

Titre: Ingénierie des processus de la logistique inverse
Title:

Auteur: Serge Lambert
Author:

Date: 2005

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Lambert, S. (2005). Ingénierie des processus de la logistique inverse [Ph.D. thesis, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie.
Citation: <https://publications.polymtl.ca/7564/>

Document en libre accès dans PolyPublie

Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/7564/>
PolyPublie URL:

Directeurs de recherche: Diane Riopel
Advisors:

Programme: Unspecified
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

INGÉNIERIE DES PROCESSUS
DE LA LOGISTIQUE INVERSE

SERGE LAMBERT
DÉPARTEMENT DE GÉNIE ÉLECTRIQUE
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

THÈSE PRÉSENTÉE EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE PHILOSOPHIAE DOCTOR (Ph.D.)
(GÉNIE ÉLECTRIQUE)
NOVEMBRE 2005



Library and
Archives Canada

Bibliothèque et
Archives Canada

Published Heritage
Branch

Direction du
Patrimoine de l'édition

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file *Votre référence*

ISBN: 978-0-494-17001-4

Our file *Notre référence*

ISBN: 978-0-494-17001-4

NOTICE:

The author has granted a non-exclusive license allowing Library and Archives Canada to reproduce, publish, archive, preserve, conserve, communicate to the public by telecommunication or on the Internet, loan, distribute and sell theses worldwide, for commercial or non-commercial purposes, in microform, paper, electronic and/or any other formats.

The author retains copyright ownership and moral rights in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms may have been removed from this thesis.

While these forms may be included in the document page count, their removal does not represent any loss of content from the thesis.

AVIS:

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque et Archives Canada de reproduire, publier, archiver, sauvegarder, conserver, transmettre au public par télécommunication ou par l'Internet, prêter, distribuer et vendre des thèses partout dans le monde, à des fins commerciales ou autres, sur support microforme, papier, électronique et/ou autres formats.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

Conformément à la loi canadienne sur la protection de la vie privée, quelques formulaires secondaires ont été enlevés de cette thèse.

Bien que ces formulaires aient inclus dans la pagination, il n'y aura aucun contenu manquant.

**
Canada

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Cette thèse intitulée:

INGÉNIERIE DES PROCESSUS
DE LA LOGISTIQUE INVERSE

présentée par: LAMBERT Serge

en vue de l'obtention du diplôme de: Philosophiae Doctor
a été dûment acceptée par le jury d'examen constitué de:

M. LANGEVIN André, Ph.D., président

Mme RIOPEL Diane, ing., Docteure., membre et directrice de recherche

Mme DE MARCELLIS-WARIN Nathalie, Doctorat, membre

M. DESSUREAULT Pierre C., Ph.D., membre externe

REMERCIEMENTS

Plusieurs personnes m'ont aidé durant ces années de travail parfois difficile et je profite des quelques lignes qui suivent pour les remercier. Il y a ma directrice madame Diane Riopel pour la bonne direction, l'aide financière et le support moral durant les moments de remise en question, monsieur André Langevin pour son aide avec la recherche opérationnelle, madame Nathalie Marcoux pour son assistance avec la recherche bibliographique, monsieur Georges Abdul-Nour pour son apport externe tout au long du processus, Hydro-Québec pour le support financier et de m'avoir donné une problématique (messieurs Jean Nadeau, Paul Désilets et Jean Voyer), Matrox pour avoir permis la validation (messieurs Tim Hassoulas et Daniel Dubé) ainsi que Martin Rheault de Woodflamme, les membres de l'examen de synthèse, madame Diane Riopel, messieurs Georges Abdul-Nour, Guy Desaulniers, et Martin Trépanier pour leurs commentaires et le support à mes idées de recherche et les membres du jury, mesdames Nathalie de Marcellis-Warin et Diane Riopel ainsi que messieurs André Langevin et Pierre C. Dessureault d'avoir accepté d'évaluer cette thèse. Aussi, il ne faut pas oublier mes collègues de bureau, qui ne m'ont pas vu très souvent, mais avec qui j'ai eu plusieurs discussions qui ont été sources d'inspiration et ont permis de me faire avancer. Finalement, je dois louanger ma femme qui a su se montrer d'un support exemplaire à travers deux grossesses, deux déménagements et cette thèse.

RÉSUMÉ

Cette thèse intitulée « L'ingénierie des processus de la logistique inverse » décortique les processus de la logistique inverse pour comprendre leur fonctionnement et interactions dans le but de proposer un cadre conceptuel de la logistique inverse. La logistique inverse est définie comme étant *« Le processus de planification, d'implantation, et de contrôle de l'efficience, de la rentabilité des matières premières, des en-cours de production, des produits finis, et l'information pertinente du point d'utilisation jusqu'au point d'origine dans le but de reprendre ou générer de la valeur ou pour en disposer de la bonne façon tout en assurant une utilisation efficace et environnementale des ressources mises en œuvre. »* De plus, un problème réel de logistique inverse est analysé.

Dans la première partie, un cadre conceptuel est proposé dans le but de combler un manque identifié dans la littérature de la logistique inverse. D'abord, une recherche bibliographique est faite sur les grands thèmes nécessaires au développement du cadre conceptuel, c'est-à-dire les décisions, les aspects économiques et les mesures de performance. Ensuite, le cadre conceptuel est divisé par processus. Ces processus sont cartographiés de façon générique en vue de couvrir le plus grand nombre de cas possible.

Le cadre conceptuel de la logistique inverse proposé comporte sept processus qui sont : le système de coordination, l'étape Barrière, l'étape Collecte, l'étape Tri et l'étape Traitement, le système d'information et le système d'expédition. L'élément déclencheur d'un retour est le point d'entrée dans le système de logistique inverse. Par contre, il est difficile de prédire les retours autant en termes de quantité, que de qualité et de lieu. L'étape Barrière, la première étape, a pour but de prendre connaissance des retours à venir et parfois de les prévenir. L'étape Collecte intervient après qu'un besoin ait été exprimé. Ici, la responsabilité de l'expédition peut incomber au client, à un tiers ou à l'entreprise. Lorsque le retour arrive à l'étape Tri, l'entreprise en fait la vérification afin de l'accepter ou de le refuser. De plus, une décision sur sa disposition peut être prise afin

de ne pas imputer des coûts inutiles au retour. Si le traitement, qui représente la prochaine étape, n'est pas situé au même endroit, l'entreprise doit consolider les retours et les expédier. La dernière étape est de choisir la disposition finale des produits retournés. Il existe plusieurs choix de traitement : réemballer, réparer, remettre à neuf, mettre à niveau, réutiliser, reconfigurer, recycler, donner, revaloriser, vendre sur d'autres marchés ou rebuter. L'entreprise doit choisir celui qui est le plus approprié vis-à-vis plusieurs critères : service à la clientèle, économique et environnemental. Un système d'information en logistique inverse est important pour assurer un bon suivi. Le système d'expédition est la sortie du système. Le produit retourné peut quitter le système de différentes façons, soit en rebut pour l'enfouissement ou l'incinération, soit en matières premières triées pour le recyclage, soit en produits réparés, etc.

Chacun des processus est étudié en détail par rapport aux opérations nécessaires pour l'entreprise qui souhaite mettre en place un bon système de logistique inverse. Ces opérations sont déterminées par l'expérience et par les observations faites en entreprises des systèmes de la logistique inverse.

Les décisions stratégiques, tactiques et opérationnelles présentées pour chaque processus demeurent qu'une première tentative d'identification et de classification. La littérature est plutôt rare sur le sujet et peu élaborée. Après cette analyse approfondie des décisions, il est clair que la littérature permettait d'obtenir une grande partie de l'information directement ou indirectement. Par contre, l'information n'est pas structurée. Le cadre décisionnel résultant est plus détaillé que celui de Brito et Dekker (2002) et décomposé en fonction des processus d'un système de logistique inverse. Plusieurs des décisions prises à un niveau supérieur donnent des directions claires pour les niveaux inférieurs. Ainsi, les décisions globales de coordination du système doivent être prises en premier et ensuite pour chacun des processus du système en tenant compte des décisions globales.

Par le biais de trois cas industriels et de trois expériences personnelles en tant que consommateur, le cadre conceptuel a été validé. Puisque le cadre conceptuel se veut

générique, des entreprises de différentes tailles œuvrant dans des secteurs d'activités distincts ont été utilisées. Cette validation a permis de s'assurer que les situations vécues en entreprises étaient considérées par le cadre conceptuel.

L'élaboration d'un système de logistique inverse est complexe. Il faut tenir compte de plusieurs aspects lors de son élaboration. De plus, avec l'ouverture des frontières, il est plus facile de vendre sur des nouveaux marchés. Par contre, l'entreprise doit connaître les lois et règlements en vigueur dans tous les pays où elle fait des affaires. Un autre élément important est l'aspect économique. La plupart des actions d'une entreprise doivent être justifiées économiquement. La logistique inverse, longtemps ignorée car jugée peu importante, n'échappe plus à l'attention des dirigeants. Finalement, la prise de conscience envers l'environnement de la part de la société en général favorise et justifie les activités en logistique inverse.

La deuxième partie de la thèse traite d'un problème concret de logistique inverse pour le transport des matières dangereuses résiduelles (MDR) chez Hydro-Québec. Les quatre scénarios proposés cherchent à évaluer l'impact de faire le transport dédié des MDR ou de combiner avec le transport de retour des camions de distribution ainsi que l'effet de doubler la capacité des centres de traitement. D'abord, une analyse des données a du être faite. L'agrégation des données par mois et en un seul type de charges a été possible et a réduit considérablement la taille du problème. Le problème est décomposé en deux sous problèmes.

Le premier sous problème aborde le problème d'optimisation de la localisation et de l'affectation des centres de récupération des matières dangereuses (CRMD) et des sites de transit. Une analyse de sensibilité des paramètres du modèle indique que les résultats sont peu sensibles à des variations assez importantes. De plus, l'analyse permet de voir que le système actuel est limité par sa capacité de traitement.

Le deuxième sous problème propose des tournées de véhicules pour les quatre scénarios. Une analyse des tournées obtenues est faite pour vérifier qu'elles respectent les contraintes imposées. L'analyse montre que le transport combiné n'offre pas de

réduction de coûts et que le transport seul de MDR entraîne une faible utilisation de la capacité des camions.

Les résultats de l'étude d'Hydro-Québec montrent que doubler la capacité d'un CRMD possède un potentiel important de réduction des coûts fixes sans toutefois avoir une trop grande augmentation des coûts de transport. Par contre, la possibilité de combiner le transport des MDR avec le transport de distribution n'offre pas de réduction des coûts, elle permet une diminution des gaz à effet de serre émis dans l'air, une diminution de la taille de la flotte de camions ainsi qu'une diminution du nombre de camions sur la route. Finalement, l'étude fait ressortir un faible taux d'utilisation des camions. Il est clair qu'il y a un potentiel d'inclure d'autres produits ou d'utiliser des camions de plus faible capacité sans affecter le niveau de service.

ABSTRACT

This thesis entitled « L'ingénierie des processus de la logistique inverse » reviews the reverse logistics processes to understand their functioning and interactions in order to propose a reverse logistics conceptual framework. Reverse logistics is defined as “*The process of planning, implementing, and controlling the efficient, cost effective flow of raw materials, in-process inventory, finished goods and related information from the point of consumption to the point of origin for the purpose of recapturing value or proper disposal while efficiently and environmentally making use of the resources.*” Moreover, a real life reverse logistics problem is analyzed.

In the first part, a conceptual framework is proposed to fill a gap in the reverse logistics literature. To begin with, a literature review is done on the necessary themes to develop the conceptual framework, namely the decisions, the economical aspects and the performance indicators. Afterwards, the conceptual framework is divided by processes. These processes are mapped in a generic way in order to cover most cases.

The reverse logistics conceptual framework proposed has seven processes, namely the gatekeeping step, the collection, the sorting, the disposal, the information system, the expedition system, and the coordination system. The need to return a product triggers product's entry into the reverse logistics system. Predicting such returns in terms of quantity, quality, and location, however may prove difficult. The first step, gatekeeping, serves to acknowledge incoming returns and, in certain cases, prevent them. The collection step intervenes after a need is expressed. Here, the responsibility of shipping the product may rest with the customer, a third party or the company. When the return arrives at the sorting step, the company verifies the returned product to determine whether to accept or refuse it. At that time, a decision on its disposal can be taken to avoid any further unnecessary costs. If the disposal, the next step, takes place in the same location, the company must consolidate the returns and ship them. The last step involves disposing of the returned products, and there exit several means by which to do it: repackage, repair, remanufacture, upgrade, reuse, reconfigure, recycle, donate,

revalue, resell on other markets, or send to landfill. The company must choose the method that most respects its: customer service, economical, and environmental priorities. A reverse logistics information system is important to ensure a good follow-up. The expedition system remains the exit point of the system. The returned product can leave the system in many ways, either as waste for a landfill, through incineration, or as sorted raw materials for recycling or repaired product, etc.

Each of the processes is studied in detail with regards to the necessary operations a company must carry out to put in place a good reverse logistics system. These operations are determined by experiences and observations of company's reverse logistics systems.

The strategic, tactical, and operational decisions presented for each process remain a first attempt at identifying and classifying the elements involved. Literature is pretty scarce on the subject and not very elaborated. Following this analysis of the decisions involved, however relevant literature is more prevalent and information is easier to find, albeit rarely in a structured format. The resulting conceptual framework is more detailed than that of de Brito and Dekker (2002) and is decomposed in terms of the processes of a reverse logistics system. Many of the decisions taken at a superior level give clear directions for the lower levels. Thus, the global decision of the coordination system must be taken first, and then for each of the processes with respect to the global decisions.

The conceptual framework is validated through three industrial cases and three real life experiences as a consumer. Since the conceptual framework is to be generic, companies of different sizes working in distinct activity sectors are used. This validation is ensured that the many situations encountered by companies are considered by the conceptual framework.

The elaboration of a reverse logistics system is complex, and must take into account many aspects. Moreover, with the advent of developing international free-trade, it is easier to sell on new markets. Companies, however, must master the rules and legislation in effect in all the countries where they do business. Another important consideration in developing a reverse logistics system is the economical aspect, which

motivates all of the company's undertakings. Reverse logistics, long ignored due to its seeming lack of importance, does not escape the attention of managers today. Finally, the environmental consideration to which society today remains more sensitive favor and justify reverse logistics activities.

The second part of the thesis deals with a concrete reverse logistics problem for the transport of residual hazardous waste (RHW) at Hydro-Quebec. The four scenarios proposed look to evaluate the impact of doing dedicated transport of RHW or combining the transport with that of the company's existing distribution network, as well as doubling the capacity of the treatment centers. At first, a data analysis is performed. Aggregation by months and by types of loads is possible and greatly reduces the size of the problem. The problem is then decomposed into two sub problems.

The first sub problem deals with optimizing the location and assignment of the hazardous waste recuperation centers (HWRC) and the transit sites. A sensitivity analysis of the model parameters indicates that the results are not very sensitive to important variations. Moreover, the analysis shows that the actual system is limited by its capacity.

The second sub problem proposes vehicles routing for the four scenarios. An analysis of the routes obtained is done in order to verify that all the constraints imposed are respected. The analysis shows that the combined transport offers no cost reduction but that transporting RHW alone produces very low truck capacity utilization.

The results of the Hydro-Quebec study show that doubling the capacity of a HWRC has an important potential for reducing fixed costs without increasing the transportation costs too much. However, the possibility of combining the transport of RHW with that of distribution network does not offer cost reductions, although it reduces greenhouse gases emitted in the air, the size of the truck fleet as well as the number of trucks on the road. Finally, the study reveals that truck capacity under-utilized. It is clear that there is a potential of consolidating the transport of RHW with other products or using trucks of lower capacity without affecting the service level.

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|-------|
| REMERCIEMENTS | iv |
| RÉSUMÉ | v |
| ABSTRACT | ix |
| TABLE DES MATIÈRES..... | xii |
| LISTE DE TABLEAUX | xvi |
| LISTE DES FIGURES | xx |
| LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS..... | xxii |
| LISTE DES ANNEXES | xxiii |
| AVANT-PROPOS | xxiv |
| CHAPITRE I - INTRODUCTION..... | 1 |
| CHAPITRE II - REVUE DE LA LITTÉRATURE DE LA LOGISTIQUE INVERSE | 7 |
| 2.1 Introduction | 7 |
| 2.2 Coordination de la logistique inverse | 9 |
| 2.3 Cartographie des processus de la logistique inverse | 15 |
| 2.3.1 Étape Barrière..... | 16 |
| 2.3.2 Étape Collecte..... | 17 |
| 2.3.3 Étape Tri | 17 |
| 2.3.4 Étape Traitement | 17 |
| 2.3.5 Système d'information | 22 |
| 2.3.6 Système d'expédition | 22 |
| 2.4 Décisions | 23 |
| 2.4.1 Niveau stratégique | 25 |
| 2.4.2 Niveau tactique | 31 |
| 2.4.3 Niveau opérationnel | 36 |
| 2.5 Aspects économiques | 37 |
| 2.6 Mesures de performance de la logistique inverse | 41 |
| 2.7. Conclusion..... | 50 |

| | |
|---|------------|
| CHAPITRE III - CADRE CONCEPTUEL DE LA LOGISTIQUE INVERSE | 52 |
| 3.1 Introduction | 52 |
| 3.2 Méthodologie..... | 53 |
| 3.2.1 Cartographie | 54 |
| 3.2.2 Décisions | 55 |
| 3.2.3 Aspects économiques | 56 |
| 3.2.4 Mesures de performance de la logistique inverse | 56 |
| 3.3 Proposition..... | 57 |
| 3.3.1 Coordination du système de logistique inverse..... | 57 |
| 3.3.2 Étape 1 : Barrière..... | 62 |
| 3.3.3 Étape 2 : Collecte | 67 |
| 3.3.4 Étape 3 : Tri..... | 71 |
| 3.3.5 Étape 4 : Traitement | 74 |
| 3.3.6 Système d'information | 92 |
| 3.3.7 Système d'expédition | 96 |
| 3.4 Méthode d'utilisation | 99 |
| 3.5 Applicabilité du cadre conceptuel | 100 |
| 3.5.1 Hydro-Québec | 100 |
| 3.5.2 Matrox | 103 |
| 3.5.3 Woodflame | 103 |
| 3.5.4 Expériences vécues..... | 105 |
| 3.5.5 Discussion | 106 |
| 3.6 Conclusion..... | 106 |
| CHAPITRE IV - ÉTUDE DE LOCALISATION DE LA LOGISTIQUE INVERSE | |
| CHEZ HYDRO-QUÉBEC | 108 |
| 4.1 Introduction | 108 |
| 4.2 Revue de la littérature..... | 110 |
| 4.3 Analyse des données | 114 |
| 4.4 Hypothèses | 121 |

| | | |
|--|---|-----|
| 4.5 | Expérimentation | 124 |
| 4.6 | Modèle..... | 125 |
| 4.7 | Résultats | 128 |
| 4.7.1 | Scénario 1 : Transport des MDR autonomes selon la capacité actuelle.. | 129 |
| 4.7.2 | Scénario 2 : Transport autonome des MDR selon le double de la capacité actuelle..... | 131 |
| 4.7.3 | Scénario 3 : Transport des MDR combinées avec le transport de distribution..... | 133 |
| 4.7.4 | Scénario 4 : Transport des MDR combinées avec le transport de distribution selon le double de la capacité actuelle | 133 |
| 4.8 | Analyse de sensibilité | 134 |
| 4.8.1 | Conserver trois CRMD..... | 134 |
| 4.8.2 | Coût de relocalisation..... | 138 |
| 4.8.3 | Variation du coût horaire de transport..... | 139 |
| 4.8.4 | Variation des coûts fixes | 139 |
| 4.8.5 | Changement de localisation des CRMD | 141 |
| 4.8.6 | Variation de la capacité de traitement | 145 |
| 4.8.7 | Discussion et conclusion | 146 |
| 4.9 | Comparaison des scénarios et discussion | 147 |
| 4.10 | Conclusion..... | 148 |
| CHAPITRE V - ÉTUDE D'OPTIMISATION DU TRANSPORT DE LA LOGISTIQUE INVERSE CHEZ HYDRO-QUÉBEC | | 150 |
| 5.1 | Introduction | 150 |
| 5.2 | Revue de la littérature..... | 150 |
| 5.3 | Analyse des données | 152 |
| 5.4 | Hypothèses | 154 |
| 5.5 | Expérimentation | 155 |
| 5.6 | Modèle et méthodologie de résolution | 157 |
| 5.7 | Résultats | 160 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 5.7.1 | Scénario 1 : Transport autonome des MDR selon la capacité actuelle ... | 160 |
| 5.7.2 | Scénario 2 : Transport autonome des MDR selon le double de la capacité actuelle..... | 163 |
| 5.7.3 | Scénario 3 : Transport des MDR combinées avec le transport de distribution..... | 164 |
| 5.7.4 | Scénario 4 : Transport des MDR combinées avec le transport de distribution selon le double de la capacité actuelle | 164 |
| 5.8 | Analyse des tournées de véhicules et discussion..... | 170 |
| 5.8.1 | Analyse globale | 173 |
| 5.8.2 | Analyse détaillée | 177 |
| 5.8.3 | Discussion et conclusion | 178 |
| 5.9 | Conclusion..... | 179 |
| | CHAPITRE VI - CONCLUSION | 181 |
| | RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES | 185 |
| | ANNEXES | 200 |

LISTE DE TABLEAUX

| | | |
|--------------|--|----|
| Tableau 2-1 | Différences entre la logistique de distribution et la logistique inverse | 8 |
| Tableau 2-2 | Classification des sources de la logistique inverse..... | 10 |
| Tableau 2-3 | Justifications de retours | 10 |
| Tableau 2-4 | Activités de la logistique inverse de Rogers et Tibben-Lembke (2001) | 19 |
| Tableau 2-5 | Cadre de décision de la logistique inverse de de Brito et Dekker (2002) | 24 |
| Tableau 2-6 | Exemples de décisions de la logistique de Ballou (2004) | 26 |
| Tableau 2-7 | Décisions stratégiques de la logistique inverse | 28 |
| Tableau 2-8 | Décisions tactiques de la logistique inverse | 32 |
| Tableau 2-9 | Décisions opérationnelles de la logistique inverse | 36 |
| Tableau 2-10 | Coûts des activités rapportés par Morrell (2001) | 39 |
| Tableau 2-11 | Besoins et coûts associés | 40 |
| Tableau 2-12 | Mesures de performance des retours du modèle SCOR..... | 44 |
| Tableau 2-13 | Mesures de performance de Gunasekaran et al. (2001) | 47 |
| Tableau 2-14 | Mesures de performance pour la logistique inverse | 49 |
| Tableau 3-1 | Symbol pour la cartographie..... | 55 |
| Tableau 3-2 | Mesures de performance du cadre conceptuel | 58 |
| Tableau 3-3 | Décisions globales au système de logistique inverse | 61 |
| Tableau 3-4 | Décisions pour l'étape Barrière | 67 |
| Tableau 3-5 | Décisions pour l'étape Collecte..... | 71 |
| Tableau 3-6 | Décisions pour l'étape Tri | 74 |
| Tableau 3-7 | Décisions pour l'étape Traitement..... | 88 |
| Tableau 3-8 | Décisions pour les activités de l'étape Traitement | 89 |
| Tableau 3-9 | Revenus et coûts des activités | 91 |
| Tableau 3-10 | Décisions pour le système d'information | 95 |

| | | |
|--------------|---|-----|
| Tableau 3-11 | Décisions pour le système d'expédition..... | 99 |
| Tableau 4-1 | Modèles de localisation retenus..... | 112 |
| Tableau 4-2 | Caractéristiques des modèles de localisation retenus | 113 |
| Tableau 4-3 | Référence des CRMD..... | 114 |
| Tableau 4-4 | Codes de produits exclus de l'étude | 115 |
| Tableau 4-5 | Nombre de charges de MDR par transit en 2003 | 116 |
| Tableau 4-6 | Description des coûts fixes pour les matières dangereuses | 117 |
| Tableau 4-7 | Masse salaire pour les commis matières dangereuses..... | 118 |
| Tableau 4-8 | Capacité de traitement des CRMD en MDR | 119 |
| Tableau 4-9 | Vitesse des types de routes | 120 |
| Tableau 4-10 | Scénarios à l'étude..... | 125 |
| Tableau 4-11 | Notation pour le modèle de localisation..... | 127 |
| Tableau 4-12 | Sommaire des coûts du modèle de localisation avec les donnés de 2003 | 129 |
| Tableau 4-13 | Sommaire des résultats du modèle de localisation | 129 |
| Tableau 4-14 | Affectation des sites de transit aux CRMD | 130 |
| Tableau 4-15 | Capacité mensuelle excédée | 132 |
| Tableau 4-16 | Sommaire des coûts suite à la fermeture d'un CRMD | 135 |
| Tableau 4-17 | Sommaire des résultats suite à la fermeture d'un CRMD | 136 |
| Tableau 4-18 | Affectation des sites de transit suite à la fermeture d'un CRMD | 137 |
| Tableau 4-19 | Sommaire des résultats pour la variation du coût de relocalisation | 138 |
| Tableau 4-20 | Sommaire des résultats suite à la variation de CT..... | 139 |
| Tableau 4-21 | Sommaire des résultats suite à la variation de CF_j | 140 |
| Tableau 4-22 | Coût annuel total suite au remplacement d'un CRMD | 142 |
| Tableau 4-23 | Sommaire des résultats suite au remplacement d'un CRMD..... | 142 |
| Tableau 4-24 | Affectation des sites de transit suite au remplacement d'un CRMD | 143 |

| | | |
|--------------|--|-----|
| Tableau 4-25 | Coût annuel total suite à la variation de capacité de traitement des CRMD | 145 |
| Tableau 4-26 | Sommaire des résultats pour l'augmentation de MAXT | 146 |
| Tableau 4-27 | Sommaire de l'analyse de sensibilité | 148 |
| Tableau 5-1 | Sommaire des modèles de tournées de véhicules pour la logistique inverse..... | 152 |
| Tableau 5-2 | Temps par activité pour le traitement des MDR | 153 |
| Tableau 5-3 | Notation pour le modèle de tournées de véhicules..... | 158 |
| Tableau 5-4 | Sommaire des tournées mensuelles de véhicules des scénarios 1 et 2 | 161 |
| Tableau 5-5 | Sommaire des tournées mensuelles de véhicules des scénarios 3 et 4 | 161 |
| Tableau 5-6 | Tournées mensuelles de véhicules du scénario 1 | 162 |
| Tableau 5-7 | Détail des tournées de véhicules du scénario 1 | 163 |
| Tableau 5-8 | Tournées mensuelles de véhicules du scénario 2 | 165 |
| Tableau 5-9 | Détail des tournées de véhicules du scénario 2 | 166 |
| Tableau 5-10 | Tournées mensuelles combinées de véhicules du scénario 3 | 167 |
| Tableau 5-11 | Tournées de véhicules additionnelles du scénario 3 | 168 |
| Tableau 5-12 | Détail des tournées combinées de véhicules du scénario 3 | 169 |
| Tableau 5-13 | Tournées de véhicules additionnelles du scénario 4 | 171 |
| Tableau 5-14 | Tournées combinées de véhicules supplémentaires du scénario 4 | 171 |
| Tableau 5-15 | Détail des tournées de véhicules du scénario 4 | 172 |
| Tableau 5-16 | Coûts annuels des 4 scénarios | 173 |
| Tableau 5-17 | Comparaison des coûts annuels de transport du modèle de localisation à ceux du modèle de tournées de véhicules | 174 |
| Tableau 5-18 | Analyse du nombre de tournées | 175 |
| Tableau 5-19 | Analyse de l'utilisation de la capacité et des camions par mois... | 175 |
| Tableau 5-20 | Distances parcourues annuelles des scénarios..... | 180 |

| | | |
|--------------|---|-----|
| Tableau 6-1 | Avantages et inconvénients des scénarios | 184 |
| Tableau L-1 | Nombre de charges entreposées de MDR du scénario 1 | 237 |
| Tableau L-2 | Nombre de charges transportées de MDR du scénario 1 | 239 |
| Tableau L-3 | Durée des tournées du scénario 1 | 240 |
| Tableau L-4 | Nombre de charges entreposées de MDR du scénario 2 | 241 |
| Tableau L-5 | Nombre de charges transportées de MDR du scénario 2 | 242 |
| Tableau L-6 | Durée des tournées du scénario 2 | 243 |
| Tableau L-7 | Nombre de charges entreposées de MDR du scénario 3 | 244 |
| Tableau L-8 | Nombre de charges transportées de MDR du scénario 3 | 246 |
| Tableau L-9 | Temps requis supplémentaires des tournées combinées du scénario 3 | 247 |
| Tableau L-10 | Durée des tournées additionnelles du scénario 3 | 248 |
| Tableau L-11 | Nombre de charges entreposées de MDR du scénario 4 | 248 |
| Tableau L-12 | Nombre de charges transportées de MDR du scénario 4 | 249 |
| Tableau L-13 | Temps requis supplémentaires des tournées combinées du scénario 4 | 249 |
| Tableau L-14 | Durée des tournées additionnelles du scénario 4 | 249 |

