une précision quasi-parfaite. À titre d'exemple, on peut considérer les deux entrepôts de la compagnie Sobey's Inc. à Terrebonne et Vaughan, construits par Witron Logistik Corp (www.witron.de).

Une fois les scénarios décrits, nous allons calculer ensuite les coûts pour tous les quatre modes de distribution (CT), entre autres: les coûts fixes d'entrepôt (C_f), les coûts de préparation de commande (C_c), et les coûts de transport (C_t): variables et fixes. La formule peut être représentée de la façon suivante :

$$CT = C_f + C_c + C_t$$

Note : dans le scénario S_I , le coût de commande C_c est remplacé par le coût du temps libre.

3.3 Demande et clients

La demande d'un client représente toute la gamme de produits alimentaires (viande, produit laitiers et œufs, boulangerie, boissons, etc.) qui sera mise dans une boîte avec capacité de 80 litres. Afin de pouvoir rendre notre analyse possible et pour simplifier les calculs, nous avons établi des hypothèses:

H₁ : Tous les ménages de Montréal passent une seule commande par semaine (52 semaines par an);

H₂ : La demande hebdomadaire est uniformément répartie sur 7 jours de la semaine.

La population totale de l'île de Montréal emporte 1 959 987 habitants (Institut de la Statistique Québec, 2013). Étant donné que le nombre moyen de personnes par ménage est de 2,3 personnes (Statistique Canada, 2014b), nous avons considéré le nombre total de ménages sur l'île, soit 852 168, comme nombre total de clients. Dans notre cas, ce nombre détermine aussi la demande hebdomadaire pour l'épicerie.

En nous appuyant sur les hypothèses **H₁**, et **H₂**, la demande maximale journalière a été établie à 121 738 unités. Dans les simulations, la demande sera variée de 0 jusqu'à sa valeur maximale. Ainsi, nous n'avons pas besoin de connaître le comportement du consommateur, parce que la fonction d'utilité du client moyen, représentant le choix entre l'achat en magasin et en ligne sera toujours comprise entre 0 et 1. Donc, peu importe la valeur exacte de cette fonction, nous l'avons considérée certainement en variant notre demande.

3.4. Coûts fixes d'entrepôt

Dans cette section, nous déterminerons le coût d'entrepôt, centre de distribution ou supermarché selon les quatre scénarios initiaux. Les calculs seront basés sur les données de l'Association de la construction du Québec (Association de la Construction du Québec, 2010), l'information dans la littérature et sur des données empiriques, provenant du centre de distribution situé à Terrebonne (Québec), de la compagnie Sobeys Inc.

Pour les scénarios S_1 , S_2 , et S_3 , le coût fixe d'entrepôt sera déterminé selon une étude comparative sur les coûts de construction au Canada, qui se base sur différentes banques de données publiques ou privées disponibles. Cette analyse se concentre uniquement sur les coûts associés à la phase de construction du projet. Les frais d'architecture, ou encore, les coûts d'acquisition du terrain sont exclus du calcul, alors que le profit et le bénéfice de l'entrepreneur sont inclus. Cette comparaison ne porte toutefois pas sur tous les types de travaux de construction. Elle se concentre sur les coûts de construction dans les secteurs commercial, institutionnel et industriel (voir le tableau 1-2).

Tableau 1-2. Coûts de construction par secteur au Canada

Catégorie	Type de projets	Coût moyen au pied carré	
		Montréal	Moyenne des quatre métropoles
Commercial	Commerce de détail	75 \$	75 \$
Commercial	Commerce de gros, 1 étage	115 \$	118 \$
Commercial	Supermarché	85 \$	85 \$
Commercial	Restaurant	173 \$	173 \$
Institutionnel	Bureau de poste	96 \$	96 \$
Institutionnel	École primaire	140 \$	140 \$
Institutionnel	Hôpital, 4-8 étages	289 \$	290 \$
Industriel	Usine, 1 étage	98 \$	97 \$
Industriel	Usine, 3 étages	116 \$	118 \$

Sources: Étude comparative sur les coûts de construction au Canada, rapport de l'Association de la Construction du Québec (2010)

Ainsi, selon l'Association de la construction du Québec (ACQ), Montréal se situe dans la moyenne des quatre plus grandes métropoles canadiennes (Montréal, Toronto, Calgary et

Vancouver) en termes de coûts de construction au pied carré. Dans ce tableau on remarque que le coût de construction d'un supermarché à Montréal est de 85 \$ au pied carré. Nous allons l'employer par la suite dans nos calculs, mais pour cela, il nous faut la superficie de l'entrepôt ou du supermarché. Ainsi, dans le tableau 1-3, nous pouvons remarquer la superficie moyenne des principales enseignes au Québec.

Tableau 1-3. Superficie moyenne des supermarchés au Québec

Supermarché	Compagnie	Nombre de magasins	Superficie moyenne (m ²)
IGA	Sobeys Inc.	438	2 700
Loblaws	Loblaw Limitée	37	7 700
Provigo	Loblaw Limitée	110	3 300
Maxi et Maxi Plus	Loblaw Limitée	96+16=112	8 000
Metro et Metro Plus	Metro Inc.	154+67=221	2 500
Super C	Metro Inc.	60	3 910

Source : Les cinq principaux acteurs de la grande distribution au Canada, rapport d'ADEXIA (2007).

À cette étape, nous allons énoncer les hypothèses suivantes :

H₃ : Le type de supermarché employé dans les scénarios S_1 et S_2 correspondra au modèle IGA avec une superficie de 2700 m².

H₄ : Les coûts fixes des entrepôts et des supermarchés seront amortis sur une période de 10 ans (10 ans × 52 semaines × 7 jours).

La raison de l'hypothèse **H₃** consiste dans le fait que c'est un supermarché le plus répandu (438 magasins) et le premier au Canada à offrir le service de livraison à domicile (e-épicerie).

Dans cette optique, nous sommes en mesure de déterminer le coût de construction d'un supermarché moyen qui représente environ 2,47M \$ (85 \$ × 2700 m² × 10,7639 facteur de conversion du m² au pied carré). Ensuite, nous avons amorti cet investissement sur une période de 10 ans (10 ans × 52 semaines × 7 jours) pour arriver à 679 \$ par jour. Pour calculer le coût d'entrepôt par commande, il suffit donc de le diviser par la demande journalière (variant de 0 jusqu'à la demande totale de 121 738 unités) et de multiplier par le nombre d'entrepôts.

Il faut noter que pour le scénario S_2 , méthode décentralisée, le nombre de magasins dans les simulations prendra des valeurs allant de 2 à 136, soit le nombre total de supermarchés à Montréal. Le coût d'investissement et d'amortissement sera donc ajusté.

Un centre de distribution avec la cueillette de caisses entièrement automatisé (scénario S_4) n'est pas un engagement léger. Selon les spécialistes dans le domaine, le budget total pour l'un de ces bâtiments peut atteindre 150 millions de dollars. Ce montant comprend les systèmes de manutention des matériaux et la technologie d'automatisation qui peut coûter de 80 à 90 millions \$. Peu d'entreprises peuvent se permettre de faire ce type d'investissement, pire encore si la demande n'est pas assez élevée. Les analystes nous amènent à croire qu'une telle technologie d'automatisation se justifie après un million de caisses par semaine ou plus.

En 2013, l'entreprise allemande Witron a construit un centre de distribution entièrement automatisé (CDA) de 360 000 pieds carrés à Denton (TX), États-Unis pour la compagnie Target Corporation. Le coût était de 100M \$ US avec une capacité d'expédition de 30M de caisses par an (MWPVL International Inc.). Ce centre dispose de 16 machines de préparation des commandes, chacune avec un taux de 8000 caisses par heure (MWPVL International Inc.).

Sur le territoire canadien, la même compagnie a construit en 2010 un CDA pour Sobeys Inc. à Vaughan (Ontario). La superficie totale est de 510 000 pieds carrés, un rendement de 320 000 caisses par jour ou 720 caisses par heure, à un coût total de 150M \$ (Maclean-Hunter, 2013). Nous avons employé le même montant pour l'amortissement selon l'hypothèse H_4 , et donc obtenu un montant de 41 209 \$ par jour. Un sommaire des coûts fixes par jour est représenté dans le tableau 1-4.

Tableau 1-4. Coûts fixes d'entrepôt

Scénarios	Nombre d'entrepôts	Superficie (pieds carrés)	Investissement (\$)	Coût fixe d'entrepôt par jour (\$)
Scénario S_1	136		$136 \times 2,47M = 336M$	92 297
Scénario S_2	2 à 136	5 400 à 367 200	49,4M à 336M	1 358 à 92 297
Scénario S_3	1	500 000	50 M	13 736
Scénario S_4	1	510 000	150 M	41 209

Et enfin, pour le modèle centralisé et non-automatisé de distribution (S_3), nous avons établi ce coût à 50M \$. Ce montant est constitué des frais de construction 42,5M \$ (500 000 pieds carrés \times 85 \$, en supposant une superficie de 500 000 pieds carrés) et 7,5M \$ pour les équipements nécessaires (hypothèse H_5). Ensuite, ce coût fixe a été déterminé par la méthode d'amortissement sur 10 ans afin d'arriver à un montant de 13 736 \$ par jour.

La dernière colonne du tableau 1-4 sera ensuite divisée par la demande journalière (pour chaque cas séparément allant de 0 à 121738), afin de déterminer le coût fixe par commande.

3.5. Préparation de commandes

Dans cette section, nous décrivons les aspects liés à la préparation des commandes.

3.5.1. Coût du temps libre (S_I)

Pour la méthode traditionnelle de distribution (S_I), cet-à-dire le consommateur qui se rend lui-même avec sa voiture à l'épicerie pour faire ses courses, le coût de préparation de commande a été remplacé par le celui du temps libre. La répartition entre aller faire l'épicerie et temps libre détermine profondément le bien-être d'un individu. Le bien-être du consommateur est représenté par la fonction d'utilité, qui diffère d'une personne à l'autre. En fonction de la valeur qu'il accorde à chacun de ces temps, il préférera se consacrer au magasinage ou à d'autres occupations. La fonction d'utilité dépendra en grande mesure de l'âge de la population, le sexe, le revenu, les goûts, etc. Afin de simplifier l'analyse, nous avons supposé que le coût du temps libre est déterminé par le salaire moyen d'un Québécois pour le mois de juin 2014, soit 23,09 \$ à l'heure (Statistique Canada, 2014a).

Selon le rapport MasterIndexMC (2008) sur la consommation en épicerie, le Canadien moyen fait son épicerie une fois par semaine, le samedi, entre 6 h et 14 h. Ainsi, il visite une épicerie plutôt qu'un magasin à grande surface et y reste 57 minutes. Une autre étude de Punakivi (2003) nous indique que le temps nécessaire pour se rendre à une épicerie et de

faire le magasinage est en moyenne de 50 minutes. Nous avons établi le temps moyen de conduite et d'achat dans l'épicerie à une heure (hypothèse H_6).

3.5.2. Préparation des commandes en magasins (S_2)

Afin de calculer les frais de préparation des commandes pour les scénarios S_2 , S_3 , et S_4 , nous avons utilisé les formules suivantes :

$$C_c = \text{Temps de préparation commande} \times \text{salaire}$$

$$\text{Temps de préparation commande} = \frac{1 \text{ h}}{\text{nombre de commandes}/h}$$

La préparation de commandes en magasin ne se distingue presque pas de la méthode traditionnelle, la seule différence consiste dans le fait que le magasinage est fait par une autre personne, qui reçoit un salaire pour ce travail. Selon le Gouvernement du Canada (2014), le salaire médian d'un commis d'épicerie est de 10,75 \$ à l'heure (voir le tableau 1-5). Ce type de prélèvement ne nécessite presque pas de compétences, d'ailleurs ce travail est fait en grande partie à temps partiel par des étudiants, ce qui explique le salaire assez faible. Nous allons utiliser le salaire médian pour le scénario S_2 .

Tableau 1-5. Salaire horaire pour les commis d'entrepôt à Montréal

Région Montréal	Salaire (\$/h)		
	Minimum	Médian	Maximal
Commis d'épicerie, commis d'entrepôt et autres...	10,35	10,75	15,00

Source: Information sur le marché du travail, Gouvernement du Canada (2014)

Le commis est capable de préparer quatre commandes à l'heure, étant donné son expérience sur l'emplacement des articles dans le supermarché. Dans ce contexte, le coût de commande dans le scénario S_2 est de 2,69 \$.

3.5.3. Préparation de commandes en entrepôt (S_3 et S_4)

La sélection des équipements de manutention et d'entreposage aura un impact sur l'efficacité du processus de cueillette. En effet, Hassan, Hogg et Smith (1985) expliquent que des choix inappropriés au niveau des équipements de manutention peuvent entraîner des délais supplémentaires, augmenter le coût des opérations et occasionner le bris de certains produits.

De Koster, Le-Duc et Roodbergen (2007) notent que la majorité des centres de distribution implique des humains et que les systèmes automatisés ou robotisés « sont seulement adoptés dans des cas spéciaux, par exemple pour des items petits, délicats ou chers » Selon eux, le système manuel à bas niveau « constitue la grande majorité des systèmes de cueillette dans les centres de distribution à travers le monde », et près de 80% des systèmes en Europe de l'Ouest.

La préparation de commandes en entrepôt (S_3) requiert des compétences plus élevées comparativement au scénario S_2 . Pour cette raison, nous utiliserons dans notre analyse le salaire maximal pour les commis d'entrepôt (voir le tableau 1-5), soit 15 \$ à l'heure (Gouvernement du Canada, 2014).

Les équipements de manutention et d'entreposage dans les entrepôts permettent une meilleure consolidation des produits, et donc un meilleur rendement de cueillette. Dans ce scénario, nous allons considérer qu'un commis prépare six commandes pendant une heure de travail. Dans le tableau 1-6, nous avons résumé les données suivantes concernant les coûts de commandes pour les quatre scénarios:

Tableau 1-6. Coûts de commande

Scénarios	Nombre de commandes par heure	Temps de préparation commande (h)	Salaire (\$/h)	Coût de commande (\$)
Scénario S_1	1	1	23,09*	23,09
Scénario S_2	4	0,25	10,75	2,69
Scénario S_3	6	0,17	15	2,5
Scénario S_4	30	0,03	18	0,6

Note : * le salaire dans le scénario S_1 a été remplacé par le coût du temps libre

Quand le nombre de références disponibles sur le catalogue électronique devient important (plusieurs dizaines ou centaines de milliers) et que l'activité en ligne n'est plus marginale (De Koster, 2002), la préparation des commandes en entrepôt devient une nécessité. Hafsa, Hovelaque et Soler (2002) ont estimé que le « point de basculement » du modèle de prélèvement des commandes en magasin vers le prélèvement en entrepôt devrait être atteint quand 20% des ventes totales d'épicerie seront réalisées en ligne. Nous vérifierons cette hypothèse dans le cadre de notre analyse dans le chapitre suivant.

Dans la pratique, le taux de cueillette dans les entrepôts automatisés varie de 20 à 30 commandes par heure (Demery, 2014). Les centres de distribution de Webvan préparaient une commande en 3 minutes et étaient ainsi 20 fois plus efficace que le consommateur ordinaire. Si le client fait son épicerie dans une heure, alors Webvan était capable de préparé 20 commandes dans une heure (Demery, 2014).

Quant au centre de distribution de Sobeys Inc., situé à Vaughan (Ontario), il est doté d'un rendement de 320 000 caisses par jour ou 720 caisses par heure (Maclean-Hunter, 2013). En admettant qu'une commande moyenne est constituée de 25 articles, le centre automatisé a un taux de 29 commandes par heure. Ensuite, nous l'avons arrondi à 30 commandes par heure afin de simplifier les calculs.

Le salaire des préparateurs de commandes dans un tel centre est plus élevé comparativement aux autres types d'entrepôts, car le travail requiert des compétences spécifiques et d'un niveau supérieur. Ainsi, nous avons établi le salaire de 18 \$ à l'heure, soit 3 \$ de plus par rapport à l'entrepôt centralisé et non-automatisé (S_3).

3.6. Coûts de transport

Étant donné que pour notre travail c'est l'île de Montréal qui a été choisie comme territoire géographique d'analyse, nous avons besoin dans nos calculs d'une méthode d'approximation de la longueur totale du problème du voyageur du commerce.

Ainsi, le théorème de Figliozzi (2009) a été la cible de notre étude, parce qu'elle concerne les distances euclidiennes et le cas avec plusieurs véhicules.

$$\bar{L}_{km} = 2m \times \bar{d}_{oi} + (n - m) \times k \times \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{n}}$$

$$m = \frac{n}{C}$$

où

\bar{L}_{km} – longueur totale pour m tournées

A – aire géométrique du territoire

n – nombre de clients à visiter

k – constante

m – nombre de tournées

\bar{d}_{oi} – distance moyenne de l'entrepôt jusqu'au client i

r – rayon du cercle de couverture

C – capacité du véhicule ou nombre de clients par camion

Normalement,

$$\bar{d}_{oi} \approx \frac{r}{2}$$

En réalité, quand nous avons des cercles avec un petit rayon, nous risquons qu'une demande ne soit pas couverte par celui-ci. Pour corriger cette faiblesse, Figliozzi (2009) a proposé d'ajuster cette formule. La distribution entre deux points de demande forme avec le centre du cercle un triangle avec un minimum de 0, mode et maximum égaux à r :

$$\bar{d}_{oi} = \frac{Min + Mode + Max}{3} = \frac{0 + r + r}{3} = \frac{2}{3} \times r$$

$$\bar{d}_{oi} = \frac{2}{3} \times r$$

Mais le rayon du cercle peut être obtenu avec la formule de l'aire du cercle :

$$A = \pi \times r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

Dans l'annexe 4 est illustrée la méthode graphique du calcul du rayon pour le cas d'un seul entrepôt, et un autre cas pour deux entrepôts. Pour plusieurs centres de distribution ou supermarchés, la méthode reste la même, sauf que le nombre de cercles augmentera, et donc le rayon diminuera.

Afin de redistribuer les coûts totaux (CT) de livraison pour chaque client, nous allons employer la distance moyenne \bar{d}_{ij} , entre le client i et le client j :

$$\bar{d}_{ij} = \frac{\bar{L}_{km}}{n}$$

Dans les deux sections suivantes, nous allons calculer les coûts de transport fixes et variables ainsi que les salaires des camionneurs pour chaque scénario.

3.6.1. Coûts liés au transport personnel (S_I)

Dans cette partie, nous allons supposer que le consommateur (ménage) moyen montréalais détient une voiture Toyota Camry LE 2013 (voir l'annexe 5) et fait un parcours annuel de 18000 km. La période de possession de cette voiture sera de 4 ans (hypothèse H_7). Cette voiture représente la catégorie la plus populaire à Montréal.

Le véhicule sélectionné est équipé d'accessoires de série, y compris climatisation, freins antiblocage, régulateur de vitesse, système de verrouillage électrique des portières et glaces à commande électrique, radio AM/FM stéréo avec lecteur de disque compact, dégivreur de lunette arrière, volant inclinable et boîte automatique.

Afin d'obtenir une estimation des coûts d'utilisation annuels de véhicule d'un Montréalais, nous nous sommes basés sur les calculs effectués par l'Association Canadienne des Automobilistes (2013). C'est une brochure populaire qui présente des données annuelles

classées par constructeur automobile, classe de véhicule et province, tant pour les dépenses liées à l'essence que pour les frais de permis de conduire et la dépréciation. Il existe aussi une version en ligne où les consommateurs peuvent saisir leurs propres données pour avoir un portrait précis de leur situation ou encore utiliser les données fournies par la CAA afin d'obtenir une estimation des coûts d'utilisation annuels de leur véhicule. Le calculateur permet aussi de connaître les émissions annuelles de gaz à effet de serre pour un véhicule donné et de les comparer à celles des voitures les mieux cotées de sa catégorie.

Tous les montants correspondent aux coûts moyens d'utilisation d'un véhicule dans des conditions comportant surtout des arrêts et des démarrages fréquents. Les coûts relatifs au véhicule sont classifiés en deux catégories: fixes et variables.

Les coûts fixes (C_f) sont des coûts qui ne varient habituellement pas d'une période à l'autre. Cela comprend les assurances, le permis de conduire, l'immatriculation, les taxes, le coût de financement et la dépréciation (voir le tableau 1-7). Les coûts fixes peuvent varier d'un véhicule à l'autre et d'un endroit à l'autre, mais la distance parcourue et la façon de conduire ont peu d'effets sur eux.

Tableau 1-7. Coûts fixes du transport personnel

COÛTS FIXES ANNUELS MOYENS (fondés sur une distance annuelle parcourue de 18 000 km)	
	Camry LE
Assurances	1 318,00 \$
Permis de conduire et immatriculation	146,16 \$
Dépréciation	3 687,96 \$
Coût du financement (prêt automobile)	1 040,88 \$
Total annuel	6 193,00 \$
Total par km	0,34 \$

Source: Coûts d'utilisation d'une automobile, rapport de l'Association Canadienne des Automobilistes (2013)

Le coût des assurances se fonde sur une couverture type pour un conducteur moyen (c'est-à-dire un homme d'environ 45 ans qui occupe un emploi et possède un permis de conduire standard). Cette couverture comprend les éléments suivants:

- Franchise de 500 \$ pour l'assurance tous risques ;
- Franchise de 500 \$ pour l'assurance-collision ;
- Assurance responsabilité civile de 1 000 000 \$ (coût total de l'assurance) ;
- Usage professionnel (supplément d'environ 10 % au coût de la prime d'assurance).

Pour établir le coût des assurances, il s'agit simplement d'additionner les primes de toutes les polices relatives à l'utilisation du véhicule. Nous avons établi ce coût à 1 318 \$ par année.

Permis de conduire, immatriculation et taxes. Le permis de conduire et l'immatriculation représentent des dépenses annuelles. Les taxes fédérales et provinciales payées à l'achat du véhicule sont aussi intégrées aux coûts annuels fixes, mais elles doivent être réparties sur la durée de vie réelle du véhicule. Par exemple, si nous pensons conserver notre véhicule pendant quatre ans, nous devons diviser par quatre le montant total des taxes pour établir le coût annuel. Le coût total pour le permis de conduire et l'immatriculation représentent 146,16 \$ pour la voiture choisie (Toyota Camry).

Dépréciation. La dépréciation est la différence entre le montant que nous payons à l'achat de véhicule et son prix de revente. Pour calculer les coûts annuels de dépréciation, nous soustrayons la valeur de reprise estimative de notre voiture au prix d'achat et divisons ensuite cette différence par le nombre d'années pendant lequel nous pensons garder la voiture (nos calculs sont basés sur 4 ans). Les montants de dépréciation fournis dans le tableau 1-7 sont des moyennes annuelles fondées sur la valeur de reprise du véhicule après quatre ans et pour une distance parcourue de 72 000 kilomètres (c'est-à-dire: 4 ans × 18 000 km).

Le coût de financement. Le coût du financement est calculé en fonction d'un prêt échelonné sur quatre ans à un taux de 7,25%. La valeur totale de celui s'élève à 1 040,88 \$ par année.

Après tous les calculs, le coût fixe total s'élève à 6 193,00 \$ par année, ou 0,34 \$ par km.

Les coûts variables (C_v) varient selon l'endroit où nous habitons, la façon dont nous conduisons, la distance parcourue et le montant dépensé pour les réparations et l'entretien. Le tableau suivant énumère les coûts moyens d'utilisation d'un véhicule au Canada.

Tableau 1-8. Coûts variables du transport personnel

COÛTS VARIABLES ANNUELS MOYENS PAR KILOMÈTRE (fondés sur une distance annuelle parcourue de 18 000 km et une période de conservation de 4 ans)	
	Camry LE
Carburant	10,79 cents
Entretien	3,69 cents
Pneus	1,98 cents
TOTAL	16,46 cents

Source: Coûts d'utilisation d'une automobile, rapport de l'Association Canadienne des Automobilistes (2013)

Essence. Les coûts de l'essence se fondent sur une moyenne nationale des prix de 1,24 \$ par litre. Le montant dépensé en carburant reflète l'achat d'essence ordinaire sans plomb.

Entretien. Un entretien adéquat a une incidence directe sur la durée de vie du véhicule, sa consommation de carburant et notre sécurité. Négliger la réparation ou l'entretien d'un véhicule se traduira en bout de ligne par une dépréciation accrue. Dans le cadre de notre recherche, nous avons choisi 3,69 cents par kilomètre parcouru, moyenne établie pour la Toyota Camry, ayant fait l'objet uniquement d'un entretien de routine.