LISTE DES FIGURES

| | | |
|-------------|--|----|
| Figure 1-1 | Réseau de logistique inverse | 3 |
| Figure 2-1 | Étapes de la logistique inverse | 15 |
| Figure 2-2 | Méthodologie en six étapes de Giuntini et Andel (1995b)..... | 16 |
| Figure 2-3 | Choix de disposition | 18 |
| Figure 3-1 | Les processus du système de logistique inverse..... | 57 |
| Figure 3-2 | Conception et amélioration d'un système de logistique inverse | 60 |
| Figure 3-3 | Processus d'assistance technique | 63 |
| Figure 3-4 | Responsabilités légales et environnementales..... | 64 |
| Figure 3-5 | Processus de l'étape Barrière | 66 |
| Figure 3-6 | Processus de l'étape Collecter | 68 |
| Figure 3-7 | Sous-processus du service externe : Technicien de service | 69 |
| Figure 3-8 | Processus : Trier | 73 |
| Figure 3-9 | Processus : Traiter | 75 |
| Figure 3-10 | Sous-processus de la gestion des stocks..... | 76 |
| Figure 3-11 | Sous-processus de traitement : Réemballer..... | 78 |
| Figure 3-12 | Sous-processus de traitement : Réparer..... | 79 |
| Figure 3-13 | Sous-processus de traitement : Remettre à neuf..... | 80 |
| Figure 3-14 | Sous-processus de traitement : Mettre à niveau | 81 |
| Figure 3-15 | Sous-processus de traitement : Réutiliser..... | 82 |
| Figure 3-16 | Sous-processus de traitement : Reconfigurer | 83 |
| Figure 3-17 | Sous-processus de traitement : Recycler | 84 |
| Figure 3-18 | Sous-processus de traitement : Donner | 85 |
| Figure 3-19 | Sous-processus de traitement : Revaloriser..... | 86 |
| Figure 3-20 | Sous-processus de traitement : Vendre sur d'autres marchés | 86 |
| Figure 3-21 | Sous-processus de traitement : Rebouter..... | 87 |
| Figure 3-22 | Topologie d'un système d'information de la logistique inverse | 95 |
| Figure 3-23 | Processus : Compenser | 97 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Figure 3-24 | Sous-processus d'expédition : Échanger le produit..... | 98 |
| Figure 3-25 | Sous-processus d'expédition : Réexpédier le produit | 98 |
| Figure 3-26 | Méthode d'utilisation du cadre conceptuel | 101 |
| Figure 4-1 | Exemples de tournées de véhicules. a) tournées individuelles et b) tournées de plusieurs sites | 109 |
| Figure 4-2 | Emplacement des CRMD et sites de transit d'Hydro-Québec | 120 |
| Figure 4-3 | Impact de la variation de CT sur le coût de la solution | 140 |
| Figure 4-4 | Impact de la variation de CF _j sur le coût de la solution | 141 |
| Figure A-1 | Étape Barrière chez Hydro-Québec..... | 200 |
| Figure A-2 | Étape Collecte chez Hydro-Québec..... | 201 |
| Figure A-3 | Étape Tri chez Hydro-Québec | 202 |
| Figure A-4 | Étape Traitement chez Hydro-Québec | 203 |
| Figure A-5 | Support technique Matrox | 203 |
| Figure A-6 | Étape Barrière chez Matrox pour les clients particuliers..... | 204 |
| Figure A-7 | Étape Collecte chez Matrox pour les clients particuliers | 204 |
| Figure A-8 | Étape Tri chez Matrox pour les clients particuliers..... | 205 |
| Figure A-9 | Étape Traitement chez Matrox pour les clients particuliers | 206 |
| Figure A-10 | Système d'expédition chez Matrox pour les clients particuliers.. | 206 |
| Figure A-11 | Étape Collecte chez Matrox pour les clients OEM | 207 |
| Figure A-12 | Sous processus de service externe chez Matrox pour les clients OEM | 207 |
| Figure A-13 | Étape Barrière chez Woodflame..... | 208 |
| Figure A-14 | Étape Collecte chez Woodflame | 209 |
| Figure A-15 | Étape Traitement chez Woodflame | 209 |

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

| | |
|------|---|
| BME | Biens meubles excédentaires |
| CRMD | Centre de récupération des matières dangereuses |
| FA | Facteur d'ajustement de la capacité de traitement |
| HMI | Huiles minérales isolantes |
| LI | Logistique inverse |
| MDR | Matières dangereuses résiduelles |
| O | Niveau opérationnel |
| S | Niveau stratégique |
| T | Niveau tactique |

LISTE DES ANNEXES

| | |
|--|-----|
| ANNEXE A – VALIDATION DU CADRE CONCEPTUEL À L'AIDE DE CAS | |
| INDUSTRIELS | 200 |
| A.1 Hydro-Québec | 200 |
| A.2 Matrox | 203 |
| A.2.1 Client particulier | 203 |
| A.2.2 Client OEM | 207 |
| A.3 Woodflame | 208 |
| ANNEXE B – ANALYSES DE VARIANCES | 210 |
| a) Anova entre les mois | 210 |
| b) Anova entre les sites de transit | 211 |
| ANNEXE C – DONNÉES MENSUELLES DE MDR PAR SITE DE TRANSIT | 213 |
| ANNEXE D – MATRICE DE TEMPS DE TRANSPORT ENTRE LES SITES DE | |
| TRANSIT (MINUTES) | 214 |
| ANNEXE E – MODÈLE DE LOCALISATION EN LANGAGE OPL | 218 |
| ANNEXE F – JEUX DE DONNÉES POUR LE MODÈLE DE LOCALISATION EN | |
| LANGAGE OPL | 219 |
| ANNEXE G – CALENDRIER DE LIVRAISON DES CENTRES DE | |
| DISTRIBUTION..... | 221 |
| ANNEXE H – MODÈLE DE TOURNÉES DE VÉHICULES EN LANGAGE OPL | |
| | 223 |
| ANNEXE I – JEUX DE DONNÉES POUR LE MODÈLE DE TOURNÉES DE | |
| VÉHICULES EN LANGAGE OPL | 225 |
| ANNEXE J – CARACTÉRISTIQUES DE CALCUL DES TOURNÉES DE | |
| VÉHICULES | 233 |
| ANNEXE K – EXEMPLE DU CHIFFRIER DE VALIDATION DES TOURNÉES DE | |
| VÉHICULES | 234 |
| ANNEXE L – ANALYSE DÉTAILLÉE DES TOURNÉES DE VÉHICULES | 236 |

AVANT-PROPOS

Les problèmes vécus chez Matrox avec la gestion des retours m'ont motivé à poursuivre une longue quête du savoir. Après plusieurs lectures en logistique inverse, le problème semblait être présent dans beaucoup d'entreprises et la littérature offrait peu de réponse satisfaisante. Les principales questions auxquelles je cherchais à répondre était : y a-t-il une meilleure façon de faire la logistique inverse, comment peut-on l'organiser de façon efficace et efficiente et comment réussir en logistique inverse compte tenu de l'incertitude sur les retours.

CHAPITRE I - INTRODUCTION

L'analyse au cours du temps de la littérature à propos de la logistique inverse fait ressortir l'utilisation de différents termes pour représenter sensiblement le même concept. Les expressions rencontrées sont la logistique inverse, la distribution inverse ou la logistique verte. En fait, les premiers articles qui datent de la fin des années soixante-dix parlent de distribution inverse. Mêmes certains auteurs, dont Byrne et Deeb (1993), présentent ces mots comme étant des synonymes. Le terme logistique inverse est quant à lui apparu au début des années 1990. Un recensement complet des différentes définitions est fait dans la revue de littérature de Lambert et Riopel (2003). Dans le cadre de cette recherche, la définition retenue de la logistique inverse est la suivante : « Le processus de planification, d'implantation, et de contrôle de l'efficience, de la rentabilité des matières premières, des en-cours de production, des produits finis, et l'information pertinente du point d'utilisation jusqu'au point d'origine dans le but de reprendre ou générer de la valeur ou pour en disposer de la bonne façon tout en assurant une utilisation efficace et environnementale des ressources mises en œuvre. »

Depuis la fin des années 1990, un grand nombre de publications est apparu au sujet de la logistique inverse. Son importance n'est pas à sous-estimer. En effet, Rogers et Tibben-Lembke (1998) mentionnent qu'il est difficile d'estimer ses coûts puisque bien des entreprises ne connaissent pas l'ampleur des activités. Stock (2001) estime que la logistique inverse compte pour environ 4% des coûts de logistique. En considérant que les coûts totaux de transport aux États-Unis pour l'année 2004 sont estimés à près de 636 milliards de dollars par Wilson (2005), c'est donc dire que la logistique inverse, à elle seule, représente 25 milliards de dollars en 2004 en coût de transport. Par ailleurs, les coûts annuels totaux des retours sont évalués à 62 milliards de dollars dans «Return to sender» (2000) et ceux-ci entraînent des pertes de 10 à 15 milliards de dollars par année. Pour ce qui est du commerce électronique, à lui seul, il représente 11 milliards de dollars en retour et des pertes de 1,8 à 2,5 milliards de dollars. Selon l'étude de Tulip (2004) au Royaume-Uni, environ 40% des coûts de logistique inverse sont attribuables à des

processus déficients. Actuellement, des nouvelles législations obligent les entreprises à revoir leur système de logistique pour faire de la place à la logistique inverse. Par exemple, la directive au sujet du recyclage des équipements électriques et électroniques en Europe pose beaucoup de problèmes signalent Albright (2005) et Hughes (2005) à un point tel que sa date d'implantation est retardée à janvier 2006.

L'organisation des réseaux de logistique inverse rencontrée dans la pratique peut être complexe et particulière à chaque type d'industries explique Fleischmann (2001). La figure 1-1, adaptée de Fleischmann et al. (1997), montre la frontière du système de logistique inverse, les types de relations et les intervenants. Les intervenants du réseau sont les clients, la distribution, l'entreprise via son système de production et les fournisseurs. D'autres intervenants externes au système de logistique inverse de l'entreprise, indiqués en pointillés, sont souvent présents. Il s'agit de ramasseurs, de centres de récupération ou de centres de recyclage.

La littérature peut être regroupée en quatre grands thèmes : 1) les aspects généraux, 2) l'organisation, 3) les structures et modèles de réseaux, et 4) les études de cas. Les deux premières thématiques ont identifié clairement le besoin de structurer les processus de la logistique inverse. Les deux dernières thématiques, quant à elles, concernent la résolution de problèmes concrets et permettent de voir l'étendue des problèmes de logistique inverse traités. Les cas rencontrés vont des contenants réutilisables jusqu'à la réfection d'avion.

La thèse est divisée en deux grandes parties. La première partie aborde l'organisation de la théorie de la logistique inverse en un cadre conceptuel tandis que la seconde traite d'un cas concret de logistique inverse pour le transport de matières dangereuses résiduelles.

Partie 1

Le but de la première partie de cette recherche est de combler le manque, identifié dans la revue de littérature de Lambert et Riopel (2003), en proposant un cadre conceptuel de

la logistique inverse. Bien que la littérature soit parsemée d'information partielle et incomplète, aucune méthodologie ou modèle de fonctionnement n'existe jusqu'à présent pour aider un gestionnaire à organiser cette fonction de la logistique. La littérature fait état des problèmes rencontrés et de chiffres, sans toutefois donner ou expliquer clairement et de façon structurée comment organiser un système de logistique inverse. Cette partie est divisée en deux chapitres, la recherche bibliographique et le cadre conceptuel.

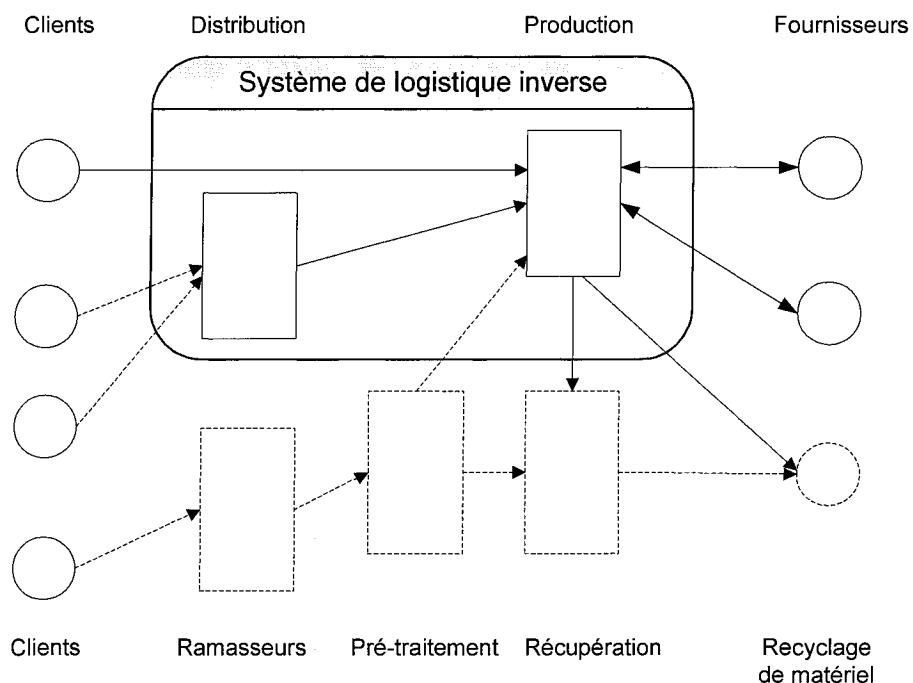


Figure 1-1 Réseau de logistique inverse

La revue de littérature du chapitre 2 cherche à trouver 1) les caractéristiques, 2) les processus, 3) les décisions, 4) les aspects économiques, et 5) les mesures de performance. Le but de ce chapitre n'est pas de démontrer le manque d'organisation mais plutôt de structurer la littérature de façon à pouvoir développer ultérieurement un cadre conceptuel basé sur celle-ci. L'analyse est faite dans le but de structurer le cadre conceptuel par niveaux hiérarchiques soit : le stratégique, le tactique et l'opérationnel.

L'objectif du chapitre suivant est de proposer un cadre conceptuel, de la logistique inverse, qui est basé sur la littérature et l'expérience de plusieurs intervenants dans le domaine. De plus, son applicabilité est démontrée par la suite.

Les objectifs visés par le cadre conceptuel sont la facilité d'utilisation, la représentation des bonnes pratiques et la généralisation à un grand nombre de cas rencontrés dans la réalité. De plus, ses limites sont aussi discutées. La littérature a permis d'identifier sept processus pour un système de logistique inverse : le système de coordination globale, la barrière, la collecte, le tri, le traitement, le système d'information et le système d'expédition. Chacun de ces processus du cadre conceptuel est cartographié dans le but de faire ressortir les décisions et les variantes qui peuvent exister dans la réalité. Une fois la cartographie effectuée, il est alors possible d'établir une hiérarchie des décisions selon les niveaux stratégiques, tactiques et opérationnels, d'identifier les implications tangibles et intangibles et d'élaborer des mesures de performance pour chacun des processus. En dernier lieu, ce cadre conceptuel est appliqué à des cas industriels afin de s'assurer que les objectifs cités plus haut sont atteints.

Partie 2

La seconde partie de cette recherche a pour but de proposer une démarche afin de solutionner un cas réel de l'industrie. Le problème de logistique inverse étudié concerne le traitement et le transport des matières dangereuses résiduelles chez Hydro-Québec suite à la fermeture de deux centres de distribution. Le traitement des matières dangereuses résiduelles est assuré par quatre centres de récupération des matières dangereuses qui desservent quarante-cinq sites de transit. Le transport se fait présentement par une combinaison de transport dédié, du groupe Transport et de transporteurs externes.

Il est à noter que la problématique de résolution du problème repose sur la notion de données imparfaites. Bien que beaucoup d'information ait été fournie par l'entreprise, celle-ci a demandée une analyse particulière et des vérifications avant son utilisation. Par

ailleurs, les hypothèses ont dû être vérifiées et approuvées de façon à pouvoir proposer des solutions qui puissent être applicables facilement par la suite.

Le problème est décomposé en deux volets. Le premier volet est un problème de localisation et d'affectation tandis que le second est un problème d'optimisation du transport (tournées de véhicules). Salhi et Rand (1989) démontrent que la décomposition du problème en deux parties, comme celle effectué ici, ne génère pas nécessairement la meilleure solution en termes de coût. Cependant, la raison qui motive cette décomposition est qu'il existe déjà un réseau de logistique inverse et surtout que celui-ci ne peut pas être facilement changé.

Le premier problème vérifie d'un point de vue stratégique l'impact de différents scénarios sur la localisation des centres de récupération des matières dangereuses et l'affectation des sites de transit. Les quatre scénarios étudiés revoient l'affectation des sites de transit plutôt que la localisation des centres de récupération puisque celle-ci ne peut pas être changée facilement. La méthodologie employée pour traiter ce premier problème est la suivante : une revue de littérature des problèmes de localisation en logistique inverse, l'analyse des données du problème étudié, les hypothèses de travail, la proposition d'un modèle de localisation et l'expérimentation. Par la suite, une analyse de sensibilité sur différents paramètres du modèle est effectuée dans le but de valider les résultats des scénarios. Finalement une analyse et discussion sont faites.

Le second problème traite de l'optimisation du transport des matières dangereuses résiduelles. L'objectif de cette partie est de proposer des tournées de véhicules pour les différents scénarios selon les contraintes de fonctionnement interne et de vérifier l'opérationnalité de celles-ci. Les tournées de véhicules sont basées sur l'affectation des sites de transit obtenue lors du premier volet. En ce qui a trait au second problème, la méthodologie débute par une revue de littérature à propos des problèmes de tournées de véhicules en logistique inverse, l'analyse des données du problème étudié, les hypothèses de travail, l'expérimentation ainsi qu'une méthode de résolution, la

proposition d'un modèle de tournées de véhicules, l'analyse et discussion des tournées obtenues, et enfin la conclusion.

Bref, cette thèse sur l'ingénierie des processus de la logistique inverse a pour but de proposer un cadre conceptuel de la logistique inverse et de démontrer sa validité dans un premier temps. Alors que dans un deuxième temps, elle veut solutionner un problème de logistique inverse de l'industrie.

CHAPITRE II - REVUE DE LA LITTÉRATURE DE LA LOGISTIQUE INVERSE

2.1 Introduction

La revue de la littérature qui suit recense les articles pertinents sur la logistique inverse en vue d'élaborer un cadre conceptuel pour la logistique inverse. Son objectif est d'identifier les processus, les activités, les décisions, les aspects économiques, et les mesures de performance. De plus, ce cadre conceptuel doit être structuré de façon hiérarchique selon les niveaux stratégique, tactique et opérationnel. Cette revue de la littérature est orientée sur l'ingénierie des processus de la logistique inverse comparativement à celle de Bostel et al. (2005) qui est plutôt axée sur les modèles mathématiques.

La logistique inverse diffère à plusieurs égards de la logistique de distribution comme le mentionne Rogers et al. (2001). Les principales différences concernant l'organisation sont montrées au tableau 2-1. Une des premières différences mentionnées est qu'il est plus difficile de prévoir les retours car ils sont aléatoires. Aussi, la distribution ne se fait plus d'un point vers plusieurs mais plutôt à l'inverse. Une autre distinction est le manque d'uniformité de la qualité et de l'emballage des retours. Souvent les options de disposition ne sont pas bien définies. Il est encore plus complexe de déterminer le prix puisque celui-ci dépend de plusieurs facteurs. Il y a aussi un problème de perception quant à la vitesse requise du traitement, car pour l'entreprise ce n'est pas considéré comme une priorité. Les coûts de distribution sont plus difficiles à identifier. La gestion des stocks est particulièrement complexe. Le cycle de vie du produit est de plus en plus court donc l'entreprise doit considérer ce facteur dans le système de logistique inverse. En ce qui concerne la négociation avec le client, elle doit tenir compte d'autres considérations. Du point de vue marketing, il est plus complexe de revendre les produits retournés. Finalement, la visibilité sur le processus est moins transparente. Ainsi, la logistique inverse est un système réactif. L'élément déclencheur du processus de logistique inverse est un retour vers l'entreprise. Le fait d'avoir plus de difficulté à

prévoir les retours, à savoir d'où les produits vont revenir et leur qualité rend le processus plus complexe que la logistique traditionnelle.

Dans la littérature, Rushton and Oxley (1989) expliquent que cette hiérarchisation selon trois niveaux (stratégique, tactique et opérationnel) est basée sur un horizon de temps pour les activités, la pertinence des décisions et l'influence des différents niveaux de gestion. Par ailleurs, Ballou (2004) définit le niveau stratégique comme étant les décisions à long terme c'est-à-dire de plus d'un an. Ces décisions sont prises avec des données incomplètes, dit-il. D'ailleurs, ce niveau correspond aux décisions à long terme par le fait de leur nature difficile à changer et parce qu'elles sont généralement prises par la haute direction. Les décisions de moyen terme, soit de moins d'un an, sont associées au niveau tactique. En conséquence, ce dernier apporte les outils nécessaires à l'entreprise pour atteindre ses objectifs par rapport aux décisions stratégiques. Finalement, Ballou (2004) mentionne que le niveau opérationnel traite des décisions à court terme c'est-à-dire celles qui doivent être prises d'heures en heures ou quotidiennement. De plus, il ajoute que les données sont précises.

Tableau 2-1 Différences entre la logistique de distribution et la logistique inverse

| Aspects | Logistique de distribution | Logistique inverse |
|---|----------------------------|------------------------------------|
| Prévision | Relativement simple | Plus difficile |
| Points de distribution | Un à plusieurs | Plusieurs à un |
| Qualité des produits | Uniforme | Non uniforme |
| Emballage des produits | Uniforme | Non uniforme |
| Destination / tournées | Définie | Indéfinie |
| Options de disposition | Claires | Mal définies |
| Prix | Relativement uniforme | Dépend de plusieurs facteurs |
| Importance de la vitesse de disposition | Reconnue | Pas considérée comme une priorité |
| Coût de distribution | Facilement identifiable | Moins facilement identifiable |
| Gestion des stocks | Cohérence | Incohérence |
| Cycle de vie du produit | Facile à gérer | Plus complexe à gérer |
| Négociation | Directe entre les parties | Compliquée |
| Méthodes de marketing | Bien connues | Compliquées par plusieurs facteurs |
| Visibilité du processus | Plus transparent | Moins transparent |

La littérature a permis de repérer sept processus nécessaires à un système de logistique inverse : le système de coordination globale, la barrière, la collecte, le tri, le traitement, le système d'information et le système d'expédition. Aussi, un grand nombre d'activités ont été identifiées. Le chapitre de revue de littérature de la logistique inverse est divisé ainsi : 1) le système de coordination, 2) les processus, 3) les décisions, 4) les aspects économiques, et 5) les mesures de performance.

2.2 Coordination de la logistique inverse

Le but de cette section est de faire ressortir les raisons pour lesquelles les entreprises doivent gérer les opérations de logistique inverse. Tout d'abord, les éléments qui les motivent à le faire sont revus. Par la suite, les éléments, les caractéristiques, les implications et les bénéfices d'un système de logistique inverse sont expliqués. Aussi, l'impact d'un système de logistique inverse est discuté de même que la reconnaissance d'un système en problème.

Selon Lu et al. (2001), la logistique inverse est née suite au besoin grandissant des entreprises de structurer les retours. Dans plusieurs cas, le système de logistique pour la distribution n'est pas en mesure de s'occuper de la logistique inverse correctement. De plus, Dawe (1995) mentionne que souvent celle-ci n'est pas la première priorité de l'entreprise. Les motivations à se lancer en logistique inverse sont variées selon Rogers et Tibben-Lembke (1998), Carter et Ellram (1998), Langnau (2001a) et Dowlatshahi (2000). Les principales motivations citées sont : les législations, l'aspect marketing et l'intérêt des consommateurs envers les produits sains pour l'environnement, l'aspect économique ainsi que les aspects écologique et environnemental.

Le système de logistique inverse est sollicité par trois classes de retours : ceux du système de production, les produits eux-mêmes et les emballages. À partir de Kroon et Vrijens (1995), Light (2000), Fleischmann (2001), Rogers et Tibben-Lembke (2001), Lee et al. (2002)), il est possible d'associer des sources pour chacune des classes comme au tableau 2-2. Chaque classe demande un traitement différent.

En général, les retours découlent de législations ou bien sont la conséquence directe de politiques de l'entreprise. En conséquence, il est possible de séparer les retours selon trois grandes justifications : les raisons commerciales, les responsabilités légales et enfin les raisons économiques comme le montre le tableau 2-3. Peu importe la raison, la prise en charge des demandes de retour procure un bienfait pour l'environnement. Chacune de ses raisons sont revues dans les lignes qui suivent.

Tableau 2-2 Classification des sources de la logistique inverse

| Classes | Sources |
|------------|--|
| Production | Rebuts de production Rejets de production |
| Emballage | Retours |
| Produits | Retours sous garantie et rappel Retours en fin de vie Retours commerciaux Retours en fin de contrat Politique de satisfaction 100% |

Tableau 2-3 Justifications de retours

| Justifications | Types |
|-------------------------|--|
| Raisons commerciales | Problèmes techniques (Service après-vente) : - Réparation (sous garantie ou non) - Remise à neuf - Campagne de rappel Reprises commerciales : - Excès de stocks - Erreur d'expédition - Fin de location |
| Responsabilités légales | Recyclage : - Produits en fin de vie - Matériel d'emballage - Rebuts de production |
| Raisons économiques | Réutilisation : - Matériel d'emballage - Contenants réutilisables - Produits en location Récupération : - Rebuts de production |

a) Raisons commerciales

Il y a principalement deux raisons commerciales qui poussent l'entreprise à faire de la logistique inverse : les problèmes techniques et les reprises commerciales. Tous deux ont pour but d'augmenter le niveau de satisfaction de la clientèle.

b) Responsabilités légales

Les responsabilités légales proviennent du fait que plusieurs pays ont mis en place des lois pour diminuer la quantité de produits envoyés vers les sites d'enfouissement (Lee et al. (1998) et Langnau (2001a)) en plus de toutes les clauses contractuelles permettant aux clients de retourner un produit. Albright (2005) et Hughes (2005) expliquent l'impact de la nouvelle directive sur le recyclage des équipements électrique et électronique en Europe.

c) Raisons économiques

Dans ce cas-ci, la reprise de produits découle plus de justifications économiques qu'elle ne découle des raisons commerciales ou des responsabilités légales. Fleischmann (2001) fait remarquer qu'il existe généralement un réseau pour la logistique inverse si la reprise d'un produit permet de générer des économies par rapport à la fabrication d'un produit neuf ou l'achat de matière première neuve.

Bien qu'il y ait une multitude de raisons à vouloir faire de la logistique inverse, il ne semble pas y avoir de modèle décisionnel bien établi de la logistique inverse. En effet, plusieurs articles provenant de professionnels de l'industrie présentent leur point de vue sur la logistique inverse. Giuntini et Andel (1995a, 1995b, 1995c) dressent une liste de raisons pour mettre en place un programme de gestion de la logistique inverse, tels les retours de biens pour crédit, les retours sous garantie, les échanges, les retours de location, etc. Finalement, ils donnent aussi des exemples de bénéfices dans différentes industries comme la réduction des stocks, la diminution du coût des matières et l'augmentation de la fiabilité pour ne nommer que ceux-ci.

Trunick (1996) mentionne que la logistique inverse est une des quatre tendances en logistique. Par contre, peu est dit sur ce que l'entreprise doit faire. Freese (2000) parle de

planification de l'aménagement pour la logistique inverse. Il conclut que les retours de produits sont souvent une fonction oubliée qui demande beaucoup d'espace. Cet espace doit être planifié et non relégué au quai de réception.

Shear (1997) de GENCO donne les meilleures pratiques pour une implantation réussie de la logistique inverse. Celles-ci sont divisées en deux catégories principales : la logistique et la gestion des déchets. Du point de vue logistique, il présente cinq pratiques : la manipulation des retours au niveau du magasin, la gestion du transport, le traitement centralisé, la technologie de traitement et la gestion des rapports. Quant à la gestion des déchets, les cinq pratiques sont le réassortiment, le crédit au détaillant, le partenariat avec les détaillants, les marchés secondaires et finalement le recyclage.

En 1998, Gooley énumère cinq points à considérer avant de mettre en place un programme de logistique inverse. Ainsi, l'entreprise doit : 1) vérifier si le besoin est présent et quel genre de ressource elle est prête à engager, 2) décider de la manière dont elle veut communiquer avec le client et aussi quelle information divulguer, 3) établir le fonctionnement des opérations (transport et choix de disposition), 4) développer un système d'information pour recueillir l'information nécessaire et 5) connaître les implications fiscales, financières et de crédits du programme qu'elle met en place.

Lee et al. (2002) soulignent que les coûts et le contrôle efficace sont des facteurs cruciaux dans l'élaboration d'un programme de logistique inverse. Celui qu'ils présentent comporte six éléments : 1) le contrôle de l'autorisation de retour de marchandise, 2) le contrôle du transport, 3) la configuration des installations et des équipements, 4) le contrôle et la gestion du flot de travail, 5) la gestion des systèmes d'information et 6) la gestion de la communication.

Deux types de structure de réseau de la logistique inverse sont rencontrés, le réseau en boucle fermée et le réseau en boucle ouverte (Fleischmann et al. (1997), Beaulieu (2000), Fleischmann (2001)). Jayaraman et al. (1999) définissent un réseau en boucle fermée comme étant un système dans lequel du nouveau matériel est requis seulement lorsque la demande excède la disponibilité des produits retournés. Par contre, dans

Beaulieu (2000) et de Brito et al. (2002), un réseau en boucle fermée est un réseau dans lequel le produit retourné sera réutilisé/recyclé pour donner un nouveau produit dans la même industrie. Dans le cas d'un réseau à boucle ouverte, le produit d'origine est tout simplement redirigé vers d'autres industries.

Les particularités d'un bon système de logistique inverse envisagées par Dawe (1995) sont d'utiliser des sous-traitants spécialisés en logistique inverse, de prendre la décision de disposition le plus près possible du client, d'avoir un système de mesure de performance, de saisir rapidement les données pour faire l'analyse de la panne, d'avoir une communication entre le système d'information et l'équipement de test et de déléguer un certain pouvoir au personnel du service à la clientèle.

Byrne et Deeb (1993) identifient quatre caractéristiques autour desquelles le système de logistique inverse doit tourner. La première caractéristique est que la logistique inverse est un processus imbriqué et continu. La seconde caractéristique implique un examen détaillé du cycle de vie du produit afin de déterminer la quantité d'énergie ou de déchet généré durant chaque stade. La troisième caractéristique est que le système doit supporter la mission environnementale de la compagnie. Enfin, la dernière caractéristique est la conscience accrue du client pour des produits sains pour l'environnement ainsi que les législations imposées par les gouvernements.

Rogers et al. (2001) donnent les points clés d'un bon système de logistique inverse. Le premier point est d'éviter les retours en concevant un système efficace. Le deuxième point est de réduire le temps de cycle pour la disposition. Le point suivant concerne le système d'information. Ce système d'information doit être suffisamment flexible afin de s'adapter aux changements futurs et il doit contenir l'information requise pour le manufacturier et le détaillant. Il y a un avantage économique à utiliser des pièces remises à neuf ou en état. Comme dernier point, ils mentionnent que l'impartition est préférable et qu'elle permet à l'entreprise de se concentrer sur ses compétences élémentaires.

L'impact de la logistique inverse sur l'entreprise se fait ressentir à plusieurs niveaux : économique, gestion et environnemental. Shear (1997) indique qu'un bon programme de

logistique inverse permet d'augmenter la performance financière d'un détaillant. De plus, Gentry (1999) explique que la différence entre la politique de retours du manufacturier et celle du détaillant peut créer des tensions. Minahan (1998) rapporte qu'un bon programme permet de réduire les stocks et d'améliorer la productivité des ingénieurs de service. Minner (2001) mentionne qu'il y a des raisons économiques et écologiques de réutiliser les pièces récupérées de vieux produits, soit pour les utiliser dans de nouveaux produits ou encore s'en servir comme pièces de rechange pour le service après vente.

Le dernier point discuté dans cette section est de savoir reconnaître un système de logistique inverse problématique. En 1995, Richard Dawe du Fritz Institute of International Logistics énumère six symptômes qui démontrent que le système est en difficulté. Ces indications sont : 1) les retours arrivent plus rapidement que le temps que ça prend pour les traiter ou en disposer, 2) la présence d'un gros stock de retour en entrepôt, 3) la présence de retours non identifiés ou non autorisés, 4) le temps de cycle pour traiter le retour est très long, 5) le coût de traitement d'un retour est inconnu, et 6) le client a perdu confiance dans le processus de réparation. Par la suite, en 2001, Stock énonce les « sept péchés mortels » de la logistique inverse suivants : 1) ne pas reconnaître que la logistique inverse peut être un facteur qui donne un avantage compétitif, 2) croire que la responsabilité de l'entreprise se termine à la livraison du produit, 3) être incapable de faire concorder les systèmes interne et externe et le processus de commerce électronique avec l'aspect de la logistique inverse concernant les retours de produit, 4) penser que des efforts à temps partiel sont suffisants pour traiter les activités de la logistique inverse, 5) croire que le temps de cycle pour un retour de produit peut être plus long et plus variable que pour un nouvel item vendu ou distribué, 6) penser que les retours de produits, le recyclage et la réutilisation d'emballage vont se régler par eux-mêmes si on leur donne suffisamment de temps et 7) penser que les retours sont peu importants en terme de coûts, d'évaluation d'inventaire et de revenus potentiels.

2.3 Cartographie des processus de la logistique inverse

Le but de cette section est de faire ressortir les principaux processus de la logistique inverse ainsi que les activités associées de la littérature. La section débute avec une discussion générale des étapes retrouvées dans la littérature suivie de la revue de chacune des étapes de la logistique inverse soit l'étape Barrière, l'étape Collecte, l'étape Tri et l'étape Traitement. De plus, les rôles joués par le système d'information et le système d'expédition sont discutés. Stock (1998) précise qu'une cartographie des processus de la logistique inverse doit être faite pour comprendre ses composants et interrelations. Par exemple, Coia (2005) fait la cartographie du processus de retour du manufacturier de disques durs Seagate.

Le premier point traité concerne les étapes de la logistique inverse. La plupart des auteurs dont Rogers et Tibben-Lembke (1998), Schwartz (2000), Marcoux et al. (2001) et Giuntini et Andel (1995b) semblent proposer principalement quatre étapes : la porte d'entrée (barrière), la collecte, le tri et le choix de disposition tel que montré à la figure 2-1.

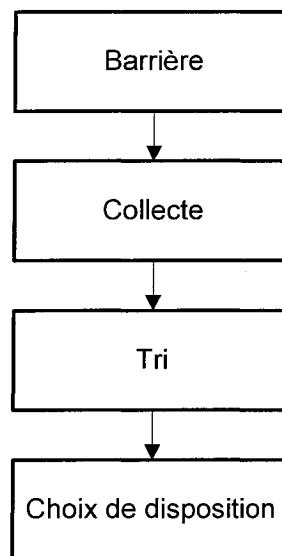


Figure 2-1 Étapes de la logistique inverse

Giuntini et Andel (1995b) présentent une méthodologie en six étapes pour réussir l'implantation d'un programme de logistique inverse. La première étape est la reconnaissance, c'est-à-dire de reconnaître la réception d'une ressource matérielle d'un client interne ou externe. La deuxième étape est d'aller chercher l'item. La troisième étape est de décider quelle action prendre vis-à-vis de l'item. Une fois que la décision est prise, deux possibilités s'offrent à l'entreprise soit : tout d'abord de remettre à neuf, réparer et réutiliser ou alors de retirer l'item. Dans le premier cas, la durée de vie du produit ou celle de la matière sera augmentée. Tandis que dans le second cas, le produit sera enlevé à cause de sa condition. La dernière étape traite de la réingénierie. Cette dernière analyse le flot de retour des produits dans le but de revoir la conception des produits et de cette façon réduire les retours à long terme. La figure 2-2 illustre la méthodologie. Les quatre étapes précédentes, le système d'information et le système d'expédition de la logistique inverse sont abordés ci-dessous.

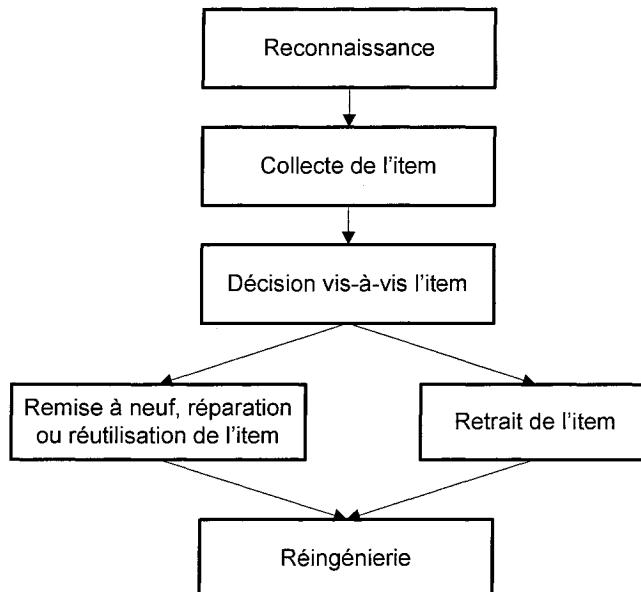


Figure 2-2 Méthodologie en six étapes de Giuntini et Andel (1995b)

2.3.1 Étape Barrière

La première étape est le point d'entrée dans le système de logistique inverse c'est-à-dire la reconnaissance du retour. Rogers et Tibben-Lembke (1998) la décrivent comme étant

la décision à savoir quels produits sont autorisés d'entrer dans le système. De plus, ils mentionnent que cette première étape est cruciale pour réussir à gérer le système et assurer sa profitabilité. Ils ajoutent qu'il faut faire la séparation des produits défectueux ou sans garantie dès leur arrivée. Giuntini et Andel (1995b) vont plus loin. Ils parlent de l'importance du flot d'information découlant d'un retour. Le fait de recevoir un retour entraîne des transactions comptables au niveau des stocks et des ventes.

2.3.2 *Étape Collecte*

La collecte, la deuxième étape, est définie par Rogers et Tibben-Lembke (1998) comme étant l'action de ramasser les produits c'est-à-dire les retours. Cette étape permet de récupérer le produit auprès du client peu importe qu'il soit externe ou interne. Ici, la collecte peut être faite de plusieurs façons. Giuntini et Andel (1995b) soulèvent plusieurs questions à considérer concernant celle-ci. La première question est de savoir ce qui arrive si le client ne retourne pas le produit dans un délai raisonnable. Par exemple lui charge-t-on une pénalité? Aussi, l'entreprise utilise-t-elle un contenant réutilisable dans le processus de retour? Enfin, à qui incombe la responsabilité des coûts de transport pour l'aller et le retour?

2.3.3 *Étape Tri*

L'étape du tri permet de décider du sort de chacun des produits, comme le spécifient Rogers et Tibben-Lembke (1998). Elle consiste à choisir vers où le produit ira pour la prochaine étape. Cette étape nécessite que le produit ait été préalablement reçu puisque le produit doit être examiné ou testé afin de déterminer son état. Ensuite, une décision concernant sa disposition sera prise.

2.3.4 *Étape Traitement*

La quatrième étape, le traitement, est la décision de disposition, c'est-à-dire l'envoi du produit vers la destination désirée mentionne Rogers et Tibben-Lembke (1998). Dans

Giuntini et Andel (1995b), deux choix de disposition sont présentés soit : le renouvellement ou le retrait. Pour le renouvellement, les deux options possibles sont l'extension de la durée de vie utile du produit ou celle de la matière. Dans le premier cas, l'entreprise peut remettre à neuf, réparer ou réutiliser le produit. Dans le deuxième cas, l'entreprise peut recycler des pièces du produit en matière première, réutiliser des pièces du produit ou encore reconfigurer le produit pour être utilisé dans une autre application. À partir de l'information de Giuntini et Andel (1995b) et celle de Rogers et Tibben-Lembke (1998), la représentation des différents choix pour le renouvellement est obtenue comme illustrée à la figure 2-3. Il est à noter que la majorité des activités de renouvellement généreront aussi des rebuts. Finalement, Giuntini et Andel (1995b) ajoutent que les données recueillies à chaque étape peuvent aider l'entreprise à améliorer son produit.

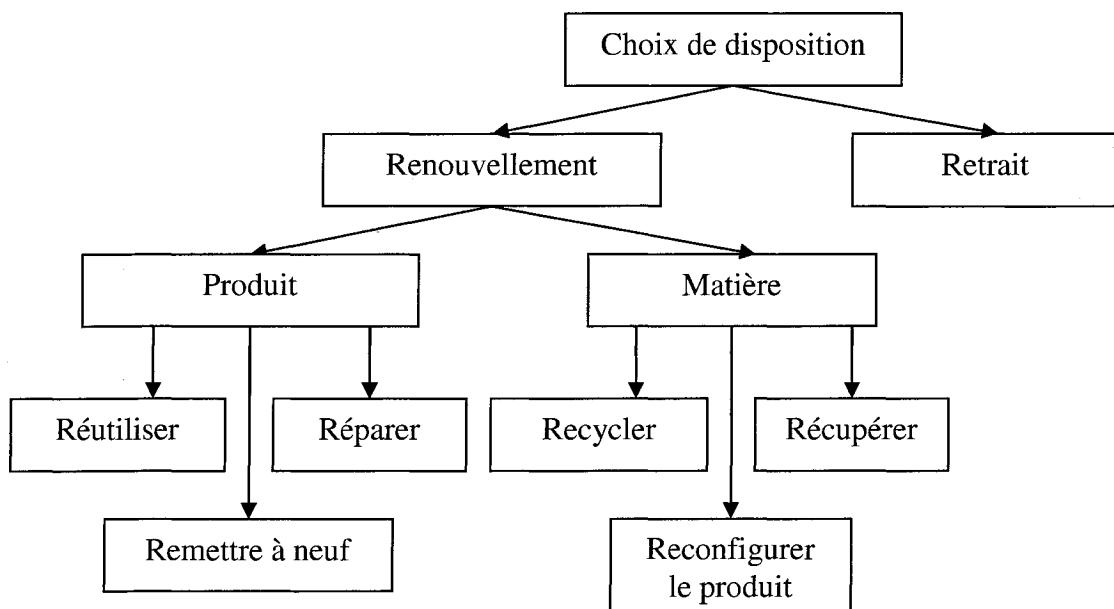


Figure 2-3 Choix de disposition

Ces activités supportent les étapes de la logistique inverse soit la porte d'entrée (barrière), la collecte, le tri et le choix de disposition. Rogers et Tibben-Lembke (2001) divisent les activités en deux groupes : les produits et le matériel d'emballage tel que montrés au tableau 2-4. Lorsque le produit revient à l'entreprise, celle-ci doit choisir

quelle option prendre avec le produit. Elle peut alors le retourner au fournisseur. Si le produit n'a pas été utilisé, elle peut le revendre normalement ou par l'intermédiaire d'un magasin entrepôt. Cependant, si le produit ne peut être vendu sans intervention, l'entreprise doit évaluer sa condition et décider de la meilleure option, soit de le remettre en état, ou bien de le remettre à neuf ou encore de le reconditionner. Si aucune des options précédentes n'est possible à cause de la condition du produit, l'entreprise peut récupérer des pièces ou alors des matériaux et les recycler avant d'envoyer le reste à l'enfouissement. Concernant ce dernier point, l'entreprise doit évaluer quelle est la décision qui lui coûtera le moins cher. Une autre possibilité est de donner les produits à des organismes de charité. Quant au matériel d'emballage, il y a moins de possibilités. La principale possibilité est la réutilisation du matériel d'emballage. Parfois, il se peut qu'on ait à le remettre en état afin de pouvoir le réutiliser. Lorsque la réparation n'est plus possible, il y a toujours l'option de récupérer une portion du matériel et d'envoyer le reste à un site d'enfouissement.

Tableau 2-4 Activités de la logistique inverse de Rogers et Tibben-Lembke (2001)

| Matériel | Activités de la logistique inverse |
|-----------|--------------------------------------|
| Produits | Retourner au fournisseur |
| | Revendre |
| | Vendre via magasin entrepôt (Outlet) |
| | Reconditionner |
| | Remettre en état |
| | Remettre à neuf |
| | Récupérer certains matériaux |
| | Récupérer tous les matériaux |
| | Recycler |
| | Donner |
| Emballage | Enfouir |
| | Réutiliser |
| | Remettre en état |
| | Récupérer certains matériaux |
| | Récupérer tous les matériaux |
| | Recycler |
| | Enfouir |

Light (2000) pour sa part nomme comme principales activités : relocaliser les marchandises, donner à des organismes de charité, remanufacturer, revendre et vendre aux magasins à escompte. Jusqu'ici les activités présentées traitent plus des aspects opérationnels et tactiques des décisions de la logistique inverse. En ce qui concerne les activités stratégiques, ceci inclut tout ce qui se rapporte aux problèmes de localisation des installations, à la capacité des installations et au nombre d'installations requises en vue de traiter les produits (voir Barros et al. (1998), Krikke et al. (1999a) et Fleischmann (2001)).

Les principales activités rencontrées sont : impartir, inspecter les retours, remettre en état, remettre à neuf, gérer les stocks, recycler, élaborer les routes de camions et mettre au rebut. Chacune d'entre elles est expliquée dans les lignes qui suivent.

a) Impartir

Dans la littérature, plusieurs articles proviennent de l'industrie et plus particulièrement de firmes spécialisées en impartition des services de logistique inverse pour le transport, la réparation, etc. Plusieurs auteurs, Johnson (1998), Coletto (2000) et Cottrill (2000), mentionnent l'importance de l'impartition dans différents domaines d'activités.

b) Inspecter les retours

L'inspection des retours sert à savoir ce qui sera fait avec le produit. Incidemment, la condition du produit est évaluée pour ensuite décider s'il sera remis à neuf, recyclé, mis au rebut, etc.

c) Remettre en état (réparer)

Une autre activité importante est la réparation. Klausner et al. (1999) expliquent que le but de la réparation est de ramener un produit à un état fonctionnel.

d) Remettre à neuf

La remise à neuf de produits usagés est un domaine très abordé dans la littérature (Krupp (1992), Guide et Jayaraman (2000a), Heisig et Fleischmann (2001), Minner et Kleber (2001), Inderfurth et al. (2001), Teunter (2001a), Teunter et Van der Laan (2002)). Klausner et al. (1999) proposent la remise à neuf comme alternative à la réparation. Lors

de la remise à neuf, le produit est démonté et plusieurs pièces sont remplacées au lieu de ne réparer que le défaut. Ceci permet d'avoir un procédé mieux contrôlé puisque le temps de diagnostic représente la majeure partie du temps de réparation. Les sujets traités concernent les problèmes de prévision de la qualité, l'incertitude de la demande, la gestion des listes de pièces, la désuétude des produits, le design du produit, la planification et la gestion des stocks. Krupp (1993) déclare que la remise à neuf est très courante dans l'industrie aéronautique, aérospatiale, automobile et militaire. Finalement, Guide et al. (1999) font une revue de littérature complète à propos du contrôle et de la planification de la remise à neuf.

e) Gérer les stocks

Un autre point d'intérêt se situe au niveau de la gestion des stocks. Guide et Srivastava (1997b), Korugan et Gupta (1998), Vlachos et Tagaras (2001), Teunter (2001b), Kleber et al. (2002), Fleischmann et al. (2002), exposent des modèles de gestion des stocks et des applications qui y sont reliées.

f) Recycler

Reijnders (2000) indique les principaux ingrédients pour une stratégie de choix concernant les ressources soutenables et le recyclage. Les buts visés sont la réduction des déchets et la réduction de l'utilisation des ressources.

g) Élaborer les tournées de véhicules

Une autre activité est l'élaboration de tournées de véhicules pour récupérer les produits en fin de vie. Fleischmann (2001) dit que transporter un produit de B vers A n'est pas tellement différent de le déplacer de A vers B surtout lorsque l'entreprise fait l'impartition du transport.

h) Mettre au rebut

La dernière activité est la mise au rebut. Elle est la moins désirable pour l'environnement mais malheureusement elle demeure encore la plus utilisée. Grogan (1998) chiffre à 70% la proportion de rebuts qui ne sont pas recyclés en Amérique du Nord. Les raisons qui justifient la mise au rebut sont multiples : le produit n'est pas

économique à recycler, le produit n'est pas conçu pour être recyclé ou le manque de législation.

2.3.5 *Système d'information*

La logistique inverse a des besoins assez variés en système d'information. En effet, pour bien fonctionner il lui faut un système de gestion des retours, un réseau de communication efficace entre les différents intervenants et un moyen d'identifier et de décider ce qu'il advient d'un produit rapidement et efficacement. Concernant le premier point, Herb Shear dans Witt (1995b) déclare que la plus grosse barrière pour la gestion des retours a trait aux systèmes d'information. Ce processus demande beaucoup de main-d'œuvre et de temps. Il poursuit en ajoutant que le traitement de l'information est une tâche qui fait partie de la logistique inverse. Witt (1995b) considère qu'un système de gestion des stocks est nécessaire et que l'échange de données électroniques (EDI) devient incontournable. Langnau (2001b) indique qu'il faut un système de communication avec les départements internes, les clients, les fournisseurs, et dans le cas de la mise au rebut, les gouvernements. De plus, il fait remarquer que l'évolution dans les systèmes d'information en logistique, la traçabilité, les systèmes de manutention et l'équipement de gestion de données permettent d'améliorer l'efficience. Kokkinaki et al. (1999) expliquent l'importance du commerce électronique dans l'exécution des tâches de la logistique inverse. Ses applications sont au niveau du marketing, de l'approvisionnement, de la vente et du service après vente.

2.3.6 *Système d'expédition*

Aucun auteur ne parle directement d'un système d'expédition. Malgré tout, plusieurs auteurs dont Gooley (1998) et Lee et al. (2002) mentionnent l'importance du contrôle du transport pour la collecte des biens. Dans cette optique, le même contrôle doit être exercé lors de l'expédition. Il est vrai que cette fonction de la logistique de distribution est très courante et mieux maîtrisée.

2.4 Décisions

La littérature recensée montre que peu de travaux existent au sujet des décisions concernant la logistique inverse. En général, la littérature ne traite qu'une portion à la fois, soit des facteurs stratégiques et opérationnels ou des exemples de l'industrie ou de la planification de l'aménagement ou de l'implantation d'un programme ou des caractéristiques d'un bon système de logistique inverse.

Dans Dowlatshahi (2000), seulement les facteurs stratégiques et opérationnels sont traités tandis que les facteurs tactiques sont oubliés. Les facteurs stratégiques que l'on retrouve dans cette revue de littérature sont les coûts stratégiques, la qualité globale, le service à la clientèle, les préoccupations environnementales et les préoccupations légales. Du côté des facteurs opérationnels, il mentionne l'analyse coût-bénéfice, le transport, l'entreposage, la gestion de la chaîne logistique, la remise à neuf et le recyclage, et finalement l'emballage. L'auteur fait aussi référence à deux forces qui agissent sur le système de logistique inverse où le client agit en tant que force externe et où les sept facteurs opérationnels y représentent quant à eux la force interne. Le poids accordé à chacun des sept facteurs varie d'une entreprise à l'autre. Dowlatshahi (2005) reprend les cinq mêmes facteurs stratégiques pour proposer un cadre décisionnel pour les opérations de remise en état. Carter et Ellram (1998) identifient quatre forces en logistique inverse soit : les clients, les fournisseurs, les compétiteurs et les agences gouvernementales. Ils expliquent que les activités de logistique inverse d'une entreprise sont soumises à une ou plusieurs de ces quatre forces. Selon un sondage de Rogers et Tibben-Lembke (1998), 65% des répondants croient que la logistique inverse joue un rôle stratégique en raison de la compétition qui prévaut suite à la libéralisation des politiques de retour. Parmi les autres raisons les plus citées, il y a celles de diminuer les stocks de vieux produits, des implications légales de la mise au déchet, de récupérer de la valeur, de la reprise de biens et de la protection de la marge de profit.

En logistique inverse, de Brito et Dekker (2002) proposent un cadre de décision qui couvre les trois niveaux de décisions mais il est très peu développé. Pour construire leur cadre de décisions stratégiques, tactiques et opérationnelles de la logistique inverse, ils

sont partis de la revue de littérature sur les réseaux de logistique de Schmidt et Wilhelm (2000) et d'une taxonomie sur les recherches au niveau de la chaîne logistique de Ganeshan et al. (1999). Le tableau 2-5 présente leur cadre de décision. Au niveau stratégique, il faut commencer par décider si l'entreprise fera de la récupération et si c'est le cas, de quel type. L'information recueillie au sujet des retours permettra alors de concevoir un meilleur produit. Ensuite, il faut définir le réseau et décider de sa capacité. Finalement, l'entreprise doit se donner des outils pour supporter sa stratégie. En ce qui a trait au niveau tactique, ils plaident pour l'intégration des retours de produits au sein de l'organisation entière, c'est-à-dire qu'ils traitent plus particulièrement des aspects du transport, de la manutention et de l'entreposage des retours et aussi de tout ce qui touche à la gestion des stocks, à la planification des opérations, au marketing et aux technologies de l'information. Quant à lui, le dernier niveau se voit attribuer des tâches comme l'ordonnancement et le contrôle de la production ainsi que la gestion de l'information. Par contre, les auteurs ne traitent pas en profondeur des éléments de leur cadre de décision.

Tableau 2-5 Cadre de décision de la logistique inverse de de Brito et Dekker (2002)

| Décisions stratégiques |
|---|
| Stratégie (option) de récupération |
| Conception du produit |
| Capacité et conception du réseau |
| Outils stratégiques |
| Décisions tactiques |
| Distribution (inverse) |
| Coordination |
| Planification de la production |
| Gestion des stocks |
| Marketing |
| Technologie de l'information |
| Décisions opérationnelles |
| Ordonnancement et contrôle de la production |
| Gestion de l'information |

La mise en place d'un système de logistique inverse demande une réflexion approfondie à plusieurs niveaux. Par exemple, Stock (1998) mentionne, dans son livre sur le développement et la mise en place d'un système de logistique inverse, les étapes suivantes : les besoins en ressources du système, la problématique de faire versus celle d'acheter (impartir), la formation du personnel, l'évaluation et le contrôle du système, les rapports environnementaux et le processus d'audit de la logistique inverse. Stock (1998), en conclusion, donne des facteurs critiques pour la réussite en logistique inverse qu'il regroupe en trois catégories : gestion et contrôle, mesure et nature financière. Entre autre, il ajoute que le programme de la logistique inverse doit être tracé graphiquement pour comprendre ses composants et interrelations. Par contre, il ne propose aucune méthodologie pour en assurer la réussite.

Ballou (2004) présente un exemple, reproduit au tableau 2-6, de décisions selon les trois niveaux pour sept grandes catégories de décisions : 1) localisation, 2) stock, 3) transport, 4) traitement des commandes, 5) niveau de service, 6) entreposage et 7) approvisionnement.

L'objectif des sous-sections suivantes est de faire l'inventaire des décisions et de les classer selon les niveaux stratégiques, tactiques et opérationnels. De plus, des décisions importantes dont la revue de littérature n'a pas permis d'identifier d'auteurs sont ajoutées aux différents niveaux.

2.4.1 *Niveau stratégique*

Le niveau stratégique traite des décisions à long terme (2-5 ans) et de haut niveau comme : choisir de faire la logistique inverse elle-même ou de l'impartir, en totalité ou en partie, choisir la localisation des sites, choisir les activités aux sites, déterminer la capacité des sites, etc. Guide et Jayaraman (2000b) déclarent que la viabilité d'une entreprise dépend de sa gestion des variables stratégiques. Le tableau 2-7 résume les quinze décisions stratégiques ainsi que les auteurs qui en font la mention. Le détail de chacune des décisions est expliqué ci-dessous.

Tableau 2-6 Exemples de décisions de la logistique de Ballou (2004)

| Décision | Stratégique | Tactique | Opérationnel |
|--------------------------|--|--|---|
| Localisation | Nombre, taille, sites des entrepôts et terminal | | |
| Stock | Localisation des stocks et politiques de contrôle | Niveau des stocks de sécurité | Quantité et point de réapprovisionnement |
| Transport | Sélection du mode | Location saisonnière | Tournées et répartition |
| Traitement des commandes | Entrée des commandes et conception du système de traitement | | Traitement des commandes et des pénuries |
| Niveau de service | Établissement des standards | Règle de priorité des commandes clients | Avancement |
| Entreposage | Sélection des équipements de manutention et de l'aménagement des lieux | Choix saisonnier d'espace et utilisation d'espace privé. | Préparation de commandes et réassortiment |
| Approvisionnement | Développement de relations fournisseur-acheteur | Contrat, sélection de fournisseurs, projection d'achat | Lancement des commandes et avancement des commandes |

Une décision importante du niveau stratégique, qui n'est pas abordée par les auteurs, concerne le rôle des politiques de retours. En effet, il est capital pour l'entreprise d'établir les grandes lignes des politiques de retours. Ces politiques dicteront les décisions subséquentes de ce niveau tout en se précisant aux niveaux inférieurs.

Une des premières questions à se poser vise à déterminer si la logistique inverse doit être intégrée ou non à la chaîne logistique. Elle est soulevée par Fleischmann et al. (1997), Fleischmann et al. (2001) et Chouinard et al. (2003). Fleischmann et al. (2001) démontrent que l'intégration séquentielle de la logistique inverse à la chaîne logistique ne donne pas le même résultat que celui en créant un nouveau système intégrant les deux. Les facteurs

déterminants sont le transport des retours et les ressources disponibles aux différents sites (l'espace, la main-d'œuvre, etc.)

Stock (1998) et Daugherty et al. (2001) expliquent que l'allocation de ressources financières et humaines suffisantes est nécessaire à la réussite d'un programme de logistique inverse. Cette décision aura une importance sur la prochaine décision à savoir si l'entreprise offre elle-même la logistique inverse ou l'impartit que ce soit toutes les activités ou en partie. En effet, plusieurs auteurs mentionnent que cette décision est importante pour l'élaboration d'un programme de logistique inverse (Andel (1995), Dawe (1995), Stock (1998), Levy (1999), Rowley (2000), Krumwiede et Sheu (2002) et Guide et Van Wassenhove (2002)). En parallèle, l'entreprise doit évaluer son expertise en logistique inverse souligne Witt (1995b). Rowley (2000) résume en 4 points les éléments à prendre en compte pour décider de faire à l'interne la logistique inverse : 1) les employés, 2) les produits, 3) le mode de transport et 4) l'entreposage et système de contrôle. L'étude de Johnson (1998) dans le secteur des métaux ferreux démontre l'impact du volume de retour pour trois niveaux de volumes en ce qui concerne les stratégies de gestion à l'interne ou à l'externe (sous-traitance). Aussi, il faut établir un taux de retour sur l'investissement désiré dans le but de justifier si la logistique inverse doit être faite à l'interne.