Pneus. La manière de conduire et l'endroit où nous le faisons influent énormément sur le coût des pneus. La conduite à haute vitesse, des pneus mal gonflés, des virages serrés, l'accélération rapide et des arrêts soudains sont tous des facteurs qui contribuent à l'usure prématurée des pneus. Le coût moyen de l'achat et de l'usure d'un pneu par kilomètre s'établit à environ 1,98 cents pour la Toyota Camry. Un nouveau jeu de pneus peut coûter jusqu'à 968,96 \$ (coût moyen des pneus pour la Camry). La distance parcourue a une incidence directe sur le coût d'utilisation par kilomètre. En nous servant des calculs précédents, nous pouvons déjà agréger les coûts fixes et variables afin d'obtenir un portrait des frais approximatifs selon les kilomètres parcourus par année:

Tableau 1-9. Coûts d'utilisation annuelle d'un véhicule personnel

COÛTS D'UTILISATION ANNUELS – en fonction d'une Camry LE				
Kilomètres parcourus par année	Coûts variables annuels	Coûts fixes annuels	Coût total	Coût par kilomètre
18 000 km	2 962,80 \$	6 193,00 \$	9 155,80 \$	0,51 \$

Source: Coûts d'utilisation d'une automobile, rapport de l'Association Canadienne des Automobilistes (2013)

Selon l'hypothèse H_7 , nous avons retenu seulement la distance de 18 000 km pour notre analyse, donc, le coût total d'utilisation de notre Toyota Camry est estimé à 0,51 \$ par km. Ensuite, ce montant sera utilisé dans le fichier Excel pour calculer le coût total dans le scénario S_1 , selon les distances spécifiques générées par différents niveau de la demande.

3.6.2. Coûts liés au transport commercial (S_2 , S_3 , et S_4)

Dans la section précédente nous avons abordé les dépenses des voitures personnelles de chaque consommateur, dont l'épicerie est faite par lui-même. Dans cette partie, nous allons analyser les coûts de transport commercial, qui sont supportés par les entreprises engagées dans la distribution alimentaire à domicile. La méthode employée sera commune pour tous les trois derniers scénarios (S_2 , S_3 , et S_4), car l'objectif consiste ici à trouver le coût total de transport par kilomètre. Dans cet ordre d'idées, nous serons en mesure de calculer les frais de transport par commande en multipliant tous simplement le coût par kilomètre et la distance moyenne entre les points de demande.

À cet égard, il est intéressant de noter que nous avons besoin d'un modèle de véhicule avant de nous lancer dans notre travail. Pour ce faire, nous avons choisi la Ford Transit Connect Fourgon 2014 (voir l'annexe 6). Le Transit Connect se veut donc un fourgon utilitaire avec une consommation qui se rapproche de celle d'une automobile compacte en considérant le moteur quatre cylindres *EcoBoost* turbocompressé de 1,6 litre. Les cotes de

consommation publiées sont de 6,7 litres aux 100 kilomètres sur la route et de 9,4 l/100 km en ville (Ford Canada, 2014b).

La fourgonnette commerciale Ford Transit Connect 2014 peut être achetée au comptant à un prix de 31 738 \$, ou obtenue avec un financement sur cinq ans et un paiement mensuel de 608 \$, incluant déjà un taux de pourcentage annuel de 5,59% (Ford Canada, 2014a). Sa charge utile maximale est de 780 kg (1720 livres) avec un espace de chargement assez large de 2,9 m en longueur, 1,2 m en largeur et 1,25 m en hauteur (voir la figure 1-6).

À cet égard, le volume total de charge est de 4,35 mètres cubes ou 4 350 litres. Cet espace est suffisant pour charger 54 boîtes d'épicerie avec une capacité de 80 litres chacune. Dans le cadre de notre analyse, nous avons considéré seulement deux cas: avec une capacité de 20 et de 50 boîtes (commandes).

La durée quotidienne d'opération, est établie dans cette partie à 18 heures de travail, c'est-à-dire le service de livraison commence à 6h du matin et finit à minuit. Dans la section 3.7 nous allons considérer les autres options de livraison avec des fenêtres de temps plus restreintes de quatre et une heure. Il est à noter que pour la durée quotidienne d'opération de 18 heures, nous aurons bien entendu une rotation des camionneurs. Heureusement, cette mesure n'implique aucun changement dans les coûts liés aux camionneurs.

Figure 1-6. Espace de chargement de la Ford Transit Connect 2014



Source : Transit Connect 2014: fourgon utilitaire et fourgon tourisme, page 4, Ford Canada (2014b)

Nous allons employer dans notre analyse les formules suivantes, afin que nous puissions faire les calculs nécessaires:

$$\textit{Temps pour une tournée} = \textit{Temps total/client} \times \textit{Capacité du véhicule}$$

$$\begin{aligned} \textit{Temps total} &= \textit{temps de conduite} + \textit{temps de chargement} \\ &+ \textit{temps passé chez le client} \end{aligned}$$

Selon nos calculs dans le fichier Excel, le temps nécessaire pour une tournée est compris entre une heure et deux heures, donc nous n'avons pas besoin de camions dotés d'un système frigorifique, même en été.

$$\text{Nombre de tournées par camion} = \text{Arrondi. inf} \left(\frac{\text{Durée quotidienne d'opération}}{\text{Temps pour une tournée}} \right)$$

Le nombre de tournées sera de 8 à 10 par véhicule dans la limite de travail de 18 heures, tout étant dépendant de la distance moyenne entre les clients, et bien entendu beaucoup moins dans les cas avec des fenêtres de temps.

$$\text{Nombre de camions} = \text{Arrondi. sup} \left(\frac{\text{Nombre de tournées}}{\text{Nombre de tournées par camion}} \right)$$

$$\text{Km parcourus par camion} = \frac{\text{Distance totale}}{\text{Nombre de camions}}$$

Le nombre annuel de kilomètres parcourus par véhicule est autour de 65 000 km, tandis que le nombre de camions est différent selon chaque scénario. Une analyse plus détaillée sera faite dans le chapitre suivant. À cette étape, nous pouvons procéder à l'analyse des coûts fixes et variables, liés à la fourgonnette commerciale Ford Transit Connect 2014.

Frais d'immatriculation et taxes. Les frais d'immatriculation au Canada correspondent aux droits provinciaux ou territoriaux d'immatriculation perçus pour les diverses configurations d'ensembles routiers. Selon les données tirées de la Société de l'assurance automobile du Québec (www.saaq.gouv.qc.ca), le coût annuel total lié à l'immatriculation pour la Ford Transit Connect 2014 s'élève à 361 \$ (voir le tableau 1-10).

Tableau 1-10. Frais d'immatriculation et taxes

Véhicule commercial de 3000 kg ou moins	Contribution d'assurance	Frais	Droit d'immatriculation	Total
Coût du renouvellement de l'immatriculation pour l'année en cours	150,31 \$	4,30 \$	196,00 \$	350,61 \$
Pour toute nouvelle plaque				2,15 \$
Immatriculation				8,60 \$
Total				361 \$

Source: Coût du renouvellement de l'immatriculation pour l'année en cours, Société de l'assurance automobile du Québec (2014)

Dépréciation. Afin de calculer les coûts annuels de dépréciation, nous avons soustrait la valeur de reprise estimative de notre véhicule (2000 \$) au prix d'achat (31738 \$) et divisé ensuite cette différence par le nombre d'années (nos calculs sont basés sur 5 ans). Le montant de dépréciation fourni dans le tableau 1-11 est de 5 948 \$ par an ou 29,74 cents par km.

Le coût de financement. Crédit Ford offre plusieurs options de financement, qui peuvent être adaptées pour répondre aux besoins de chaque entreprise. Selon Ford Canada (2014a), nous pouvons acheter la Ford Transit Connect 2014 avec un paiement mensuel de 608 \$, incluant aussi le taux d'intérêt de 5,59% annuel sur une période de 5 ans. Dans le tableau 1-11, nous avons considéré le montant annuel, soit 7 296 \$.

Le coût des assurances varie grandement d'une personne à l'autre, en fonction notamment du dossier et des habitudes de conduite ainsi que du véhicule assuré. Les estimations présentées dans le tableau 1-11 sont fondées sur le profil du conducteur qui a été choisi par nous-mêmes. Elles ont pour but de donner au lecteur un point de départ pour estimer ses frais d'assurances s'il ne connaît pas cette donnée. Les estimations reposent sur le profil suivant :

Personne assurée:

- Célibataire
- Homme
- Né en 1978
- Employé
- Propriétaire de son domicile

Couverture Standard (Meilleur prix):

- Franchise de 100 \$ pour l'assurance tous risques
- Franchise de 250 \$ pour l'assurance collision et de renversement
- Assurance responsabilité civile de 1 000 000 \$ (coût total de l'assurance)
- Usage professionnel (supplément d'environ 10 % au coût de la prime d'assurance).

Pour établir le coût des assurances, il s'agit simplement d'additionner les primes de toutes les polices relatives à l'utilisation du véhicule. L'estimation de l'assurance a été fournie par Desjardins Assurances (www.desjardinsassurancesgenerales.com). Pour la couverture

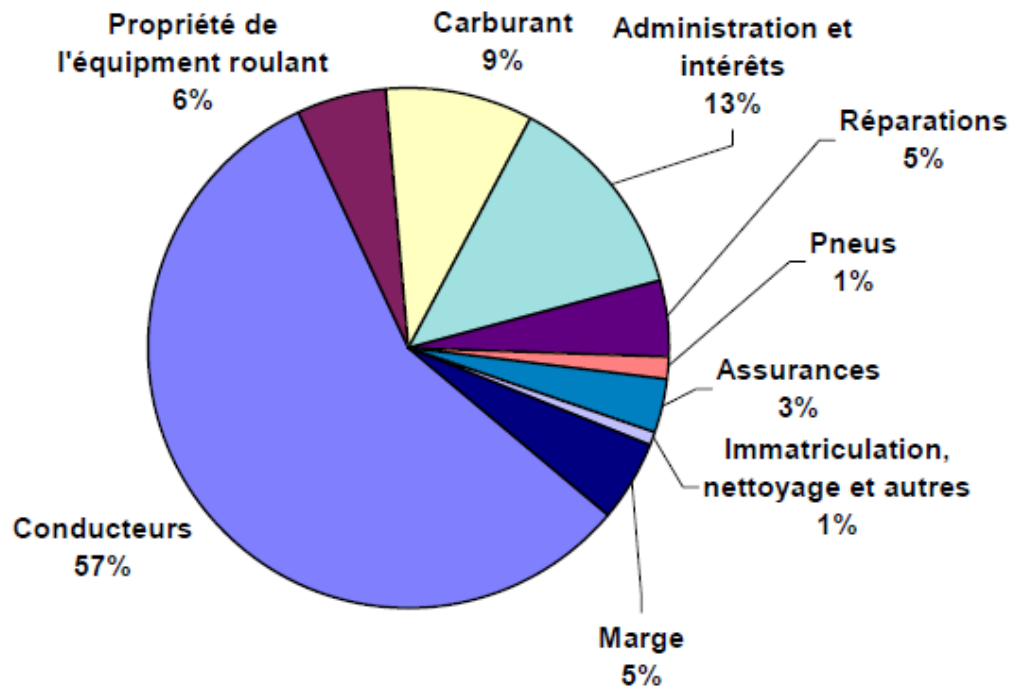
Standard, le coût mensuel est de 97,67 \$. Par la suite nous avons ajouté 5% pour les taxes et un supplément de 10 % pour l'usage professionnel au coût de la prime d'assurance. Tout à la fin, nous avons multiplié par 12 mois et obtenu un coût de 1 354 \$ par année.

Tableau 1-11. Coûts fixes du transport commercial

COÛTS FIXES MOYENS - en fonction d'une Ford Transit Connect (fondés sur une période de conservation de 5 ans)				
	Coûts (20 000 km)		Coûts (65 000 km)	
	Annuels	Par km	Annuels	Par km
Frais d'immatriculation	361 \$	1,81 cents	361 \$	0,56 cents
Dépréciation	5 948 \$	29,74 cents	5 948 \$	9,15 cents
Coût du financement	7 296 \$	36,48 cents	7 296 \$	11,22 cents
Assurances	1 354 \$	6,77 cents	1 354 \$	2,08 cents
Administration (7%)	1 510 \$	7,54 cents	2 036 \$	3,13 cents
Marge (5%)	1 079 \$	5,40 cents	1 455 \$	2,24 cents
Autres dépenses (1%)	216 \$	1,08 cents	291 \$	0,45 cents
Total par km	17 764 \$	88,82 cents	18 741 \$	28,83 cents

Marge bénéficiaire. Les premières éditions de frais d'exploitation du camionnage au Canada établissaient la marge bénéficiaire des exploitants à 10% des recettes (pourcentage normal à l'époque). Depuis l'ouverture du marché du camionnage dans les années 1980, les marges bénéficiaires ont diminué à un point tel qu'il est devenu commun que des entreprises de camionnage bien gérées ne réalisent plus que des bénéfices de l'ordre de 2,5% à 5,0% de leurs recettes. Transport Canada (2005) recommande aux lecteurs qui hésitent quant à la marge à appliquer à une situation particulière d'opter pour une approche intermédiaire, c'est-à-dire à fonder leurs évaluations sur une marge de 5%.

Figure 1-7. Répartition des coûts du transport en milieu urbain



Source : Frais d'exploitation des camions au Canada 2005, page 17 du rapport T8080-05-0242, Transport Canada (2005)

Dans le présent travail, il est impossible de calculer avec précision les coûts administratifs, la marge bénéficiaire et les autres dépenses, car ces derniers varient d'une entreprise à l'autre. Afin de contourner cet obstacle, nous avons utilisé la figure 1-7, qui vient du rapport de Transport Canada (2005). Pour obtenir la proportion des coûts de gestion des véhicules seulement, nous avons soustrait de 13 %, soit les frais administratifs et intérêts (voir figure 1-7), le taux d'intérêt offert par Ford Canada de 6%. Ainsi, nous avons employé le coût de gestion de 7% du coût total, dans le cadre de notre analyse.

Dans la pratique, ces trois derniers coûts sont fixes, mais dans notre cas ils seront variables, étant donné qu'ils changeront en même temps que les coûts variables, car ils font partie du coût total dont la proportion de 7 % est calculée. Ces dépenses sont présentées dans le tableau 1-11, seulement pour deux cas : parcours annuel de 20 000 km et de 65 000 km. Dans le fichier Excel, ces frais sont employés pour chaque véhicule séparément pour chaque scénario de la demande, parce que la distance est fortement corrélée avec elle.

Coût du carburant. Les coûts de l'essence, même que pour la Toyota Camry se fondent sur une moyenne nationale des prix de 1,24 \$ par litre. Le montant dépensé en carburant reflète l'achat d'essence ordinaire sans plomb (Association Canadienne des Automobilistes, 2013). La consommation de l'essence en ville, établie par la compagnie Ford Canada est de 9,4 litres par 100 kilomètres (Ford Canada, 2014b). Afin de rendre la situation plus réaliste, Ressources naturelles Canada (2014) nous suggère d'utiliser la consommation de 10,5 litres d'essence par 100 kilomètres pour le même véhicule. Nous pouvons observer dans le tableau 1-12 que le coût du carburant pour la Ford Transit Connect 2014 revient à 13,02 cents par kilomètre.

Coût d'entretien et réparation. Par « entretien », on entend le programme d'entretien régulier recommandé par le constructeur (par exemple : changement d'huile, remplacement de pièces d'usure). Par « réparations », on entend tout entretien imprévu (par exemple : réparation des freins, remplacement des balais d'essuie-glace). Dans les deux cas, les travaux sont assujettis aux tarifs des garagistes. Dans cette optique, il est difficile de calculer ces frais. Les estimations utilisées dans nos analyses sont fournies par Transport Canada (2005) (voir la figure 1-7). Dans le cadre de notre recherche, nous avons considéré ces dépenses en proportion de 5% du coût total. Ainsi, pour un parcours de 20 000 km nous avons un coût de 5,40 cents par kilomètre et seulement 2,24 cents pour 65 000 km. Nous rappelons que ces frais sont calculés à partir d'Excel pour chaque scénario de la demande, qui reflète la distance parcourue et pour chaque camion.

Tableau 1-12. Coûts variables du transport commercial

COÛTS VARIABLES MOYENS - en fonction d'une Ford Transit Connect				
	Coûts (20 000 km)		Coûts (65 000 km)	
	Annuels	Par km	Annuels	Par km
Carburant	2 604 \$	13,02 cents	8 463 \$	13,02 cents
Entretien et réparation (5 %)	1 079 \$	5,40 cents	1 455 \$	2,24 cents
Pneus	135 \$	0,67 cents	438 \$	0,67 cents
TOTAL	3 818 \$	19,09 cents	10 355 \$	15,93 cents

Coût des pneus. Les frais liés aux pneus figurant dans le tableau 1-12 ont été recueillis sur le site de Canadian Tire (www.canadiantire.ca), le 30 juillet 2014. Pour la Ford Transit Connexion 2014, nous avons choisi les pneus toute saison, dimensions 215/55R16 97H, de marque « *Goodyear Assurance Triple Tred* », à un prix de 202 \$ l'unité (voir l'annexe 7). Étant donné que cette fourgonnette a besoin de quatre pneus seulement, nous avons calculé le coût total de 808 \$. La durée de vie du pneu est de 130 000 km, selon le concessionnaire, mais nous avons considéré 120 000 km. Ensuite, ce prix a été ajusté selon le nombre de kilomètres parcourus pour chaque camion. À titre d'exemple, le coût des pneus pour la distance de 20 000 km, constitue 135 \$ par année ou 0,67 cents par kilomètre.

Une fois les coûts fixes et variables discutés, nous sommes en mesure d'agrèger tous les calculs et de les présenter dans le tableau 1-13 :

Tableau 1-13. Coûts d'utilisation annuelle d'un véhicule commercial

COÛTS D'UTILISATION– en fonction d'une Ford Transit Connect				
Kilomètres parcourus par année	Coûts variables annuels	Coûts fixes annuels	Coût total	Coût par kilomètre
20 000 km	3 818 \$	17 764 \$	21 582 \$	1,08 \$
65 000 km	10 355 \$	18 741 \$	29 096 \$	0,45 \$

L'essentiel pour notre analyse était d'estimer le coût du transport par kilomètre, car ensuite il est très simple de le multiplier par la distance totale parcourue de chaque véhicule. Un fait remarquable que nous pouvons observer consiste dans l'importance de la forte utilisation du camion, car ce fait a un impact direct sur le coût par km. Ainsi, dans le même tableau, nous observons que le prix diminue de 1,08 \$ par km jusqu'à 0,45 \$ par km, seulement en augmentant le fonctionnement de la fourgonnette à 65 000 km par année.

3.6.3. Coûts liés aux camionneurs

Plusieurs entreprises de camionnage paient leurs chauffeurs au millage ou au pourcentage de la facture ou d'autres ajoutent ces montants à un salaire de base. Certaines grandes entreprises ont une rémunération établie que par le salaire horaire. Nous allons employer le salaire horaire dans notre analyse.

Tableau 1-14. Coûts liés aux camionneurs

Scénarios	Nombre de supermarchés	Distance moyenne entre les clients (km)	Temps de conduite (h)	Temps de chargement (h)	Temps passé chez le client (h)	Temps total (h)	Coût camionneur par commande (\$)
Scénario S_1	136	-	-	-	-	-	-
Scénario S_2	2 à 136	<i>1,08 - 0,57</i>	<i>0,03 - 0,01</i>	0,02	0,05	<i>0,1 - 0,08</i>	<i>2,13 - 1,84</i>
Scénario S_3	1	<i>1,32</i>	<i>0,03</i>	0,02	0,05	<i>0,1</i>	<i>2,27</i>
Scénario S_4	1	<i>1,32</i>	<i>0,03</i>	0,02	0,05	<i>0,1</i>	<i>2,27</i>

Note : Les chiffres en rouge italique représentent les calculs basés sur une demande de 1000 unités

Le salaire horaire du groupe « métiers, transport et machinerie » selon Statistique Canada (2014a), constituait 22,77 \$ à l'heure pour le mois de juin 2014.

Le temps de conduite (T_c) sur une route a été calculé en divisant la distance moyenne \bar{d}_{ij} entre le client i et le client j , par la vitesse moyenne de déplacement dans la ville de Montréal (V) :

$$T_c = \frac{\bar{d}_{ij}}{V}$$

Dans cette recherche, nous avons supposé la vitesse moyenne de déplacement égale à 40 km à l'heure, tandis que la distance moyenne entre deux clients peut varier de 0,57 km à 1,32 km, selon le nombre d'entrepôts choisis (voir le tableau 1-14). Ainsi, pour une demande de 1000 et un camion avec capacité de 20 boîtes, le temps de conduite sera compris entre 1-2 minutes par client. Le temps de chargement du même type de camion a été établi d'une minute par commande et le temps passé chez le consommateur de 3 minutes.

Le coût total lié aux camionneurs a été calculé comme suit :

Coût lié aux camionneurs = salaire camionneur \times temps total

*Temps total = temps de conduite + temps de chargement
+ temps passé chez le client*

Selon notre analyse, ce coût est de 2,27 \$ par commande pour les méthodes centralisées (S_3 et S_4) et légèrement plus bas pour la méthode décentralisée, allant jusqu'au 1,84 \$ pour le cas de 136 supermarchés, comme nous pouvons l'observer dans le tableau 1-14.

3.7. Fenêtres de temps

Le problème de construction de tournées de véhicules avec fenêtres de temps modélise bien un problème de transport très répandu qui est la livraison ou la cueillette de produits auprès de divers clients avec un nombre minimal de véhicules tout en minimisant la distance totale parcourue, en respectant les contraintes de temps des clients et de capacités des véhicules. L'objectif dans ce problème consiste normalement à trouver l'ensemble des parcours qui minimisent la distance totale parcourue pour un nombre minimal de véhicules partant d'un dépôt et y retournant avant l'heure de fermeture. Cependant, ce problème a un effet direct sur le coût de transport. Plus les fenêtres de temps sont restreintes, plus le coût sera élevé, parce que nous avons besoin de plus de camions et la distance totale augmentera.

Dans le cadre de notre recherche nous avons utilisé l'approximation de la distance totale proposée par Figliozzi (2009). Étant donné que nous n'avons pas de données exactes concernant l'emplacement des clients et les intervalles de livraison choisis par ces derniers, la formulation du problème de tournées de véhicules avec fenêtres de temps devient ainsi difficile. Cependant, nous sommes en mesure de déterminer l'impact des fenêtres de temps sur le coût de transport en utilisant une autre approche. Autrement dit, les fenêtres de temps vont directement influencer la distance totale de livraison de l'épicerie à domicile.

Certaines études ont abordé l'impact des fenêtres de temps sur la distance totale parcourue, mais ces résultats ne donnent qu'une idée générale sur la différence entre les fenêtres souples et celles plus larges (Hashimoto *et al.*, 2006; Solomon, 1987). Dans le cadre de notre

recherche, nous allons nous baser sur les résultats obtenus par Figliozzi (2009). Dans son travail il analyse différents scénarios et conclut que les fenêtres de temps peuvent augmenter la distance totale jusqu'à 54%. Dans cette optique, nous avons considéré deux cas : une fenêtre de temps de quatre heures, qui implique une augmentation de la distance de 10%, et autre fenêtre d'une heure, conduisant à une augmentation de la distance de 50%.

Il est à noter qu'une fenêtre de temps trop restreinte peut impliquer l'impossibilité du centre de distribution à desservir une grande flotte de camions en même temps (la capacité de l'entrepôt est limitée au nombre de portes d'expédition). Nous supposons que c'est une des raisons pourquoi la compagnie Webvan a augmenté les fenêtres de temps de 30 minutes à une heure.

3.8. Coût d'émission de CO₂

Le transport de marchandises produit des effets néfastes sur l'environnement. Dans notre analyse, nous retenons principalement les effets sur le niveau de pollution atmosphérique, qui peuvent être valorisés en termes monétaires. La pollution atmosphérique engendrée par le transport de marchandises touche non seulement les usagers du système de transport, mais aussi les non-usagers. Il s'agit, alors, d'évaluer les émissions du dioxyde de carbone CO₂, ayant un impact potentiel sur le réchauffement global.

Les émissions de CO₂ sont fonction de la quantité et du type de carburant utilisé. Plus le taux de consommation de carburant par 100 kilomètres est petit, moins les émissions de CO₂ en grammes par kilomètre seront grandes. La quantification des émissions des polluants liés au transport de marchandises nécessite de connaître l'importance du trafic en Région de Montréal et ses caractéristiques, ainsi que les émissions unitaires des différents types de véhicules. Ressources naturelles Canada (2014) nous apporte des informations sur les taux d'émission de CO₂ pour chaque type de véhicule, comme nous pouvons le constater dans le tableau 1-15:

Tableau 1-15. Émissions de CO₂ selon le type de véhicule

Type véhicule	Émission de CO ₂
Toyota Camry LE 2013	161 g/km
Ford Transit Connect 2014	207 g/km

Source : Cotes de consommation de carburant, Ressources naturelles Canada (2014)

Environnement Canada (2013), dans son rapport sur les tendances en matière d'émissions au Canada, estimait un coût de 20\$ en 2015 pour l'émission d'une tonne de CO₂. À ces fins, un module de calcul d'émission a été mis au point sur Excel afin de calculer le coût de pollution, qui est déterminé en multipliant le tarif de 20 \$ par tonne de CO₂, la distance annuelle de parcours de chaque véhicule et le coefficient d'émission de CO₂. Le résultat ainsi obtenu reflétera seulement le coût social, et n'aura pas un impact sur le calcul du coût total dans les quatre scénarios analysés. Dans le même sens, le coût environnemental sera lui aussi analysé pour chaque scénario, afin de déterminer la méthode la moins polluante. Notre objectif consiste ici à développer un système d'aide à la décision au choix d'un chemin dans un système de distribution des produits alimentaires permettant de réduire les impacts écologiques.