Stasiak et al. (1996) expliquent que la connaissance des directives, lois et règlements environnementaux est essentielle pour ISO14000. Par ailleurs, Johnson (1998) note que la familiarité avec la réglementation environnementale doit faire partie des compétences de l'entreprise. Stasiak et al. (1996), Stock (1998), Van Hoek (1999) et Boiral (2000) examinent sous différents aspects la question afin de savoir si l'entreprise doit mettre en place un système de gestion de l'environnement. La mise en place peut être une obligation, elle peut aussi représenter un avantage compétitif ou être liée aux valeurs environnementales de l'entreprise.

Le choix de localisation est un sujet très étudié en logistique inverse notamment par Barros et al. (1998), Shih (2001), Krikke et al. (1999a), Lu et al. (2001), etc. Au niveau

stratégique, il faut identifier les régions potentielles en se basant sur l'origine actuelle et future des demandes de retours, sur le volume des retours ainsi que la nature des retours. Il est nécessaire de calculer les coûts de transport, d'ouverture, d'opération et de maintien des sites potentiels.

Tableau 2-7 Décisions stratégiques de la logistique inverse

| Décisions | Auteurs |
|--|---|
| Intégrer ou ne pas intégrer la logistique inverse à la chaîne logistique. | Fleishmann et al. (1997), Fleishmann et al. (2001), Chouinard et al. (2003) |
| Allouer des ressources (\$) suffisantes. | Stock (1998), Daugherty et al. (2001) |
| Offrir soi-même la logistique inverse ou impartir, toutes les activités ou en partie. | Andel (1995), Dawe (1995), Stock (1998), Levy (1999), Rowley (2000), Krumwiede et Sheu (2002), Guide et Van Wassenhove (2002) |
| Évaluer l'expertise de l'entreprise en logistique inverse. | Witt (1995b) |
| Décider de mettre en place un système de gestion de l'environnement et connaissance des directives, lois et règlements environnementaux. | Stasiak et al. (1996), Stock (1998), Johnson (1998), Van Hoek (1999), Boiral (2000) |
| Identifier les régions potentielles de localisation pour les différentes activités | Barros et al. (1998), Shih (2001), Krikke et al. (1999a), Lu et al. (2001) |
| Faire le choix des activités | Giuntini et Andel (1995b), Rogers et Tibben-Lembke (1998) |
| Déterminer la capacité des sites (espace entreposage et traitement) | Anonymous (2000), Freese (2000) |
| Choisir les méthodes de manutention | Morrell (2001), Ballou (2004) |
| Choisir les méthodes d'entreposage | Giuntini et Andel (1995c) |
| Faire soi-même le transport ou l'impartir | Ballou (2004) |
| Établir les politiques pour les opérations (production et stocks) | Gooley (1998) |
| Connaître les impacts de la conception du produit | Di Marco et al. (1994), Giuntini et Andel (1995c), Clegg et al. (1995), Shu et Flowers (1995), Grogan (1998), deJong et al. (1999) |
| Évaluer le cycle de vie des produits | Krupp (1992), Byrne et Deeb (1993), Anonymous (1993), Erdos et al. (2001), Clift et Wright (2001), Tibben-Lembke (2002), Knemeyer et al. (2002) |
| Établir les directives de l'entreprise concernant les matières dangereuses | Murphy et al. (1994), Hu et al. (2002) |

Le choix de localisation est un sujet très étudié en logistique inverse notamment par Barros et al. (1998), Shih (2001), Krikke et al. (1999a), Lu et al. (2001), etc. Au niveau stratégique, il faut identifier les régions potentielles en se basant sur l'origine actuelle et future des demandes de retours, sur le volume des retours ainsi que la nature des retours. Il est nécessaire de calculer les coûts de transport, d'ouverture, d'opération et de maintien des sites potentiels.

Une autre décision au niveau stratégique concerne le choix des activités de traitement que l'entreprise désire offrir. Rogers et Tibben-Lembke (1998) donnent les différents types de retours et le traitement qui devrait être privilégié selon eux pour chacun des cas. Quant à Giuntini et Andel (1995b), ils ajoutent que cette étape est critique pour la rentabilité du programme de logistique inverse.

Une autre décision au niveau stratégique concerne le choix des activités de traitement que l'entreprise désire offrir. Rogers et Tibben-Lembke (1998) donnent les différents types de retours et le traitement qui devrait être privilégié selon eux pour chacun des cas. Quant à Giuntini et Andel (1995b), ils ajoutent que cette étape est critique pour la rentabilité du programme de logistique inverse. Ensuite, il faut déterminer la capacité globale en espace d'entreposage et de traitement qui est nécessaire pour le volume anticipé de retours selon Anonyme (2000). Freese (2000) poursuit en mentionnant que l'espace pour la logistique inverse doit être planifié et non relégué au quai de réception.

Par ailleurs, Ballou (2004) aborde le choix des méthodes de manutention. En logistique inverse, il doit être approprié au volume de retours à traiter. Il faut se demander si le volume de retours justifie d'automatiser la manutention. Incidemment, Morrell (2001) indique que les solutions automatisées et mécanisées fonctionnent seulement pour les compagnies qui ont un haut taux de retour.

Giuntini et Andel (1995c) présentent des cas et posent la question à savoir comment les ressources en entreposage sont affectées par l'implantation ou l'amélioration d'un programme de logistique inverse. D'un point de vue stratégique, le choix des méthodes

d'entreposage doit être fait à prime abord pour ensuite passer aux calculs des besoins en espace d'entreposage.

La prochaine décision concerne le transport. Au niveau stratégique, Ballou (2004) parle plutôt de faire le choix du mode de transport mais la première question à se poser est de savoir si l'entreprise désire faire elle-même le transport ou l'impartir. Ce choix dépend plus des réponses aux questions suivantes : Quel niveau de service l'entreprise veut-elle offrir?, Combien d'argent est-elle prête à investir dans le transport?, Y a-t-il des contraintes de temps qui favorisent un mode de transport?, etc.

Quant à Gooley (1998), il insiste sur le fait qu'il est important de bien définir les politiques pour les opérations. Il mentionne aussi qu'il faut commencer par concevoir le système pour ensuite le valider sur place à chaque étape du processus afin de prédire les problèmes possibles. Sa constatation est plus axée sur les activités de traitement mais il faut aussi faire la même analyse avec les stocks.

Plusieurs auteurs, Di Marco et al. (1994), Giuntini et Andel (1995c), Clegg et al. (1995), Shu et Flowers (1995), Grogan (1998), deJong et al. (1999), indiquent la nécessité de connaître les impacts de la conception du produit sur le système de logistique inverse. En effet, le traitement d'un produit qui revient à l'entreprise est simplifié lorsqu'il a été conçu selon une approche environnementale ou en vue de son éventuel désassemblage. Ainsi, l'entreprise qui récupère peut le faire à faible coût et obtenir une plus grande valeur. Par contre, si un produit contient des matières dangereuses, son traitement est plus complexe et les risques sont alors plus grands pour l'entreprise. Par ailleurs, une analyse des données à propos des anciens produits permet de concevoir ultérieurement un produit qui répond mieux aux besoins des clients et ce à toutes les étapes de son cycle de vie.

Lors de la mise en place d'un programme de logistique inverse, il est important d'évaluer le cycle de vie des produits et ainsi être en mesure de prédire la fin de vie comme le mentionnent Krupp (1992), Byrne et Deeb (1993), Anonyme (1993), Erdos et al. (2001), Clift et Wright (2001), Tibben-Lembke (2002) et Knemeyer et al. (2002).

La dernière décision du niveau stratégique est d'établir des directives d'entreprise concernant l'utilisation de matières dangereuses ou les produits qui en contiennent. Murphy et al. (1994) ou Hu et al. (2002) parlent de réduction de la pollution environnementale par le biais d'une meilleure gestion du traitement des matières dangereuses.

2.4.2 Niveau tactique

Le deuxième niveau, soit le niveau tactique, traite des décisions à moyen terme (1-2 ans). Le tableau 2-8 énumère les seize décisions à considérer de même que les auteurs qui en font la mention. Les décisions tactiques font suites à celles du niveau stratégique. Le détail de chacune d'elle est expliqué par la suite.

Une première décision qui relève du niveau tactique est le choix du support informatique et logiciel. Dawe (1995), Caldwell (1999) et Rogers et Tibben-Lembke (2001) soulignent l'importance d'un système d'information en ce qui a trait à la logistique inverse. L'automatisation des fonctions de la logistique inverse est abordée par Maloney (2002). Il faut déterminer quelles fonctions peuvent être automatisées. Caldwell (1999) et Maloney (2002) proposent l'utilisation des code-barres comme moyen d'accélérer le traitement.

Stock (1998) et Anonyme (2000) déclarent qu'il est nécessaire pour l'entreprise d'avoir un programme de formation. Cette dernière doit être spécifique à chacun des processus de la logistique inverse.

La question concernant la centralisation ou la décentralisation du centre des retours est abordée par Rogers et Tibben-Lembke (1998) et Rogers (2001). En effet, plusieurs choix s'offrent à l'entreprise lors de la reprise d'un produit, soit via ses magasins, l'Internet, le téléphone ou soit par la sous-traitance. La possibilité d'effectuer à différents endroits les différents processus de la logistique inverse doit aussi être considérée.

Tableau 2-8 Décisions tactiques de la logistique inverse

| Décisions | Auteurs |
|---|--|
| Choisir le support informatique et logiciel | Dawe (1995), Caldwell (1999), Rogers et Tibben-Lembke (2001), Maloney (2002) |
| Élaborer un programme de formation | Stock (1998), Anonyme (2000) |
| Centraliser ou décentraliser le centre de retours : (Par les magasins, Internet, téléphone, sous-traitance) | Rogers et Tibben-Lembke (1998), Rogers (2001) |
| Utiliser un service externe (technicien de service, établissement mandaté, etc.) | Levy (1999), Krumwiede et Sheu (2002) |
| Développer un système de planification de la production | Guide et al. (1997), Guide et Srivastava (1997a), Guide et al. (1999), de Brito et Dekker (2002), Richter et Gobsch (2003) |
| Développer un système de gestion des stocks | Guide et Srivastava (1997b), Yuan et Cheung (1998), Guide et al. (1999), Toktay et al. (2000), Minner (2001), Teunter (2001b), Kiesmuller et van der Laan (2001), de Brito et Dekker (2002), Teunter et Vlachos (2002), de Brito et Dekker (2003), Kiesmüller (2003) |
| Élaborer les nomenclatures de produits | Krupp (1992), Krupp (1993) |
| Établir les standards de qualité pour les différents travaux effectués | Klausner et al. (1998) |
| Choisir le mode de transport (train, bateau, avion, camion, mixte) | Ballou (2004) |
| Établir les routes possibles de transport | Landrieu (2001), Dethloff (2001), Toth et Vigo (1999) |
| Définir le support technique offert, (magasins, Internet, téléphone, sous-traitance) | Dawe (1995), Rogers et Tibben-Lembke (1998) |
| Identifier les activités de traitements possibles pour chaque produit | Giuntini et Andel (1995b), Rogers et Tibben-Lembke (1998), Stock (1998) |
| Définir les méthodes d'emballage des produits | Heine (1993), Anonyme (1993), White (1994), Kroon et Vrijens (1995), Rogers et Tibben-Lembke (1998), Stock (1998) |
| Définir les politiques de retours | Zuo et al. (2000), Murthy et al. (2004) |
| Identifier les matières dangereuses et élaborer un programme de traitement | Hu et al. (2002), Zografos et Androutsopoulos (2004) |

Tableau 2-8 Décisions tactiques de la logistique inverse (suite)

| Décisions | Auteurs |
|---|---|
| Définir les indicateurs de performance du programme | Giuntini et Andel (1995c), Dawe (1995), Stock (1998), Hirsch et al. (1998), Daugherty et al. (2001) |

La décision d'utiliser un service externe comme par exemple faire appel à un technicien de service, un établissement mandaté ou autre doit être abordé au niveau tactique. Levy (1999) souligne que le recours à un sous-traitant permet à l'entreprise de se concentrer sur ses fonctions principales. Quant à Krumwiede et Sheu (2002), ils proposent un outil de décision pour l'implantation potentielle de la logistique inverse par un impartiteur de logistique. La méthode permet d'identifier les besoins de l'entreprise et ceux des clients. De cette façon, il est plus facile de faire une demande de service à un impartiteur.

Précédemment au niveau stratégique, les localisations potentielles et les besoins en espace ont été identifiés. Pour le niveau tactique, il faut choisir des sites précis et déterminer l'espace requis lors de la mise en place d'un programme de logistique inverse. Par la suite sur une base régulière, les besoins en localisation, en aménagement et en espace doivent être revus.

La planification de la production est une décision du niveau tactique mentionnée de Brito et Dekker (2002). En effet, plusieurs décisions sont requises lors du développement d'un système de planification de la production. Incidemment pour la remise en état, Guide et Srivastava (1997a) et Guide et al. (1999) soulignent les deux problèmes suivants au moment de la planification et du contrôle de la production : le taux de retour probabiliste et l'état inconnu du produit. Ensuite, il y a le choix des règles d'ordonnancement appropriées indiqué Guide et al. (1997). Aussi, Richter et Gobsch (2003) abordent le fonctionnement en juste-à-temps.

Une autre décision porte sur la gestion des stocks comme proposée par de Brito et Dekker (2002). Ainsi, il faut développer un système de gestion des stocks particulier à la logistique inverse. Guide et Srivastava (1997b) font une revue des modèles pour les items réparables. La littérature, entre autres Yuan et Cheung (1998), Guide et al. (1999),

Toktay et al. (2000), Minner (2001), Teunter (2001b), Kiesmuller et van der Laan (2001), Teunter et Vlachos (2002), Kiesmüller (2003), contient une variété de modèles : à un seul item, avec demande indépendante ou dépendante et pour les stocks de sécurité. Aussi, de Brito et Dekker (2003) vérifient les hypothèses des modèles et indiquent les besoins en modèles spécifiques pour la logistique inverse.

L'élaboration de nomenclatures de produits pour la logistique inverse est nécessaire pour plusieurs raisons mentionnent Krupp (1992) et Krupp (1993), telles la planification des activités, la gestion des stocks, la distinction entre les produits neufs et les usagés, etc.

L'établissement des standards de qualité pour les différents travaux effectués est important. Aussi, il faut être en mesure de déterminer la qualité des pièces réutilisées indique Klausner et al. (1998).

Les décisions de faire soi-même ou d'impartir le transport ainsi que le niveau de service désiré ont été prises au niveau stratégique. Pour le niveau tactique, il faut choisir le mode de transport soit le train, le bateau, l'avion, le camion ou un mixte qui permet de rencontrer les objectifs stratégiques. Comme mentionné précédemment, Ballou (2004) place cette question au niveau stratégique mais elle concerne plus le niveau tactique.

Après avoir fait le choix du mode de transport, il faut établir les routes possibles de transport. Plusieurs auteurs dont Landrieu (2001), Dethloff (2001) et Toth et Vigo (1999) abordent ce sujet. Une autre question pertinente est de déterminer si le transport des retours peut être combiné avec le transport de distribution.

Au niveau tactique, il faut définir le support technique offert. En effet, c'est le premier contact que le client aura avec l'entreprise en cas de problème avec son produit ou s'il a des questions concernant sa disposition. Plusieurs possibilités s'offrent à l'entreprise pour localiser physiquement ou virtuellement son support technique : en magasin, l'Internet, par téléphone ou la sous-traitance. Cette étape permet d'aider un client et si nécessaire de le diriger ensuite vers l'étape Barrière. De plus, Dawe (1995) parle de donner du pouvoir au personnel du service à la clientèle. Rogers et Tibben-

Lembke (1998) donnent l'exemple de Nintendo qui a réduit ses retours en enregistrant l'appareil au moment de l'achat.

Pour chaque produit, il faut identifier les activités possibles à ce niveau comme l'expliquent Giuntini et Andel (1995b) et Rogers et Tibben-Lembke (1998). Entre autre, Stock (1998) propose de faire la cartographie des processus.

Une autre décision primordiale est de définir les méthodes d'emballage des produits (Heine (1993), Anonyme (1993), White (1994), Kroon et Vrijens (1995), Rogers et Tibben-Lembke (1998) et Stock (1998)). Il faut décider si un programme de contenants ou d'emballages réutilisables pourrait être avantageux. Aussi, il faut déterminer comment un produit doit être emballé pour être réexpédié. L'importance de cette décision s'accroît suite aux nouvelles lois sur l'emballage un peu partout dans le monde.

Les politiques de retour de l'entreprise ont un impact sur la conception du réseau de logistique inverse et l'atteinte des objectifs fixés au niveau stratégique. Par exemple, si l'entreprise désire qu'une demande de réparation soit traitée intégralement dans un court laps de temps, il faut que le délai de transport soit très court et que le site de réparation soit capable d'effectuer la réparation rapidement sinon l'utilisation d'un stock de produit réparé est nécessaire. De plus, il faut composer avec une multitude de politiques. En effet, certains clients ont des exigences spécifiques et contractuelles qui peuvent différer de la politique générale de l'entreprise. Entre autres Zuo et al. (2000) et Murthy et al. (2004) discutent des politiques de garantie.

Un autre aspect essentiel est d'identifier les matières dangereuses et d'élaborer un programme de traitement approprié. Hu et al. (2002) décrivent la problématique quant à l'élaboration d'un programme efficace visant la réduction de la pollution. Aussi, il est important d'évaluer les conséquences d'un accident potentiel lors du transport de matières dangereuses tel que mentionné dans Zografos et Androutsopoulos (2004).

La dernière décision du niveau tactique est de définir les indicateurs de performance du programme selon Giuntini et Andel (1995c), Dawe (1995), Stock (1998), Hirsch et al.

(1998) et Daugherty et al. (2001). Ce sujet est abordé en détail dans une prochaine section.

2.4.3 *Niveau opérationnel*

Le niveau opérationnel, troisième et dernier niveau, traite des décisions à court terme c'est-à-dire celles qui sont à prendre au quotidien. Le tableau 2-9 montre les cinq décisions opérationnelles et les auteurs qui en font la mention. Par la suite, chacune des décisions est détaillée.

Tableau 2-9 Décisions opérationnelles de la logistique inverse

| Décisions | Auteurs |
|---|---------------------------------------|
| Former le personnel | Stock (1998), Anonyme (2000) |
| Analyser les retours dans le but d'améliorer les produits | Giuntini et Andel (1995b) |
| Gérer l'information | de Brito et Dekker (2002) |
| Ordonnancer | de Brito et Dekker (2002) |
| Contrôler les coûts | Witt (1995a), Goldsby et Closs (2000) |

Précédemment au niveau tactique, un programme de formation a été élaboré. Maintenant, il faut donner la formation aux employés de logistique inverse. Stock (1998) et Anonyme (2000) insistent sur le fait qu'elle est cruciale à la réussite du programme. L'analyse de l'information recueillie sur les retours permet d'améliorer les produits et par le fait même d'améliorer l'efficacité du système de logistique inverse soulignent Giuntini et Andel (1995b). La gestion de l'information et l'ordonnancement font partie du niveau opérationnel du cadre de de Brito et Dekker (2002) mais ne sont malheureusement pas expliqués. Witt (1995a) et Goldsby et Closs (2000) parlent de l'importance du contrôle des coûts qui relèvent du niveau opérationnel. Ce sujet est expliqué en détail plus loin. Aucun auteur n'aborde cinq autres décisions opérationnelles qui sont normalement considérés en gestion des opérations (Nollet et al. 1994) et qui font suites à celles prises au niveau tactique. Ainsi, il faut au niveau opérationnel gérer les activités (relâche, relance et suivi), gérer les stocks, faire les rapports des activités et

mettre à jour les mesures de performance, expédier les retours et établir les routes de camions. Il est évident que ce niveau demande des procédures claires pour les différentes activités mais il faut aussi prendre le temps de bien les définir.

2.5 Aspects économiques

Dans cette section, un examen des aspects économiques de la logistique inverse est fait. Ceci est justifié par plusieurs remarques d'auteurs sur le fait que les entreprises ne maîtrisent pas leurs coûts en logistique inverse ou tout simplement ne les connaissent pas. En premier lieu, Dawe (1995) déclare que l'incapacité à chiffrer le coût total du processus de retour est un problème et que cela démontre que le système de logistique inverse de l'entreprise doit être révisé. En second lieu, Schwartz (2000) explique qu'il est difficile de savoir combien coûte la logistique inverse.

De plus, d'autres auteurs parlent de la réduction des coûts de la logistique inverse. À ce sujet, Rogers et Tibben-Lembke (1998) notent qu'il faut posséder une technologie pour bien faire la barrière, créditer les retours partiels, prendre le plus tôt possible la décision de disposition, avoir un traitement plus rapide ou un temps de cycle plus court et faire une meilleure gestion des données. Quant à Minahan (1998), il estime qu'environ 20% des économies en logistique inverse proviennent de la main-d'œuvre tandis que les 80% restant viennent de la réduction des frais de transport et de la réduction des stocks.

Goldsby et Closs (2000) mentionnent que la comptabilité par activités est utilisée depuis les années 1960 en logistique et qu'il a fallu attendre jusqu'aux années 1990 pour que son utilisation devienne plus répandue. Quant à Stock (1998), il ajoute que la comptabilité par activités est la méthode à utiliser pour prendre les décisions en logistique inverse. Il s'agit d'identifier les activités associées à la logistique inverse, de trouver le temps que le personnel passe à faire celles-ci et de déterminer le coût actuel propre à chaque activité. Goldsby et Closs (2000) montrent comment la comptabilité par activités peut être utilisée pour identifier les vrais coûts des opérations de logistique dans le but de mieux allouer les ressources et concevoir un nouveau système de retour des

contenants de boissons au Michigan. Ils ajoutent que plusieurs entreprises ignorent le vrai coût de leur programme. Gentry (1999) déclare que c'est le total des coûts cachés qui réduit par la suite la marge de profit.

L'identification des facteurs de coûts représente le plus grand défi. Roth et Borthick (1991) rappellent qu'il y a deux hypothèses à ne pas oublier en comptabilité par activités : 1) l'imputation aux centres de coût doit être basée sur des activités homogènes ou grandement corrélées, 2) les coûts rattachés à un centre de coût doivent être strictement proportionnels aux activités.

Goldsby et Closs (2000) décrivent brièvement la procédure comme suit : 1) identifier les ressources de l'entreprise et faire la cartographie des processus, 2) relier les coûts des ressources aux activités et 3) relier les coûts des activités aux objets de coûts.

Au sujet de l'identification des coûts de la logistique inverse, différents auteurs en proposent un certain nombre. Giuntini et Andel (1995c) donnent les deux coûts suivants : le coût d'acquisition et le coût d'entreposage et de distribution en ressource matérielle. Morrell (2001) fait la distinction entre les coûts directs et les coûts cachés de la logistique inverse tels que reproduits au tableau 2-10. Les coûts directs sont ceux que l'entreprise doit encourir pour reprendre un retour et en disposer, par exemple : le remboursement du client, le service à la clientèle, le nouveau coût pour la revente, etc. Quant à eux, les coûts cachés représentent l'impact des retours sur les autres fonctions de l'entreprise comme la perte de pouvoir de négociation avec les fournisseurs, la perte de satisfaction des clients et bien d'autres.

Les paragraphes précédents font l'énumération d'aspects économiques d'un programme de logistique inverse mais il n'en demeure pas moins que certains aspects ne peuvent pas être quantifiés en valeur monétaire. Par exemple, l'image de marque peut être affectée par les choix de disposition que fait l'entreprise et ce autant de façon positive que négative. Il est possible de connaître la perception des clients avant de faire un tel choix mais la réponse reste qualitative. Un autre aspect à prendre en compte malgré qu'il y ait de plus en plus de loi, est la conscience envers l'environnement de l'entreprise. Bien que

la mise en place d'un tel programme contribue certainement à une réduction de la pollution, son impact économique direct sur l'entreprise peut être évalué avec assez de précision. Par contre, la tâche est plus ardue si l'entreprise désire connaître l'impact vis-à-vis de l'ensemble de la société compte tenu du fait que les modèles économiques actuels ne tiennent pas compte de l'environnement. Les éléments intangibles doivent malgré tout être examinés lors de l'élaboration d'un programme de logistique inverse.

Tableau 2-10 Coûts des activités rapportés par Morrell (2001)

| Coûts directs | Coûts cachés |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Remboursement du client - Coût d'entreposage, d'expédition et de manutention à l'origine - Emballage et matériel, si gratuit au client - Service à la clientèle - Traitement, comptabilité, facturation en plus du coût de remise en stock - Autres coûts de gestion du retour (manutention, administratif, expédition) - Nouveau coût pour la revente - Impact sur l'efficacité financière (stock, possibilité de vol) - Augmentation du coût de stock à cause du long cycle pour en disposer - Valeur de récupération du bien qui diminue avec l'âge - Nouveau coût d'emballage pour en disposer - Perte de valeur suite à la vente en vrac (au poids) | <ul style="list-style-type: none"> - Perte de pouvoir de négociation avec les fournisseurs - Effet négatif sur l'image de la marque et la valeur marchande - Impact sur l'avantage compétitif suite à l'augmentation du coût de vente et autres questions de prix - Perte de vente du client si les politiques de retours étaient plus libérales - Baisse de la confiance des clients et de la motivation à acheter due à une politique de retour difficile à déchiffrer et non fiable - Perte de satisfaction des clients, achat répété - Perte critique de la valeur à vie du client, coûts de commutation - Augmentation des coûts pour les installations d'expédition qui ont à traiter les retours |

Par analogie, les coûts de la logistique inverse ressemblent à ceux de la logistique. Wilson (2005) divise les coûts de la logistique en trois grandes catégories : les coûts de transport, les coûts de maintien en stock et les frais d'administration. Ces coûts peuvent être répartis en besoins plus précis. Par exemple, la logistique inverse demande des espaces, du personnel, des équipements, des stocks et des services externes. Le tableau

2-11 regroupe différents postes de dépenses pour chacun des cinq besoins et montre les éléments de coûts impliqués.

Tableau 2-11 Besoins et coûts associés

| Besoin | Postes | Éléments de coûts |
|-------------------|----------------------------------|--|
| Espace | Bureau | Loyer, assurances et taxes. Entretien Électricité et chauffage |
| | Entreposage | |
| | Zone de préparation de commandes | |
| | Quai d'expédition | |
| | Quai de réception | |
| | Salle informatique | |
| Personnel | Cadre | Salaires Charges sociales Embauche / Licenciement Formation |
| | Employé | |
| Équipements | Manutention | Possession Utilisation Entretien |
| | Informatique | |
| | Logiciel | |
| | Production | |
| | Transport | |
| Stock | Pièces de rechange | Possession Désuétude |
| | Produits réparés | |
| | Matériel d'emballage | |
| Services externes | Internet | Facture mensuelle Contrat préétabli |
| | Téléphone | |
| | Frais de douanes | |
| | Impartiteur | |

Les besoins en espace sont de nature variée, comme des bureaux, de l'entreposage, une zone de préparation de commandes, un quai d'expédition, un quai de réception, une salle informatique ou un lieu de consolidation. Les coûts attribuables sont le loyer (ou coûts de possession), les assurances, les taxes, l'entretien, l'électricité et le chauffage. Le deuxième besoin est en personnel. Ici, une distinction est faite entre les cadres et les employés mais elle ne doit pas se limiter à celle-ci. Ce besoin comporte comme éléments de coûts les salaires, les charges sociales, l'embauche et le licenciement, et la formation. Le troisième besoin est relatif aux équipements nécessaires à la logistique inverse. Il y a

des équipements qui peuvent être requis pour la manutention, l'informatique et logiciel, la production et le transport. Les coûts associés à ceux-ci sont les coûts de possession, d'utilisation et d'entretien. Les stocks sont le quatrième besoin. En effet, différents types de stocks sont nécessaires que ce soit des pièces de rechanges, des produits réparés ou du matériel d'emballage. Les coûts de possession et de désuétude doivent être examinés. Finalement, le dernier besoin touche à tous les services auquel l'entreprise doit recourir à l'externe. Tels que le téléphone, l'Internet, les frais de douanes et tous les autres impartiteurs que l'entreprise sollicite. Les coûts de chacun sont sous forme de factures mensuelles, de contrat fixes ou une combinaison des deux. La variation des coûts est sujette à une multitude de facteurs. Par exemple, les activités, le volume de retours, le niveau de service désiré, le mode de transport influenceront le coût d'un besoin. Le détail de ces variations est abordé dans le prochain chapitre.

2.6 Mesures de performance de la logistique inverse

La mise en place d'un système de mesures de performance est un des facteurs clés relié à la réussite d'un programme de logistique inverse mentionnent Dawe (1995) et Stock (1998). Ainsi, l'objectif de cette section est de déterminer les mesures de performance pertinentes à logistique inverse selon leur niveau hiérarchique : stratégique, tactique ou opérationnelle. Gunasekaran et al. (2004) expliquent les trois niveaux de mesures de performance de la façon suivante. Le niveau stratégique mesure l'influence des décisions de la haute direction par rapport aux objectifs organisationnels. Le niveau tactique traite de l'allocation des ressources et de la comparaison des performances par rapport aux cibles dans le but d'atteindre les objectifs du niveau stratégique. Ces mesures donnent une bonne rétroaction à propos des décisions des cadres intermédiaires. Le niveau opérationnel demande des données précises et un lien avec les décisions des gérants du niveau inférieur. Les objectifs fixés à ce niveau, s'ils sont rencontrés, permettront d'atteindre les objectifs du niveau tactique.