4. ANALYSE DES RÉSULTATS

Le présent chapitre présente une analyse détaillée des résultats de notre recherche. D'abord, une évaluation entre le type d'entrepôt et le niveau de productivité sera discutée. Ensuite les coûts de quatre méthodes de distribution, mais aussi l'impact de la variation des différents paramètres tels que la capacité des véhicules et les fenêtres de temps seront analysés. La dernière partie du chapitre finira par une analyse des émissions de dioxyde de carbone.

4.1. Choix entre le type d'entrepôt et le niveau de productivité

Avant de nous lancer dans l'analyse des coûts totaux pour chaque scénario, nous avons considéré raisonnable d'examiner les frais fixes et de préparation de commande, parce que ces derniers n'ont pas d'influence sur les charges de transport.

Il est nécessaire de mentionner que le coût de commande et les couts fixes d'entrepôt ne sont pas affectés non plus par la distance parcourue par les camions. Dans ce sens, ils sont des coûts indépendants et nous sommes en mesure de les analyser séparément afin de prendre des décisions. Nous allons analyser dans cette section une partie du coût total pour chaque scénario S_i ($i = 1, 2, 3$ et 4), donc le coût de commande (C_{ci}) et le coût fixe d'entrepôt par jour (C_{fi}):

$$\text{Coût}(S_i) = C_{ci} + C_{fi}$$

Étant donné que le $\text{Coût}(S_i)$ est un coût par commande, nous avons ajusté notre coût d'entrepôt par jour à la demande :

$$\text{Coût}(S_i) = C_{ci} + \frac{\text{Coût entrepôt}_i}{\text{Demande}}$$

En nous appuyant sur les données du chapitre 3, nous avons établi pour les quatre scénarios les équations (fonctions) suivantes:

$$\text{Coût}(S_1) = 23,09 + \frac{92\,297}{\text{Demande}}$$

$$\text{Coût}(S_2) = 2,69 + \frac{679 \times \text{Nb. entrepôts}^*}{\text{Demande}}$$

Note : * Pour le scénario S_2 , le nombre d'entrepôts varie de 2 à 136 supermarchés.

$$\text{Coût}(S_3) = 2,5 + \frac{13\,736}{\text{Demande}}$$

$$\text{Coût}(S_4) = 0,6 + \frac{41\,209}{\text{Demande}}$$

Ces quatre équations nous permettent de déterminer le choix optimal entre les coûts d'entrepôt et les coûts de commande pour les modes de distribution analysés. Il faut noter que notre objectif ici consiste à minimiser le coût total, $\text{Coût}(S_i)$.

En faisant le choix du type d'entrepôt utilisé dans la distribution, nous devons être conscients des effets que celui-ci peut produire. Comme nous pouvons le remarquer dans les figures 1-8 et 1-9, il existe toujours une relation entre le niveau de productivité et le coût de commande. Le scénario 4, par exemple, est capable de préparer 30 commandes dans une heure pour seulement 60 cents. La forme décentralisée de distribution présente la charge maximale, soit de 2,69 \$ par commande, devant la méthode traditionnelle. Mais la productivité dans ce cas n'est que de quatre commandes par heure.

Figure 1-8. Coût de commande

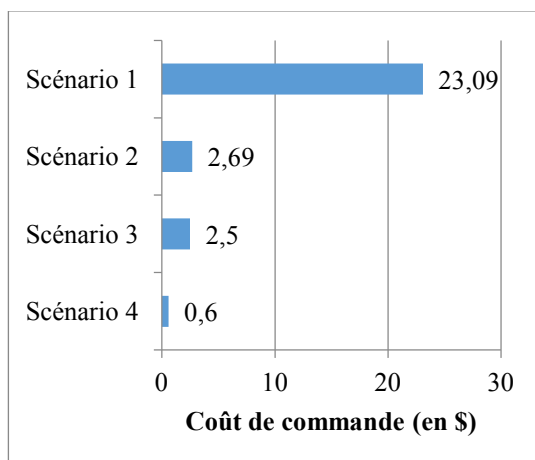
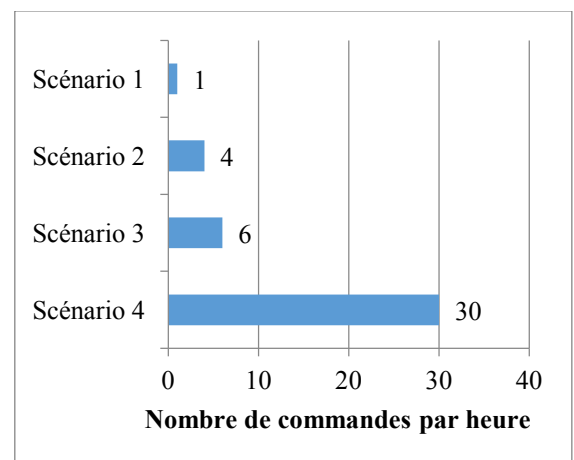


Figure 1-9. Nombre de commandes par heure



Dans le contexte des éléments analysés, il est possible de trouver le niveau de la demande pour lequel les coûts totaux seront égaux, en posant égalité entre les équations dans l'ordre: deux par deux. Ces niveaux représentent une sorte de « point mort » ou point d'équilibre, notion souvent employée en microéconomie, pour déterminer le lieu de changement d'un coût plus élevé à un coût plus faible. Ainsi, cette méthode nous permettra de déterminer les zones de demande avec les coûts plus faibles parmi les quatre scénarios.

En premier lieu, nous pouvons éliminer la méthode traditionnelle de distribution, parce qu'il n'existe aucune demande pour laquelle les coûts des deux scénarios sont égaux. En d'autres mots, c'est le scénario le plus dispendieux pour les deux coûts analysés. Même si nous sommes en présence d'une demande maximale, le coût restera assez élevé, 23,85 \$ par commande. Il faut remarquer que le prix de temps libre du consommateur, qui est de 23,09\$, est le principal coupable pour cette forme plus chère de distribution des produits alimentaires. Il nous reste, donc, trois modèles à analyser, en les combinant deux par deux. Ainsi, nous obtenons trois méthodes à comparer. La méthode de recherche sera basée dans cette section sur les analyses mathématiques et graphiques, à l'aide d'un fichier Excel et du logiciel Stata SE 11.1 (www.stata.com).

Quant au scénario S_2 , nous allons aborder aussi les cas spéciaux concernant le nombre différent d'entrepôts. Afin de ne pas aborder tous les cas, nous allons discuter seulement de deux: nombre maximal et minimal de deux entrepôts.

Choix entre les scénarios S_2 et S_4

Le coût de commande le plus élevé correspond au scénario S_2 , ce qui nous amène à comprendre que le coût maximal possible pour cette méthode doit être plus petit que 41 209\$. Nous avons trouvé le montant de 40 719 \$, ce qui correspond exactement aux 60 entrepôts. À cette stade, nous avons omis les autres possibilités, de 61 à 136 supermarchés, parce qu'elles ne sont pas faisables dans ce cas.

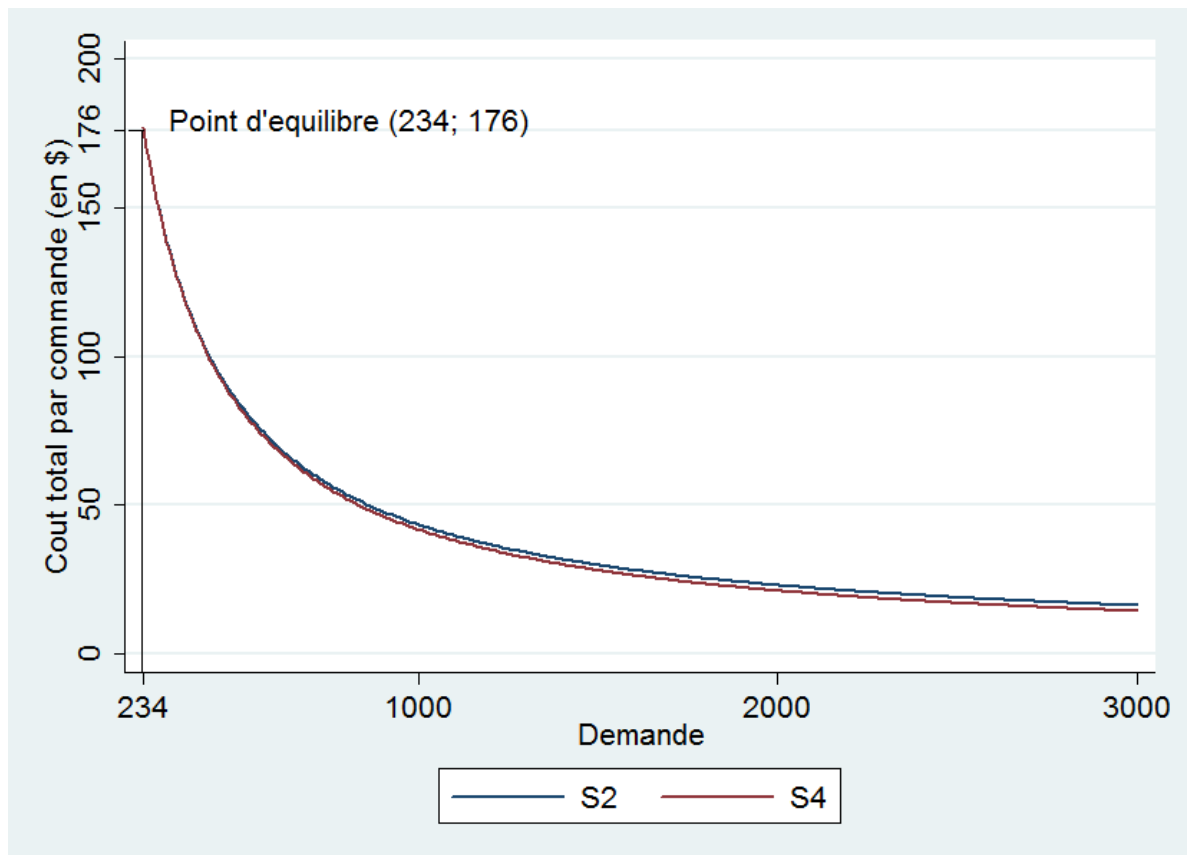
Cas maximal: 60 entrepôts

D'abord, nous allons déterminer la demande d'équilibre, et ensuite le coût total d'équilibre:

$$\begin{aligned} \text{Coût}(S_2) &= \text{Coût}(S_4) \\ 2,69 + \frac{40\,719}{\text{Demande}} &= 0,6 + \frac{41\,209}{\text{Demande}} \\ \text{Demande} &= \frac{41\,209 - 40\,719}{2,09} \approx 234 \\ \text{Coût}(S_2, S_4) &= 0,6 + \frac{41\,209}{234} \approx 176 \$ \end{aligned}$$

Nous pouvons constater que la demande d'équilibre est de 234 unités à un coût total de 176\$. Ainsi que le met en lumière la figure 1-10, la courbe de coût (en rouge) pour le scénario S_4 se trouve en dessous de la courbe S_2 à partir du point d'équilibre, soit une demande très faible de 234 unités par jour. C'est un cas un peu extrême et irréaliste, car cette demande répartie sur les 60 supermarchés n'est que d'environ quatre commandes par enseigne et le coût subi est de 176 \$. Signalons à ce propos que la méthode décentralisée de distribution n'est pas rentable.

Figure 1-10. Fonctions de coût: scénarios S_2 (60 entrepôts) et S_4



Commandes Stata pour le graphique: twoway (function S2=2.69+40719*(1/x), xlabel(230 1000 2000 3000) range(234 3000)) (function S4=0.6+41209*(1/x), xlabel(234 1000 2000 3000) range(234 3000))

Il est certain qu'en diminuant le nombre d'entrepôts, nous serons dirigés sur la courbe en bas vers la droite afin d'établir le point d'équilibre correspondant à une demande plus forte et un coût plus faible. Le point maximal de déplacement sera établi par le cas minimal de deux entrepôts.

Cas minimal: 2 entrepôts

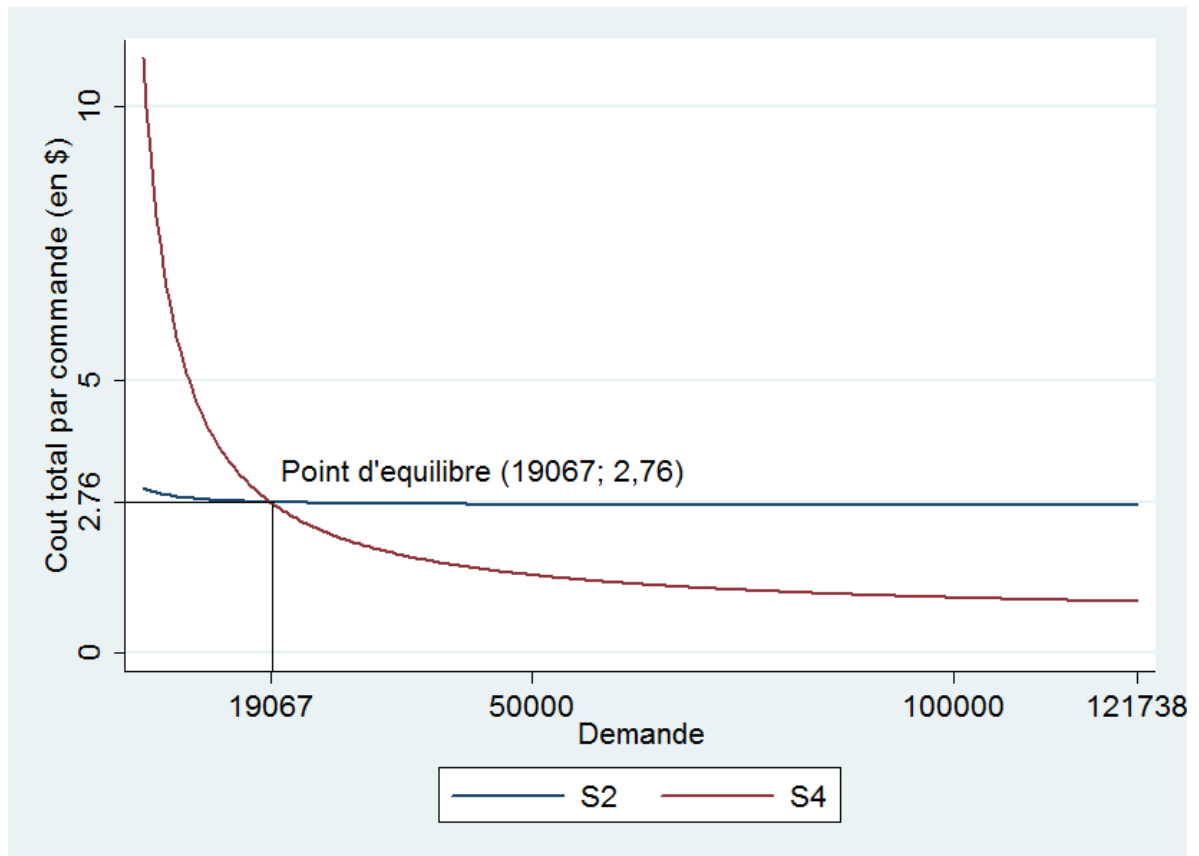
$$\text{Coût}(S_2) = \text{Coût}(S_4)$$

$$2,69 + \frac{1\,357}{\text{Demande}} = 0,6 + \frac{41\,209}{\text{Demande}}$$

$$\text{Demande} = \frac{41\,209 - 1\,357}{2,09} \approx 19\,067$$

$$\text{Coût}(S_2, S_4) = 0,6 + \frac{41\,209}{19\,067} = 2,76$$

Figure 1-11. Fonctions de coût: scénarios S_2 (2 entrepôts) et S_4



Commandes Stata pour le graphique:

```
twoway (function S2=2.69+1358*(1/x), xlabel(19067 50000 100000 121738) range(4000 121738)) (function S4=0.6+41209*(1/x), xlabel(19067 50000 100000 121738) range(4000 121738))
```

À cette étape, nous avons constaté que le point d'équilibre le plus bas possible, atteint par le scénario S_2 , correspond à une demande de 19 067 clients et un coût de 2,76 \$. Un autre élément qui mérite notre attention se fait remarquer dans la figure 1-11. La courbe du coût pour le scénario S_2 est presque plate, ce qui est expliqué par le fait qu'à partir d'une demande importante le coût fixe n'influence que peu le coût total.

En intégrant les deux cas, nous sommes capables de déterminer les zones de la demande pour lesquelles une méthode ou l'autre est la plus efficace. Nous devons souligner que la demande est une variable que nous ne pouvons pas contrôler et qui est établie par le marché. Le nombre de supermarchés, par contre, est une variable de contrôle, et le choix optimal sera fait après la minimisation de la fonction de coût. Dans cette optique, nous pouvons constater que pour la zone de demande de 0 à 19 067 unités, la méthode décentralisée domine sur les coûts la méthode centralisée et automatisée. La situation est inverse pour la zone de demande à partir de 19 068 et jusqu'à la demande maximale, soit de 121 738 commandes, où le scénario S_4 est le moins dispendieux.

Choix entre les scénarios S_2 et S_3

Après une analyse rigoureuse des scénarios S_2 et S_3 , nous avons constaté que le nombre d'entrepôts faisable que nous puissions avoir est de 20 enseignes. Pour un nombre plus grand d'entrepôts, il n'existe pas une demande positive pour laquelle nous pouvons trouver un point d'équilibre.

Cas maximal: 20 entrepôts

$$\text{Coût}(S_2) = \text{Coût}(S_3)$$

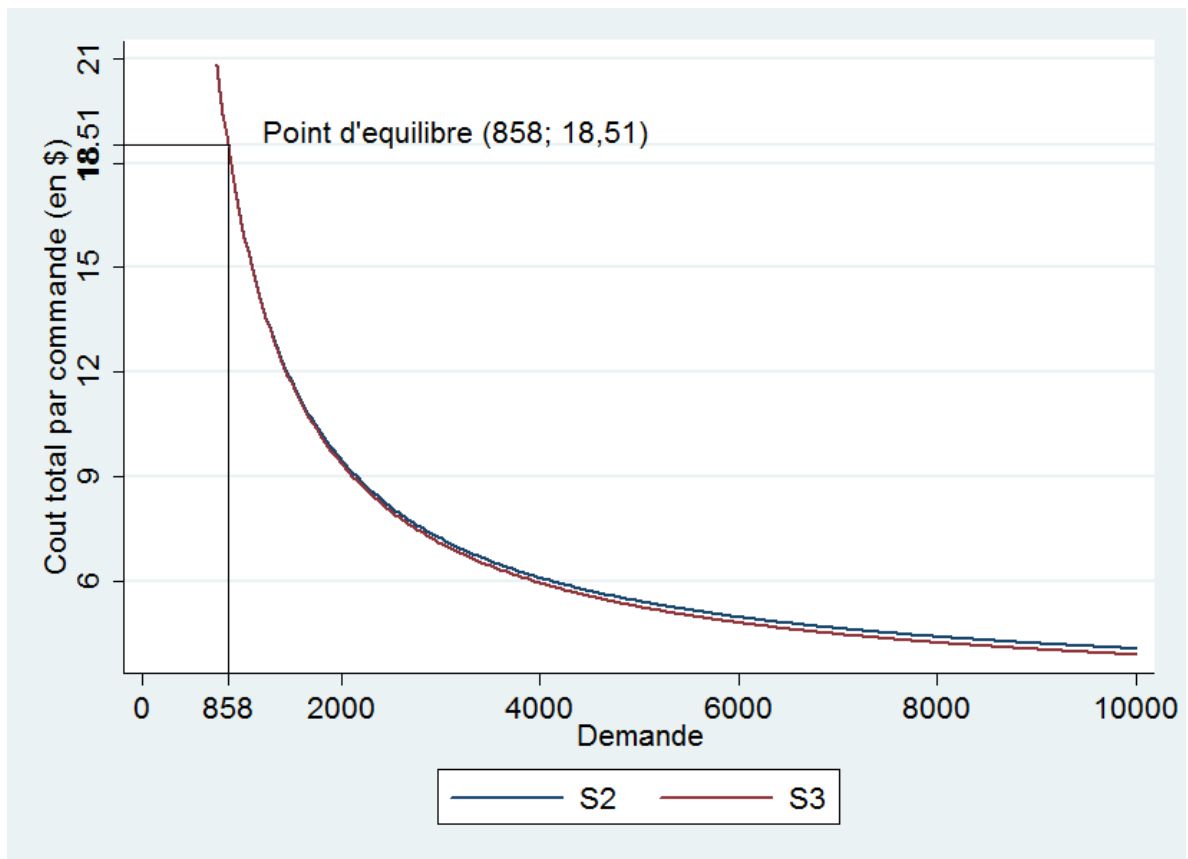
$$2,69 + \frac{13\,573}{\text{Demande}} = 2,5 + \frac{13\,736}{\text{Demande}}$$

$$\text{Demande} = \frac{13\,736 - 13\,573}{0,19} \approx 858$$

$$\text{Coût}(S_2, S_3) = 2,5 + \frac{13\,736}{856} = 18,51$$

Par cette analyse, nous avons constaté que la demande d'équilibre est de seulement de 858 unités, ce qui correspond à un prix de 18,51 \$ (voir la figure 1-12). À première vue, cette solution ne semble pas une solution idéale, mais d'abord, nous allons aborder le cas avec le nombre minimal de 2 entrepôts.

Figure 1-12. Fonctions de coût: scénarios S_2 (20 entrepôts) et S_3



Commandes Stata pour le graphique:

```
twoway (function S2=2.69+13573*(1/x), xlabel(0 858 2000 4000 6000 8000 10000 ) range(750 10000))
(function S3=2.5+13736*(1/x), xlabel(0 858 2000 4000 6000 8000 10000 ) range(750 10000))
```

Cas 2: 2 entrepôts

$$\text{Coût}(S_2) = \text{Coût}(S_3)$$

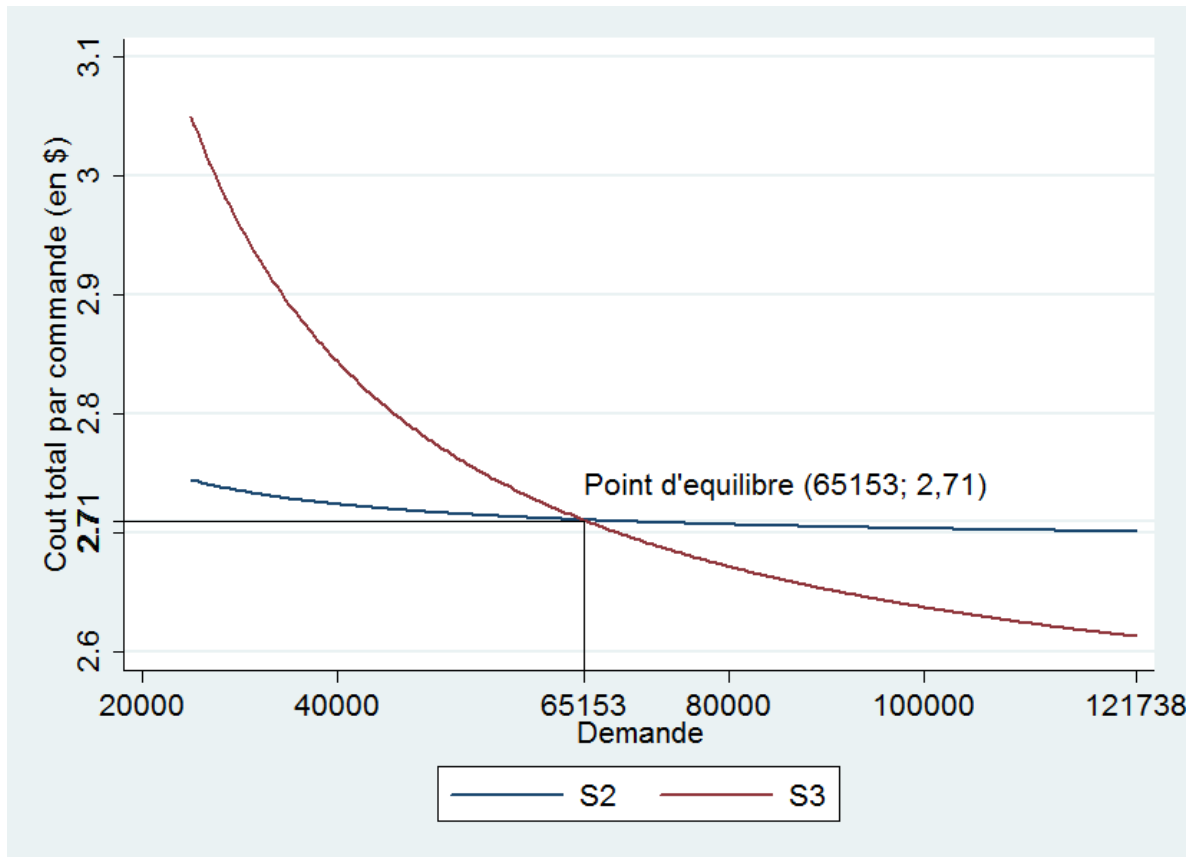
$$2,69 + \frac{1357}{\text{Demande}} = 2,5 + \frac{13736}{\text{Demande}}$$

$$\text{Demande} = \frac{13736 - 1357}{0,19} \approx 65153$$

$$\text{Coût}(S_2, S_3) = 2,5 + \frac{13736}{65153} = 2,71$$

Dans ces conditions, le point d'équilibre a été déplacé plus vers le bas à droite, comparé à l'analyse avec les scénarios précédents. Cette fois, pour une demande de 0 à 65 153 boîtes, la méthode décentralisée de distribution (la courbe en bleu sur la figure 1-13) domine le mode de distribution centralisé et non-automatisé (S_3).

Figure 1-13. Fonctions de coût: scénarios S_2 (2 entrepôts) et S_3



Commandes Stata pour le graphique:

```
twoway (function S2=2.69+1358*(1/x), xlabel(20000 40000 65153 80000 100000 121738) range(25000 121738)) (function S3=2.5+13736*(1/x), xlabel(20000 40000 65153 80000 100000 121738) range(25000 121738))
```

Tel qu'illustré dans le graphique 1-13, nous constatons facilement que le mode centralisé de distribution n'est rentable qu'à partir d'une demande de 65 154 unités, une demande qui n'est pas facile à réaliser, étant donné qu'elle représente un peu plus de la moitié de la demande journalière totale de Montréal. Dans cet ordre d'idées, nous pouvons constater que la distribution décentralisée a plus de chances d'être choisie comme la meilleure.

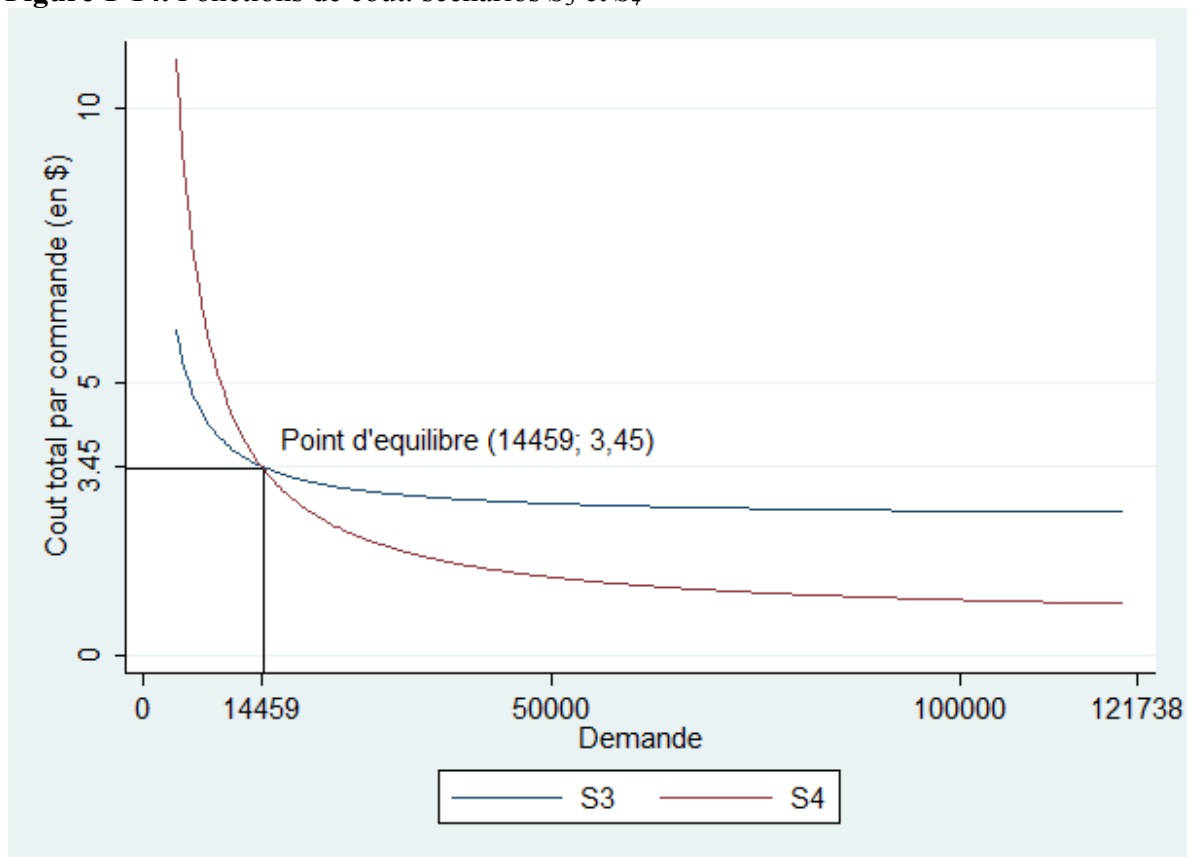
Choix entre les scénarios S_3 et S_4

Nous posons encore une fois l'égalité entre les fonctions de coût, cette fois pour les scénarios 3 et 4, afin de déterminer la demande et le coût total d'équilibre :

$$\begin{aligned} \text{Coût}(S_3) &= \text{Coût}(S_4) \\ 2,5 + \frac{13\,736}{\text{Demande}} &= 0,6 + \frac{41\,209}{\text{Demande}} \\ \text{Demande} &= \frac{41\,209 - 13\,736}{1,9} \approx 14\,459 \\ \text{Coût}(S_3, S_4) &= 0,6 + \frac{41\,209}{14\,459} = 3,45 \end{aligned}$$

En analysant les scénarios S_3 et S_4 , nous avons trouvé la demande d'équilibre de 14 459 unités par jour et un coût correspondant de 3,45 \$ par commande (voir la figure 1-14).

Figure 1-14. Fonctions de coût: scénarios S_3 et S_4



Commandes Stata pour le graphique:

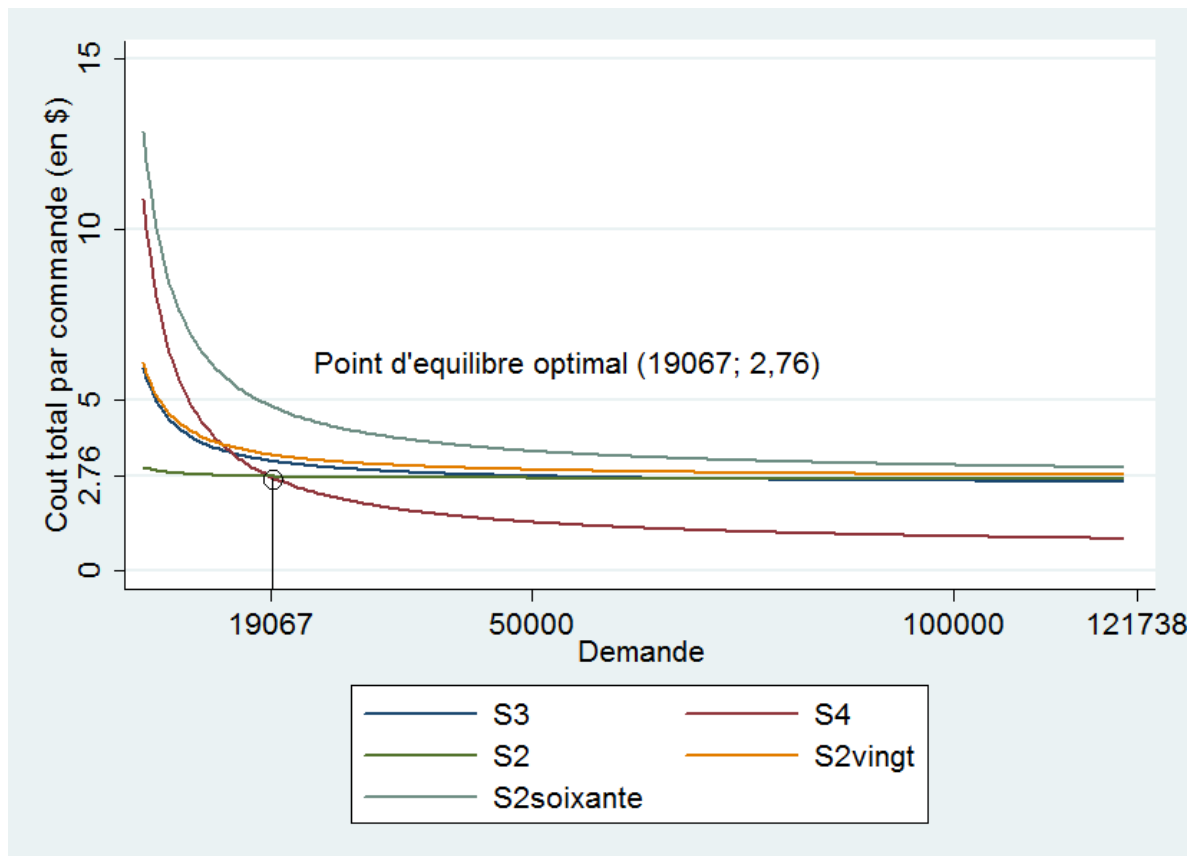
```
twoway (function S3=2.5+13736*(1/x), xlabel(0 14459 50000 100000 121738) range(4000 120000))
(function S4=0.6+41209*(1/x), xlabel(0 14459 50000 100000 121738) range(4000 120000))
```

Dans cet ordre d'idées, nous pouvons affirmer, « *ceteris paribus* » (toutes choses étant égales par ailleurs), que le choix de passer d'un entrepôt central vers un entrepôt tout automatisé n'est justifié qu'à partir d'une demande de 14 459 unités.

Choix entre les scénarios S_1 , S_2 , S_3 et S_4

Pour répondre à notre objectif, qui consiste à trouver les zones de demande tous en minimisant les coûts, nous avons agrégé les quatre scénarios (voir la figure 1-15). Nous devons rappeler que le scénario S_1 a été éliminé de la course, parce que c'était la méthode de distribution la plus dispendieuse.

Figure 1-15. Fonctions de coût: scénarios S_2 , S_3 et S_4



Commandes Stata pour le graphique:

```
twoway (function S3=2.5+13736*(1/x), xlabel(19067 50000 100000 121738) range(4000 120000)) (function
S4=0.6+41209*(1/x), xlabel(19067 50000 100000 121738) range(4000 120000)) (function
S2=2.69+1358*(1/x), xlabel(19067 50000 100000 121738) range(4000 120000)) (function
S2vingt=2.69+13573*(1/x), xlabel(19067 50000 100000 121738) range(4000 120000)) (function
S2soixante=2.69+40719*(1/x), range(4000 120000))
```

Jusqu'ici, nous avons considéré seulement le coût de commande et le coût d'entrepôt. C'est pour cette raison que la méthode décentralisée avec 20 et 60 entrepôts n'est pas efficace. Dans la section suivante, nous allons analyser les coûts de transport, où le nombre d'enseignes aura une énorme importance sur les coûts totaux. Par contre, en considérant ces deux coûts seulement, nous sommes en mesure de tirer une conclusion concernant le choix de la méthode de distribution la plus efficace. Ainsi, le point d'équilibre optimal correspond à une demande de 19 067 unités. Nous observons dans la figure 1-15 qu'à partir de ce point, la courbe la plus basse est la courbe de couleur rouge, soit le scénario S_4 . Dans l'autre direction de ce point, donc pour une demande allant de 0 à 19 067 boîtes, c'est la méthode décentralisée avec 2 entrepôts qui détient l'avantage sur les coûts.

4.2. Analyse des coûts de distribution

Dans cette partie nous allons interpréter les résultats, mais d'abord, nous devons construire les fonctions de coût total pour chaque scénario, les analyser à l'aide des graphiques et des équations mathématiques toutes ensemble et en les combinant deux par deux.

Comme nous l'avons mentionné dans le chapitre 3, la formule du coût total représente la somme des coût de commande, coût fixe d'entrepôt et coût de transport :

$$CT_i = C_{ci} + C_{fi} + C_{ti}$$

Pour la méthode traditionnelle, le coût de transport par commande a été trouvé en multipliant le tarif de transport, que nous avons obtenu dans le chapitre précédent, avec la distance moyenne du consommateur i jusqu'à la plus proche épicerie:

$$C_{t1} = \text{Tarif du transport} \times 2 \times \bar{d}_{0i}$$

$$C_{t1} = 0,51 \times 2 \times 0,71 = 0,72 \$$$

Enfin, la fonction du coût total pour le scénario S_1 est :

$$CT_1 = 23,81 + \frac{92\,297}{\text{Demande}}$$

Pour les trois autres scénarios cette fonction sera plus compliquée à calculer, parce qu'il y a le salaire de camionneur et le coût lié au transport, qui est en fonction de la distance parcourue, du nombre d'entrepôts, des fenêtres de temps et de la demande. Dans ce sens, nous allons déterminer les fonctions à partir des calculs effectués dans le fichier Excel. La fonction de coût de transport peut être présentée de la manière suivante :

$$Ct = 0,166992 \times \bar{L}_{km} + 49,979953 \times Nb. camions$$

La distance de parcours totale en kilomètres peut être calculée en quelques étapes :

$$\bar{L}_{km} = \frac{2n}{C} \times \bar{d}_{oi} + \left(n - \frac{n}{C}\right) \times k \times \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{n}}$$

$$\bar{d}_{oi} = \frac{2}{3} \times \sqrt{\frac{A/Nb. entrepôts}{\pi}}$$

$$\bar{d}_{oi} = \frac{8,266612}{\sqrt{Nb. entrepôts}}$$

$$\bar{L}_{km} = \frac{2n}{C} \times \frac{8,266612}{\sqrt{Nb. entrepôts}} + \left(n - \frac{n}{C}\right) \times k \times \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{n}}$$

$$\bar{L}_{km} = n \times \frac{16,533224}{C \times \sqrt{Nb. entrepôts}} + \sqrt{n} \times \left(1 - \frac{1}{C}\right) \times 16,479533$$

Nous procédons de la même façon pour trouver le nombre de camions :

$$Nombre\ de\ camions = \frac{m}{Nombre\ de\ tournées\ par\ camion}$$

$$Nombre\ de\ tournées\ par\ camion = \frac{Durée\ quotidienne\ d'opération}{Temps\ pour\ une\ tournée}$$

$$Temps\ pour\ une\ tournée = Temps\ total \times C$$

$$Temps\ total = 0,066667 + \frac{\bar{L}_{km}}{40 \times n}$$

$$\text{Temps pour une tournée} = \left(0,066667 + \frac{\bar{L}_{km}}{40 \times n}\right) \times C$$

$$\text{Nombre de tournées par camion} = \frac{\text{Durée quotidienne d'opération}}{\left(0,066667 + \frac{\bar{L}_{km}}{40 \times n}\right) \times C}$$

$$\text{Nombre de camions} = \frac{m \times \left(0,066667 + \frac{\bar{L}_{km}}{40 \times n}\right) \times C}{\text{Durée quotidienne d'opération}}$$

$$m = \frac{n}{C}$$

$$\text{Nombre de camions} = \frac{0,066667 \times n + \frac{\bar{L}_{km}}{40}}{\text{Durée quotidienne d'opération}}$$

Maintenant, nous allons introduire le nombre de camions dans la formule initiale du coût de transport:

$$Ct = 0,166992 \times \bar{L}_{km} + 49,979953 \times \frac{0,066667 \times n + \frac{\bar{L}_{km}}{40}}{\text{Durée quotidienne d'opération}}$$

$$Ct = 0,166992 \times \bar{L}_{km} + \frac{3,332013 \times n}{\text{Durée quotidienne d'opération}} + \frac{1,249499 \times \bar{L}_{km}}{\text{Durée quotidienne d'opération}}$$

$$Ct = \frac{3,332013 \times n}{\text{Durée quotidienne d'opération}} + \bar{L}_{km} \times \left(0,166992 + \frac{1,249499}{\text{Durée quotidienne d'opération}}\right)$$

Par la suite, nous devons introduire la formule de la distance totale :

$$Ct = \frac{3,332013 \times n}{\text{Durée quotidienne d'opération}} + \left(0,166992 + \frac{1,249499}{\text{Durée quotidienne d'opération}} \right) \times \left(n \times \frac{16,533224}{C \times \sqrt{\text{Nb. entrepôts}}} + \sqrt{n} \times \left(1 - \frac{1}{C} \right) \times 16,479533 \right)$$

$$Ct = \frac{3,332013}{\text{Durée quotidienne d'opération}} \times n + n \left(\frac{2,760916}{C \times \sqrt{\text{Nb. entrepôts}}} + \frac{20,658247}{C \times \sqrt{\text{Nb. entrepôts}} \times \text{Durée quotidienne d'opération}} \right) + \sqrt{n} \left[\left(1 - \frac{1}{C} \right) \times 2,75195 + \frac{2,59116 \times \left(1 - \frac{1}{C} \right)}{\text{Durée quotidienne d'opération}} \right]$$

$$Ct = n \times \left[\frac{3,332013}{\text{Durée quotidienne d'opération}} + \frac{2,760916 \times \text{Durée quotidienne d'opération} + 20,658247}{C \times \sqrt{\text{Nb. entrepôts}} \times \text{Durée quotidienne d'opération}} + \sqrt{n} \times \left(1 - \frac{1}{C} \right) \left[2,75195 + \frac{2,59116}{\text{Durée quotidienne d'opération}} \right] \right]$$

Nous avons divisé tout par n , afin d'obtenir le coût de transport par commande:

$$Ct = \left[\frac{3,332013}{\text{Durée quotidienne d'opération}} + \frac{2,760916 \times \text{Durée quotidienne d'opération} + 20,658247}{C \times \sqrt{\text{Nb. entrepôts}} \times \text{Durée quotidienne d'opération}} + \frac{1}{\sqrt{n}} \times \left(1 - \frac{1}{C} \right) \left[2,75195 + \frac{2,59116}{\text{Durée quotidienne d'opération}} \right] \right]$$

La fonction de coût pour le salaire du camionneur peut être trouvée par la même méthode :

$$\text{Salaire camionneur} = \text{Temps total} \times 22,77$$

$$\text{Temps total} = 0,066667 + \frac{\bar{L}_{km}}{40 \times n}$$

$$\text{Salaire camionneur} = 1,518008 + 0,56925 \times \frac{\bar{L}_{km}}{n}$$

$$\text{Salaire camionneur} = 1,518008 + 0,56925$$

$$\times \left(\frac{16,533224}{C \times \sqrt{Nb. \text{entrepôts}}} + \frac{16,479533}{\sqrt{n}} \times \left(1 - \frac{1}{C}\right) \right)$$

$$\text{Salaire camionneur} = 1,518008 + \frac{9,411538}{C \times \sqrt{Nb. \text{entrepôts}}} + \frac{9,380972}{\sqrt{n}} \times \left(1 - \frac{1}{C}\right)$$

Maintenant, il ne reste qu'à additionner tous les parties obtenues plus haut pour construire les fonctions de coûts pour chaque scénario.

Analyse S_3 et S_4

Maintenant, pour les scénarios S_3 et S_4 nous avons remplacé la capacité du véhicule, $C = 20$ commandes et la durée quotidienne d'opération de 18 heures afin d'obtenir les fonctions suivantes :

$$\text{Salaire camionneur}_{3 \text{ et } 4} = 1,988585 + \frac{8,911923}{\sqrt{n}}$$

$$Ct_{3 \text{ et } 4} = 0,380542 + \frac{2,7511081}{\sqrt{n}}$$

$$\text{Coût}(S_3) = 2,5 + \frac{13\,736}{\text{Demande}}$$

$$\text{Coût}(S_4) = 0,6 + \frac{41\,209}{\text{Demande}}$$

$$\text{Demande} = n$$

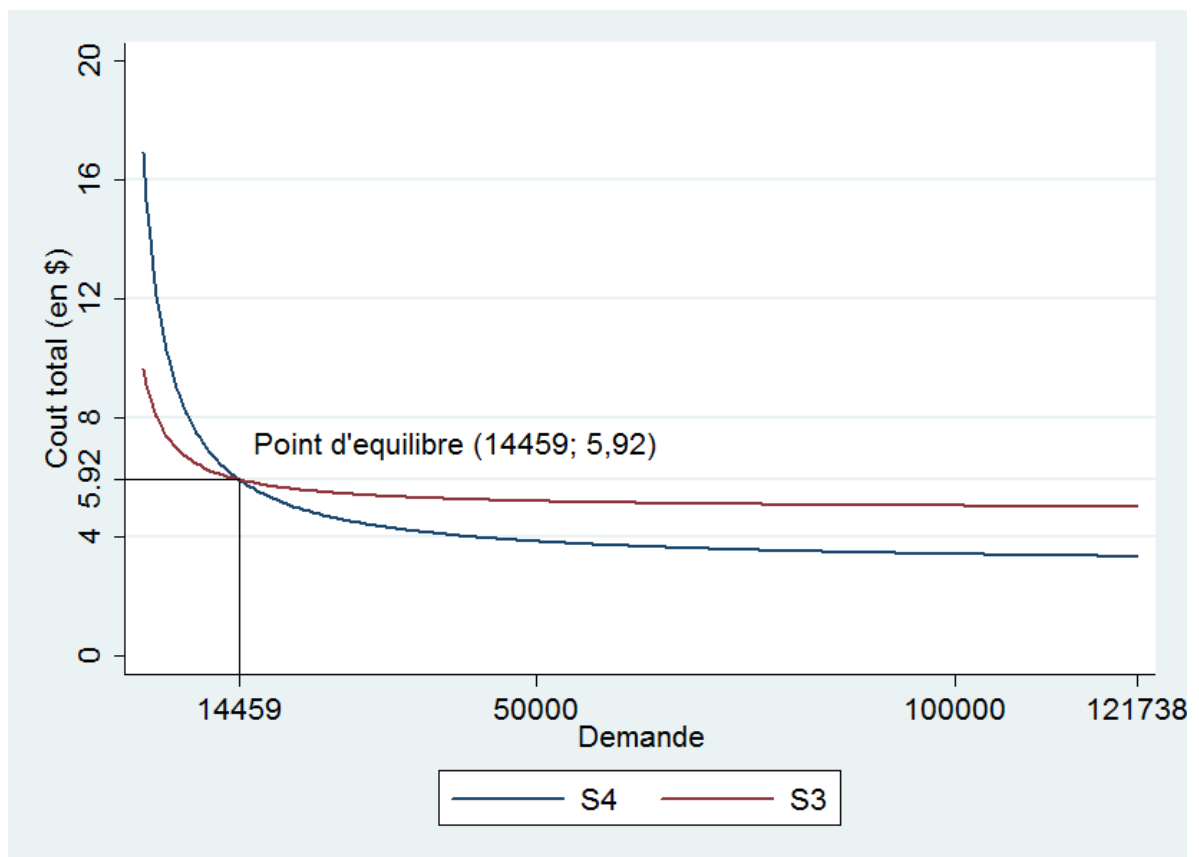
Les deux dernières équations représentent la somme des coûts fixes d'entrepôts et des coûts de commande pour les scénarios S_3 et S_4 . En additionnant tous les composants, nous avons construit les fonctions de coût total comme suit :

$$CT_3 = 4,869127 + \frac{13\,736}{n} + \frac{11,663031}{\sqrt{n}}$$

$$CT_4 = 2,969127 + \frac{41\,209}{n} + \frac{11,663031}{\sqrt{n}}$$

Pour trouver le point d'équilibre, nous avons posé égalité entre les deux fonctions de coût. Ainsi, comme nous pouvons le remarquer aussi dans la figure 1-16, nous l'avons obtenue pour une demande de 14 459 unités, et à un coût de 5,92 \$ par client.

Figure 1-16. Fonctions de coût total: scénarios S_3 et S_4



Commandes Stata pour le graphique:

```
twoway (function S4=2.969127+41209*(1/x)+11.663031*(1/sqrt(x)), range(3000 121738)) (function S3=4.869127+13736*(1/x)+11.663031*(1/sqrt(x)), range(3000 121738))
```


Nous pouvons facilement remarquer que cette demande d'équilibre est la même que nous avons trouvé dans la section précédente. Le coût était de 3,45 \$ par commande, tandis que maintenant il a été majoré de 2,47 \$, qui représente le coût de transport et le salaire du camionneur pour cette demande. En faisant un choix entre les deux modèles de distribution, nous pouvons affirmer avec certitude que le mode centralisé et non-automatisé est préféré pour une demande allant jusqu'à 14 459 boîtes par jours. Malheureusement, la distribution centralisée et entièrement automatisé n'est rentable qu'à partir d'une demande plus forte que celle d'équilibre, en comparant juste ces deux scénarios.