À peu près pas d'auteurs abordent directement le sujet des mesures de performance de la logistique inverse. Il existe un modèle de la chaîne logistique qui aborde le sujet des retours qui est revu plus loin. En analysant les articles, il est possible de discerner des mesures de performance. Par exemple, Giuntini et Andel (1995c) parlent des bénéfices qu'un programme de logistique inverse peut procurer à une entreprise : le niveau de satisfaction des clients, le niveau d'investissement en ressources matérielles, les coûts d'acquisition de ressources matérielles, les coûts d'entreposage et de distribution des ressources matérielles et le design du produit. À l'exception du dernier, tous les autres sont des mesures de performance.

Par ailleurs, Stock (1998) déclare qu'un système de mesures de la performance doit être développé et mis en place afin de déterminer si la performance d'un programme de logistique inverse est acceptable. Il poursuit en indiquant que les bénéfices sont de nature plutôt long terme. La méthode des coûts standards et la comptabilité par activités sont des approches utiles pour développer un système de mesures.

Hirsch et al. (1998) proposent un outil de simulation de réseau de recyclage. L'outil mesure le niveau de service, les coûts, le temps et la distance avant de faire une analyse de l'impact environnemental.

Daugherty et al. (2001) mentionnent des mesures de performance pour un programme de logistique inverse. Ils les regroupent en deux catégories, ceux orientés service :

- en conformité avec les réglementations environnementales,
- amélioration des relations avec le client,

et ceux orientés coût :

- recouvrement des actifs,
- maîtrise des coûts,
- amélioration de la profitabilité,
- réduction de l'investissement en stocks.

Ils ajoutent aussi une mesure globale de l'efficacité pour l'ensemble du programme. Toutefois, les auteurs de l'étude ne précisent pas comment ils ont choisi ces mesures de

performance ni sur quelle base. L'analyse de cette même étude est poussée plus loin par Autry et al. (2001). Ces derniers considèrent l'impact du secteur d'activité (bureautique vs électronique pour la maison), la taille de l'entreprise (petite et grande) et à qui revient la responsabilité (interne ou externe) du programme de logistique inverse. Ils vérifient aussi la différence au niveau de la performance des six premières mesures nommées précédemment ainsi que la satisfaction résultante. En ce qui concerne les deux secteurs d'activité de l'étude, il n'y a pas de différences majeures à propos des six mesures de performance. Quant à la taille de l'entreprise, l'étude démontre qu'elle a une influence. En effet, les petites entreprises performent mieux que les grandes. Par contre, il ne semble pas y avoir de différence entre les entreprises qui font elles-mêmes leur logistique inverse par rapport à celles qui l'envoient à l'externe. Les mesures de satisfaction de l'étude sont la qualité de la réparation, la conformité globale du vendeur avec le contrat d'achat, le niveau de retours alloué, la facilité à obtenir une autorisation de retours, la réparation effectuée dans le temps spécifié, la durée nécessaire pour traiter un crédit, la réconciliation de la facturation interne et l'utilisation de l'Internet dans le processus de retour. En ce qui a trait aux deux secteurs d'activité de l'étude, il semble que la satisfaction soit plus élevée dans le deuxième groupe. Par contre, la taille de l'entreprise et la décision de faire à l'interne ou à l'externe n'influence pas ou peu le niveau de satisfaction.

Le Supply-Chain Council est un organisme indépendant qui s'intéresse à l'application et à l'avancement de la chaîne logistique. Le modèle Supply Chain Operations Reference (SCOR) se veut un outil de référence pour l'organisation de la chaîne logistique. Depuis la version 4.0, la gestion des retours est incluse. Le modèle SCOR 5.0 publié en 2001 analyse de nombreuses mesures de performance en rapport à plusieurs dimensions. La portion retour comporte quatre des cinq dimensions soit : la rapidité de réponse, la flexibilité, les coûts et l'efficacité de l'utilisation des actifs. La dimension fiabilité n'est pas présente. Au tableau 2-12, les trente-quatre mesures de performance tirées du modèle SCOR 5.0 pertinentes à la logistique inverse sont énumérées.

Tableau 2-12 Mesures de performance des retours du modèle SCOR

| Mesures | Dimension |
|---|------------------|
| Vélocité du retour du produit (mouvement à travers le processus) | Temps de réponse |
| Facilité à augmenter rapidement la capacité | Flexibilité |
| Utilisation des actifs pour le retour | Actifs |
| Coûts de garantie | Coûts |
| Nombre de jours de stocks | Actifs |
| Coûts de réception et d'entreposage du produit exprimés en % des « Coûts de retour des produits » | Coûts |
| Coûts d'ouverture d'une autorisation de retour de produit | Coûts |
| Valeur des produits retournés | Actifs |
| Coûts de gestion et de planification des retours exprimés en % des « Coûts de retour des produits » | Coûts |
| Nombre de jours d'approvisionnement des produits retournés | Actifs |
| Coûts de gestion de commande pour retourner le produit dans la chaîne logistique | Coûts |
| Coûts de vérification des retours exprimés en % des « Coûts de retour des produits » | Coûts |
| Niveau total d'emploi de production | Coûts |
| Coûts de disposition | Coûts |
| Utilisation de la capacité | Actifs |
| Coûts « MRO » | Coûts |
| Nombre de jours de stock de « MRO » | Actifs |
| Coûts de réception et d'entreposage du produit exprimés en % des « Coûts MRO » | Coûts |
| Valeur des produits MRO | Actifs |
| Coûts de gestion et de planification des MRO en % des « Coûts de retour d'un produit » | Coûts |
| Nombre de jours d'approvisionnement des MRO | Actifs |
| Coûts du diagnostic comme faisant partie de la vérification de l'admission | Coûts |
| Pléniude de la capacité de transfert | Coûts |
| Exactitude du diagnostic | Coûts |
| Coûts de vérification exprimés en % des « Coûts MRO » | Coûts |
| Productivité à valeur ajoutée | Coûts |
| Coûts par demande d'autorisation | Coûts |
| Coûts des retours | Coûts |
| Nombre de jours d'approvisionnement | Actifs |
| Nombre de jours d'approvisionnement de produits désuets | Actifs |

Tableau 2-12 Mesures de performance des retours du modèle SCOR (suite)

| Mesures | Dimension |
|---|-----------|
| Coûts de retour des produits | Coûts |
| Coûts d'autorisation de retour des produits | Coûts |
| Coûts de réception exprimés en % des « Coûts de retour des produits » | Coûts |
| Nombre de jours d'approvisionnement excédentaires | Actifs |

Incidemment, plus de la moitié des mesures du modèle SCOR 5.0 concernent les coûts, c'est-à-dire les coûts « MRO » où le terme MRO signifie Maintenance, Réparation et Opération, les coûts d'autorisation de retour des produits, les coûts d'ouverture d'une autorisation de retour de produit, les coûts de disposition et les coûts de garantie. Ensuite, il y a les mesures des coûts pour la gestion et la planification, pour la réception et l'entreposage, le retour des produits, la vérification, les retours, le diagnostic et la demande d'autorisation. Les autres mesures de coûts sont l'exactitude du diagnostic, le niveau total d'emploi de production, la capacité de transfert et la productivité à valeur ajoutée. La facilité à augmenter rapidement la capacité est une mesure de la flexibilité du système tandis que la vitesse du retour du produit (mouvement à travers le processus) mesure le temps de réponse du système. Les mesures pour les actifs sont le nombre de jours d'approvisionnement global, celui des produits désuets, des MRO, des produits retournés et excédentaires. Il y a aussi le nombre de jours de stocks ou des stocks de MRO, l'utilisation de la capacité, l'utilisation des actifs pour les retours et la valeur des produits MRO et ainsi que celle des produits retournés.

Compte tenu du fait que peu de mesures de performance en logistique inverse sont documentées, un regard sur celles de la chaîne logistique semble approprié. Du côté de la chaîne logistique, Gunasekaran et al. (2001) proposent des indicateurs de performance de la logistique pour les trois niveaux : stratégiques, tactiques et opérationnels. La raison de leur étude est le manque d'équilibre dans l'approche et le manque de distinction des mesures entre les trois niveaux. Le tableau 2-13 présente les mesures de performance par niveau et indique si la mesure est de nature financière (Fin.) ou non (Non-fin.). Les mesures de performance concernent trois intervenants du système logistique : les

fournisseurs, l'entreprise et les clients. Au niveau stratégique, les auteurs donnent les quinze mesures suivantes : le temps de cycle total de la chaîne logistique, le temps total du flux monétaire, le temps de requête du client, le niveau de la valeur perçue par le client envers le produit, le profit net versus le ratio de productivité, le taux de retour sur l'investissement, la gamme de produit et services, les variations par rapport au budget, le temps d'approvisionnement d'une commande, la flexibilité du système de service pour rencontrer un besoin particulier du client, le niveau d'entraide entre l'acheteur et le fournisseur, le temps d'approvisionnement d'un fournisseur par rapport aux normes de l'industrie, la capacité du fournisseur à effectuer des livraisons sans défaut, le temps de livraison et enfin la performance des livraisons. Ensuite au niveau tactique, ils énumèrent les quatorze mesures suivantes : la précision des techniques de prévision, le temps de cycle de développement de produit, les méthodes d'entrée de commandes, l'efficacité de la méthode de facturation des livraisons, le temps de cycle d'un bon de commande, le temps de cycle des processus planifiés, l'efficacité du plan directeur de production, l'assistance du fournisseur dans la résolution de problèmes techniques, l'habileté du fournisseur à répondre aux problèmes de qualité, les initiatives de réduction de coûts du fournisseur, les procédures de pré-vente du fournisseur, la fiabilité des livraisons, l'habileté à répondre aux livraisons urgentes et l'efficacité du plan directeur de distribution. Finalement pour le niveau opérationnel, les auteurs proposent les onze suivantes : le coût horaire par opération, l'information sur le coût de maintien en stock, l'utilisation de la capacité, le stock total et pour chacun des types de stocks, le taux de rejet du fournisseur, la qualité de la documentation de livraison, l'efficacité du temps de cycle des bons de commandes, la fréquence de livraison, la fiabilité du conducteur pour la performance, la qualité des biens livrés et l'atteinte de livraisons sans défaut. Desautels (2002) fait une revue exhaustive de plus de deux cents mesures de performance dans la littérature selon le niveau stratégique, tactique et opérationnel et fournit des indications sur le mode de calcul de plusieurs des mesures. L'étude les classe selon trois catégories : coûts, délais et qualité. Seules neuf mesures pour le niveau stratégique et trente-six pour le niveau tactique sont identifiées dans les trois catégories.

La revue de ces mesures a permis d'en faire ressortir seulement deux qui n'étaient pas pris en compte jusqu'ici. Les nouvelles mesures concernent le niveau opérationnel, ce sont : l'absentéisme et la fréquence des accidents.

Tableau 2-13 Mesures de performance de Gunasekaran et al. (2001)

| Niveau | Mesure de performance | Fin. | Non-fin. |
|-------------|---|------|----------|
| Stratégique | Temps de cycle total de la chaîne logistique | | X |
| | Temps total du flux monétaire | X | X |
| | Temps de requête du client | X | X |
| | Niveau de la valeur perçue par le client envers le produit | | X |
| | Profit net vs. Ratio de productivité | X | |
| | Taux de retour sur l'investissement | X | |
| | Gamme de produit et services | | X |
| | Variation par rapport au budget | X | |
| | Temps d'approvisionnement d'une commande | | X |
| | Flexibilité du système de service pour rencontrer un besoin particulier du client | | X |
| | Niveau d'entraide entre l'acheteur et le fournisseur | X | X |
| | Temps d'approvisionnement d'un fournisseur par rapport aux normes de l'industrie | | X |
| | Capacité du fournisseur à effectuer des livraisons sans défaut | | X |
| | Temps de livraison | | X |
| | Performance des livraisons | X | X |
| Tactique | Précision des techniques de prévision | | X |
| | Temps de cycle de développement de produit | | X |
| | Méthodes d'entrée de commandes | | X |
| | Efficacité de la méthode de facturation des livraisons | | X |
| | Temps de cycle d'un bon de commande | | X |
| | Temps de cycle des processus planifiés | | X |
| | Efficacité du plan directeur de production | | X |
| | Assistance du fournisseur dans la résolution de problèmes techniques | | X |
| | Habileté du fournisseur à répondre aux problèmes de qualité | | X |
| | Initiatives de réduction de coût du fournisseur | X | |
| | Procédures de pré-vente du fournisseur | | X |
| | Fiabilité des livraisons | X | X |
| | Habileté à répondre aux livraisons urgentes | | X |
| | Efficacité du plan directeur de distribution | | X |

Tableau 2-13 Mesures de performance de Gunasekaran et al. (2001) (suite)

| Niveau | Mesures de performance | Fin. | Non-fin. |
|---------------|--|------|----------|
| Opéra-tionnel | Coût horaire par opération | X | |
| | Information sur le coût de maintien en stock | X | X |
| | Utilisation de la capacité | | X |
| | Stock total : (Niveau de stock à la réception, d'en-cours, de rebut et de produits finis en transit) | X | |
| | Taux de rejet du fournisseur | X | X |
| | Qualité de la documentation de livraison | | X |
| | Efficacité du temps de cycle des bons de commandes | | X |
| | Fréquence de livraison | | X |
| | Fiabilité du conducteur pour la performance | | X |
| | Qualité des biens livrés | | X |
| | Atteinte de livraisons sans défaut | | X |

À partir des mesures de performance du modèle SCOR 5.0 et de Gunasekaran et al. (2001), il est possible d'établir celles qui sont pertinentes à la logistique inverse par niveau hiérarchique. Aussi, d'autres mesures de performance sont ajoutées basées sur mon expérience et les remarques de certains auteurs. Le tableau 2-14 résume les trente-huit mesures de performance.

Dans les colonnes sources, le X note la provenance de la mesure de performance, soit du modèle SCOR 5.0 (SCOR), de Gunasekaran et al. (2001) (Gun.) ou des nouvelles mesures proposées (Nouv.). La lettre I, quant à elle, indique que la nouvelle mesure est inspirée d'une existante. Ainsi, neuf nouvelles mesures sont ajoutées dont cinq sont inspirées d'une mesure existante. Au niveau stratégique, neuf mesures sont données. Le niveau stratégique comporte trois nouvelles mesures dont deux sont inspirées par Gunasekaran et al. (2001), le niveau de service perçu par le client, le temps de cycle de traitement d'un retour et l'investissement monétaire en logistique inverse. Ces trois mesures trouvent leur justification dans Dawe (1995) et Stock (2001). Quant au niveau tactique, il comprend seize mesures de performance dont quatre nouvelles : la conformité environnementale, la méthode d'entrées des demandes de retour, temps de cycle des activités et la valeur des produits retournés. Étant donné les lois environnementales de plus en plus strictes, il est important d'ajouter cette première

mesure. Les deux suivantes sont inspirées de Gunasekaran et al. (2001) et permettent le calcul d'une mesure de plus haut niveau. La dernière mesure permet de quantifier monétairement les retours et d'établir la responsabilité de l'entreprise. Finalement, deux nouvelles mesures parmi les treize mesures du niveau opérationnel sont requises : le temps pour collecter le produit et le temps total pour servir le client. Ces deux mesures servent à des étapes différentes du processus et font partie du calcul du temps de cycle total au niveau stratégique. Pour terminer cette section, il est à noter que le choix des mesures est conséquent au chapitre suivant. En effet, un bon nombre de mesures auraient pu être incluses, surtout du modèle SCOR 5.0, mais la décision de présenter seulement celles qui sont utilisées dans le cadre conceptuel par la suite a été prise.

Tableau 2-14 Mesures de performance pour la logistique inverse

| Mesures de performance | Sources | | |
|---|---------|-------|-------|
| | SCOR | Gune. | Nouv. |
| <i>Stratégique</i> | | | |
| Facilité d'ajuster la capacité rapidement (Flexibilité) | X | | |
| Investissement monétaire en logistique inverse | | | X |
| Niveau de service perçu par le client | I | | X |
| Performance des livraisons | X | | |
| Profit net vs. Ratio de productivité | X | | |
| Taux de retour sur l'investissement | X | | |
| Temps de cycle de traitement d'un retour | I | | X |
| Temps de livraison | X | | |
| Variation par rapport au budget | X | | |
| <i>Tactique</i> | | | |
| Conformité environnementale | | | X |
| Coûts d'autorisation de retours des produits | X | | |
| Coûts de disposition | X | | |
| Coûts de garantie | X | | |
| Coûts de gestion et de planification | X | | |
| Coûts de réception et d'entreposage des retours | X | | |
| Coûts de réception exprimés en % des « Coûts de retour des produits » | X | | |
| Coûts de retour des produits | X | | |
| Coûts par demande d'autorisation | X | | |
| Efficacité du plan directeur de production | | X | |

Tableau 2-14 Mesures de performance pour la logistique inverse (suite)

| Mesures de performance | Sources | | |
|--|----------------|-------|-------|
| | SCOR | Gune. | Nouv. |
| <i>Tactique</i> | | | |
| Fiabilité des livraisons | | X | |
| Méthodes d'entrées des demandes de retour | | I | X |
| Niveau d'emploi total | X | | |
| Précision des techniques de prévision | | X | |
| Temps de cycle des activités | | I | X |
| Valeur des produits retournés | | | X |
| <i>Opérationnelle</i> | | | |
| Atteinte de livraison sans défaut | | X | |
| Coût d'ouverture d'une autorisation de retour de produit | X | | |
| Coût horaire par opération | | X | |
| Coûts de vérification des retours | X | | |
| Exactitude du diagnostic | X | | |
| Information sur le coût de maintien en stock | | X | |
| Niveau des stocks | X | X | |
| Nombre de jours de stocks | X | | |
| Qualité de la documentation de livraison | | X | |
| Qualité des biens livrés | | X | |
| Temps pour collecter le produit | | | X |
| Temps total pour servir un client | | I | X |
| Utilisation de la capacité | X | X | |

2.7. Conclusion

La revue de la littérature a permis de faire ressortir les principaux processus, les activités, plusieurs décisions, les aspects économiques et les mesures de performance pour l'élaboration du cadre conceptuel du prochain chapitre. De plus, lorsque possible, une division par niveaux hiérarchiques a été faite, c'est-à-dire stratégique, tactique et opérationnel.

Plusieurs raisons justifient la volonté à mettre en place un système de logistique inverse. Par ailleurs, de plus en plus de lois imposent aux entreprises de le faire. Il faut se rappeler que les auteurs proposent quatre étapes pour un système de logistique inverse, la barrière, la collecte, le tri et le traitement. En plus, il y a la coordination, le système d'information et le système d'expédition qui s'ajoutent au système. Aussi, la revue de la

littérature a permis d'identifier les aspects économiques c'est-à-dire les coûts et revenus. Par ailleurs, plusieurs des mesures de performance énumérées précédemment peuvent être utilisées directement ou adaptées. Cependant, l'existence d'une démarche structurée pour la mise en place ou l'amélioration d'un système de logistique inverse n'a pas été recensée. Le prochain chapitre tente de combler ce manque en proposant un cadre conceptuel de la logistique inverse.

CHAPITRE III - CADRE CONCEPTUEL DE LA LOGISTIQUE INVERSE

3.1 Introduction

La littérature de la logistique inverse traitée au chapitre précédent ne montre pas l'existence de modèle complet de tous les processus à mettre en place pour qu'un système de logistique inverse soit efficient. En conséquence, le but de ce chapitre est de combler ce manque en proposant un cadre conceptuel de la logistique inverse qui inclut tous les processus nécessaires ainsi qu'une méthode d'utilisation simple et claire. Par ailleurs, l'applicabilité de ce cadre conceptuel doit être démontrée.

Avant d'entrer dans les détails du cadre conceptuel de la logistique inverse, il est de mise de définir l'expression qui compose ce chapitre soit le cadre conceptuel. En se basant sur le Petit Larousse 2005, le mot cadre prend le sens de ce qui délimite un sujet. Le Petit Robert ajoute une notion de structure. Le mot conceptuel signifie que c'est de l'ordre du concept, c'est-à-dire une représentation générale et abstraite d'un objet ou d'un ensemble d'objets. De la sorte, la définition de cadre conceptuel retenue est : « la délimitation structurée d'une représentation générale et abstraite d'un sujet ». Dans la présente recherche, le sujet est la logistique inverse.

Le cadre conceptuel de logistique inverse vient structurer un ensemble de processus et doit comporter les éléments nécessaires au bon fonctionnement d'un système de logistique inverse. Chacun des processus est étudié en détail par rapport aux opérations de l'entreprise qui sont nécessaires pour mettre en place un système de logistique inverse bien adapté. Ces opérations ont été déterminées par l'expérience et par les observations faites en entreprises à propos des systèmes de la logistique inverse. Ainsi, la méthodologie de recherche utilisée est la suivante : 1) faire la cartographie détaillée de chaque processus identifié, 2) déterminer les décisions stratégiques, tactiques et opérationnelles pour chaque processus, 3) identifier les implications tangibles et intangibles, 4) déterminer les mesures de performance pour chaque processus et 5) valider à l'aide d'applications pratiques.

Les objectifs visés par le cadre conceptuel de la logistique inverse sont la facilité d'utilisation, la mise en œuvre de bonnes pratiques et la généralisation à un grand nombre de cas rencontrés dans la pratique. De plus, les limites de ce cadre conceptuel sont discutées. La littérature a permis d'identifier sept processus pour un système de logistique inverse : la barrière, la collecte, le tri, le traitement, le système d'information, le système d'expédition et le système de coordination globale. Chacun des processus du cadre conceptuel est cartographié dans le but de faire ressortir les décisions et les variantes qui peuvent exister dans la réalité. Une fois la cartographie effectuée, il est alors possible d'établir une hiérarchie des décisions selon les niveaux stratégiques, tactiques et opérationnels, d'identifier les implications tangibles et intangibles et d'élaborer des mesures de performance pour chacun des processus. En dernier lieu, l'applicabilité du cadre conceptuel est vérifiée par des cas industriels afin de s'assurer que l'objectif d'avoir une définition englobante est atteint.

Le chapitre est divisé de la façon suivante : la méthodologie, la proposition du cadre conceptuel, son utilisation, l'applicabilité du cadre conceptuel et la conclusion.

3.2 Méthodologie

Pour atteindre les objectifs visés par le cadre conceptuel de la logistique inverse, il faut une façon de présenter et d'organiser l'information sur les processus de la logistique inverse qui est simple à comprendre et polyvalente. Le cadre conceptuel doit être capable aussi d'accommoder un grand nombre de situations rencontrées dans l'industrie autant les réparations sous garantie, que les contenants réutilisables, les produits en fin de vie, la récupération, etc. Ainsi, la démarche utilisée comporte quatre étapes. La première étape est de faire la cartographie de chacun des processus. Ceci permet de bien comprendre les activités et par le fait même d'être en mesure d'identifier les décisions, les aspects économiques et les mesures de performance particulières à chaque processus par la suite. La dernière étape est de faire une division par niveau hiérarchique.

Le cadre conceptuel décrit par la suite ne traite pas des points suivants :

- il considère seulement les acteurs en contact direct avec le système de logistique inverse;
- le niveau opérationnel n'est pas abordé en détail tout comme l'aspect transactionnel.

Le premier point ignore les acteurs externes au système de logistique inverse de l'entreprise. Ceci est nécessaire parce que l'entreprise n'a généralement pas beaucoup d'influence ou de contrôle sur le comportement de ces acteurs. La principale raison qui motive le deuxième point est que le but du cadre conceptuel n'est pas de dire exactement quoi faire à l'entreprise. Il se veut plutôt un outil d'aide à la décision dans l'élaboration d'un système de logistique inverse. De plus, il existe trop de particularités pour être en mesure de faire une cartographie générique.

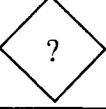
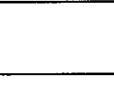
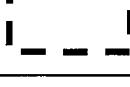
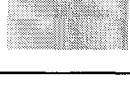
Enfin, le cadre conceptuel est élaboré dans la perspective d'une entreprise responsable, avec de bonnes pratiques en logistique inverse et avec l'existence de plusieurs politiques de retour à l'intérieur d'une même organisation. La démarche pour la cartographie, les décisions, les aspects économiques et les mesures de performance sont discutés par la suite ainsi que les limites particulières à chacune des parties.

3.2.1 *Cartographie*

La cartographie a pour objectif de décrire graphiquement les activités de chacun des processus. Pour ce faire, cinq symboles sont utilisés. Le losange représente une question ou un choix. Le rectangle normal indique une activité. Le rectangle gras renvoie vers un processus. Un processus correspond à une étape. Le rectangle gras pointillé renvoie vers un sous-processus. Le sous-processus fait référence à une activité complexe ou standardisée appartenant à un processus. Finalement, la flèche indique la direction du flux du processus dans le diagramme. Un symbole grisé est associé à la responsabilité du client. Le tableau 3-1 résume la signification des symboles. Le cadre essaie de traiter le plus de cas possibles, donc certaines des activités contenues dans les processus ou sous-processus peuvent être enlevées sans en affecter le bon fonctionnement. Ainsi, la

cartographie se veut générique, c'est-à-dire qu'elle représente la majorité des organisations possibles. Par contre, le degré de détail n'est pas poussé jusqu'au niveau des procédures de travail. Lors du développement d'un système de logistique inverse, la cartographie sert de point de départ et les activités jugées non-nécessaires sont simplement éliminées du processus mis en place. Il est à noter qu'il est possible par exemple que le processus de barrière soit différent à l'intérieur d'une même entreprise pour deux types de retours différents.

Tableau 3-1 Symbole pour la cartographie

| Symbole | Définition |
|---|--------------------------|
|  | Question/Choix |
|  | Activité |
|  | Processus |
|  | Sous-processus |
|  | Direction/Sens du flot |
|  | Responsabilité du client |

3.2.2 *Décisions*

L'objectif de cette partie est d'établir la liste des questions auxquelles un gestionnaire doit répondre concernant son système de logistique inverse soit pour l'améliorer ou pour en mettre un en place. L'élaboration de la liste des décisions regroupée par processus est bâtie en trois étapes successives. En premier, une liste de décisions est obtenue à partir

de la cartographie des processus. Ainsi, un questionnement est fait pour chaque symbole de la cartographie d'un processus de façon à trouver ses décisions. En deuxième, la revue de littérature est analysée pour faire ressortir les éléments de décisions en les associant à un processus. En troisième, un examen des processus en termes de coût-bénéfice est fait. Finalement, la liste obtenue de décisions par processus est classée par niveau hiérarchique.

3.2.3 Aspects économiques

Cette partie a pour but de faire ressortir les éléments de coûts qu'un gestionnaire devrait avoir en main pour prendre des décisions concernant un système de logistique inverse. La revue de littérature du chapitre précédent a permis d'identifier les coûts des différents besoins pour pouvoir fonctionner correctement. Les besoins ont été détaillés par éléments de coûts. Par la suite pour chaque processus, les besoins sont indiqués et la variation des coûts est précisée avec plus de détail. Du côté des revenus, ils n'interviennent qu'au niveau d'un seul processus, le traitement.

3.2.4 Mesures de performance de la logistique inverse

Le but de cette partie est de donner à l'entreprise des moyens de mesurer la performance de chacun des processus de la logistique inverse. Trente-huit mesures de performance réparties sur les trois niveaux hiérarchiques ont été retenues au chapitre précédent. Maintenant, il faut déterminer lesquelles de ces mesures sont appropriées pour chaque processus. Le tableau 3-2 présente les mesures de performance par un X dans la colonne du processus où 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7 représentent respectivement les processus de coordination, la barrière, la collecte, le tri, le traitement, le système d'information et le système d'expédition. Le détail du choix de chacune des mesures est fait par la suite.

3.3 Proposition

Le cadre conceptuel proposé est composé des sept processus mentionnés plus haut. Chaque sous-section donne la description d'un processus ainsi que sa cartographie, ses décisions, ses coûts et ses mesures de performance. La décomposition des trois derniers éléments est faite par niveau stratégique, tactique et opérationnel. La figure 3-1 montre les sept processus du cadre conceptuel et leur interrelation.

3.3.1 Coordination du système de logistique inverse

Le processus de coordination du système de logistique inverse correspond aux tâches du gestionnaire responsable de la fonction de la logistique inverse en entreprise. Ce processus a pour but de responsabiliser une personne et d'assurer un processus d'amélioration continue de la logistique inverse dans l'entreprise. De plus, le processus assure un suivi avec la haute direction de l'entreprise.