Analyse S_2 et S_3

Pour le scénario S_2 nous avons procédé de la même manière que pour le deux précédents. D'abord, nous avons employé la capacité du véhicule, $C = 20$ commandes et la durée quotidienne d'opération de 18 heures. Ensuite l'équation du coût de commande et le coût fixes d'entrepôt a été additionnée avec les équations du coût de transport et salaire du camionneur, ainsi obtenues, comme suit :

$$\text{Coût}(S_2) = 2,69 + \frac{679 \times \text{Nb. entrepôts}}{\text{Demande}}$$

$$Ct = 0,185112 + \frac{0,19543}{\sqrt{\text{Nb. entrepôts}}} + \frac{2,751108}{\sqrt{n}}$$

$$\text{Salaire camionneur} = 1,518008 + \frac{0,470577}{\sqrt{\text{Nb. entrepôts}}} + \frac{8,911923}{\sqrt{n}}$$

$$CT_2 = 4,39312 + \frac{0,666007}{\sqrt{\text{Nb. entrepôts}}} + \frac{11,663031}{\sqrt{n}} + \frac{679 \times \text{Nb. entrepôts}}{n}$$

Maintenant nous allons chercher le point d'équilibre :

$$CT_2 = CT_3$$

$$CT_3 = 4,869127 + \frac{13\,736}{n} + \frac{11,663031}{\sqrt{n}}$$

$$4,39312 + \frac{0,666007}{\sqrt{Nb. \text{entrepôts}}} + \frac{679 \times Nb. \text{entrepôts}}{n} = 4,869127 + \frac{13\,736}{n}$$

$$\frac{13\,736 - 679 \times Nb. \text{entrepôts}}{n} = \frac{0,666007}{\sqrt{Nb. \text{entrepôts}}} - 0,476007$$

Pour avoir une solution faisable et positive, il faut que les conditions suivantes soient respectées:

$$\left\{ \begin{array}{l} 13\,736 > 679 \times Nb. \text{entrepôts} \\ \frac{0,666007}{\sqrt{Nb. \text{entrepôts}}} - 0,476007 > 0 \end{array} \right.$$

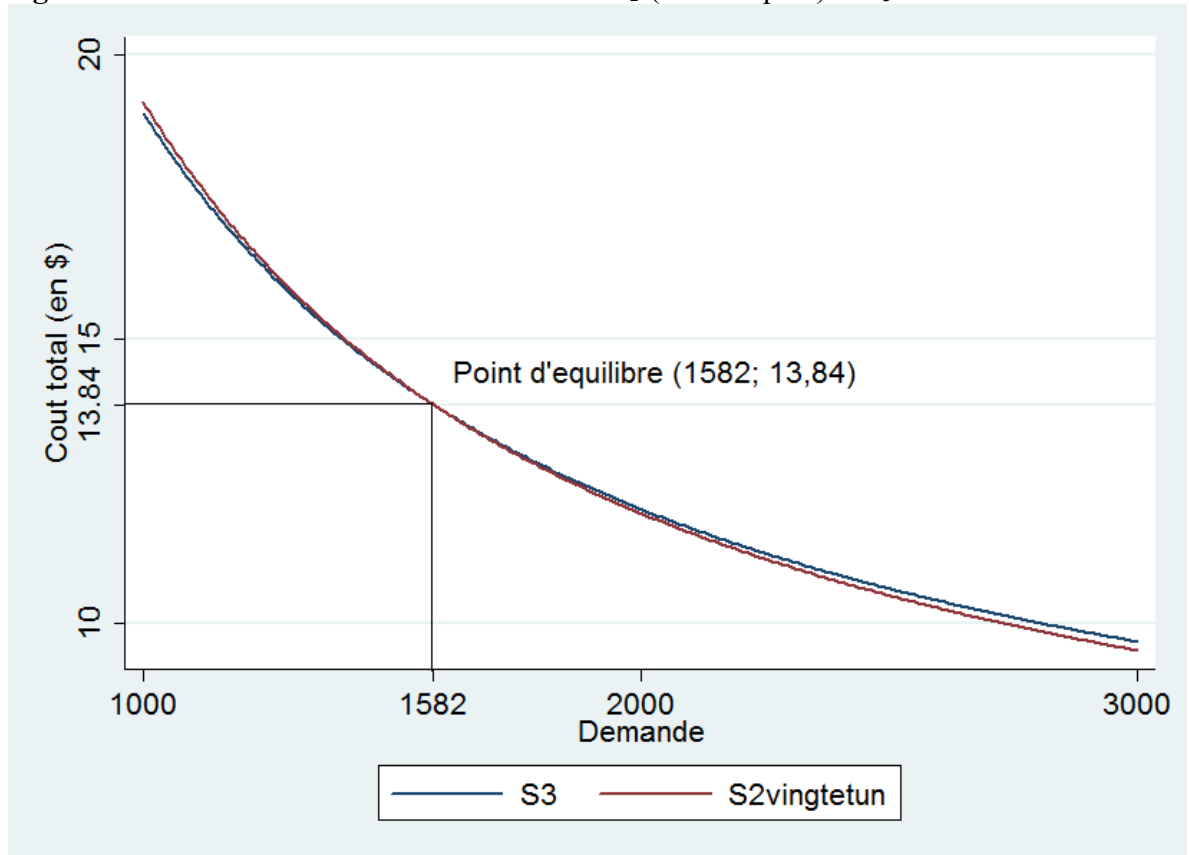
Ou

$$\left\{ \begin{array}{l} 13\,736 < 679 \times Nb. \text{entrepôts} \\ \frac{0,666007}{\sqrt{Nb. \text{entrepôts}}} - 0,476007 < 0 \end{array} \right.$$

Du premier système nous obtenons $Nb. \text{entrepôts} < 1,95$ unités, ce qui est en contradiction avec l'hypothèse de base supposant au moins 2 supermarchés pour le scénario S_2 . Dans le deuxième système, par contre, les deux équations nous donnent le $Nb. \text{entrepôts} > 1,95$ et $Nb. \text{entrepôts} > 20,2$. Pour que les deux équations soient respectées il faut avoir un nombre minimal de 21 entrepôts, afin d'avoir un point d'équilibre.

Dans cette optique, pour un nombre minimal faisable d'entrepôts, nous avons déterminé le point d'équilibre à une demande de 1 582 unités et le coût total de 13,84 \$ (voir figure 1-17).

Figure 1-17. Fonctions de coût total: scénarios S_2 (21 entrepôts) et S_3

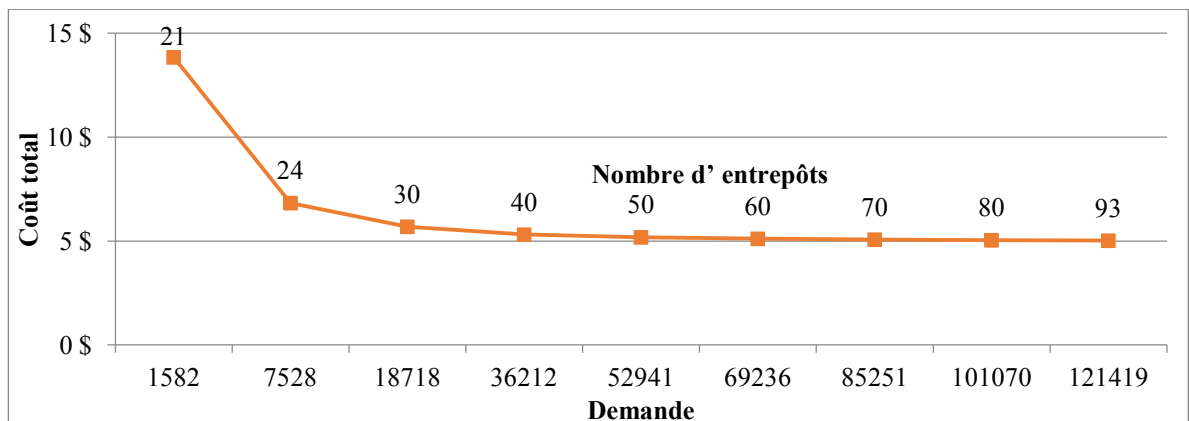


Commandes Stata pour le graphique:

```
twoway (function S3=4.869127+13736*(1/x)+11.663031*(1/sqrt(x)), xlabel(1000 1582 2000 3000)
range(1000 3000)) (function S2vingtetun=4.538455+14259*(1/x)+11.663031*(1/sqrt(x)), xlabel(1000 1582
2000 3000)) range(1000 3000))
```

Dans la figure 1-18, nous pouvons observer comment l'augmentation des entrepôts influence le déplacement du point d'équilibre vers le bas à droite. Nous constatons que le nombre maximal faisable des supermarchés s'arrête, dans notre analyse, à 93 supermarchés.

Figure 1-18. Impact du nombre d'entrepôts sur le point d'équilibre (scénarios S_2 et S_3)



À cette étape, nous pouvons affirmer que la méthode décentralisée sera dominante sur les coûts pour tous les cas avec un nombre d'entrepôts allant de 2 à 20, aussi pour le secteur de demande à partir de chaque point d'équilibre (en commençant avec 21 et plus entrepôts) et jusqu'à la demande maximale pour l'île de Montréal. Pour toute autre demande, qui se trouve à gauche des points d'équilibre, c'est la distribution centralisée non-automatisée qui sera la plus rentable.

Analyse S_2 et S_4

Nous allons d'abord chercher le point d'équilibre pour les fonctions suivantes :

$$CT_2 = CT_4$$

$$4,39312 + \frac{0,666007}{\sqrt{Nb.\text{entrepôts}}} + \frac{679 \times Nb.\text{entrepôts}}{n} = 2,969127 + \frac{41\,209}{n}$$

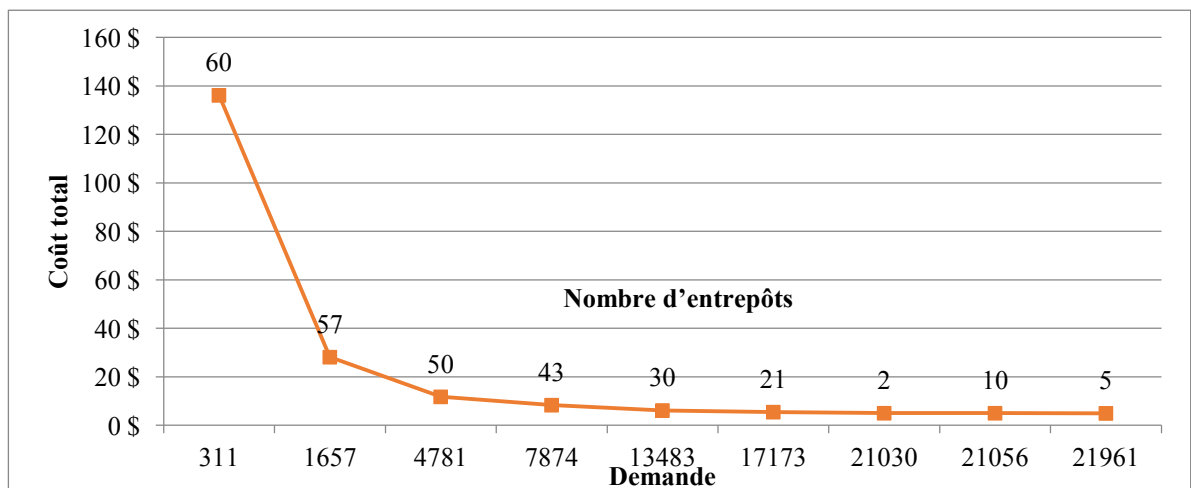
$$1,423993 + \frac{0,666007}{\sqrt{Nb.\text{entrepôts}}} = \frac{41\,209 - 679 \times Nb.\text{entrepôts}}{n}$$

Pour avoir une solution faisable et positive, il faut que la condition suivante soit respectée:

$$41\,209 > 679 \times Nb.\text{entrepôts}$$

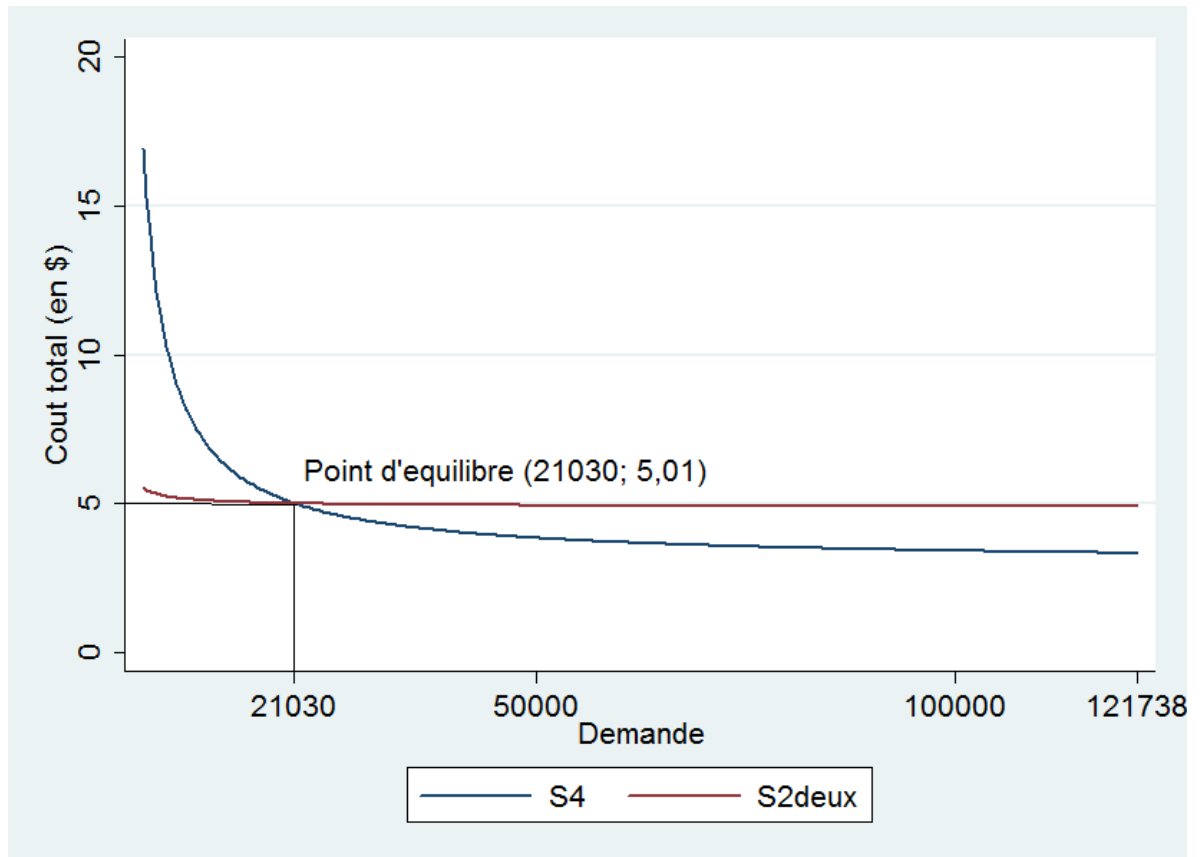
Nous avons obtenu le $Nb.\text{entrepôts} < 60,6$ unités, donc il faut retenir que 60 et moins entrepôts pour notre analyse. Nous avons constaté une relation inverse entre le nombre d'entrepôts et la demande d'équilibre.

Figure 1-19. Impact du nombre d'entrepôts sur le point d'équilibre (scénarios S_2 et S_4)



À cet effet, quand le nombre de supermarchés augmente pour la méthode décentralisée, le mode centralisé et automatisé devient meilleur au niveau des coûts pour une demande de plus en plus faible (voir la figure 1-19). Nous constatons encore une fois que le point d'équilibre signifie le point de passage de performance en termes de coûts d'une forme de distribution à l'autre.

Figure 1-20. Fonctions de coût total: scénarios S_2 (2 entrepôts) et S_4



Commandes Stata pour le graphique:

```
twoway (function S4=2.969127+41209*(1/x)+11.663031*(1/sqrt(x)), xlabel(21030 50000 100000 121738)
range(3000 121738)) (function S2deux=4.864058+1358*(1/x)+11.663031*(1/sqrt(x)), xlabel(21030 50000
100000 121738) range(3000 121738))
```

Nous pouvons observer facilement dans la figure 1-20 que la méthode centralisée et automatisée est toujours plus rentable que le mode décentralisé à partir d'une demande de 21 030 boîtes. De plus, le coût de 5 \$ est assez compétitif sur le marché, prenons par exemple le cas de IGA, qui exige un frais d'environ 8 \$ par livraison à Montréal (voir l'annexe 3).

En considérant seulement ces deux scénarios, nous pouvons remarquer que la méthode centralisée et automatisée de distribution affiche des coûts plus bas pour toute la demande journalière de Montréal, comparativement à la méthode décentralisée avec 61 et plus d'entrepôts.

Le mode décentralisé peut être plus performant pour toute demande de 0 jusqu'à la demande d'équilibre correspondant au nombre d'entrepôts faisable, qui est de 2 à 60 unités. De même, pour toute la demande située à droite des points d'équilibre c'est aussi la méthode centralisée et automatisée qui est la moins dispendieuse.

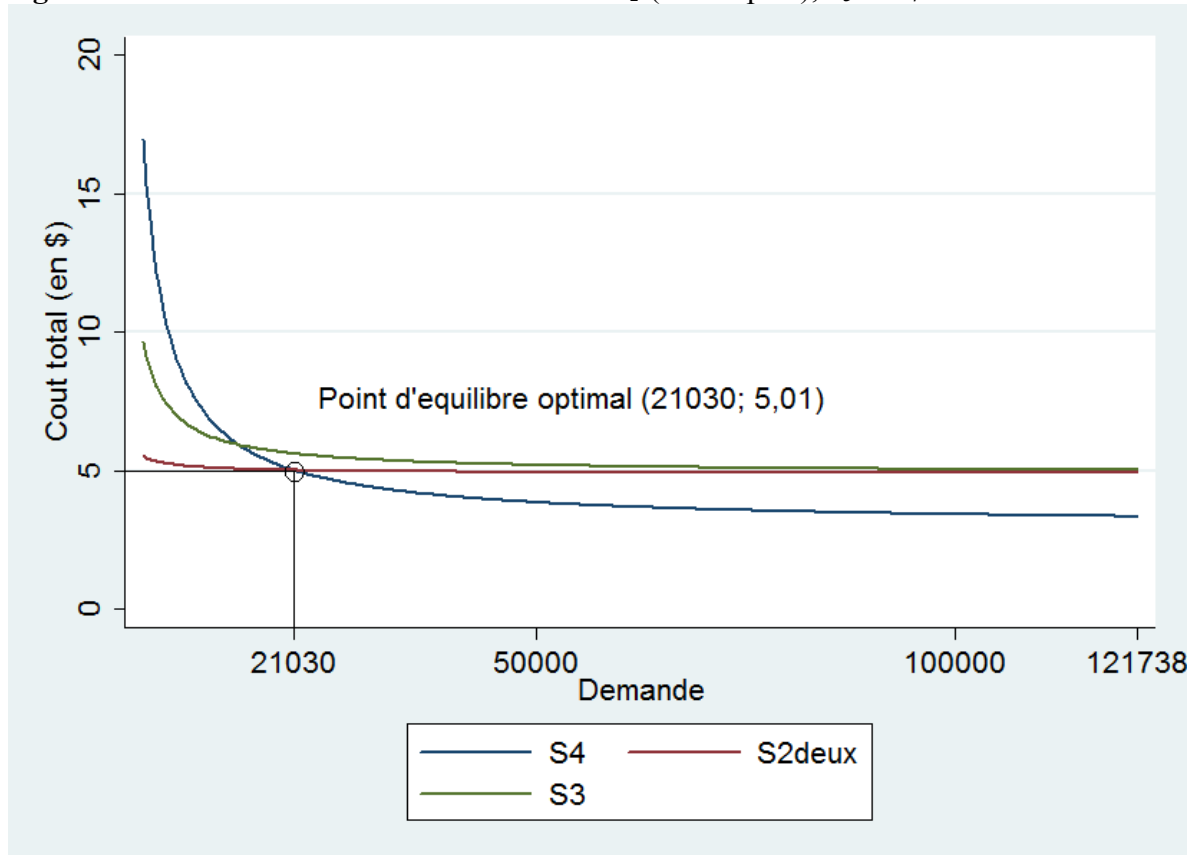
Analyse des scénarios S_1 , S_2 , S_3 et S_4

En première lieu, il est opportun de rappeler que la fonction de coût pour la méthode traditionnelle de distribution des produits alimentaires est la suivante :

$$CT_1 = 23,81 + \frac{92\,297}{\text{Demande}}$$

Nous constatons vite que pour la demande totale de l'épicerie, ce coût sera de 24,57 \$. Dans un autre sens, c'est le coût minimal possible. À cet effet, nous allons éliminer cette méthode de l'analyse générale, car elle ne présente aucun intérêt pour nous. Pour les autres scénarios, nous les avons mis tous dans la figure 1-21, afin de pouvoir tirer une conclusion finale.

Figure 1-21. Fonctions de coût total: scénarios S_2 (2 entrepôts), S_3 et S_4



Commandes Stata pour le graphique:

```
twoway (function S4=2.969127+41209*(1/x)+11.663031*(1/sqrt(x)), xlabel(21030 50000 100000 121738)
range(3000 121738)) (function S2deux=4.864058+1358*(1/x)+11.663031*(1/sqrt(x)), xlabel(21030 50000
100000 121738) range(3000 121738)) (function S3=4.869127+13736*(1/x)+11.663031*(1/sqrt(x)),
xlabel(21030 50000 100000 121738) range(3000 121738))
```

Malgré le fait que la courbe du scénario S_3 (couleur verte dans la figure 1-21) a un point d'intersection avec le scénario S_4 , à une demande 14 459 unités, nous ne pouvons pas retenir cette méthode de distribution, parce que la courbe de la distribution décentralisée avec deux entrepôts (couleur rouge) se trouve plus vers le bas du graphique, donc un coût de 5 \$ comparativement à 5,92 \$. L'autre point d'équilibre devient ainsi décisif pour toute notre analyse.

En guise de conclusion, nous pouvons affirmer que pour une demande jusqu'à 21 030 boîtes par jour la méthode décentralisée sera considérée comme la plus avantageuse en termes de coût total par commande, tandis que l'utilisation de la distribution centralisée et automatisée se justifie pour une demande plus forte que celle d'équilibre.

4.3. Impact de la capacité des véhicules sur les coûts de distribution

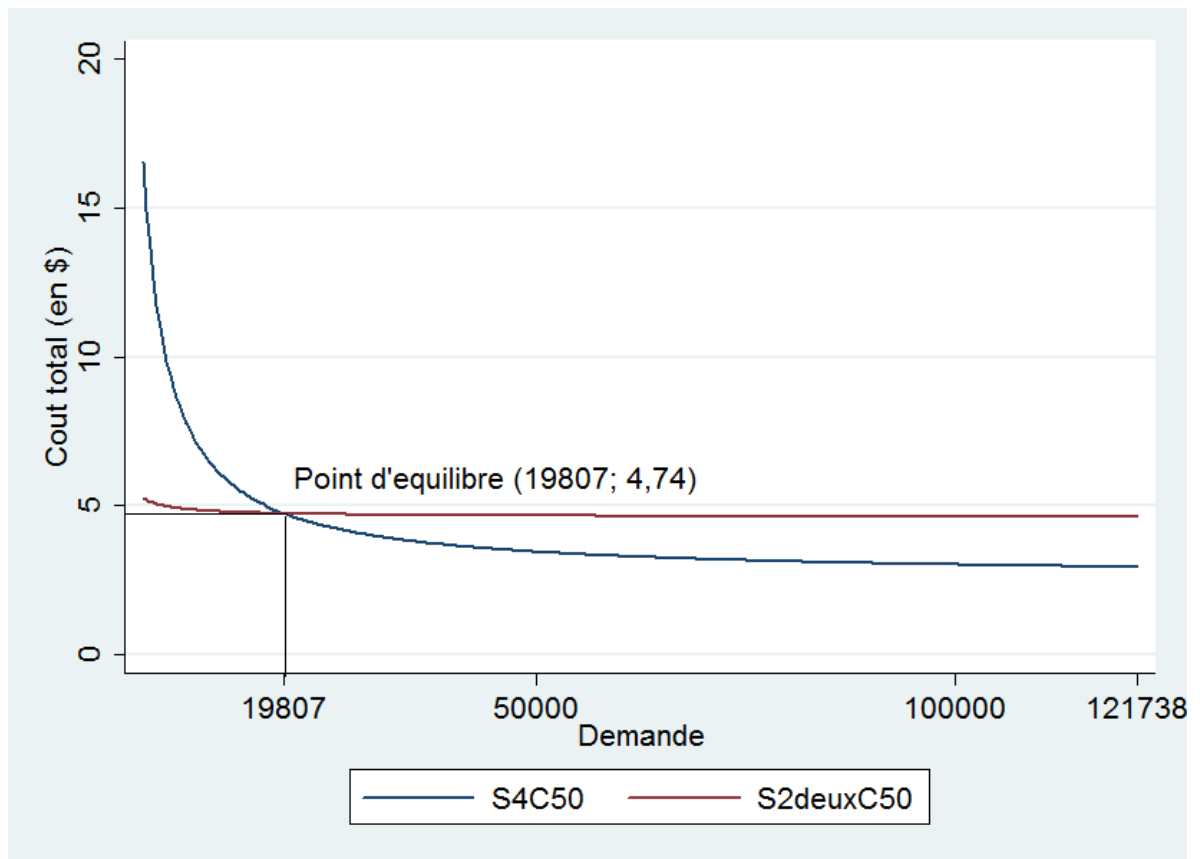
Dans cette section, nous allons évaluer les deux méthodes retenues plus haut en augmentant la capacité des véhicules de 20 à 50 boîtes. Nous allons respecter la même fenêtre de temps de 18 heures afin d'obtenir les fonctions suivantes :

$$CT_{2.C50} = 4,39312 + \frac{0,266403}{\sqrt{Nb.entrepôts}} + \frac{12,031338}{\sqrt{n}} + \frac{679 \times Nb.entrepôts}{n}$$

$$CT_{4.C50} = 2,569523 + \frac{12,031338}{\sqrt{n}} + \frac{41\,209}{n}$$

Après différentes manipulations mathématiques revenant de l'égalité entre les deux fonctions de coût, nous avons obtenu un nouveau point d'équilibre, qui correspond maintenant à une demande plus faible que la solution avec capacité de 20 boîtes (voir la figure 1-22 et comparer avec la figure 1-21).

Figure 1-22. Impact de la capacité des véhicules sur le point d'équilibre (S_2 et S_4)



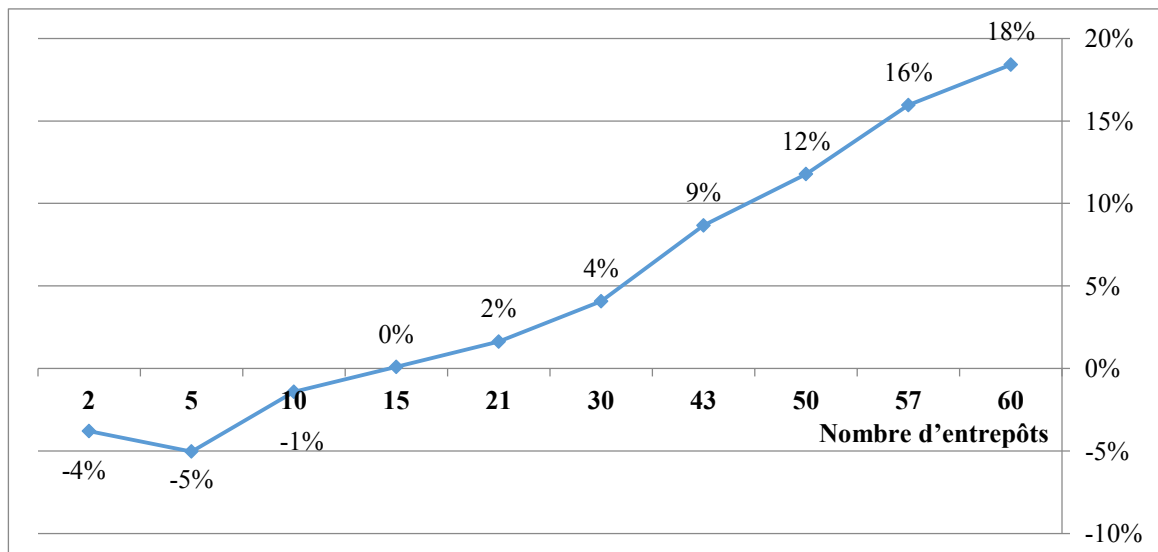
Commandes Stata pour le graphique:

```
twoway (function S4C50=2.569523+41209*(1/x)+12.031338*(1/sqrt(x)), xlabel(19807 50000 100000 121738) range(3000 121738)) (function S2deuxC50=4.581495+1358 *(1/x)+12.031338*(1/sqrt(x)), xlabel(19807 50000 100000 121738) range(3000 121738))
```


Dans cette optique, la hausse de la capacité des camions à 50 boîtes a permis une réduction de 1 223 unités (21 030 – 19 807) de la demande d'équilibre, mais aussi une baisse de coût de 5,01 \$ à 4,74 \$, dans le cadre des deux scénarios analysés. À cette étape, nous sommes en mesure de conclure que la méthode centralisée et automatisée présente plus d'avantages pour une capacité plus grande des camions.

Afin de renforcer notre analyse, nous avons produit la figure 1-23, qui représente la tendance du coût relatif d'équilibre selon le nombre d'entrepôts choisi. Les valeurs en pourcentage sur le graphique déterminent les coûts relatifs d'équilibre entre la capacité de 20 et 50 boîtes pour les deux scénarios, qui sont positifs ou négatifs. Les valeurs positives expliquent que les coûts d'équilibre pour la capacité de 50 sont plus élevés que ceux à 20 boîtes.

Figure 1-23. Tendance du coût relatif d'équilibre selon le nombre d'entrepôts



Nous pouvons constater dans la figure 1-23, que les coûts d'équilibre entre les deux types de capacité sont égaux pour le cas de 15 entrepôts. Quand le nombre de supermarchés dépasse 15, le coût d'équilibre augmente lui aussi pour les véhicules avec capacité de 50 boîtes. Nous expliquons ce résultat par le simple fait que la méthode décentralisée implique des distances plus courtes entre les épiceries et ses clients quand le nombre de supermarchés augmente. Ainsi, pour les distances courtes, l'avantage des véhicules avec capacité de 50 unités diminue de plus en plus comparé à la méthode centralisée.

L'effet inverse sur les coûts a été observé pour les situations avec moins de 15 supermarchés. Dans ce cas, les valeurs sur le graphique sont négatives, ce qui s'explique par une réduction de coût d'équilibre. Entre d'autres mots, la capacité de véhicules de 50 boites est bénéfique pour la méthode centralisée, car elle permet une réduction des coûts. Derrière ce résultat se trouvent des distances plus longues entre les clients et l'entrepôt automatisé.

4.4. Fenêtres de temps

La contrainte de fenêtres de temps implique que tous les clients ne peuvent pas être visités à n'importe lequel moment de la journée. Cela permet au client de mieux prévoir la réception de la commande. Par contre, cette contrainte peut entraîner des changements importants dans les coûts de transport puisque deux clients voisins peuvent vouloir être visités à des moments distincts de la journée. En nous basant sur le travail de Figliozzi (2009), nous avons retenu l'impact des fenêtres de temps sur le changement de la distance totale parcourue :

$$\Delta \bar{L}_{km} = \bar{L}_{km}^{\text{sans fen\^etre de temps}} - \bar{L}_{km}^{\text{avec fen\^etre de temps}}$$

Comme illustré dans le tableau 1-16, une fenêtre de temps plus étroite présente un changement plus important de la distance totale, tandis qu'une fenêtre de quatre heures n'augmente la distance que de 10%.

Tableau 1-16. Impact des fenêtres de temps sur la distance totale parcourue

Fenêtre de temps	$\Delta \bar{L}_{km}$
4 heures	10%
1 heure	50%

Lors de notre analyse, nous avons constaté que seulement les fonctions de coût du transport et du salaire du camionneur varient aux changements de la distance totale :

$$Ct = \frac{3,332013}{\text{Durée quotidienne opérationnelle}} + \frac{\bar{L}_{km}}{n} \\ \times \left(0,166992 + \frac{1,249499}{\text{Durée quotidienne opérationnelle}} \right)$$

$$\text{Salaire camionneur} = 1,518008 + 0,56925 \times \frac{\bar{L}_{km}}{n}$$

Maintenant, il faut calculer l'augmentation des coûts pour chaque scénario en présence des fenêtres de temps:

$$\Delta CT = 0,805659 \times \Delta \bar{L}_{km} \times \frac{\bar{L}_{km}}{n}$$

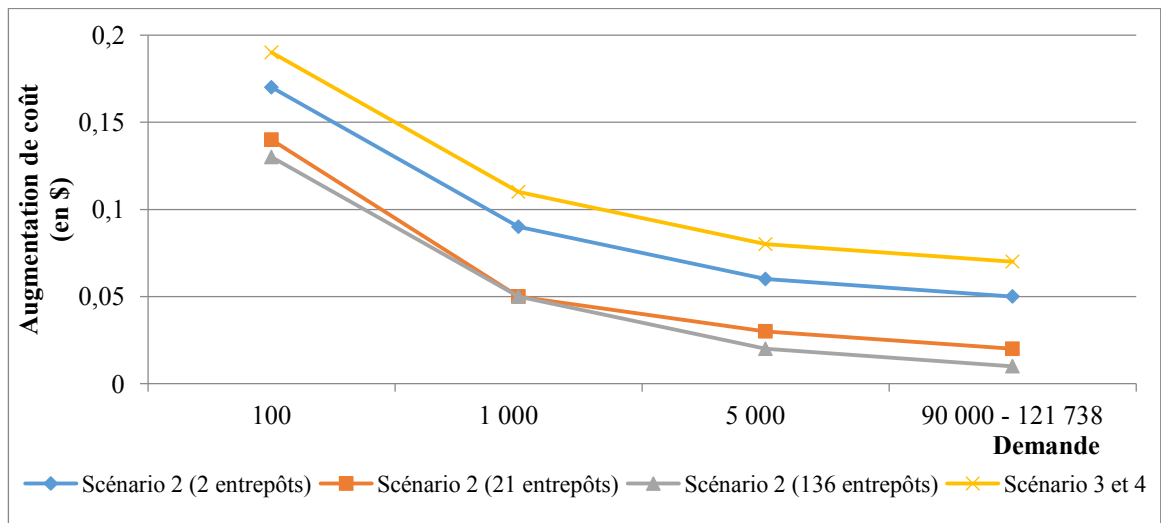
$$\bar{L}_{km} = n \times \frac{16,533224}{C \times \sqrt{\text{Nb. entrepôts}}} + \sqrt{n} \times \left(1 - \frac{1}{C} \right) \times 16,479533$$

$$\frac{\bar{L}_{km}}{n} = \frac{16,533224}{C \times \sqrt{\text{Nb. entrepôts}}} + \frac{16,479533}{\sqrt{n}} \times \left(1 - \frac{1}{C} \right)$$

$$\Delta CT = 0,805659 \times \Delta \bar{L}_{km} \times \left(\frac{16,533224}{C \times \sqrt{\text{Nb. entrepôts}}} + \frac{16,479533}{\sqrt{n}} \times \left(1 - \frac{1}{C} \right) \right)$$

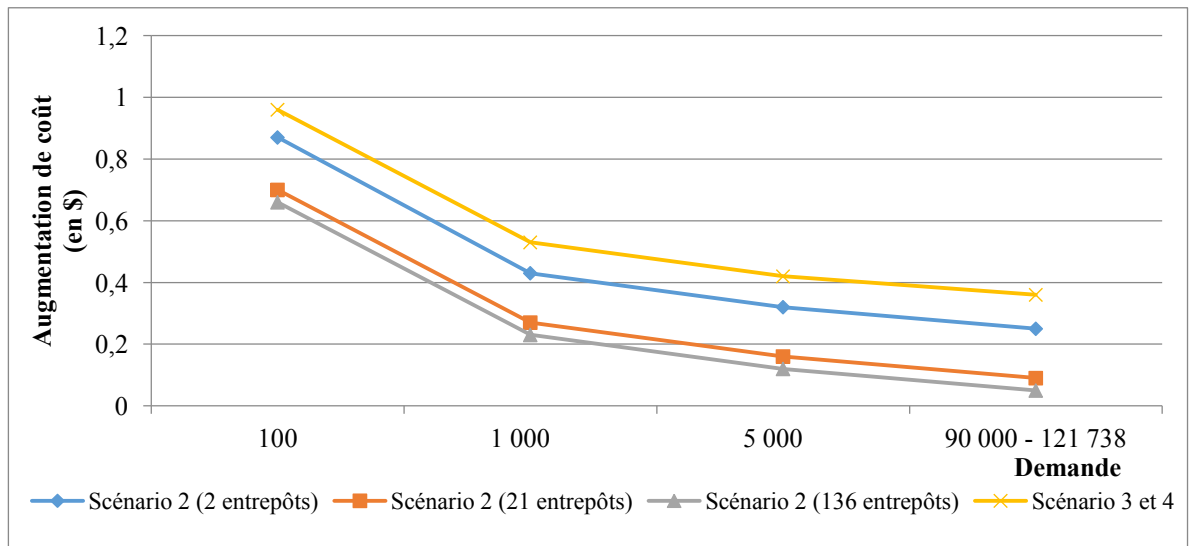
Afin de rendre plus visibles les changements au niveau des coûts, nous avons produit deux figures pour les fenêtres de quatre et une heure.

Figure 1-24. Impact de la fenêtre de temps de 4 heures sur les coûts



Ainsi, comme l'illustre la figure 1-24, nous observons qu'une fenêtre de quatre heures implique une augmentation des coûts de moins de 0,2 \$. Nous remarquons aussi que l'imposition de cette contrainte a un effet plus grand sur les scénarios 3 et 4. Cet effet s'explique par les distances plus grandes entre les clients et l'entrepôt pour les deux méthodes de distribution centralisées. Les formes décentralisées (scénario 2 avec plusieurs entrepôts), notamment celle avec 136 supermarchés, au contraire, impliquent une augmentation plus légère, soit de 0,01 \$ par commande pour la demande maximale. Il est à noter que l'impact de la fenêtre de temps reste presque négligeable à partir d'une demande plus forte.

Figure 1-25. Impact de la fenêtre de temps d'une heure sur les coûts



Dans cette optique, il est à noter qu'il existe toujours un arbitrage entre les fenêtres de temps et les coûts. D'une part, une fenêtre plus courte permettra une augmentation du niveau de satisfaction des clients, mais d'autre part, une hausse des frais de distribution. D'ailleurs, nous remarquons dans la figure 1-25, cette fois-ci une majoration des coûts qui ne dépasse pas 1 \$. Il est facile d'observer que l'ordre des scénarios reste le même dans les cas avec contraintes de quatre et d'une heure. De plus, ce sont toujours les méthodes centralisées qui subissent des changements plus importants dans les coûts, soit une hausse d'environ 0,53 \$ pour 1000 commandes par jour ou de 0,36 \$ pour la demande maximale. Dans les figures 1-24 et 1-25 nous remarquons aussi que les fenêtres de temps ont peu d'impact sur l'augmentation des coûts entre 21 et 136 entrepôts de la méthode décentralisée.

4.5. Analyse des émissions de CO₂

Les émissions de CO₂ sont directement liées à la distance parcourue. Dans cette section nous allons analyser la quantité des émissions pour chaque scénario afin de pouvoir tirer une conclusion sur la méthode de distribution la moins polluante. Pour arriver à ce but, nous avons employé la formule de la distance totale pour les scénarios 2, 3 et 4 :

$$\bar{L}_{km} = n \times \frac{16,533224}{C \times \sqrt{Nb. \text{entrepôts}}} + \sqrt{n} \times \left(1 - \frac{1}{C}\right) \times 16,479533$$

Pour la demande journalière totale de Montréal de 121 738 unités, la distance totale est :

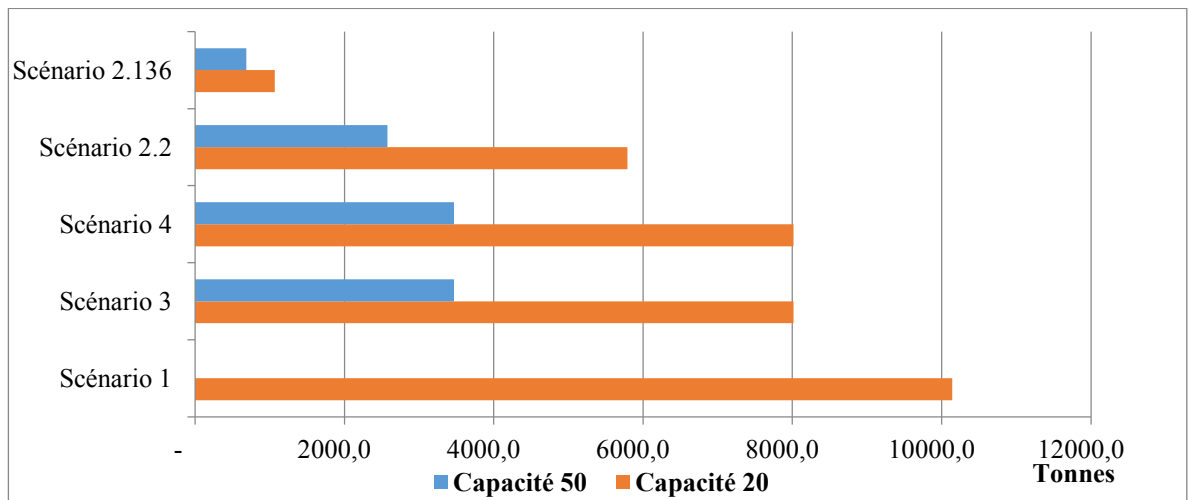
$$\bar{L}_{km} = \frac{2012721,623}{C \times \sqrt{Nb. \text{entrepôts}}} + \left(1 - \frac{1}{C}\right) \times 5449,8694$$

Pour le scénario S_1 , nous avons multiplié la demande totale par la distance moyenne du consommateur jusqu'au plus proche supermarché :

$$Distance \ totale_{S_1} = 2 \times 0,71 \text{ km} \times 121738 = 172 \ 589 \text{ km}$$

Enfin, les résultats obtenus ont été mis dans la figure ci-dessous :

Figure 1-26. Émissions annuelles de CO₂ (en tonnes)



À première vue, nous pouvons constater que la méthode décentralisée de distribution avec 136 entrepôts génère moins de dioxyde de carbone, comparé aux autres scénarios. La méthode la plus polluante est celle traditionnelle, car elle émane environ 10 mille de tonnes de CO₂ chaque année. Pour les deux formes de distribution centralisée, par contre, la quantité émise de CO₂ atteint son maximum, soit près de 8 000 tonnes. Un autre élément important à remarquer dans la figure est l'influence de la capacité du véhicule sur la pollution. Nous constatons que les émissions annuelles de CO₂ diminuent considérablement avec l'augmentation de la capacité à 50 boîtes par camion. Cette réduction est encore plus forte pour les scénarios S_3 et S_4 . Nous expliquons ce phénomène par le simple fait que pour

les longues distances, la capacité des véhicules de 50 boîtes a un impact beaucoup plus important sur la réduction du parcours total. Tandis que pour le scénario S_2 avec 136 entrepôts, cette diminution est plus faible, étant donné les distances plus courtes.

Ainsi, du point de vue environnemental, la méthode de distribution favorisée sera celle décentralisée avec 136 enseignes. Or, nous avons vu dans les sections précédentes que c'est la deuxième forme de distribution la plus dispendieuse, devant la traditionnelle.

4.6. Sommaire des résultats

En première phase, nous allons expliquer de manière plus simple les résultats obtenus dans cette recherche.

Nous pouvons sortir de premier chapitre que la part de ventes de la compagnie Sobeys Inc. constitue 22% du marché alimentaire, ou bien 26 782 ménages montréalais. Ainsi, pour que l'automatisation soit efficace, il faut qu'un ménage sur six achète son épicerie en ligne. Si nous prenons en calcul juste les clients d'IGA, il est nécessaire que trois quarts des clients fassent leur achat électroniquement. À la lumière de ces constats, il est indispensable de considérer la méthode automatisée de distribution à domicile comme efficace, même à long terme, parce que la transition du consommateur montréalais du magasin vers l'achat en ligne se déroule trop lentement.

Maintenant, il sera intéressant d'évaluer si les scénarios analysés sont compétitifs avec le marché actuel à Montréal. Nous avons vu dans l'annexe 3 que le prix moyen de livraison à domicile, demandé par le supermarché IGA, est de 8 \$. En considérant les deux méthodes de distribution retenues, sans les comparer entre elles, nous pouvons constater que les demandes nécessaires à réaliser seront de 7 800 et seulement 475 unités pour le modèle décentralisé, pour le même frais compétitif de 8 \$. En effet, il n'est pas difficile de saisir que la rentabilité de l'automatisation du centre de distribution, comparé au marché, peut être atteinte pour une demande assez élevée. Quant au mode décentralisé, à partir d'une

demande de 475 commandes en ligne, nous sommes en mesure déjà de faire concurrence au supermarché IGA, avec seulement deux entrepôts.

Même si très peu d'études ont été effectuées sur ce sujet, nous tenterons de faire une analyse comparative des résultats obtenus.

D'abord, nous allons examiner le premier scénario. Punakivi et Saranen (2001) trouvent que le service de livraison des produits alimentaires à domicile est de 43% moins cher par rapport aux coûts actuels des clients qui visitent eux-mêmes le supermarché en utilisant leur propre voiture et leur temps libre. Afin que nous puissions faire une comparaison avec nos résultats, il faut considérer la demande totale journalière. Ainsi, le coût minimal de la méthode traditionnelle de distribution des produits alimentaires est de 24,57 \$. Si nous prenons la capacité de cinquante boîtes par véhicule, ainsi que la variation de coût pour une fenêtre d'une heure, et même le pourboire de 5 \$ (qui est obligatoire pour tout le service de livraison au Québec), nous obtenons un coût de 9,87 \$ ($4,62 + 0,25 + 5$) pour le scénario S_2 et 8,3 \$ ($2,94 + 0,36 + 5$) pour la méthode centralisée et automatisée. Les résultats de ces derniers montrent une réduction de 65 et 60% comparé au premier scénario. Il est évident que cette performance sera plus élevée encore pour les fenêtres plus longues, mais à titre comparatif, nous avons obtenu des résultats similaires avec ces auteurs.

Selon les résultats de Yrjölä (2003), le volume de rentabilité marginale, c'est à dire le moment où le mode centralisé et automatisé devient moins cher par rapport à la méthode décentralisée de distribution, est compris entre un chiffre d'affaires de 2 et 8 millions d'euros. Faisant référence au rapport de MasterIndexMC (2008), qui indique un prix de 138\$ pour le panier moyen d'un canadien et au point d'équilibre qui correspond à une demande de 19 807 unités, nous obtenons le point mort pour une chiffre d'affaires d'environ 2,8 millions \$ ($(138 + 4,74 \text{ \$ le frais de livraison}) \times 19\ 807$). Nous constatons encore une fois que nos résultats sont similaires aux autres études.

Un autre élément important dans l'étude représente la distance de parcours. À cet effet, la distance moyenne parcourue par les clients est 55 % ($1 - 0,63\text{km} / 2 \times 0,71\text{km}$) plus courte dans le modèle décentralisé avec deux entrepôts et presque douze ($2 \times 0,71\text{km} / 0,12\text{km}$) fois

moins courte dans le cas avec 136 supermarchés, comparé au premier scénario, où les consommateurs font eux-mêmes l'épicerie. Plusieurs autres études (Estia-Via, 2006, 2007, 2009) concluent en faveur du commerce électronique, que la distance moyenne de livraison à domicile est 3,8 fois plus courte par rapport à la distance liée à l'achat traditionnel en magasin.

Beaucoup de travaux, dont nous avons discuté dans le chapitre 2, conduisent donc à considérer que la réduction des kilomètres alimentaires permet d'améliorer l'efficacité énergétique de la distribution et la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Les résultats de notre recherche montrent que la méthode décentralisée est trois fois moins polluante que la distribution traditionnelle. De plus, le modèle retenu comme le plus efficace, émet 25% CO₂ par consommateur de moins, comparé aux types centralisés de distribution.

En guise de conclusion, nous avons obtenu des résultats comparables avec les autres études dans le domaine alimentaire, et le mode décentralisé, adopté par Tesco et IGA, s'avère plus efficace en termes des coûts, ainsi que sur le plan environnemental.

5. CONCLUSION

À la fin des années 1990 certains étaient persuadés que la vente en ligne allait remplacer le commerce en magasin, mais le développement de la distribution des produits alimentaires à domicile s'est en fait avérée plus lente que prévue. Elle a même connu de sérieuses vicissitudes en 2001, où plusieurs *pure-players* ont malheureusement connu les pires déboires techniques et financiers lors de leurs pratiques de livraisons à domicile et ont donc quasiment disparu.

Ce mémoire avait pour but, en premier temps, de comprendre pourquoi la compagnie britannique Tesco excelle jusqu'à présent dans la distribution de l'épicerie en ligne, tandis que le *pure player* Webvan a fait faillite en juillet 2000. Dans ce sens, notre mission était de trouver une stratégie de mise en œuvre à Montréal, afin d'avoir du succès dans la distribution alimentaire à domicile.

La particularité de la démarche proposée dans le cadre de ce travail est qu'elle analyse plusieurs scénarios à la fois, ce qui permet de comparer la performance de quatre méthodes de distribution alimentaire à domicile avant d'effectuer une sélection finale.