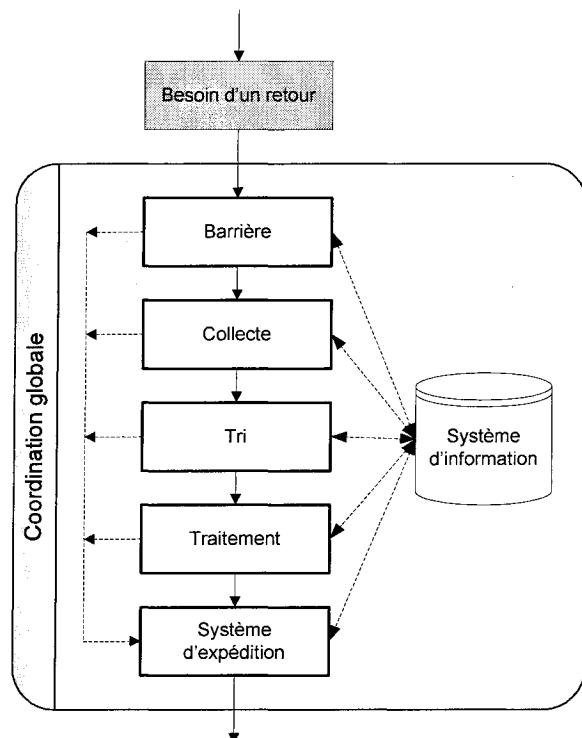


Figure 3-1 Les processus du système de logistique inverse

Tableau 3-2 Mesures de performance du cadre conceptuel

| Mesures de performance | Processus | | | | | | |
|---|-----------|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| <i>Stratégique</i> | | | | | | | |
| Facilité d'ajuster la capacité rapidement (Flexibilité) | | | | | X | | |
| Investissement monétaire en logistique inverse | X | | | | | | |
| Niveau de service perçu par le client | X | | | | | | |
| Performance des livraisons | | | | | | | X |
| Profit net vs. Ratio de productivité | X | | | | | | |
| Taux de retour sur l'investissement | X | | | | | | |
| Temps de cycle de traitement d'un retour | X | | | | | | |
| Temps de livraison | | | | | | | X |
| Variations par rapport au budget | X | X | X | X | X | X | X |
| <i>Tactique</i> | | | | | | | |
| Conformité environnementale | X | | | | | | |
| Coûts d'autorisation de retours des produits | X | | | | | | |
| Coûts de disposition | | | | | X | | |
| Coûts de garantie | X | | | | | | |
| Coûts de gestion et de planification | | | | | X | | |
| Coûts de réception et d'entreposage des retours | | | | X | | | |
| Coûts de réception exprimés en % des « Coûts de retour des produits » | | | | X | | | |
| Coûts de retour des produits | X | | | | | | |
| Coûts par demande d'autorisation | X | | | | | | |
| Efficacité du plan directeur de production | | | | | X | | |
| Fiabilité des livraisons | | | | | | | X |
| Méthodes d'entrées des demandes de retour | | X | | | | | |
| Niveau d'emploi total | X | | | | | | |
| Précision des techniques de prévision | X | | | | | | |
| Temps de cycle des activités | | | | | X | | |
| Valeur des produits retournés | X | | | | | | |
| <i>Opérationnelle</i> | | | | | | | |
| Atteinte de livraison sans défaut | | | | | | | X |
| Coût d'ouverture d'une autorisation de retour de produit | | X | | | | | |
| Coût horaire par opération | X | X | X | X | X | X | X |
| Coûts de vérification des retours | | | | X | | | |
| Exactitude du diagnostic | | | | | X | | |
| Information sur le coût de maintien en stock | X | | | | | | |
| Niveau des stocks | X | | | | | | |
| Nombre de jours de stocks | X | | | | X | | |
| Qualité de la documentation de livraison | | | | | | | X |
| Qualité des biens livrés | | | | | | | X |

Tableau 3-2 Mesures de performance pour la logistique inverse (suite)

| Mesures de performance | Processus | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| <i>Opérationnelle</i> | | | | | | | |
| Temps pour collecter le produit | | | X | | | | |
| Temps total pour servir un client | | X | | | | | |
| Utilisation de la capacité | X | | | | | | |

a) Cartographie

Le processus de coordination globale ne comporte pas de cartographie en temps que tel. Par contre, la figure 3-2 propose une démarche séquentielle pour la conception ou l'amélioration d'un système de logistique inverse. Cette démarche est inspirée par celle de ce chapitre. Elle débute par la prise des décisions pour chacune des étapes et systèmes du cadre conceptuel en débutant par le niveau stratégique et en descendant jusqu'au niveau opérationnel. De plus, la connaissance des aspects financiers rattachés à chaque étape et au système est indispensable à la prise de bonnes décisions. La deuxième étape établit les mesures de performance en support au système de logistique inverse développé à la première étape. Donc, il faut choisir les mesures de performance pour chaque élément et système et établir leur objectif. La troisième étape est l'implantation du nouveau système de logistique inverse. La quatrième et dernière étape est le contrôle et le pilotage du système. Par ce mécanisme, il est alors possible d'ajuster les objectifs des mesures de performance ou bien d'initier un retour à l'étape 1. Cette étape correspond à une boucle d'amélioration continue.

b) Décisions

Pour ce premier processus, vingt-trois décisions sont identifiées au tableau 3-3. Le niveau stratégique (S) comporte les onze décisions suivantes : faire soi-même en partie ou totalité ou impartir toute la logistique inverse, intégrer ou ne pas intégrer la logistique inverse à la chaîne logistique, évaluer l'expertise de l'entreprise en logistique inverse, établir les politiques pour les opérations (production et stocks), décider de mettre en place un système de gestion de l'environnement, connaître les impacts de la conception

du produit, évaluer le cycle de vie des produits, établir les grandes lignes des politiques de retour, établir les directives d'entreprise concernant l'utilisation de matières dangereuses, faire soi-même le transport ou l'impartir tout ou en partie et connaître les lois, directives et règlements en vigueur. Au niveau tactique (T), les six décisions sont de définir les politiques de retours (garantie, retours commerciaux, etc.), d'élaborer un programme de formation, d'élaborer les nomenclatures de produits, de définir les indicateurs de performance, de développer un système de gestion des stocks et de développer un système de planification de la production. Finalement, les six décisions du niveau opérationnel (O) sont de faire la formation, de gérer les activités (relâche, relance et suivi), de gérer les stocks, de contrôler les coûts, de faire les rapports et d'analyser les retours dans le but d'améliorer les produits.

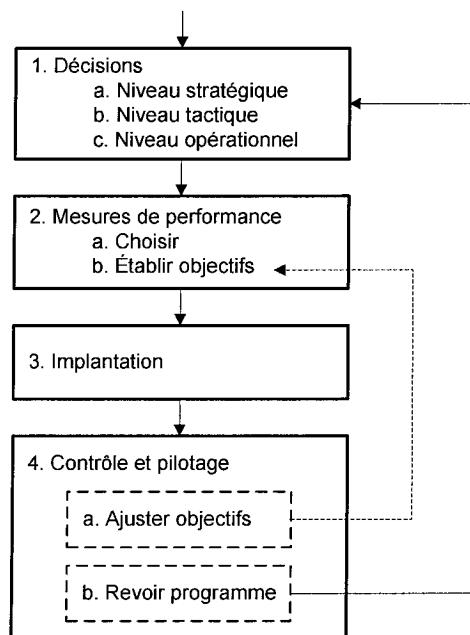


Figure 3-2 Conception et amélioration d'un système de logistique inverse

c) Aspects économiques

La gestion du système, c'est-à-dire les besoins administratifs, entraîne des coûts au niveau de deux besoins : l'espace de travail et le personnel. Les besoins pour la gestion

du système varient en fonction des activités, du nombre d'employés et du volume de retours.

Tableau 3-3 Décisions globales au système de logistique inverse

| Décisions | Niveau | | |
|--|--------|---|---|
| | S | T | O |
| - Faire soi-même en partie ou totalité ou imparter toute l'activité | X | | |
| - Intégrer ou ne pas intégrer la logistique inverse à la chaîne logistique | X | | |
| - Évaluer l'expertise de l'entreprise en logistique inverse | X | | |
| - Établir les politiques pour les opérations | X | | |
| - Décider de mettre en place un système de gestion de l'environnement | X | | |
| - Connaître les impacts de la conception du produit | X | | |
| - Évaluer le cycle de vie des produits | X | | |
| - Établir les grandes lignes des politiques de retour | X | | |
| - Établir les directives d'entreprise concernant les matières dangereuses | X | | |
| - Faire soi-même le transport ou l'impartir | X | | |
| - Connaître les lois, directives et règlements en vigueur | X | | |
| - Définir les politiques de retours | | X | |
| - Élaborer un programme de formation | | X | |
| - Élaborer les nomenclatures de produits | | X | |
| - Définir les indicateurs de performance | | X | |
| - Développer un système de gestion des stocks | | X | |
| - Développer un système de planification de la production | | X | |
| - Former le personnel | | | X |
| - Gérer les activités | | | X |
| - Gérer les stocks | | | X |
| - Contrôler les coûts | | | X |
| - Faire les rapports | | | X |
| - Analyser les retours dans le but d'améliorer les produits | | | X |

d) Mesures de performance de la logistique inverse

Comme indiqué au tableau 3-2, dix-neuf mesures de performance ont été retenues pour la coordination globale dont six, huit et cinq pour les niveaux stratégique, tactique et opérationnel respectivement. Les quatre mesures stratégiques suivantes : l'investissement monétaire en logistique inverse, le profit net versus le ratio de productivité, le taux de retour sur l'investissement et les variations par rapport au budget cherchent à évaluer la performance financière du système de logistique inverse. Les

deux autres, soit le temps de cycle de traitement d'un retour et le niveau de service perçu par le client, mesurent l'efficacité du système par rapport au temps ou la satisfaction du client. La nature monétaire domine encore une fois, cinq mesures sont attribuées au niveau tactique; le coût d'autorisation de retours des produits, le coût de garantie, le coût de retour des produits, le coût par demande d'autorisation, la valeur des produits retournés. Les trois autres mesures touchent la conformité environnementale, le niveau d'emploi total et la précision des techniques de prévision. Finalement, le niveau opérationnel comporte quatre mesures financières : le coût horaire par opération, l'information sur le coût de maintien en stock, le niveau des stocks et le nombre de jours de stocks. L'utilisation de la capacité est la dernière mesure et permet de déterminer si une bonne utilisation de la capacité est faite.

3.3.2 *Étape 1 : Barrière*

La première étape du système de logistique inverse est une barrière qui permet ou empêche l'entrée des produits dans le système de logistique inverse. L'élément initiateur de cette première étape du modèle selon Giuntini et Andel (1995) est la reconnaissance du besoin d'un retour. L'étape Barrière consiste à filtrer les retours vers l'entreprise. Ainsi, elle cherche à éviter que des produits ne lui appartenant pas ou envers lesquels elle n'a pas d'obligation contractuelle ou légale lui soit retournés. Normalement, cette étape conduit à l'acceptation du retour ou à son refus.

a) *Cartographie*

L'intrant du système de logistique inverse est un retour. Les générateurs de demande au système de logistique inverse sont les rebuts de production, les produits eux-mêmes et l'emballage comme expliqué au chapitre précédent. La barrière sert pour les différentes justifications montrées au tableau 2-3.

Pour les problèmes techniques, illustrés à la figure 3-3, l'entreprise met en place différents moyens afin d'aider le client. Il est courant dans plusieurs secteurs d'activités d'avoir à passer par un service d'assistance technique de l'entreprise avant d'accéder à la

barrière. L'assistance peut se faire par téléphone, Internet ou même en magasin. Son principal but est d'aider le consommateur avec un produit qui ne répond pas à ses attentes. Dans le meilleur des cas, le problème est résolu et il n'y a pas de retour. Dans le cas où le service technique n'a pas été en mesure d'aider ou de solutionner le problème, il faut procéder vers la barrière. Ce point est expliqué en détail par la suite. L'assistance technique est une bonne source d'information pour l'entreprise désirant améliorer ses produits et services. Donc, cette première raison commerciale touche plus aux défauts de fonctionnement du produit. Les produits défectueux doivent être remis en état de marche ou de fonctionnement. Ce sous-processus est vu subséquemment dans l'étape Traitement. Les politiques de service après-vente élaborées par l'entreprise vont définir différents processus à mettre en place telles que, la réparation ou le remplacement aux frais de l'entreprise ou aux frais du client, etc. Ces choix sont présentés au client à l'étape Barrière. Dans le cas des rappels, l'entreprise doit informer les clients et rejoindre la presque totalité de ceux-ci.

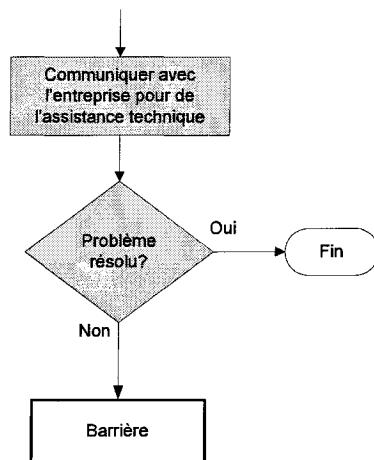


Figure 3-3 Processus d'assistance technique

Les responsabilités légales et environnementales, présentées à la figure 3-4, proviennent du fait que plusieurs pays ont mis en place des lois pour diminuer la quantité de produits envoyés vers les sites d'enfouissement (Lee et al. (1998) et Langnau (2001a)) en plus de

toutes les clauses contractuelles permettant aux clients de retourner un produit. Ceci force les entreprises à mettre en place un système de logistique inverse.

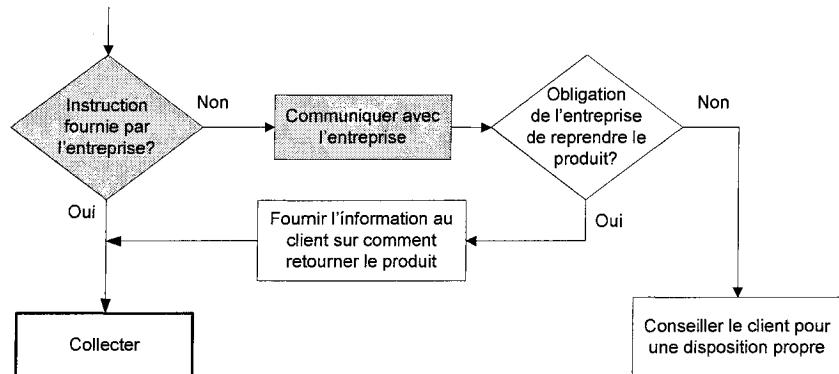


Figure 3-4 Responsabilités légales et environnementales

Wu et Dunn (1995) expliquent qu'il est possible de réduire de façon significative l'impact environnemental négatif grâce à une gestion efficace et à une sensibilisation aux implications environnementales des activités de la logistique. Puisque le cadre conceptuel considère que l'entreprise est responsable, celle-ci doit se donner les moyens de reprendre ses produits en fin de vie, le matériel d'emballage, etc. Aussi, l'entreprise peut par une philosophie environnementale (et ISO14000) chercher à diminuer son impact sur l'environnement en mettant en place un programme de contenants réutilisables, de revalorisation des produits en fin de vie ou de recyclage pour ne nommer que quelques options qui s'offrent à elle. Dans ce cas, l'entreprise doit au minimum fournir l'information nécessaire au client pour que celui-ci puisse disposer du produit proprement. Dans certaines circonstances, l'étape Barrière n'est pas nécessaire et il est possible de passer directement à l'étape Collecte. C'est le cas pour les produits recyclables, par exemple les cartouches d'imprimante laser ou les contenants réutilisables. En fait, le maintien de l'étape Barrière alourdit le processus et coûte cher à l'entreprise puisqu'elle n'en a pas besoin.

De l'information sur le retour doit être fournie lors d'une demande d'autorisation de retour. Celle-ci varie en fonction du type de retour et des contrats qui lient l'entreprise à

ses différents clients. Par exemple, pour un retour commercial l'information fournie est le numéro du produit, la quantité et le numéro de facture. Pour ce qui est du retour d'un produit défectueux, l'entreprise peut demander le numéro de série, le modèle, le numéro de facture (si acheté directement de l'entreprise) ou une copie de la facture pour connaître la date d'achat et ainsi déterminer si le produit est toujours sous garantie, etc. L'entreprise donne un numéro d'autorisation au client pour le retour et les renseignements recueillis sont entrés dans le système d'information de l'entreprise pour être utilisés dans les étapes subséquentes. Il se peut que le client se voie refuser sa demande de retour. Les raisons peuvent être variées, contractuelles, ou encore parce que le client ne peut fournir l'information demandée, etc. À ce moment, le client peut forcer la barrière en décidant d'expédier le produit même s'il n'a pas obtenu l'autorisation. L'entreprise doit donc prévoir un mécanisme pour traiter ces quelques exceptions dans le processus. Dépendamment des politiques de l'entreprise et du type de retour, il se peut qu'une compensation soit donnée immédiatement au client après avoir obtenu l'autorisation de retour. Souvent dans ce cas, l'emballage du produit d'échange est réutilisé pour expédier le retour et les détails d'expédition sont fournis par la même occasion. La figure 3-5 résume le processus de l'étape Barrière.

Une autre situation particulière existe, celle où l'entreprise n'exige pas que le produit lui soit retourné ou alors que seulement une partie du produit soit retourné comme par exemple la première page (couverture) d'un livre. Les raisons le justifiant sont généralement de nature économique. En effet, il en coûterait plus cher de retourner le produit par rapport à la valeur que l'entreprise peut en obtenir. Lorsqu'aucun produit n'est retourné, il est plus difficile de contrôler la demande de crédit pour le retour que dans la situation où une partie est retournée.

L'étape Barrière peut ne pas être nécessaire dans le cas de la réutilisation, la revalorisation ou le recyclage. Par contre, le client doit avoir l'information nécessaire pour diriger le retour vers le bon endroit à l'étape Collecte.

b) Décisions

Le tableau 3-4 donne les dix décisions pour l'étape Barrière. Les deux décisions stratégiques (S) sont de faire le choix de localisation physique de l'étape et de connaître les considérations légales et fiscales d'occuper un local. Pour le niveau tactique (T), il y a les huit décisions suivantes : centraliser ou non l'activité, définir le support technique offert, vérifier s'il en coûte moins cher de faire à l'interne par rapport à la sous-traitance, choisir la ou les langues de communication, définir les moyens de communication, décider si une demande d'autorisation de retour est nécessaire (par produit, par client, etc.), établir les vérifications à faire avant d'autoriser un retour et décider les cas où le produit doit être retourné.

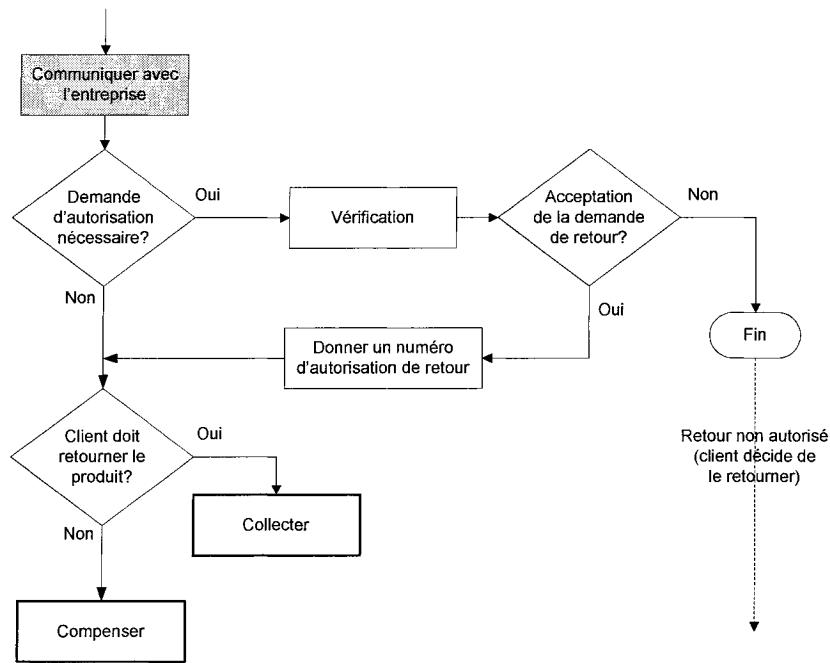


Figure 3-5 Processus de l'étape Barrière

c) Aspects économiques

Pour l'étape Barrière, il y a trois besoins qui entraînent des coûts : le personnel, la bureautique et les locaux occupés. Les besoins de cette étape varient en fonction du volume de demandes de retour et du niveau de service désiré par l'entreprise.

Tableau 3-4 Décisions pour l'étape Barrière

| Décisions | Niveau | | |
|--|--------|---|---|
| | S | T | O |
| - Choisir la localisation | X | | |
| - Connaître les considérations légales et fiscales d'avoir un espace | X | | |
| - Centraliser ou non l'activité Barrière | | X | |
| - Définir le support technique offert | | X | |
| - Vérifier s'il en coûte moins cher de faire à l'interne | | X | |
| - Choisir les langues de communication | | X | |
| - Définir les moyens de communication | | X | |
| - Décider si une demande d'autorisation de retour est nécessaire | | X | |
| - Établir les vérifications à faire avant d'autoriser un retour | | X | |
| - Décider les cas où le produit doit être retourné | | X | |

d) Mesures de performance de la logistique inverse

À l'étape Barrière, un total de cinq mesures de performance sont retenues au tableau 3-2. Le niveau stratégique et tactique en comporte une chacune tandis que le niveau opérationnel en possède trois. Au niveau stratégique, les variations par rapport au budget permettent de voir les écarts des coûts d'opération de l'étape Barrière. Les méthodes d'entrées des demandes de retour est la seule mesure de performance pour le niveau tactique. Trois mesures de performance opérationnelle sont retenues : le coût horaire par opération et le coût d'ouverture d'une autorisation de retour de produit. Le temps pour servir un client mesure l'efficacité de la première étape du système de logistique inverse afin de comparer avec l'objectif.

3.3.3 Étape 2 : Collecte

L'étape Collecte comporte deux volets : l'enlèvement et le transport du retour. La responsabilité de l'enlèvement du retour peut donc incomber au client, à un tiers ou à l'entreprise. Dans le cas des produits complexes ou dispendieux, l'entreprise met généralement en place un réseau de distribution et de réparation afin de desservir chacun des territoires. La raison du retour influence directement l'action à prendre.

a) Cartographie

La figure 3-6 montre les deux volets. L'enlèvement consiste à reprendre au client le produit devant être retourné. La méthode de reprise peut être très variée. Le client peut ramener le bien à retourner au point de vente ou à un centre autorisé, l'envoyer par la poste, ou encore une personne autorisée peut aller chercher le bien directement chez lui.

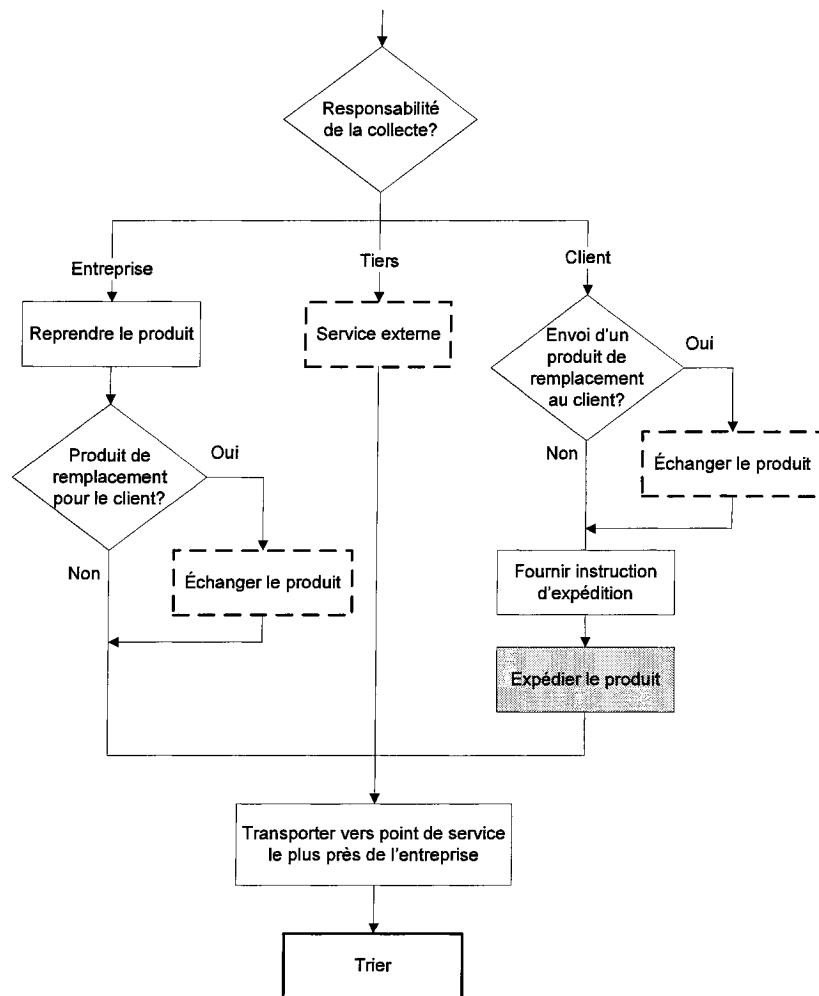


Figure 3-6 Processus de l'étape Collecter

Par exemple, pour les réparations sous garanties le concessionnaire automobile effectue le service à la place du manufacturier automobile. Certaines pièces défectueuses remplacées sur le véhicule du client sont conservées et envoyées à intervalle régulier au

manufacturier automobile. Celui-ci peut par la suite en faire l'analyse ou les retourner aux fournisseurs. Un autre exemple est l'utilisation d'un technicien de service pour les produits électroniques (photocopieurs, ordinateurs, etc.). La figure 3-7 illustre ce type de processus. Le technicien se rend chez le client, fait le diagnostic et effectue la réparation du produit. Les pièces enlevées lors de la réparation sont retournées ou pas tout dépendant des politiques.

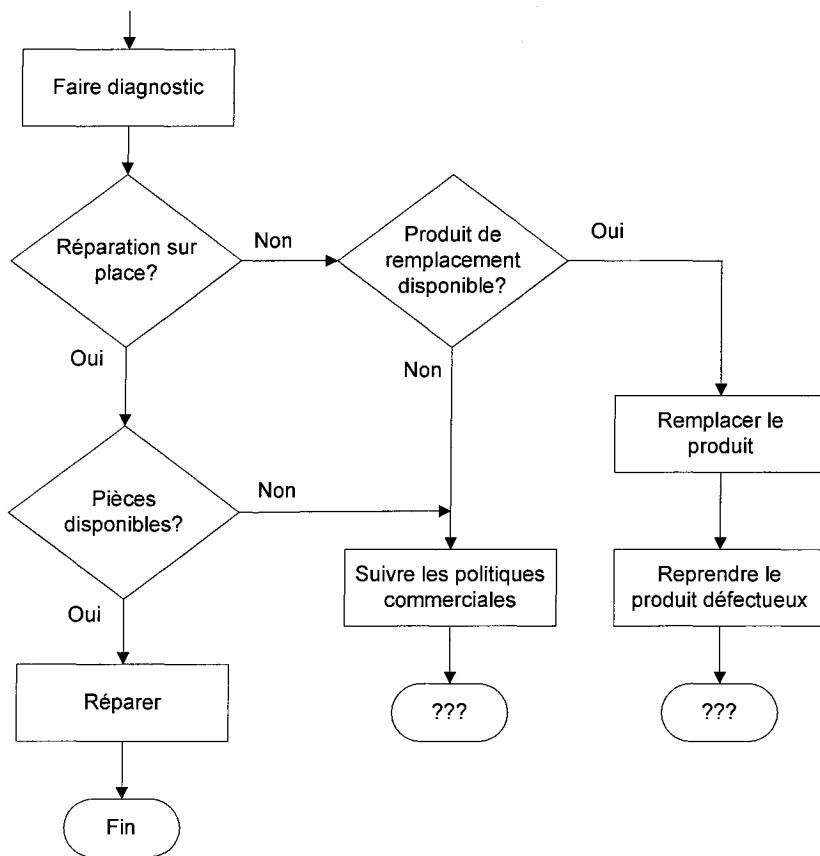


Figure 3-7 Sous-processus du service externe : Technicien de service

Lorsque le bien est retourné en état de marche, par exemple lors de la fin du contrat de location, l'enlèvement peut être fait par un tiers ou par l'entreprise. Par contre, si le retour est fait par le client, l'entreprise doit fournir toutes les instructions pour s'assurer que le bien est retourné au bon endroit. Cette étape est souvent faite conjointement avec l'étape Barrière. Il se peut que l'entreprise retourne au client un produit de

remplacement accompagné des instructions pour le retour et la réutilisation de l'emballage pour réexpédier le produit défectueux. Le choix de la méthode de reprise dépend du niveau de service que l'entreprise désire donner, du produit, des coûts impliqués, etc.