La grande force de la méthode développée est qu'elle est très flexible. Nous pouvons apporter facilement des changements dans les paramètres, tels que la capacité de véhicules, la durée de la fenêtre de temps, ou encore la demande, afin d'obtenir de nouveaux résultats. Le modèle peut aussi être adapté pour d'autres villes comme New York, Londres, Paris etc.

Les résultats de l'ensemble de cette thèse servent d'appui décisionnel aux distributeurs existants ou aux nouveaux joueurs désirant se lancer dans la distribution alimentaire à domicile. En conséquence, notre contribution aidera à éviter des gros investissements dans les entrepôts automatisés, qui ne se justifient que pour des volumes très élevés. Les résultats de ce mémoire nous indiquent qu'il faut au moins trois quarts de clients IGA qui font leurs commandes en ligne, afin que l'automatisation soit efficace. Il faut être réaliste et comprendre que le commerce en ligne à Montréal est loin d'avoir atteint cet objectif, et surtout ne pas répéter l'erreur de Webvan, parce que l'échec pourra être très douloureux.

Le modèle développé dans le cadre de ce mémoire est performant et flexible, mais il comprend tout de même quelques points faibles. Dans les sections qui suivent, les principales limites seront soulevées puis des améliorations possibles seront proposées.

5.1. Limites de l'étude

Un tout autre aspect dont il sera question concerne la quantité et la précision des données entrées dans les fonctions de coût. L'exécution de cette méthode de résolution demande de recueillir une quantité importante de données, qui ne sont pas toujours disponibles. Les autres points faibles de la méthode de résolution constituent la difficulté de comparer les différentes stratégies de distribution et de fixer certains paramètres, ainsi que certains éléments qui ont été prédéterminés plutôt qu'optimisés.

Comme d'habitude, la généralisation des résultats comprend certaines limites; c'est également le cas dans la présente étude. Tout d'abord, certaines simplifications ont été apportées afin de rendre possible la modélisation des résultats, donc plus faciles à présenter et à comprendre.

Pour débiter, lors de la modélisation du premier scénario, nous avons considéré une seule voiture, et avons supposé un kilométrage annuel de 18 000 km et une possession de quatre ans. Bien que cela représente une bonne estimation, il reste toujours un écart avec la situation réelle. Afin de calculer le coût du temps libre nous l'avons approximé avec le salaire moyen d'un Montréalais, parce que nous ne connaissons pas les préférences du consommateur et quelle valeur il attribue à son temps libre.

Pour les trois derniers scénarios, nous avons employé un seul type de véhicule, qui a été choisi de manière aléatoire. L'analyse ne prend en compte que deux types de capacité des camions : 20 et 50 boîtes. Nous avons estimé que le temps d'une tournée de véhicule avec capacité de vingt commandes n'est pas assez long pour avoir besoin d'un espace réfrigéré dans la fourgonnette. Nous sommes conscients qu'en été, dans les cas de distribution

centralisée avec un seul entrepôt et avec des véhicules de capacité de cinquante boîtes, il est possible d'avoir de problèmes avec les produits alimentaires périssables.

Une autre lacune du modèle touche à la difficulté de fixer la bonne demande. À travers notre analyse, nous avons considéré que tous les ménages de Montréal passent une seule commande par semaine et qu'elle est uniformément répartie sur sept jours, tandis que la pratique montre une hausse des commandes pour les fins de semaine. De plus, nous avons évalué la quantité de la demande unitaire par le volume d'une boîte avec capacité de quatre-vingt litres. En final, la fonction d'utilité du consommateur et ses préférences n'ont pas été prises en compte.

Une autre faiblesse du modèle concerne les coûts fixes d'entrepôt. Nous nous sommes basés uniquement sur une analyse des coûts associés à la phase de construction du supermarché. Les frais d'architecture et les coûts d'acquisition du terrain ne sont pas inclus dans le calcul. Plus encore, nous avons généralisé le type de supermarché employé dans les scénarios S_1 et S_2 avec le modèle IGA avec une superficie de 2700 m². Afin de rendre la résolution du problème possible, nous avons ignoré les autres concurrents dans la distribution des produits alimentaires, même les dépanneurs et les magasins à grande surface.

En parlant de la distribution à domicile, nous sommes certainement dans un contexte de flux tendus et le principe dans ce type de canal de distribution est de gérer des flux et non des stocks, mais dans un contexte avec une forte demande, il devient nécessaire de considérer le stock de sécurité. L'analyse de ce dernier, ainsi que la capacité d'expédition du centre de distribution, n'ont pas été prises en compte dans les situations de demande intense.

Une autre fragilité du modèle employé consiste dans le choix optimal concernant le type d'entrepôt. Nous avons examiné que les coûts, et non pas les caractéristiques qualitatives comme l'utilisation de l'espace et la réduction des pertes en raison de chapardage ou de détérioration. En outre, les informations de disponibilité des produits sont souvent meilleures dans le centre de distribution que dans une épicerie. Ceci est important, parce

que les distributeurs des produits alimentaires à domicile ont généralement un taux de substitution allant jusqu'à 15 % (Thomas, 2002).

Un dernier élément de faiblesse pour notre méthodologie consiste dans l'approximation de la distance. Entre autres, il sera plus intéressant d'utiliser un facteur de conversion pour les distances euclidiennes, afin de s'approcher plus vers les distances réelles à Montréal. Cette mesure n'aura aucun impact sur le choix final de la forme de distribution à domicile, par contre, cela nous permettra d'avoir une analyse plus souple et plus précise. De plus, nos résultats finaux n'ont pas été testés avec des données provenant d'une entreprise réelle, comme IGA par exemple. Idéalement il faudrait mettre en place un projet pilote avec plusieurs distributeurs alimentaires participants. À ce propos, dans une recherche comme la notre, la validité du modèle peut être évaluée sur la base d'un test sur le marché (Kasanen, Lukka et Siitonen, 1993).

5.2. Avenues de recherche

La méthode de résolution qui a été développée dans le présent travail pourrait être améliorée encore davantage. Quelques idées pour rendre notre analyse plus pratique et plus précise seront donc proposées.

L'objectif principal pour les futures recherches doit être mis sur l'analyse du comportement des clients. L'e-épicerie commence alors à occuper une position stable, mais finalement secondaire et peu concurrente par rapport à la vente traditionnelle en magasin. Afin d'analyser le choix du consommateur pour les magasins virtuels ou traditionnels, une étude de la notion de coûts de transaction est nécessaire. Dans cet ordre d'idées, les différents modèles de tarification des consommateurs correspondant aux services plus personnalisés pourront constituer un nouveau sujet de recherche.

Dans l'avenir proche, notre recherche exploratoire mérite d'être poursuivie et surtout approfondie, tout d'abord en nous intéressant à d'autres secteurs d'activité (l'électronique,

le textile et habillement, etc.) et ensuite en faisant appel à la prospective d'ordre stratégique quant au choix du modèle de distribution.

Il serait aussi intéressant d'effectuer la même recherche sur d'autres zones géographiques, dans les villes avec différente densité de la population, par exemple : New York, Chicago, Dubaï, Londres, Paris etc. Une telle analyse nous permettra de comprendre comment la concentration de la demande sur un territoire influence la décision stratégique concernant le choix de la méthode de distribution.

Un autre point intéressant pour les futures recherches constitue la préparation manuelle des commandes. Selon cette thèse, l'amélioration du niveau de la productivité, notamment par l'intermédiaire de l'aménagement du centre de distribution, d'équipements plus performants et de formation des employés, devrait avoir plus d'importance que l'automatisation entière de l'entrepôt, qui est très dispendieuse. Par conséquent, ce principe de distribution basé sur la cueillette manuelle, devrait être étudié de plus près.

Finalement, signalons une piste supplémentaire de recherche concernant la livraison finale des produits alimentaires. Dans ce sens, une idée fait progressivement son chemin : celle du recours aux livraisons « hors domicile ». Cette livraison peut se faire soit directement au domicile du client soit dans un point de relais où le client vient récupérer sa commande. En particulier, la volonté du client d'utiliser le service de boîte de réception partagée doit être étudiée. Nous estimons aujourd'hui que 30% des livraisons à domicile échouent parce qu'il n'y a personne au moment du passage du livreur (Botella, 2008). De plus, ce type de livraison entraîne en effet une réduction du coût logistique de près de 70% (Yrjölä, 2003). À la lumière de ces constats, la livraison « hors domicile » constitue effectivement une alternative plus économique et moins contraignante que la livraison à domicile, donc elle mérite une attention particulière.

ANNEXES

Annexe 1

Tableau 1. Les grands joueurs pratiquant la vente en ligne d'épicerie et la livraison à domicile

	Consommateur	Tesco	Sainsbury's	Ocado	Webvan	Albertson's	MyWebGrocer.com	Peapod.com
Origine d'entreprise		Angleterre	Angleterre	Hatfield, Angleterre	Chicago, É.U.	Boise, Idaho, É.U.	Chicago, IL, É.U.	É.U.
Spécialisation	-	<i>click and mortar</i>	<i>click and mortar</i>	<i>pure player</i>	<i>pure player</i>	<i>click and mortar</i>	<i>click and mortar</i>	<i>click and mortar</i>
Stratégie logistique		décentralisé	centralisé et décentralisé	centralisé	centralisé	décentralisé	décentralisé	centralisé
Articles/ heure	64	120		200	450			
Commande moyenne (articles)	32	64		64	-			
Coût de commande	-	16,5		16,5	1 \$	4,95 \$	4,95 \$	
Investissement dans é-épicerie	-	58M \$			1200M \$			150M \$
Commandes/ heure	1	2,5		2	20			
Coût de transport/ commande		3 \$		2,5 \$	14 \$	9,95 \$		
Frais de livraison	-	5-10\$	5£ (7,5\$)	5£ (7,5\$ pour une commande <75£), gratuit pour une commande >75£	Gratuit pour commande >50\$ – initial; et >75\$ plus tard	9,95\$ (livraison) 4,95\$ (préparation commande)	\$10 (\$8 pour commande >75\$), 4,95\$ (préparation commande) D'Agostino; 19,95\$ - Lowe's.	Variés: moyenne 8,5\$
Modèle de distribution	magasin le plus proche	magasin le plus proche	CD et magasin le plus proche	CD semi-automatisé	CD automatisé	magasin le plus proche	magasin le plus proche	CD et magasin le plus proche

Sources : Ocado: An alternative way to bridge the last mile in grocery home delivery, (Boyer, Hult et Frohlich, 2002) ;

Tesco Bets Small--and Wins Big (Reinhardt, 2001) ;

The return of online grocery shopping: A comparative analysis of Webvan and Tesco's operational methods (Kelly, Kenneth et Mark, 2003).

Annexe 2

Tableau 1 : Principales bannières en alimentation au Québec

	Loblaws inc.	Sobeys Québec inc.	Metro inc.
	Provigo	IGA	Metro
	Loblaws	IGA Extra	Metro Plus
	Maxi	Rachelle-Béry	Super C
	Maxi & Cie	Les Marchés Tradition	Les 5 saisons
	Presto	Bonichoix	Marché Richelieu
	Intermarché		Marché Ami
	Axep		Marché Adonis
	Proprio		
	Atout Prix		
Nombre de points de vente	717	786	966
Parts de marché en matière de ventes	22 %	23,2 %	23,4 %

Source : Bottin statistique de l'alimentation, rapport de Ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (2013)

Annexe 3



Figure 1. Exemple d'achat en ligne chez IGA

SUIVI DE LA COMMANDE

Commentaires et validation des prix

Total : 97,42 \$

Session ouverte sous le [Déconnexion](#)
nom de Alexandru

	Qté	Prix unitaire	Prix total
 Vinier vin blanc 11% (18+) MARQUE : MARQUIS DE MÉRICOURT 4 lt Substitution : <input type="text" value="Même marque, format différer"/> Commentaires : <input type="text"/>	1	35,89 \$	35,89 \$
 Vinier, vin blanc 12,5% (18+) MARQUE : WALLAROO TRAIL 4 lt Substitution : <input type="text" value="Même marque, format différer"/> Commentaires : <input type="text"/>	1	40,59 \$	40,59 \$

Mode de paiement :
 Carte de crédit
 Argent comptant

Remarques relatives à la commande

Sous-total : 76,48 \$

Consigne (bouteilles) : 0,00 \$

TPS : 4,24 \$

TVP : 8,45 \$


Frais de livraison : 4,25 \$

Frais de préparation : 4,00 \$

Total : 97,42 \$

SOUMETTRE LA COMMANDE >>

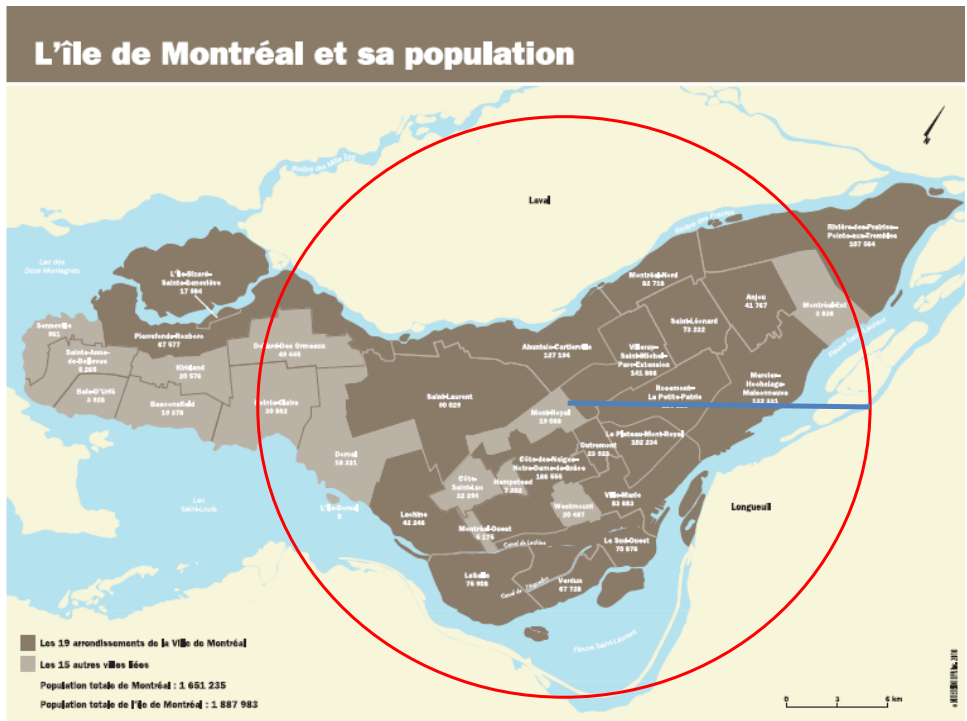
Adresse de livraison :
 Alexandru Vrabii
 2145, Le Caron, app. 3
 Montréal, Québec, Canada, H4E 1K7
 5144000624

Info de livraison :
 Magasin : Supermarché
Denis Deschênes inc.
 (Verdun)
 Jour : 2014-07-09
 Heure : 16:00 - 17:00
[Modifier le jour et l'heure](#)

Source : Site IGA, francisé Denis Deschênes inc., Verdun, Montréal, le 9 juillet 2014
<https://magasin.iga.net/Member/Checkout.aspx>

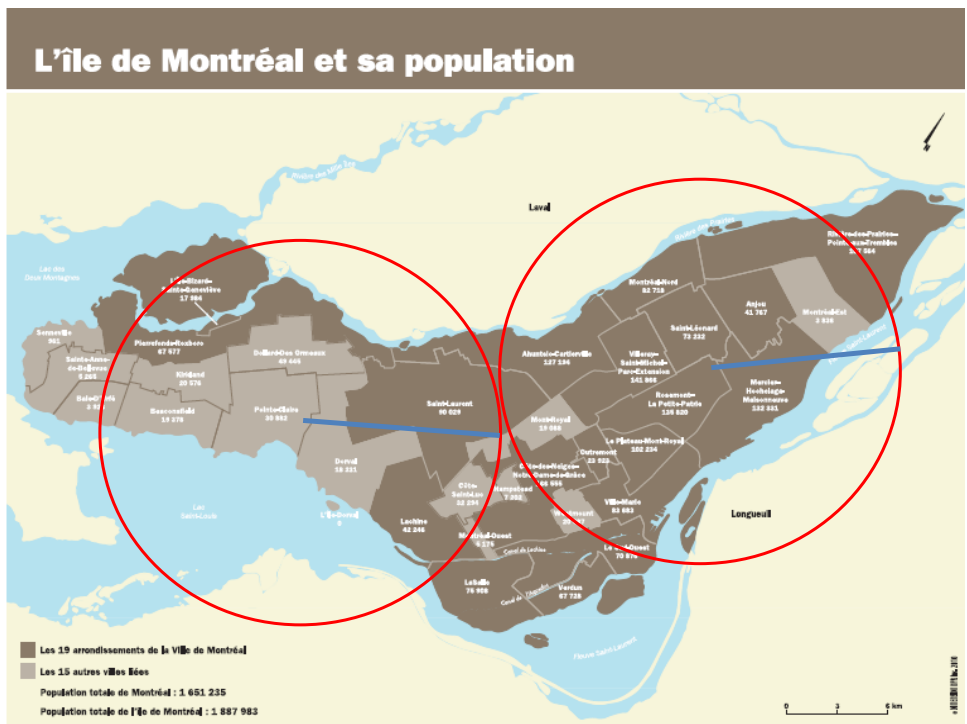
Annexe 4

Figure 1.1. Outil de calcul de la distance (un seul entrepôt)



Source : L'île de Montréal et sa population, photo de Dimension DPR Inc. (2010)

Figure 1.2. Outil de calcul de la distance (deux entrepôts)



Source : L'île de Montréal et sa population, photo de Dimension DPR Inc. (2010)

Annexe 5

Figure 1. Toyota Camry LE 2013



Source : Toyota Canada, photo récupérée le 30 juillet 2014 (<http://www.toyota.ca>)

Annexe 6

Figure 1.1. Ford Transit Connect 2014



LE VÉHICULE COMMERCIAL PAR EXCELLENCE. ENCORE UNE FOIS.

Grâce à une combinaison ingénieuse de dimensions, d'économie de carburant, d'espace, de chargement et de durabilité, le Ford Transit Connect conserve sa réputation de puissant véhicule chez les propriétaires de petites entreprises, directeurs de chantier de construction, entrepreneurs spécialisés et plus encore. Nouveauté en 2014, son moteur 4 cylindres EcoBoost® de 1,6 L à turbocompresseur et injection directe génère une puissance de 178 chevaux⁵ et un couple de 184 lb-pi et sa capacité de remorquage maximale est de 907 kg (2 000 lb)³, les meilleurs de la catégorie⁴. Sa charge utile maximale de 780 kg (1 720 lb)⁶ est également la meilleure de la catégorie. L'accès au véhicule est facile grâce à un choix de portes arrière : portes de chargement à charnières s'ouvrant à 180° avec ou sans glaces fixes¹, ou hayon² pratique avec glace fixe facile à lever et à abaisser. De grands panneaux extérieurs vous offrent tout l'espace nécessaire pour mettre en valeur le nom et l'activité de votre entreprise, projetant du même coup une image professionnelle de celle-ci. Le fourgon utilitaire Transit Connect a un grand appétit pour le travail. Préparez-vous à être bien servi.

MOTEUR 4 CYLINDRES ECOBOOST DE 1,6 L⁵

6,7 L/100 km (**42** mi/gal) SUR ROUTE⁸
9,4 L/100 km (**30** mi/gal) EN VILLE⁸

MEILLEURE DE LA CATÉGORIE : **907 KG**  CAPACITÉ DE REMORQUAGE MAXIMALE³ MEILLEURE CHARGE UTILE  **6,7 L/100 km (42 mi/gal)**⁶ MEILLEURE COTE DE CONSOMMATION SUR ROUTE DE LA CATÉGORIE :  **780 KG**⁶

Source : Transit Connect 2014: fourgon utilitaire et fourgon tourisme, pag. 2, Ford Canada (2014b)

Figure 1.2. Ford Transit Connect 2014



Source: Transit Connect 2014: fourgon utilitaire et fourgon tourisme, Ford Canada (2014b)

Annexe 7

Figure 1.2. Prix de pneu pour la Ford Transit Connect 2014



Comparer

Goodyear Assurance Triple Tred

Numéro d'article: 2083604 | No de pièce du fabricant: 399590349
 Dimension: 215/55R16 97H | Catégorie: **Pneu de tourisme toute saison**
 Disponibilité: **stock limité**

Pneu toute-saison innovateur avec zone pour l'eau, zone pour la glace et zone pour le sec
 La zone pour l'eau est dotée d'une bande de roulement à dessin qui aide à chasser l'eau pour améliorer la traction sur chaussée mouillée

Kilométrage: 130000 km	Style de flanc: VSB
Indice de charge: 97	Gamme de charge: XL
Cote de vitesse: H	Cote UTQG: 740 A B

201,99 \$* (chacun)

Recevez jusqu'à 60 \$ en remise postale à l'achat d'un jeu de 4 pneus admissibles

★★★★★
Lire les évaluations

Qté:

Ajouter au panier

Sélectionnez magasin pour acheter

Source : Pneus pour: 2014 Ford Transit Connect 4 Dr Mini Cargo Van XL: 215/55R16, en date 30 juillet 2014, Canadian Tire (2014)

BIBLIOGRAPHIE

- ADEXIA (2007). *Les cinq principaux acteurs de la grande distribution au Canada*. Récupéré de <http://www.adexia.ca/Donnees/Structures/79018/Upload/160125.pdf>
- Angell, Robert, Phil Megicks, Juliet Memery, Troy Heffernan et Kerry Howell (2012). « Understanding the older shopper: a behavioural typology », *Journal of retailing and consumer services*, vol. 19, no 2, p. 259-269.
- Association Canadienne des Automobilistes (2013). *Coûts d'utilisation d'une automobile. Au-delà de l'étiquette de prix : Comprendre les dépenses liées au véhicule*, no 9 juin. Récupéré de http://www.caa.ca/wp-content/uploads/2012/06/CAA_Driving_Cost_French_2013_web-2.pdf
- Association de la Construction du Québec (2010). *Étude comparative sur les coûts de construction au Canada*, SECOR, (5P-98). Récupéré de https://www.ceic.gouv.qc.ca/fileadmin/Fichiers_client/centre_documentaire/Piece_5_P-98_01.pdf
- Beardwood, Jillian, John H. Halton et John M. Hammersley (1959). « The shortest path through many points. », *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, vol. 55, p. 299-327.
- Bell, David R., Teck-Hua Ho et Christopher S. Tang (1998). « Determining Where to Shop: Fixed and Variable Costs of Shopping », *Journal of Marketing Research*, vol. 35, no 3, p. 352-369.
- Blank, Steve (2013). *The four steps to the epiphany: successful strategies for products that win*, Pescadero, Calif., K&S Ranch Press.
- Botella, Joan (2008). « Kiala, le petit livreur qui défie La Poste », *Capital*, p. 50-51.
- Boudreau, Yvon, Jornette Christelle Dangbéjji, Carol Gilbert, Jean-José Grand, Félicien Hitayezu, Karim Kesri, et al. (2014). *Activité bioalimentaire au Québec en 2013 – Bilan, perspectives et rétrospective des dix dernières années*, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ). Récupéré de http://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Publications/Activite_bioalimentaire2013.pdf
- Boyer, Kenneth, Thomas Hult et Mark Frohlich (2002). « Ocado: An alternative way to bridge the last mile in grocery home delivery », *Case No. 602-057*, vol. 1.

- Brousseau, Eric et Emmanuel Kessous (2003). *Impacts des NTIC sur les modèles logistiques du commerce électronique: nouveaux métiers, nouvelles formes d'intermédiation ?*, Rapport pour le Prédit, 258 p.
- Brynjolfsson, Erik et Michael D. Smith (2000). « Frictionless Commerce? A Comparison of Internet and Conventional Retailers », *Management Science*, vol. 46, no 4, p. 563-585.
- Canadian Tire (2014). *Pneus pour: 2014 Ford Transit Connect 4 Dr Mini Cargo Van XL: 215/55R16*. Récupéré le 30 juillet 2014 de http://tires.canadiantire.ca/fr/tires/search/?vehicle=2014_Ford_Transit%2520Connect_4%2520Dr%2520Mini%2520Cargo%2520Van_XL_215%25252F55R16%252523REGULAR%252523Both&id=126596&runFlatAvailable=false&pn_ps=10&pn_ok=Price_down&pn_p=1
- Chaffey, Dave (2009). *E-business and e-commerce management*, 4^e éd., FT Prentice Hall, 800 p.
- Chambolle, Claire et Marie-Elise Dumans (2002). « Internet et la grande distribution alimentaire française », *Économie rurale* vol. 272, no 1, p. 42-56.
- Chien, T. William (1992). « Operational estimators for the length of a traveling salesman tour », *Computers and Operations Research*, vol. 19, no 6, p. 469-478.
- Chintagunta, Pradeep K., Junhong Chu et Javier Cebollada (2012). « Quantifying transaction costs in online/off-line grocery channel choice », *Marketing Science*, vol. 31, no 1, p. 96-114.
- Coley, David, Marc Howard et Michael Winter (2009). « Local food, food miles and carbone emissions: A comparison of farm shop and mass distribution approaches », *Food Policy*, no 34, p. 150-155.
- Colla, Enrico et Paul Lapoule (2009). *Les facteurs clés du succès des supermarchés en ligne : analyse comparée des cas Intermarché.com et Tesco.com*, Londres, 25^{ème} Congrès de l'Association Française du Marketing.
- Colla, Enrico et Paul Lapoule (2011). « Facteurs-clés de succès des cybermarchés : les enseignements du cas Tesco.com », *Décisions Marketing*, no 61, p. 35.
- Daganzo, Carlos F. (1984a). « The Distance Traveled to Visit N Points with a Maximum of C Stops per Vehicle: An Analytic Model and an Application », *Transportation Science*, vol. 18, no 4, p. 331-350.
- Daganzo, Carlos F. (1984b). « The length of tours in zones of different shapes », *Transportation Research Part B*, vol. 18, no 2, p. 135-145.