Dépendamment de la complexité du réseau de logistique inverse, tel qu'illustré à la figure 2-1, l'entreprise doit faire le tri et la consolidation des retours avant de les acheminer vers leurs destinations finales. Les produits retournés prennent différentes directions selon la raison du retour ou leur état comme l'indique Rogers et Tibben-Lembke (1998). Dans certains cas, il n'est pas souhaitable de transporter le produit plus loin compte tenu de son état ou de sa nature et il est recyclé immédiatement. Puisqu'il y a plusieurs activités associées à la logistique inverse, l'entreprise peut avoir plusieurs centres de traitement pour desservir l'ensemble des territoires ou un territoire spécifique. Lorsque le produit retourné atteint sa destination, il est mis en attente pour l'étape suivante, le tri.

b) Décisions

L'étape Collecte comporte dix décisions présentées au tableau 3-5. Au niveau stratégique (S), les quatre décisions sont de déterminer le niveau de service désiré qui aura une influence sur le délai de transport, de voir si le retour doit être transporté, de décider qui paye et qui est responsable de la collecte c'est-à-dire le client ou l'entreprise comme défini par la politique et de faire soi-même le transport ou l'impartir si l'entreprise en est responsable en comparant le coût de le faire à l'interne à celui de la sous-traitance. De façon à réaliser le niveau stratégique, le niveau tactique (T) possède les cinq décisions suivantes : l'utilisation de service externe (technicien de service, établissement mandaté, etc.), le choix du mode de transport (train, bateau, avion, camion, mixte), l'établissement des routes possibles de transport et l'utilisation d'un produit de remplacement. De plus, il faut décider si les retours sont stockés ou accumulés en comparant le coût d'entreposage court terme avec le coût de transport.

Finalement, une seule décision se retrouve au niveau opérationnel (O), soit de faire les tournées de véhicules.

Tableau 3-5 Décisions pour l'étape Collecte

| Décisions | Niveau | | |
|--|--------|---|---|
| | S | T | O |
| - Déterminer le niveau de service désiré | X | | |
| - Voir si le retour doit être transporté | X | | |
| - Faire soi-même le transport ou l'impartir | X | | |
| - Décider qui paye et qui est responsable pour la collecte | X | | |
| - Utiliser un service externe | | X | |
| - Choisir le mode de transport (train, bateau, avion, camion, mixte) | | X | |
| - Établir les routes possibles de transport | | X | |
| - Décider si un produit de remplacement doit être fourni | | X | |
| - Décider si les retours sont stockés (accumulés) | | X | |
| - Faire les tournées de véhicules | | | X |

c) Aspects économiques

Pour l'étape Collecte, les coûts sont répartis selon deux besoins : le service de transport et les lieux de consolidation. Les coûts ici varient en fonction du volume, des modes de transport choisis et du niveau de service désiré.

d) Mesures de performance de la logistique inverse

Le tableau 3-2 montre que l'étape Collecte comporte deux mesures de coûts soit les variations par rapport au budget au niveau stratégique et le coût horaire par opération au niveau opérationnel. L'autre mesure, qui appartient aussi au niveau opérationnel, est le temps pour collecter le produit et elle sert à déterminer l'efficacité du processus. Par ailleurs, il n'y aucune mesure de performance pour le niveau tactique.

3.3.4 Étape 3 : Tri

L'étape Tri est généralement présente dans les systèmes de logistique inverse qui comportent plusieurs sites et plusieurs activités de traitement. Elle demande bien entendu que le produit ait été préalablement reçu. Tout d'abord, le produit doit être

examiné ou testé pour déterminer son état. Ensuite, une décision concernant sa disposition sera prise.

a) Cartographie

Cette étape comporte plusieurs activités (voir figure 3-8). La première consiste à faire la réception du produit retourné. Il faut ensuite s'assurer que le produit retourné corresponde à la demande de retour (produit, quantité, numéro d'autorisation, état visuel, etc.). L'entreprise doit communiquer avec le client lorsqu'il y a divergence entre la demande de retour et le produit retourné. Des ajustements à la demande doivent être faits pour permettre l'acceptation du produit retourné. Dans le cas contraire, le produit peut être refusé et retourné au client. Souvent, c'est à cette étape qu'un produit de remplacement est expédié au client ou qu'un crédit lui est donné. Une fois triés, les produits peuvent être consolidés et ensuite expédiés vers le traitement approprié. La complexité de cette étape dépend de l'étendue du réseau de l'entreprise. Dans le cas d'un seul centre de traitement, l'étape suit après l'acceptation à trier, consolider et acheminer vers les traitements à l'intérieur du même site. Si le réseau est complexe, la gestion des stocks en transit et le transport entre les différents sites deviennent alors des activités importantes à cette étape.

b) Décisions

Le tableau 3-6 donne la liste des douze décisions de l'étape Tri. Le niveau stratégique (S) possède les quatre décisions suivantes : choisir la localisation physique de l'étape, déterminer les méthodes de manutention et décider de faire l'activité ou de l'impartir. Si la localisation du tri n'est pas au même site que l'étape suivante, le traitement, il faut aussi décider de faire soi-même le transport vers le traitement ou de le donner à contrat. Les six décisions suivantes appartiennent au niveau tactique (T) : choisir le mode de transport (train, bateau, avion, camion, mixte), établir les routes possibles de transport, décider de la nécessité de faire de la consolidation, déterminer le processus de tri c'est-à-dire quelles opérations sont à faire, décider quels produits sont stockés et établir les

critères d'acceptation d'un retour. Finalement, faire les tournées de véhicules et compenser le client sont les deux seules décisions pour le niveau opérationnel (O).

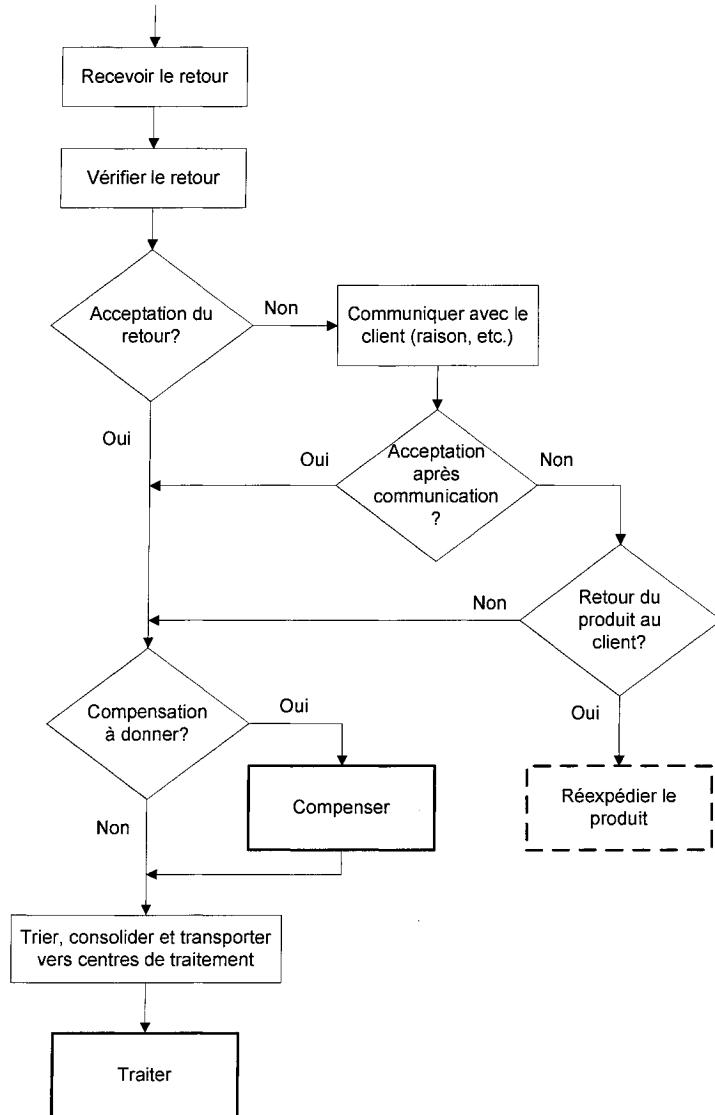


Figure 3-8 Processus : Trier

c) Aspects économiques

Il y a quatre besoins qui amènent des coûts pour l'étape Tri : la réception, l'entreposage, le personnel et les méthodes de manutention. Les coûts à l'étape Tri varie principalement en fonction du volume de retours. Pour ce qui est de l'espace

d'entreposage, les coûts sont aussi influencés par la durée pendant laquelle les retours sont entreposés.

Tableau 3-6 Décisions pour l'étape Tri

| Décisions | Niveau | | |
|--|--------|---|---|
| | S | T | O |
| - Choisir la localisation | X | | |
| - Déterminer les méthodes de manutention | X | | |
| - Faire soi-même l'activité ou l'impartir | X | | |
| - Faire soi-même le transport ou l'impartir | X | | |
| - Choisir le mode de transport (train, bateau, avion, camion, mixte) | | X | |
| - Établir les routes possibles de transport | | X | |
| - Décider de la nécessité de faire de la consolidation | | X | |
| - Déterminer le processus de tri | | X | |
| - Décider quels produits sont stockés | | X | |
| - Établir les critères d'acceptation d'un retour | | X | |
| - Faire les tournées de véhicules | | | X |
| - Compenser le client | | | X |

d) Mesures de performance de la logistique inverse

Pour l'étape Tri, cinq mesures de performance sont identifiées au tableau 3-2. Toutes les mesures sont de nature financière : les variations par rapport au budget, les coûts de réception et d'entreposage des retours, les coûts de réception exprimés en % des « Coûts de retour des produits », le coût horaire par opération et les coûts de vérification des retours et sont en lien avec les activités trouvées lors de la cartographie.

3.3.5 Étape 4 : Traitement

L'étape Traitement comporte trois sous-étapes. En premier, il y a le choix de disposition comme mentionné dans la littérature. Celui-ci se fait parmi une liste d'activités de traitement que l'entreprise a mis en place ou qu'elle considère. Le choix se fait en parallèle avec une gestion des stocks. Finalement, le traitement est fait. L'étape Traitement est un processus critique des plus exigeant.

a) Cartographie

La figure 3-9 présente les trois principales activités de l'étape du traitement des retours. La première activité consiste à faire une inspection détaillée du produit retourné afin de s'assurer que le produit soit dirigé vers le traitement approprié. Un choix préliminaire de traitement a été fait précédemment à l'étape Tri. Ce choix de traitement n'est pas final et peut encore être changé à cette étape-ci. C'est à ce moment que la condition du produit est évaluée avec précision et que la décision est prise. La gestion des stocks est la deuxième activité de cette étape. Son but est de confirmer que le produit peut subir le traitement choisi. Finalement, la dernière activité est celle du traitement à faire. Les choix de traitements possibles sont réemballer, réparer, réutiliser, reconfigurer, remettre à neuf, mettre à niveau, recycler, donner, revaloriser, vendre sur d'autres marchés ou rebuter.

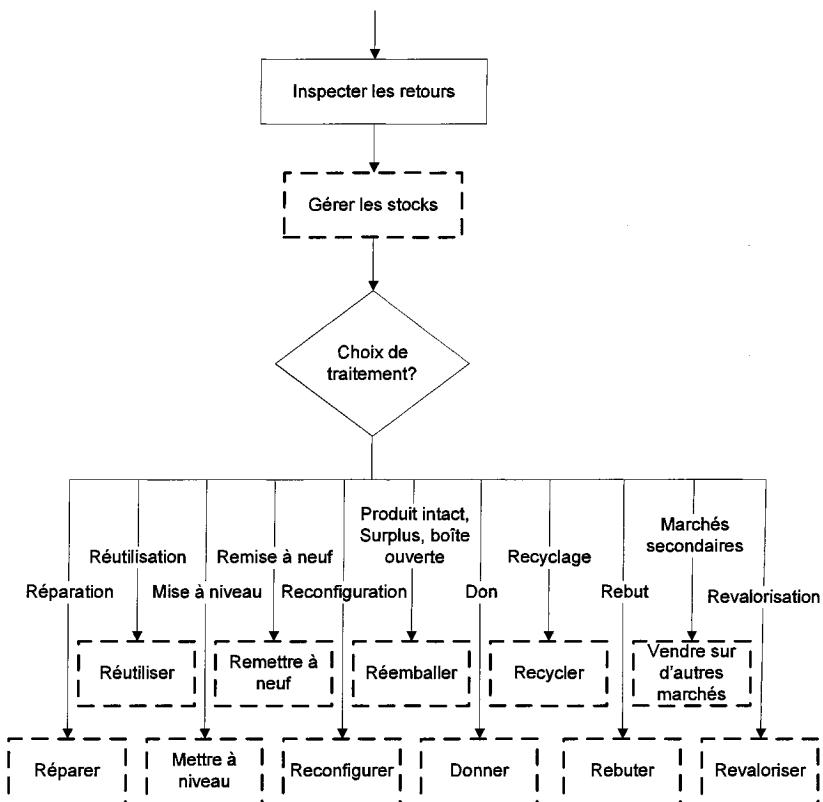


Figure 3-9 Processus : Traiter

Étant donné que tout système a une capacité limitée, il est important de tenir compte de la gestion des stocks dans le système de logistique inverse, tel qu'illustré à la figure 3-10. Les stocks ont plusieurs impacts sur le système : monétaire, utilisation de l'espace et gestion de la production (charge).

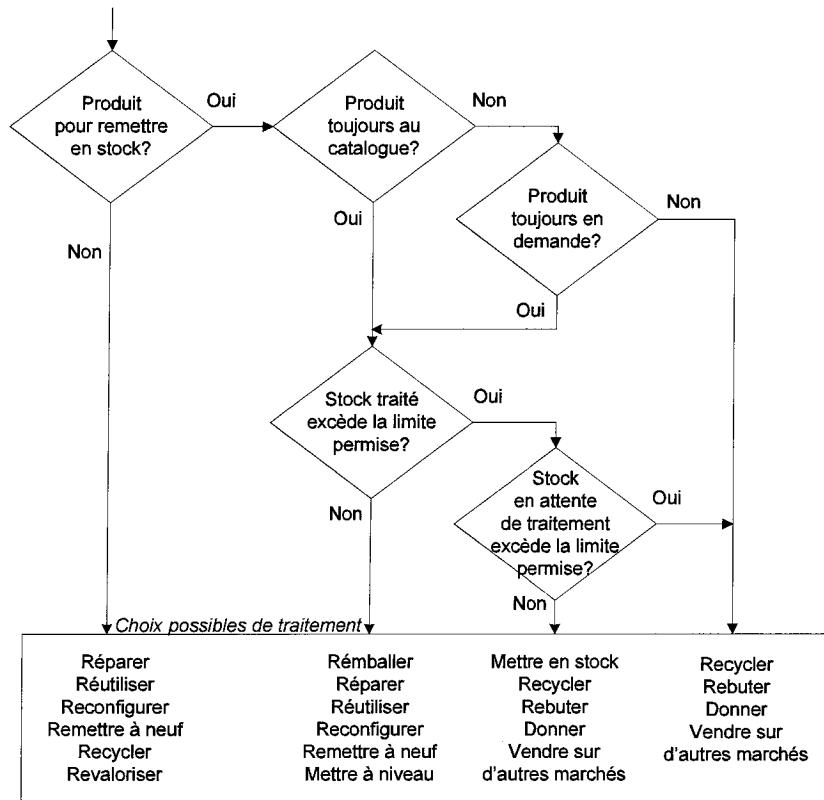


Figure 3-10 Sous-processus de la gestion des stocks

Lorsque le produit n'est de passage dans le système que pour recevoir un traitement, l'impact est minime pour l'entreprise. C'est le cas des produits à réparer qui appartiennent aux clients. Toutefois, l'élément complexe est de ne pas perdre la trace des produits dans le système puisque l'entreprise a une responsabilité envers le client.

Une autre situation, rencontrée très souvent, est l'utilisation de stocks tampon pour améliorer la performance du système. Elle permet de diminuer, entre autres, le temps de réponse et aide à la gestion du système de traitement. Par contre, si une gestion

rigoureuse des stocks n'est pas faite, l'entreprise peut se retrouver avec des produits désuets rapidement. Pour un produit qui figure toujours au catalogue, et pour lequel il y a encore une demande, il est remis en stock. Toutefois pour ce qui est des produits qui ne sont plus en demande, l'entreprise peut les donner, les recycler ou les rebuter. Dans le cas de produits que l'entreprise garde en stocks, elle doit s'assurer que la quantité de produit en attente de traitement ou traité en stock ne dépasse pas les limites permises. Si la limite permise est dépassée les retours doivent être donnés, recyclés ou rebutés. Pour plus de détails à ce sujet, Guide et Srivastava (1997b) font une revue de la littérature des modèles et applications pour la gestion des stocks réparables.

L'inspection étant faite, la décision du traitement à faire doit être prise. Les choix possibles de traitement sont : réemballer, réparer, réutiliser, reconfigurer, remettre à neuf, mettre à niveau, recycler, donner, revaloriser, vendre sur d'autres marchés ou rebuter. Chacun d'eux est expliqué en détail ci-après.

Réemballer c'est simplement refaire l'emballage d'un produit. Ce traitement s'adresse surtout aux retours commerciaux, c'est-à-dire les excès de stocks des revendeurs ou les boîtes non ouvertes. L'objectif recherché est de remettre le plus rapidement possible le produit en stock pour sa revente. La figure 3-11 montre le processus.

Lors de l'inspection, un emballage dont l'état est en dessous des critères de qualité est envoyé vers ce traitement. Cependant, il peut arriver que tous les produits soient réemballés. Par contre, si un doute sur l'état du produit existe, le produit est plutôt dirigé vers un test fonctionnel et ensuite vers le traitement approprié, par exemple la réparation. Aussi, l'entreprise peut vouloir procéder à une mise à niveau du produit pour s'assurer d'obtenir le maximum de profit lors de la revente du produit.

Réparer c'est remettre en état de fonctionner. Le but de ce traitement est de prendre un produit qui est endommagé ou non fonctionnel et de le remettre en état de marche. La figure 3-12 présente le processus.

La première étape consiste à faire un diagnostic avant de procéder à la réparation. Il se peut que l'état du produit fasse en sorte qu'il ne soit pas réparable ou qu'il ne soit pas

jugé économique de le faire. Dans ce cas, le produit est dirigé vers le processus de recyclage. Pour les produits réparables, une fois la réparation effectuée un test fonctionnel vient déterminer la réussite de celle-ci. Il est possible que le produit fonctionne mais qu'au point de vue qualité l'entreprise préfère ne pas retourner ce produit au client. Alors, le produit peut soit être vendu dans d'autres marchés (ce point est expliqué par la suite) soit être recyclé. Pour minimiser ses coûts, l'entreprise ne doit permettre la tentative de réparation qu'un nombre limité de fois. Donc, si le nombre de tentatives de réparation permise est atteint, le produit est recyclé ou rebuté. Lorsque la réparation est réussie, le produit est emballé pour remettre en stock ou pour retourner au client dépendamment du cas. (Le processus de compenser est expliqué dans la sous-section du système d'expédition).

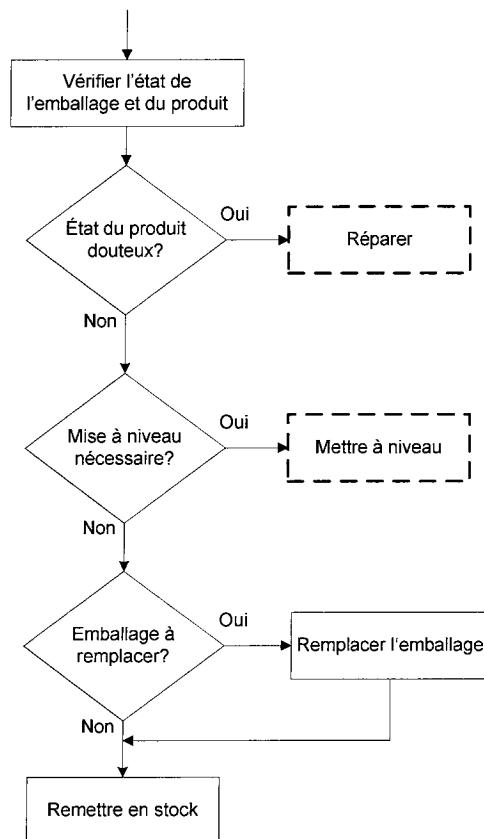


Figure 3-11 Sous-processus de traitement : Réemballer

Remettre à neuf c'est réusiner une pièce ou un composant comme neuf en vue de leur réutilisation. Le but de ce traitement est de remettre un produit à l'état neuf ou presque. Le processus de remise à neuf est similaire au processus de réparation sauf pour le point suivant : la remise à neuf change plus que les pièces ou les composants défectueux du produit, elle change une série de pièces et de composants afin de remettre le produit à l'état neuf ou presque. La figure 3-13 illustre le processus.

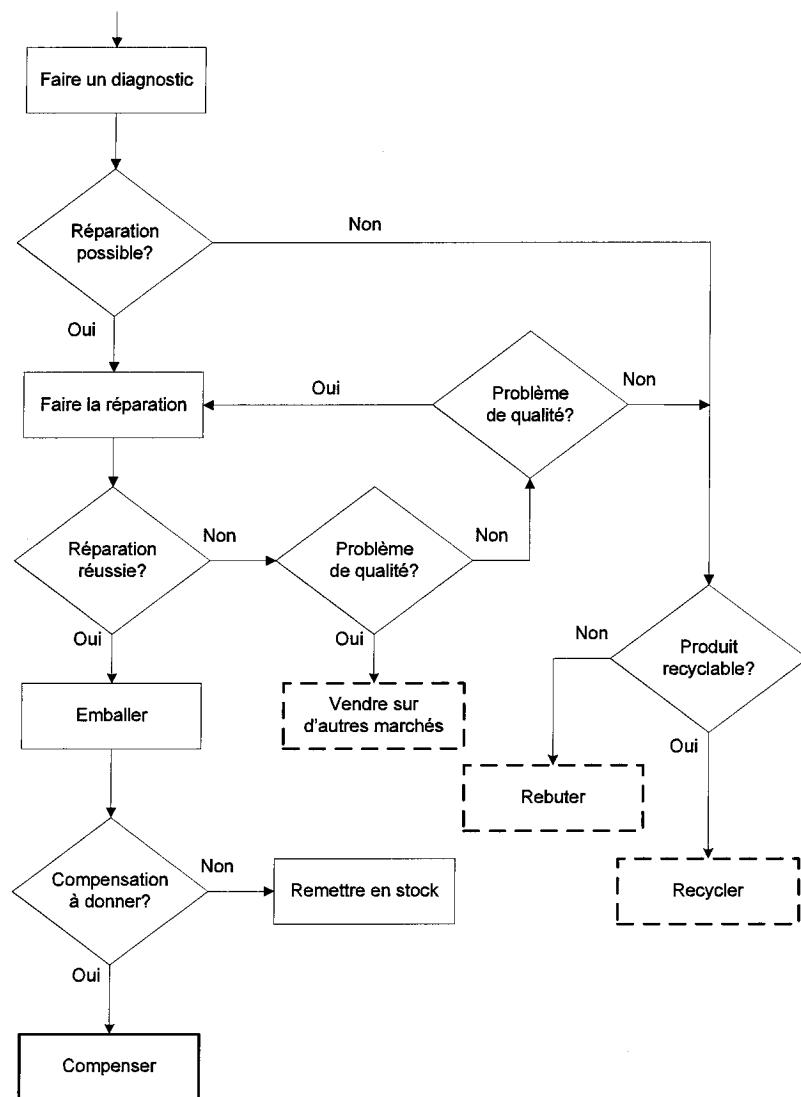


Figure 3-12 Sous-processus de traitement : Réparer

La première étape consiste à faire un diagnostic avant de procéder à la remise à neuf. Il se peut que le produit soit jugé trop endommagé. Dans ce cas, le produit est dirigé vers le processus de recyclage. Après la remise à neuf, un test de bon fonctionnement vient confirmer son succès. Encore une fois, le produit peut être fonctionnel mais ne pas satisfaire aux standards de qualité de l'entreprise. Comme pour la réparation, l'entreprise peut vendre le produit dans d'autres marchés. Il est possible que le produit défectueux soit envoyé pour la réparation. Si la réparation n'est pas possible, le produit est mis au recyclage ou au rebut. Lorsque la remise à neuf a réussi, le produit est emballé soit pour remettre en stock ou soit pour retourner au client selon la situation (sous-processus compenser).

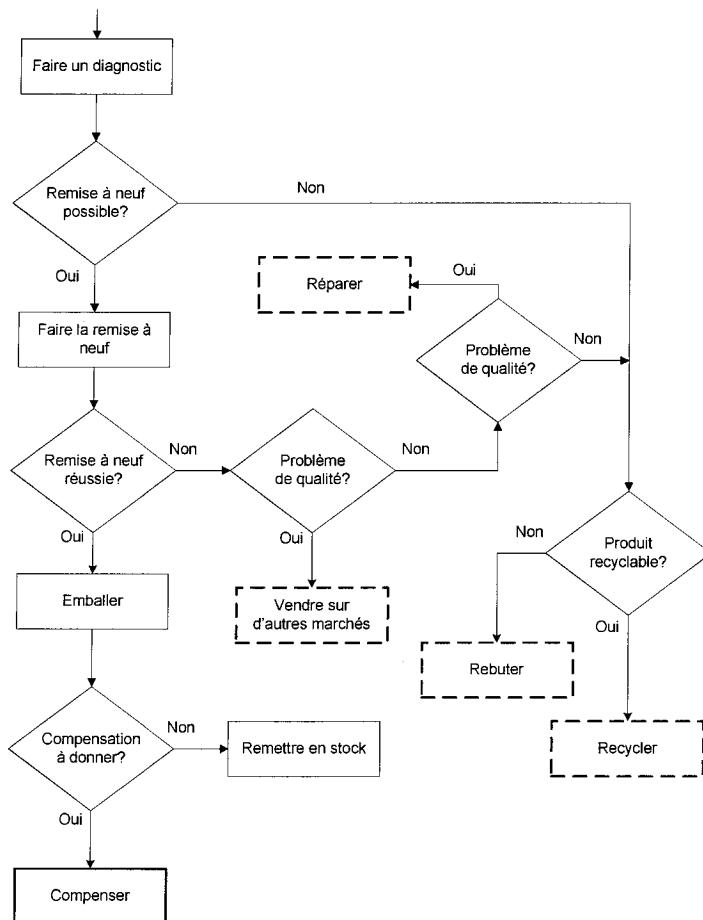


Figure 3-13 Sous-processus de traitement : Remettre à neuf

Mettre à niveau c'est prendre un produit d'une révision antérieure et l'amener à la révision courante (si possible) par le changement de pièces, de composants ou de modules. La figure 3-14 montre le processus. Ainsi, un vieux produit peut bénéficier des améliorations du produit courant ce qui permet d'augmenter sa valeur de revente. Le processus est très similaire à la remise à neuf sauf que dans ce cas-ci, le remplacement de pièces ne vise pas à allonger la durée de vie mais plutôt à améliorer le fonctionnement ou l'apparence du produit.

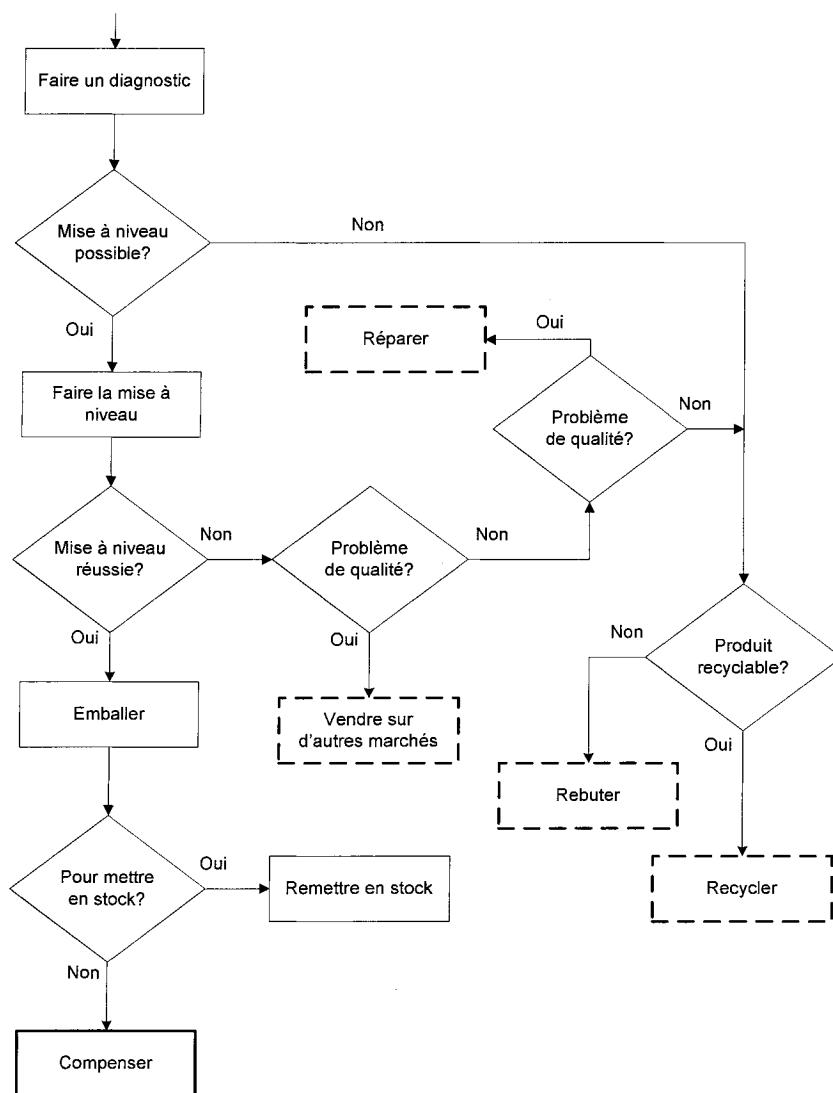


Figure 3-14 Sous-processus de traitement : Mettre à niveau

Réutiliser c'est remettre en stock le produit ou ses composants pour une utilisation ultérieure. Le terme récupérer est synonyme puisqu'il s'agit de réutiliser des pièces du produit. L'objectif de ce traitement est de réduire les coûts et l'impact sur l'environnement en utilisant un bien plus d'une fois. La figure 3-15 présente le processus.