- Davis, Jennifer et Ulf Sonesson (2008). « Life cycle assessment of integrated food chains: a Swedish case study of two chicken meals », *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 13, no 7, p. 574-584.
- De Koster, René (2002). « Distribution structures for food home shopping », *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 32, no 5, p. 362-380.
- De Koster, René, Tho Le-Duc et Kees Jan Roodbergen (2007). « Design and control of warehouse order picking: A literature review », *European Journal of Operational Research*, vol. 182, no 2, p. 481-501.
- Demery, Paul (2014). *Perfect pick - The pick of the lot*, Internet Retailer. Récupéré de <http://www.internetretailer.com/2014/01/06/pick-lot>
- Dimension DPR Inc. (2010). *L'île de Montréal et sa population*. Récupéré de http://www.ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/page/prt_vdm_fr/media/documents/CARTE_ILEMONTREALARRON.pdf
- Dornier, Philippe-Pierre et Michel Fender (2007). *La logistique globale et le supply chain management: enjeux, principes, exemples*, Paris, Eyrolles.
- Durand, Bruno (2008). « Les magasins de proximité : un atout logistique pour l'épicerie en ligne », *La Revue des Sciences de Gestion : Direction et Gestion*, vol. 43, no 229, p. 75.
- Durand, Bruno et Marie-Pascale Senkel (2007). « La Logistique de l'épicerie en ligne : vers une différenciation des solutions », *Décisions Marketing*, no 45, p. 75.
- Edwards-Jones, Gareth, Katharina Plassmann, Ian M. Harris, Rhiannon T. Edwards, Graham A. S. Day, A. Deri Tomos, *et al.* (2008). « Testing the assertion that 'local food is best': the challenges of an evidence-based approach », *Trends in Food Science & Technology*, vol. 19, no 5, p. 265-274.
- Edwards, Julia, Alan McKinnon et Sharon Cullinane (2011). « Comparative carbon auditing of conventional and online retail supply chains: a review of methodological issues », *Supply Chain Management: An International Journal*, vol. 16, no 1, p. 57-63.
- Eilon, Samuel, C. D. T. Watson-Gandy, Nicos Christofides et Richard de Neufville (1974). « Distribution Management-Mathematical Modelling and Practical Analysis », *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 4, no 6, p. 589-589.
- Estia-Via (2006). *Analyse des impacts environnementaux liés au service de livraison à domicile de LeShop*, ch. Étude exploratoire, 34 p.

- Estia-Via (2007). *Impacts environnementaux liés au service de livraison à domicile de Telemarket*, Synthèse analyse Transports et emballages, 38 p.
- Estia-Via (2009). *Étude de l'impact environnemental de l'achat sur Internet et dans le commerce traditionnel*, Étude réalisée pour la Févad, 89 p.
- Euler, Leonhard (1736). « Solutio problematis ad geometriam situs pertinentis », *Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae* vol. 8, p. 128-140.
- Fernie, John, Leigh Sparks et C. McKinnon Alan (2010). « Retail logistics in the UK: past, present and future », *International Journal of Retail & Distribution Management*, vol. 38, no 11/12, p. 894-914.
- Fiechter, Claude N. (1994). « A parallel tabu search algorithm for large traveling salesman problems », *Discrete Applied Mathematics*, vol. 51, no 3, p. 243-267.
- Figliozzi, Miguel Andres (2009). « Planning approximations to the average length of vehicle routing problems with time window constraints », *Transportation Research Part B*, vol. 43, no 4, p. 438-447.
- Ford Canada (2014a). *Financement au détail commercial*. Récupéré le 30 juillet 2014 de <http://fr.ford.ca/trucks/transitconnect/pricing/>
- Ford Canada (2014b). *Transit Connect 2014: fourgon utilitaire et fourgon tourisme*, 16 p. Récupéré de http://fr.ford.ca/img/fordca/FR_605045.pdf
- Forman, Chris, Anindya Ghose et Avi Goldfarb (2009). « Competition between local and electronic markets: how the benefit of buying online depends on where you live », *Management Science*, vol. 55, no 1, p. 47-57.
- Gartner, Inc. (2013). *Predicts 2014: New Realities Will Drive New Growth Opportunities in Consumer Goods Manufacturing*, Journal, Electronic, Atlanta, NewsRx, 13 p. Récupéré de <http://my.gartner.com/portal/server.pt?open=512&objID=260&mode=2&PageID=3460702&resId=2631230&ref=QuickSearch&stkw=Predicts+2014%3A+New+Realities+Will+Drive+New+Growth+Opportunities+in+Consumer+Goods+Manufacturing>
- Gavaud, Olivier (2011). « Quels gains de consommation énergétique l'épicerie en ligne peut-elle induire ? », *Transports*, no 466, p. 96.
- Ghosh, M. N. (1948). « On the Problem of Similar Regions », *Sankhyā: The Indian Journal of Statistics (1933-1960)*, vol. 8, no 4, p. 329-338.

- Gilg, Andrew W. et Martin Battershill (2000). « To what extent can direct selling of farm produce offer a more environmentally friendly type of farming? Some evidence from France », *Journal of Environmental Management*, vol. 60, no 3, p. 195-214.
- Goemans, Michel X. et Dimitris J. Bertsimas (1991). « Probabilistic Analysis of the Held and Karp Lower Bound for the Euclidean Traveling Salesman Problem », *Mathematics of Operations Research*, vol. 16, no 1, p. 72-89.
- Goodman, David (2004). « Rural Europe redux ? Reflections on alternative agrofood networks and paradigm change. », *Sociologia Ruralis*, vol. 44, no 1, p. 3-14.
- Gouvernement du Canada (2014). *Rapport sur le marché du travail*. Récupéré le 30 juillet 2014 de <http://www.guichetemplois.gc.ca/rapport-fra.do?lang=fra&cnp=6622®ion=25154&titleKeyword=®ionKeyword=Montreal,Quebec&source=2&action=final>
- Grunert, Klaus G. et Kim Ramus (2005). « Consumers' willingness to buy food through the internet », *British Food Journal*, vol. 107, no 6, p. 381-403.
- Hackney, Ray, Kevin Grant et Grete Birtwistle (2006). « The UK grocery business: towards a sustainable model for virtual markets », *International Journal of Retail & Distribution Management*, vol. 34, no 4/5, p. 354-368.
- Hafsa, Sarra, Vincent Hovelaque et Louis-Georges Soler (2002). « Comparaison de différentes stratégies d'approvisionnement pour le e-commerce », communication présentée au *Actes des 4es Rencontres Internationales de la Recherche en Logistique*, Lisbonne.
- Hashimoto, Hideki, Toshihide Ibaraki, Shinji Imahori et Mutsunori Yagiura (2006). « The vehicle routing problem with flexible time windows and traveling times », *Discrete Applied Mathematics*, vol. 154, no 16, p. 2271-2290.
- Hassan, Mohsen, Gary Hogg et Donald Smith (1985). « A construction algorithm for the selection and assignment of materials handling equipment », *International Journal of Production Research*, vol. 23, no 2, p. 381-392.
- Hindle, Adam (2004). « Models to estimate average route lengths in different geographical environments », *Journal of the Operational Research Society*, vol. 55, no 6, p. 662-666.
- Holmstrom, Jan, Kari Tanskanene et Vesa Kamarainen (1999). *Redesigning the Supply Chain for Internet Shopping – Bringing ECR to the households*, Department of Industrial Engineering and Management, Helsinki University of Technology.

- Inkiläinen, Aimo (1998). *Managerial Views on Distribution Systems - Heuristic Justifications of Centralization and Postpoment*, Doctoral dissertation, Helsinki School of Economics.
- Institut de la Statistique Québec (2013). *Profils statistiques par région et MRC géographiques*. Récupéré le 8 juillet 2014 de http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/profils/region_06/region_06_00.htm
- Jacobsen, Jesper L., N. Read et Hubert Saleur (2004). « Traveling salesman problem, conformal invariance, and dense polymers », *Physical Review Letters* vol. 93, no 3.
- Jarosz, Lucy (2008). « The city in the country: Growing alternative food networks in Metropolitan areas », *Journal of Rural Studies*, vol. 24, no 3, p. 231-244.
- Jungbluth, Niels et Martin Demmeler (2005). « The ecology of scale: assessment of regional energy turnover and comparison with global food' by Elmar Schlich and Ulla Fleissner », *International Journal of LifeCycle Assessment*, vol. 10, no 3, p. 168–170.
- Kämäräinen, Vesa (2000). *Internet modifies distribution structures – Different business models in the e-grocery business* [Master's thesis], Helsinki School of Economics and Business Administration.
- Kämäräinen, Vesa, Juha Saranen et Jan Holmström (2001). « The reception box impact on home delivery efficiency in the e-grocery business », *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 31, no 6, p. 414-426.
- Kämäräinen, Vesa, Johanna Småros, Jan Holmström et Tomi Jaakola (2001). « Cost-effectiveness in the e-grocery business », *International Journal of Retail & Distribution Management*, vol. 29, no 1, p. 41-48.
- Kasanen, Eero, Kari Lukha et Arto Siitonen (1993). « The constructive approach in management accounting research », *Journal of Management Accounting Research*, vol. 5, p. 243.
- Kelly, Delaney-Klinger, K. Boyer Kenneth et Frohlich Mark (2003). « The return of online grocery shopping: A comparative analysis of Webvan and Tesco's operational methods », *The TQM Magazine*, vol. 15, no 3, p. 187.
- Kenneth, K. Boyer, G. Tomas Hult et Frohlich Mark (2003). « An exploratory analysis of extended grocery supply chain operations and home delivery », *Integrated Manufacturing Systems*, vol. 14, no 8, p. 652-663.
- Kwik, Herman (2002). *Value drivers of grocery shopping: In store vs. Internet*, Dissertation/Thesis, ProQuest, UMI Dissertations Publishing.

- Kwon, Ohseok, Bruce Golden et Edward Wasil (1995). « Estimating the length of the optimal TSP tour: An empirical study using regression and neural networks », *Computers and Operations Research*, vol. 22, no 10, p. 1039-1046.
- Lawler, Eugene L. (1985). *The Traveling salesman problem: a guided tour of combinatorial optimization*, Chichester, J. Wiley.
- Lawler, Eugene L., J. K. Lenstra, A. H. G. Rinnooy Kan et D. B. Shmoys (1986). « The Traveling Salesman Problem: A Guided Tour of Combinatorial Optimization », *The Journal of the Operational Research Society*, vol. 37, no 5, p. 535.
- Lee, Jooyoung et M. Y. Choi (1994). « Optimization by multicanonical annealing and the traveling salesman problem », *Physical Review E*, vol. 50, no 2, p. R651-R654.
- Liang, Ting-Peng et Jin-Shiang Huang (1998). « An empirical study on consumer acceptance of products in electronic markets: a transaction cost model », *Decision Support Systems*, vol. 24, no 1, p. 29-43.
- Maclean-Hunter, Limitée (2013). « Canadian grocer: the voice of the grocery industry in Canada », *Inside Sobeys' high-tech warehouse. How Sobeys' automated DC is driving strategy for the decade ahead*, p. 31-39. Récupéré de <http://hec.summon.serialssolutions.com/2.0.0/link/0/eLvHCXMwY2BQSDJJSjI0MkoztkhKM0xMAxaH5skpiUaGyYmWRklG4BsivL0t3VxMHN1N3ZFKczchBqa0II EGSTfXEGcP3YzU5HjoGEa8oZkZaMJPjIE3EbTwO68EvEEsRYJBwTTNNM0s2TDNIMnM1MTEKNHSPNUoxdzS3DApxSzR0iAZAKyEJAw>
- Mahalanobis, Prasanta C. (1940). « A Sample Survey of the Acreage under Jute in Bengal », *Sankhyā: The Indian Journal of Statistics (1933-1960)*, vol. 4, no 4, p. 511-530.
- Mariola, Matthew J. (2008). « The local industrial complex? Questioning the link between local foods and energy use », *Agriculture and Human Values*, vol. 25, no 2, p. 193-196.
- Marks, Eli S. (1948). « A Lower Bound for the Expected Travel Among m Random Points », *The Annals of Mathematical Statistics*, vol. 19, no 3, p. 419-422.
- Marouseau, Gilles (2005). *Hypermarchés sur Internet : cinq ans après, un modèle qui se cherche encore*, Actes du 8e colloque Étienne Thil, Université de La Rochelle.
- Marousseau, Gilles (2007). *Les revirements stratégiques de la grande distribution généraliste en matière de commerce électronique*, Paris, 6th international congress in marketing trends.
- MasterIndexMC (2008). *Rapport MasterIndexMC 2008 : Les canadiens à l'épicerie*. http://www.mastercard.com/ca/wce/PDF/TRANSACTOR_REPORT_F.pdf

- Maye, Damian, Lewis Holloway et Moya Kneasfey (2007). *Alternative food geographies. Representation and practice.*, New York, Elsevier.
- Milà i Canals, Llorenç, Sarah J. Cowell, Sarah Sim et Lauren Basson (2007). « Comparing domestic versus imported apples: a focus on energy use », *Environmental science and pollution research international*, vol. 14, no 5, p. 338-344.
- Ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (2013). *Bottin statistique de l'alimentation*, Report, Québec, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. Récupéré de http://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Publications/Bottin_statistique_alimentation.pdf
- Moati, Philippe (2011). *La nouvelle révolution commerciale*, Paris, Odile Jacob.
- Morganosky, Michelle A. et Brenda J. Cude (2002). « Consumer demand for online food retailing: is it really a supply side issue? », *International Journal of Retail & Distribution Management*, vol. 30, no 10, p. 451-458.
- Morganti, Eleonora (2011). « Urban food planning and transport sustainability: A case study in Parma, Italy », communication présentée au *Proceedings of European Association of Agricultural Economists*, EAAE 4th PhD Workshop.
- Mundler, Patrick et Lucas Rumpus (2012). « La route des paniers: Réflexions sur l'efficacité énergétique d'une forme de distribution alimentaire en circuits courts », *Cahiers de géographie du Québec*, vol. 56, no 157, p. 225-241.
- MWPVL International Inc. *Day in the Life of a Fully Automated Grocery Distribution Center*. Récupéré le 10 juin 2014 de http://www.mwpvl.com/html/a_day_in_the_life.html
- MWPVL International Inc. *The Target Distribution Center Network*. Récupéré le 10 juin 2014 de <http://www.mwpvl.com/html/target.html>
- Ong, H. L. et H. C. Huang (1989). « Asymptotic expected performance of some TSP heuristics: An empirical evaluation », *European Journal of Operational Research*, vol. 43, no 2, p. 231-238.
- Paché, Gilles (2008). *Efficient Urban e-Logistics: Mutualization of Resources and Source of Competitive Advantage*, 7th International Meeting for Research in Logistics, Avignon, (France).
- Percus, A. G. et O. C. Martin (1996). « Finite size and dimensional dependence in the Euclidean traveling salesman problem », *Physical Review Letters*, vol. 76, no 8, p. 1188-1191.

- Petit, Marie-Pier, Lucie Morissette et Anne Bourhis (2014). « Portrait du secteur des magasins d'alimentation au Québec », *Revue Internationale de Cas en Gestion*, vol. 12, no 1, p. 16.
- Pimentel, David , Sean Williamson, E. Alexander Courtney, Omar Gonzalespagan, Caitlin Kontak et Steven E. Mulkey (2008). « Reducing energy inputs in the US food system », *Human Ecology*, vol. 36, no 4, p. 459-471.
- Pirog, Rich (2004). *Food miles: A simple metaphor to contrast local and global food systems*, Newsletter of the Hunger and Environmental Nutrition (HEN), American dietetic association hunger and environmental nutrition dietetic practice group.
- Praly, Cécile, Carole Chazoule, Delfosse Claire, Nicolas Bon et Moïse Cornee (2009). *La notion de « proximité » pour analyser les circuits courts*, 46e Colloque de l'ASRDLF.
- Pretty, J. N., A. S. Ball, T. Lang et J. I. L. Morison (2005). « Farm costs and food miles: An assessment of the full cost of the UK weekly food basket », *Food Policy*, vol. 30, no 1, p. 1-19.
- Punakivi, Mikko (2003). *Comparing alternative home delivery models for e-grocery business*, Doctoral Dissertation, Helsinki University of Technology.
- Punakivi, Mikko et Juha Saranen (2001). « Identifying the success factors in e-grocery home delivery », *International Journal of Retail & Distribution Management*, vol. 29, no 4, p. 156-163.
- Punakivi, Mikko, Hannu Yrjölä et Jan Holmström (2001). « Solving the last mile issue: reception box or delivery box? », *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 31, no 6, p. 427-439.
- Raijas, Anu (2002). « The consumer benefits and problems in the electronic grocery store », *Journal of Retailing and Consumer Services*, vol. 9, no 2, p. 107-113.
- Redlingshöfer, B. (2008). *L'impact des circuits courts sur l'environnement*, Dans Gilles Maréchal^e éd., « Les circuits courts alimentaires. Bien manger dans les territoires », Édition Educagri, 175-185 p.
- Reinhardt, Andy (2001). *Tesco Bets Small--and Wins Big*, no Generic, New York, Bloomberg Finance LP, EB26 p. Récupéré de http://hec.summon.serialssolutions.com/2.0.0/link/0/eLvHCXMwY2BQSDYzTE01N0i1MEwE9i9MDBJNE1NB2NAoJdEyzRi0b9jb29LNxcTR3dQdqTR3E2JgSisSZZBxcw1x9tCFY3xKTK58aDFjmags03EGHgTQWu_80rAe8RSJBgUzI3M0iwNkiwTjRJTTYyMLBPNUkAVj6lpYqK5QXKaEQA4CSUX

- Ressources naturelles Canada (2014). *Cotes de consommation de carburant*. Récupéré le 28 juillet 2014 de http://oe.nrcan.gc.ca/fcr-rcf/public/index-f.cfm?submitted=true&sort=overall_rank&searchbox=&year=2012&class=all&make=TOYOTA&model=CAMRY&model=CAMRY+HYBRID+LE&trans=A&FT=X&cylinders=all&unit=0&onSearchLink=%231&pageSize=10&check=15587&btnSearch=Rechercher&CFID=33612313&CFTOKEN=c79ab6484ad69f4c-7D49F91D-DC66-5B87-814AC2327208D7C9
- Ring, Lawrence J. et Douglas J. Tigert (2001). « Viewpoint: The decline and fall of Internet grocery retailers », *International Journal of Retail & Distribution Management*, vol. 29, no 6/7, p. 266.
- Rizet, Christophe, Michael Browne, Jacques Leonardi, Julian Allen, Marzena Piotrowska, Eric Cornelis, *et al.* (2008). *Chaînes logistiques et consommation d'énergie : Cas des meubles et des fruits et légumes*, Contrat Inrets/Ademe no 05 03 C 0170.
- Saunders, Caroline, Andrew Barber et Greg Taylor (2006). *Food miles – Comparative energy/emissions performance of New Zealand's agriculture industry*, Research Report no 285, Lincoln University.
- Schlich, Elmar, I. Biegler, B. Hardtert, M. Luz, S. Schröder, J. Schroeber, *et al.* (2006). « La consommation d'énergie finale de différents produits alimentaires : un essai de comparaison », *Courrier de l'environnement de l'INRA*, no 53, p. 111-120.
- Schlich, Elmar et Ulla Fleissner (2005). « The Ecology of Scale: Assessment of Regional Energy Turnover and Comparison with Global Food », *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 10, p. 219-223.
- Sim, Sarah, Mike Barry, Roland Clift et Sarah Cowell (2007). « The relative importance of transport in determining an appropriate sustainability strategy for food sourcing : A case study of fresh produce supply chains », *The International Journal of Life Cycle*, vol. 12, no 6, p. 422-431.
- Sinai, Todd et Joel Waldfogel (2004). « Geography and the Internet: is the Internet a substitute or a complement for cities? », *Journal of Urban Economics*, vol. 56, no 1, p. 1-24.
- Småros, Johanna, Jan Holmström et Vesa Kämäräinen (2000). « New Service Opportunities in the E-grocery Business », *The International Journal of Logistics Management*, vol. 11, no 1, p. 61-74.
- Smith, Donnavieve, Satya Menon et K. Sivakumar (2005). « Online peer and editorial recommendations, trust, and choice in virtual markets », *Journal of Interactive Marketing*, vol. 19, no 3, p. 15-37.

- Société de l'assurance automobile du Québec (2014). *Coût du renouvellement de l'immatriculation pour l'année en cours*. Récupéré le 30 juillet 2014 de http://www.saaq.gouv.qc.ca/immatriculation/cout_immatriculation/commerciaux.php
- Solomon, Marius M. (1987). « Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints », *Operations Research*, vol. 35, no 2, p. 254-265.
- Statistique Canada (2014a). *Enquête sur la population active (EPA), estimations du salaire des employés selon le genre de travail, la Classification nationale des professions pour statistiques (CNP-S), le sexe et le groupe d'âge, non désaisonnalisées (dollars courants)*, Tableau 282-0069. Récupéré le 24 juillet 2014 de <http://www5.statcan.gc.ca/cansim/a05>
- Statistique Canada (2014b). *Recensement de la population de 2011*, produit numéro 98-313-XCB2011021. Récupéré de <http://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2011/dp-pd/tbt-tt/Rp-fra.cfm?TABID=2&LANG=F&APATH=3&DETAIL=0&DIM=0&FL=A&FREE=0&GC=0&GID=1099743&GK=0&GRP=0&PID=102235&PRID=0&PTYPE=101955&S=0&SHOWALL=0&SUB=0&Temporal=2011&THEME=91&VID=0&VNAMEE=&VNAMEF=&D1=0&D2=0&D3=0&D4=0&D5=0&D6=0>
- Stein, David M. (1978). « Scheduling Dial-a-Ride Transportation Systems », *Transportation Science*, vol. 12, no 3, p. 232-249.
- Stokx, C. F. M. et C. B. Tilanus (1991). « Deriving route lengths from radial distances: Empirical evidence », *European Journal of Operational Research*, vol. 50, no 1, p. 22-26.
- Tanskanen, Kari, Hannu Yrjölä et Jan Holmström (2002). « The way to profitable Internet grocery retailing – six lessons learned », *International Journal of Retail & Distribution Management*, vol. 30, no 4, p. 169-178.
- Tesco, P.L.C. (2014). « Annual Report and Financial Statements 2014 », *Hertfordshire, Tesco plc, Last accessed*, vol. 27, p. 144.
- Thomas, Bryant (2002). « Virtual supply chains – and how they can meet a demand », *e-logistics magazine*, no 17, p. 12.
- Transport Canada (2005). *Frais d'exploitation des camions au Canada 2005*, Direction générale de l'analyse économique. Récupéré de http://publications.gc.ca/collections/collection_2011/tc/T46-14-2005-fra.pdf

- Van Hauwermeiren, Annelies, Hannelore Coene, Gert Engelen et Erik Mathijs (2007). « Energy lifecycle inputs in food systems: A comparison of local versus mainstream cases », *Journal of Environmental Policy & Planning*, vol. 9, no 1, p. 31-35.
- Wallgren, Christine (2006). « Local or global food markets: A comparison of energy use for transport », *Local Environment*, vol. 11, no 2, p. 233-251.
- Wilson-Jeanselme, Muriel et Jonathan Reynolds (2006). « Understanding shoppers' expectations of online grocery retailing », *International Journal of Retail & Distribution Management*, vol. 34, no 7, p. 529-540.
- Wiskerke, Johannes S. C. et Jan Douwe van der Ploeg (2004). *Seeds of transition: Essays on novelty production, niches and regimes in agriculture*, Assen Netherlands Royal van Gorcum.
- Yousept, Irene et Li Feng (2005). « Building an online grocery business : the case of asda.com. », *International Journal of Cases Electronic Commerce*, vol. 1, no 2, p. 57-78.
- Yrjölä, Hannu (2001). « Physical distribution considerations for electronic grocery shopping », *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 31, no 10, p. 746-761.
- Yrjölä, Hannu (2003). *Supply Chain Considerations for Electronic Grocery Shopping*, Dissertation series No.3, Industrial Management and Work and Organisational Psychology, Helsinki University of Technology.