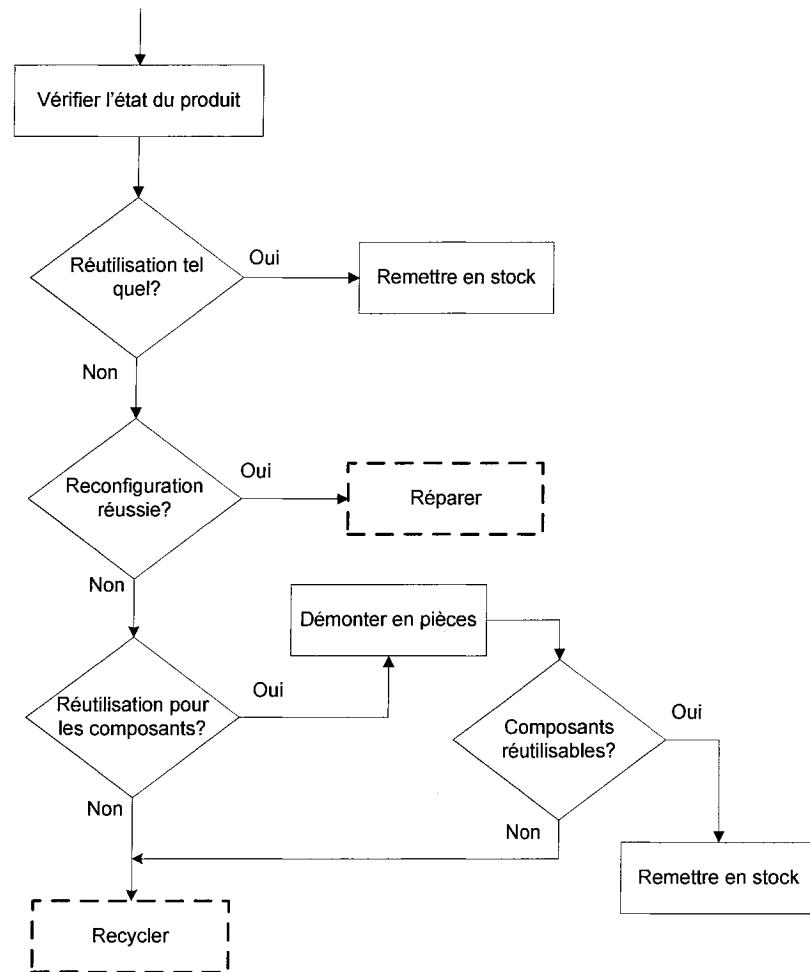


Figure 3-15 Sous-processus de traitement : Réutiliser

Pour procéder à la réutilisation d'un bien, il faut d'abord vérifier l'état de celui-ci. Si aucune action n'est requise, le produit est remis en stock. Par contre, si le produit ne peut être réutilisé immédiatement, il doit être réparé ou remis en état. Les processus sont les mêmes que ceux décrits précédemment. Un point important afin de minimiser le temps

que le produit passe dans le système, est de prendre la bonne décision lors de l'étape de tri. Bien sûr, il se peut que le défaut ne soit pas détecté à cette étape. Finalement, si la réparation n'est pas possible le produit est recyclé. Inderfurth et al. (2001) indiquent trois réutilisations possibles dans le cas d'un photocopieur : 1) le nettoyer et le revendre tel quel dans un pays en voie de développement, 2) le nettoyer et lui faire une mise à jour de composants et de logiciels et le vendre sur le marché des biens usagés, ou 3) le mettre en pièces et réutiliser les pièces.

Reconfigurer le produit c'est changer la configuration du produit pour une utilisation semblable. L'objectif de la reconfiguration est d'aller chercher le maximum de profit en modifiant un produit afin de répondre aux besoins de clients. Généralement, le changement au niveau du produit est mineur. La figure 3-16 montre le processus. Par exemple, un produit destiné au marché nord-américain peut maintenant être vendu sur le marché européen si le manuel d'instruction, les étiquettes et certaines autres pièces sont changées. Lors de la reconfiguration, un produit fonctionnel est modifié légèrement pour permettre une utilisation similaire mais particulière aux besoins d'un client. Le produit est emballé et remis en stock par la suite à condition que la reconfiguration soit réussie. Dans le cas contraire, le produit est dirigé vers la réparation.

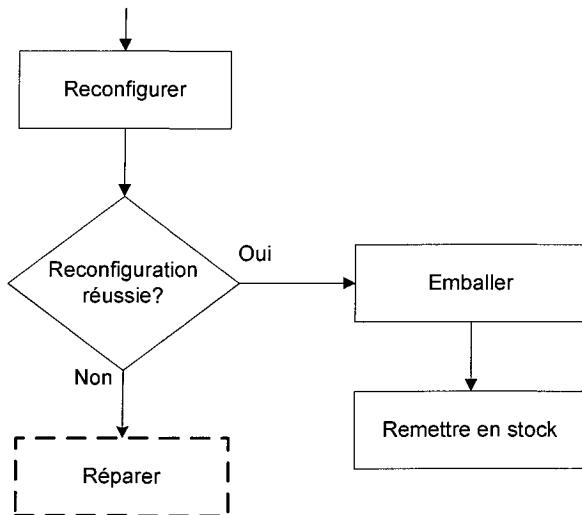


Figure 3-16 Sous-processus de traitement : Reconfigurer

Recycler c'est extraire la matière première des produits. Par ce traitement, l'entreprise réduit l'épuisement des ressources. La figure 3-17 présente le processus. Il permet de démonter les produits et de séparer les matériaux (métaux ferreux ou non ferreux, plastique, verre, papier, etc.). Chacun des matériaux séparés est mis dans des contenants appropriés pour la revente ou pour une réutilisation ultérieure. Plus la séparation des matériaux est fine plus la valeur augmentera. Les matériaux non recyclables sont rebutés. Sodhi et Reimer (2001) modélisent l'impact de la séparation du profit de chaque intervenant du réseau de recyclage dans le désassemblage et le recyclage d'un vieux PC.

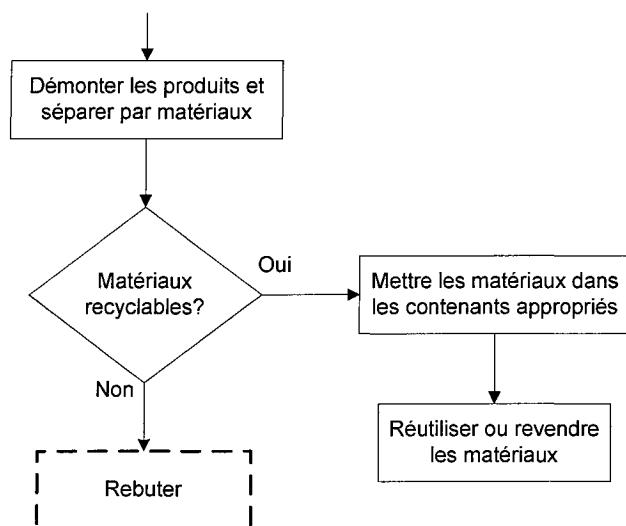


Figure 3-17 Sous-processus de traitement : Recycler

Donner c'est faire des donations aux organismes sans buts lucratifs. L'objectif est de donner une seconde vie à des produits qui sont encore fonctionnels au lieu de les recycler.

Ce processus, illustré à la figure 3-18, est une forme de réutilisation à l'extérieur de l'entreprise. Ainsi, un bien qui ne sert plus à l'entreprise trouve une nouvelle vie dans les mains du nouveau propriétaire. Par exemple, un vieux téléphone cellulaire, du mobilier de bureau ou autre peuvent servir à des organismes d'aide. Le plus grand problème pour l'entreprise est de trouver preneur des biens dans leur état actuel et de façon rapide car

elle doit les garder en stock jusqu'à la collecte. Si personne ne désire ces biens, ceux-ci sont recyclés.

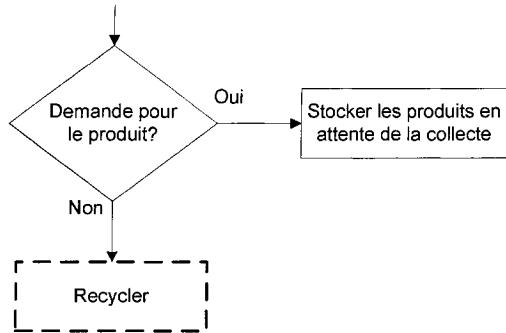


Figure 3-18 Sous-processus de traitement : Donner

Revaloriser c'est aller récupérer de la valeur en réutilisant à l'interne un bien qui n'a pas été produit par l'entreprise ou en le revendant. La figure 3-19 montre le processus. Pour revaloriser un produit, il faut d'abord vérifier son état et déterminer si la revalorisation est possible tout en étant économique. Si ce n'est pas le cas, alors le produit est recyclé. Il faut ensuite déterminer si une ou des opérations doivent être faites sur le produit avant de le revaloriser. La revalorisation peut prendre différentes formes, soit une réallocation du produit à l'interne ou soit la revente pour récupérer de l'argent. Par exemple, les huiles usées peuvent avoir à être décontaminées avant de s'en servir de nouveau à l'interne. Il en est de même concernant la destruction de données confidentielles sur un disque dur d'ordinateur avant sa revente.

Vendre sur d'autres marchés c'est la vente des produits fonctionnels, mais non conformes aux normes de qualité de l'entreprise ou aux besoins du marché de vente principal, sur d'autres marchés. La figure 3-20 présente le processus. Il cherche à vendre des produits de qualité inférieure à des marchés secondaires. Ici, l'entreprise peut avoir recours à la vente via des magasins de liquidation ou dans des pays en voie de développement. S'il n'existe pas de possibilités d'obtenir de la valeur (\$) pour ces biens, l'entreprise peut envisager de les donner. Le risque de cannibaliser les ventes est souvent un point problématique avec les autres marchés. Le recyclage est le dernier recours que

l'entreprise a si elle ne peut s'en départir autrement. Kerr et Ryan (2001) expliquent que les modèles usagés moins sophistiqués de photocopieurs Xerox sont revendus vers des marchés qui ne demandent pas la dernière technologie.

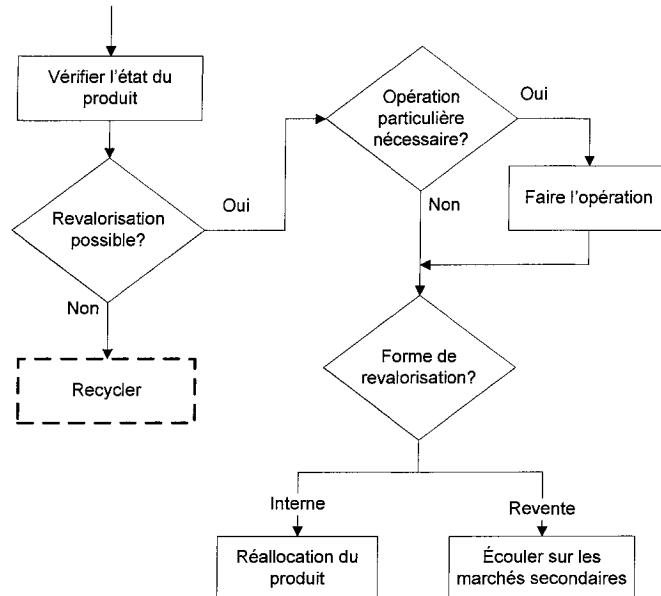


Figure 3-19 Sous-processus de traitement : Revaloriser

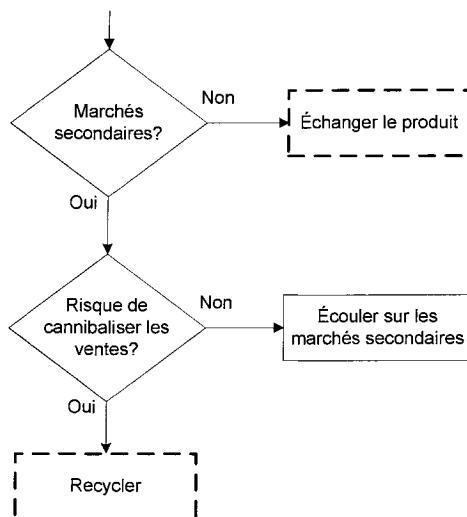


Figure 3-20 Sous-processus de traitement : Vendre sur d'autres marchés

Rebouter c'est envoyer à l'enfouissement ou l'incinération. Donc, la moins désirable des activités pour l'environnement. La figure 3-21 montre le processus. À cette étape, il faut s'assurer qu'aucune matière dangereuse n'est présente dans les rebuts. Si c'est le cas, il faut la traiter de façon à ne pas contrevenir aux lois environnementales en vigueur ni aux politiques de l'entreprise et choisir l'option la plus stricte des deux. Enfin, les rebuts sont envoyés vers un site d'enfouissement ou à l'incinérateur.

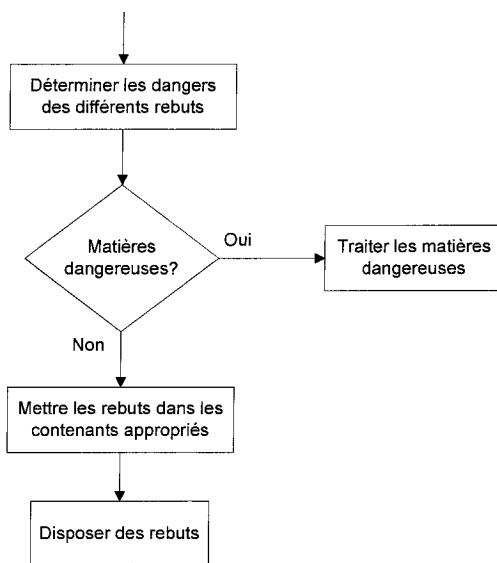


Figure 3-21 Sous-processus de traitement : Rebouter

b) Décisions

L'étape Traitement possède douze décisions comme indiqué au tableau 3-7. Les quatre décisions stratégiques (S) de l'étape Traitement sont : de choisir la localisation des activités de traitement, de déterminer les activités aux sites et décider quel traitement offrir, de d'évaluer la capacité requise des sites et traduire les volumes d'activités en espace pour l'entreposage et le traitement et de choisir les méthodes de manutention. Au niveau tactique (T), cinq décisions sont requises : revoir les besoins en localisation périodiquement (l'aménagement, l'espace, les méthodes, etc.), établir les standards de qualité pour les différentes activités, identifier les activités possibles pour chaque produit, vérifier s'il est plus économique de faire à l'interne pour chaque activité et

décider de l'utilisation de stocks en s'assurant que le coût de stockage, de possession et désuétude n'entraîne pas de coût trop grand tout en respectant le niveau de service désiré. Finalement pour le niveau opérationnel (O), l'entreprise doit déterminer comment faire la gestion des activités entre autre la relâche, la relance et le suivi, faire l'ordonnancement et faire la gestion des stocks.

Tableau 3-7 Décisions pour l'étape Traitement

| Décisions | Niveau | | |
|---|--------|---|---|
| | S | T | O |
| - Choisir la localisation | X | | |
| - Déterminer les activités aux sites | X | | |
| - Évaluer la capacité requise des sites | X | | |
| - Choisir les méthodes de manutention | X | | |
| - Revoir les besoins en localisation périodiquement | | X | |
| - Établir les standards de qualité pour les différentes activités | | X | |
| - Identifier les activités possibles pour chaque produit | | X | |
| - Faire soi-même ou impartir en totalité ou en partie | | X | |
| - Décider d'utiliser des stocks | | X | |
| - Gérer les activités des traitements retenus | | | X |
| - Ordonnancer les activités | | | X |
| - Gérer les stocks | | | X |

Le tableau 3-8 donne les décisions en fonction de chacune des activités de traitements possibles par niveau de décision. En effet, l'état du produit a une influence sur le traitement requis et possible. Aussi, l'augmentation de valeur du produit suite au traitement est-elle plus grande que le coût de l'activité. De plus, il faut trouver une alternative si l'intervention sur le produit échoue. Finalement, il faut s'assurer qu'il y a une demande pour le produit suite au traitement.

c) Aspects économiques

L'étape Traitement comporte cinq besoins qui entraînent des coûts : l'espace de travail, l'espace d'entreposage, les stocks de pièces, les équipements et le personnel. La variation des coûts est fonction des activités, du nombre d'employés, du volume et du temps.

Tableau 3-8 Décisions pour les activités de l'étape Traitement

| Activités | Décisions | Niveau | | |
|-----------------|--|--------|---|---|
| | | S | T | O |
| Réemballer | - Déterminer si le coût de réemballer est plus petit que l'augmentation de la valeur de revente | | X | |
| | - Déterminer si la mise à niveau favorisera la revente | | X | |
| | - Décider si l'emballage doit être remplacé | | | X |
| | - Déterminer si l'état du produit est douteux | | | X |
| Réparer | - Trouver une alternative si la réparation ne réussit pas | | X | |
| | - Décider si un produit réparé est remis en stock | | X | |
| | - Déterminer si le coût de la réparation est plus petit que celui de donner un produit neuf ou de remplacement | | X | |
| | - Déterminer si la réparation est possible | | | X |
| Remettre à neuf | - Trouver une alternative si la remise à neuf ne réussit pas | | X | |
| | - Décider si un produit remis à neuf est remis en stock | | X | |
| | - Déterminer si le coût de la remise à neuf est plus petit que l'augmentation de la valeur de revente | | X | |
| | - Déterminer si la remise à neuf est possible | | | X |
| Mettre à niveau | - Trouver une alternative si la mise à niveau ne réussit pas | | X | |
| | - Décider si un produit mis à niveau est remis en stock | | X | |
| | - Déterminer si le coût de la mise à niveau est plus petit que l'augmentation de la valeur de revente | | X | |
| | - Déterminer si la mise à niveau est possible | | | X |
| Réutiliser | - Déterminer si le coût de la réutilisation est plus petit que le coût d'un bien neuf | | X | |
| | - Décider si la réutilisation du produit tel quel est possible | | | X |
| | - Déterminer si le produit doit être réparé pour permettre sa réutilisation | | | X |
| | - Décider si la réutilisation est pour les composants du produit (Déterminer si les composants sont réutilisables) | | | X |
| Reconfigurer | - Déterminer si le coût de la reconfiguration est plus petit que l'augmentation de la valeur de revente | | X | |
| | - Trouver une alternative si la reconfiguration ne réussit pas | | | X |
| Recycler | - Déterminer si le coût de désassemblage (démonter le produit en matériau) est plus petit que le coût d'achat (l'augmentation de la valeur de revente) | | X | |
| | - Déterminer si le produit est recyclable | | | X |
| | - Déterminer si le produit comporte des pièces recyclables | | | X |
| Donner | - Déterminer les implications de faire un don (crédit d'impôt pour don de charité ou autres) | | X | |
| | - Vérifier la demande pour les produits à donner | | | X |

Tableau 3-8 Décisions pour les activités de l'étape Traitement (suite)

| Activités | Décisions | Niveau | | |
|-----------------------------|--|--------|---|---|
| | | S | T | O |
| Revaloriser | - Déterminer si le coût de la revalorisation est plus petit que le coût d'un bien neuf | | X | |
| | - Décider quelle forme de revalorisation (interne ou revente) est privilégiée | | X | |
| | - Décider si la revalorisation du produit est possible | | | X |
| | - Déterminer si des opérations particulières sont à effectuer | | | X |
| Vendre sur d'autres marchés | - Déterminer si le coût pour la revente sur d'autres marchés est plus grand que la valeur obtenue par rapport aux autres options | | X | |
| | - Vérifier l'existence des marchés secondaires | | X | |
| | - Vérifier s'il y a un risque de cannibaliser les ventes du marché principal | | X | |
| Rebuter | - Déterminer si le coût de rebuter est le plus petit par rapport aux autres options | | X | |
| | - Vérifier la présence de matières dangereuses dans le produit | | | X |

Le but du tableau 3-9 est de faire ressortir les revenus et coûts associés à chaque activité de la logistique inverse (réemballer, réparer, remettre à neuf, mettre à niveau, réutiliser, reconfigurer, recycler, donner, revaloriser, vendre sur d'autres marchés et rebuter). Ici, le coût ou le revenu direct de l'activité est présenté. Il faut imputer les autres frais pour pouvoir comparer une activité à l'impartition et ainsi décider si l'entreprise doit faire l'activité. Pour chaque activité, sauf pour rebuter, il faut établir les coûts pour faire l'activité, les coûts évités de mise au rebut et le montant récupéré soit par la vente, le don ou la réutilisation. Les coûts des activités sont dépendants de l'état du produit, du volume et la nature du produit. Pour les activités de recyclage et de rebutage, la variation tient plus compte du poids et du type de matériaux. De plus, les bénéfices environnementaux et le niveau de service à la clientèle ne sont pas considérés dans le tableau. Lorsque la réparation, la remise à neuf, la mise à niveau ou la reconfiguration est faite dans le cadre de politique de garantie, principalement dans le but d'augmenter la satisfaction du client, l'activité ne génère pas de revenus directs.

Tableau 3-9 Revenus et coûts des activités

| Activités | Revenus/Coûts associés | En fonction |
|---------------------------------|--|--|
| Réemballer | <ul style="list-style-type: none"> - Revente des biens (rapide pour maximiser les revenus) - Coûts de l'activité - Coûts évités de mise au rebut | <ul style="list-style-type: none"> - De la demande (âge) - Du volume à traiter - De l'état du produit |
| Réparer et Remettre à neuf | <ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de la valeur de revente - Coûts de l'activité - Coûts évités de mise au rebut | <ul style="list-style-type: none"> - De l'état du produit c-à-d du travail à faire (mettre au rebut si trop endommagé) - Du volume à traiter |
| Mettre à niveau et Reconfigurer | <ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de la valeur de revente - Coûts de l'activité - Coûts évités de mise au rebut | <ul style="list-style-type: none"> - Du volume à traiter |
| Réutiliser | <ul style="list-style-type: none"> - Économies de la réutilisation (Coût d'achat du neuf – valeur du vieux) - Coûts de l'activité - Coûts évités de mise au rebut | <ul style="list-style-type: none"> - Du volume à traiter |
| Recycler | <ul style="list-style-type: none"> - Vente des matériaux - Coûts de l'activité - Coûts évités de mise au rebut | <ul style="list-style-type: none"> - Du travail à faire pour séparer les matériaux - Du volume à traiter - Du poids |
| Donner | <ul style="list-style-type: none"> - Crédit d'impôt - Coûts de l'activité - Coûts évités de mise au rebut | <ul style="list-style-type: none"> - Du volume à traiter - De l'état des biens |
| Revaloriser | <ul style="list-style-type: none"> - Économies de la revalorisation - Coût de l'activité - Coûts évités de mise au rebut | <ul style="list-style-type: none"> - Du volume à traiter |
| Vendre sur d'autres marchés | <ul style="list-style-type: none"> - Revente des biens de qualité inférieure - Coûts de l'activité - Coûts évités de mise au rebut | <ul style="list-style-type: none"> - Du volume à traiter |
| Rebuter | <ul style="list-style-type: none"> - Frais d'enfouissement - Frais d'incinération | <ul style="list-style-type: none"> - Du poids |

d) Mesures de performance de la logistique inverse

Au total neuf des mesures de performance du tableau 3-2 sont retenues pour l'étape Traitement. Au niveau des coûts, quatre mesures sont proposées : les variations par rapport au budget au niveau stratégique, le coût de disposition et le coût de gestion et de planification au niveau tactique et le coût horaire par opération au niveau opérationnel.

Une mesure de flexibilité est choisie, soit la facilité d'ajuster la capacité rapidement. Le niveau tactique comporte deux autres mesures de performance, soit le temps de cycle des activités et l'efficacité du plan directeur de production. Finalement, le nombre de jours de stocks et l'exactitude du diagnostic sont les mesures de performances du niveau opérationnel.

3.3.6 Système d'information

Le système d'information intervient à chaque étape du système de la logistique inverse, comme illustré à la figure 3-1. Il doit être en mesure de bien gérer l'information pertinente à chacune des activités nécessaires que sont la gestion des retours, la gestion des stocks, la planification de la production et l'amélioration des produits. Ce qui rend la tâche plus ardue, comme le mentionne Caldwell (1999), c'est qu'il n'existe aucun logiciel fait spécifiquement pour la logistique inverse puisqu'un tel logiciel requiert trop de personnalisation ou de modifications. De plus, la logistique inverse n'est pas une priorité pour les gens de système d'information. Plusieurs entreprises optent pour une solution maison mais doivent gérer les problèmes d'intégration avec les autres systèmes existants. Sinon, l'entreprise peut opter pour un logiciel commercial qui ne couvre souvent que la portion de la gestion des retours sans tenir compte des autres activités ou éléments de la logistique inverse. Le problème va plus loin que cela, Lau et al. (2004) mentionnent qu'aucun auteur n'aborde l'organisation d'un système d'information basé sur les besoins particuliers de la logistique inverse.

a) Cartographie

Le premier rôle du système d'information de la logistique inverse est d'assurer une bonne traçabilité pour le suivi de retours à toutes les étapes du système de logistique inverse. À l'étape Barrière, une demande de retour est créée et reste active jusqu'à ce qu'un traitement soit fait. L'information minimale requise est celle concernant les produits, les quantités, les clients, les raisons des retours, les dates de transactions et les statuts. Un avantage d'un tel système est l'utilisation de l'information pour générer des

rapports sur les retours et ensuite mettre en place des indicateurs de performance du système de logistique inverse. De plus, le système doit être en mesure de faire le lien entre le produit retourné et le client à l'aide d'un numéro d'autorisation de retour. Lorsque le produit peut être substitué par un autre, il est possible de faire le suivi en utilisant seulement le numéro d'autorisation de retour. Par contre, si le produit retourné par le client doit être le même que celui qui est réexpédié après traitement, le suivi avec le numéro de série peut être nécessaire. Le numéro d'autorisation de retour est entré à l'étape Barrière et reste actif jusqu'à ce qu'un produit soit expédié au client. L'information minimale requise est celle concernant les produits et les quantités, les clients, les raisons des retours, les dates de la transaction et les statuts.

Un autre aspect important du système d'information a trait à la gestion des stocks. Dépendamment de la politique de retour, l'entreprise doit gérer un stock d'unités d'échange ou de pièces de rechange pour donner un niveau de service adéquat à ses clients. Le système doit être en mesure de donner les quantités de produits dans les différentes catégories. Aussi, cette information est très utile par la suite pour faire la planification des activités de production en fonction des besoins.

Par la suite, le système doit servir à la planification de la production des différents traitements possibles. Afin de s'assurer que les bonnes activités soient effectuées, une analyse des stocks, des demandes de retours et de la capacité sont nécessaires. Cette étape est intimement liée aux deux précédentes sans quoi l'entreprise risque de faire des erreurs de traitement et de perdre son temps. Le système d'information doit être en mesure de supporter plusieurs nomenclatures de produits pour ainsi tenir compte des différentes options de traitement comme l'indique Krupp (1993). L'incertitude de prévision des retours quant à la quantité, qualité et temps, complique l'utilisation d'un tel système.

Un autre avantage du système est l'utilisation de l'information pour générer des rapports sur les retours et ensuite mettre en place des indicateurs de performance du système de logistique inverse. L'information ainsi recueillie permet de connaître des éléments tels

que l'historique des retours, le temps nécessaire pour effectuer les différents traitements, le suivi des coûts, le niveau de service, etc. À ce moment, la difficulté réside dans une interprétation exacte (ce qui est mesuré réellement) des différents rapports ou indicateurs.

Un dernier point important est que l'information accumulée dans le système peut servir, après analyse, à l'amélioration du produit. La plus grande difficulté, et elle est fréquemment rencontrée, est celle de l'information incomplète. Malgré le fait que le système puisse obliger l'utilisateur à entrer de l'information dans les champs et qu'il y ait une validation, il demeure possible que des erreurs d'entrée de données soient acceptées par le système, par exemple une inversion de chiffres. L'analyse est souvent réalisée avec de l'information jugée complète et utilisable à partir de laquelle une généralisation est ensuite faite.

La figure 3-22 montre un exemple de topologie d'un système d'information de la logistique inverse avec les liens vers les autres systèmes d'information de l'entreprise. Le système contient trois modules (entrée de données, de maintenance et de requête), une base de données pour la logistique inverse et un programme. Ce programme doit aller chercher de l'information dans le système d'information d'entreprise comme les stocks, les items ou les données de production.

b) Décisions

La liste des sept décisions pour le système d'information est présentée au tableau 3-10. Les trois décisions du niveau stratégique (S) sont de savoir si le système d'information sera intégré avec le système d'information d'entreprise, centraliser ou décentraliser le système, déterminer s'il coûte moins cher de le sous-traiter plutôt que de le garder à l'interne. Le niveau tactique (T) comporte quatre décisions qui font suite aux décisions précédentes. En premier, il faut choisir entre acheter un système commercial ou développer un système maison. Aussi, il y a à déterminer les besoins en suivi des retours tout comme d'offrir un portail Internet au client. Si l'entreprise décide d'offrir un service

Internet, il faut déterminer la bande passante requise. Il n'y a pas de décisions pour le niveau opérationnel.

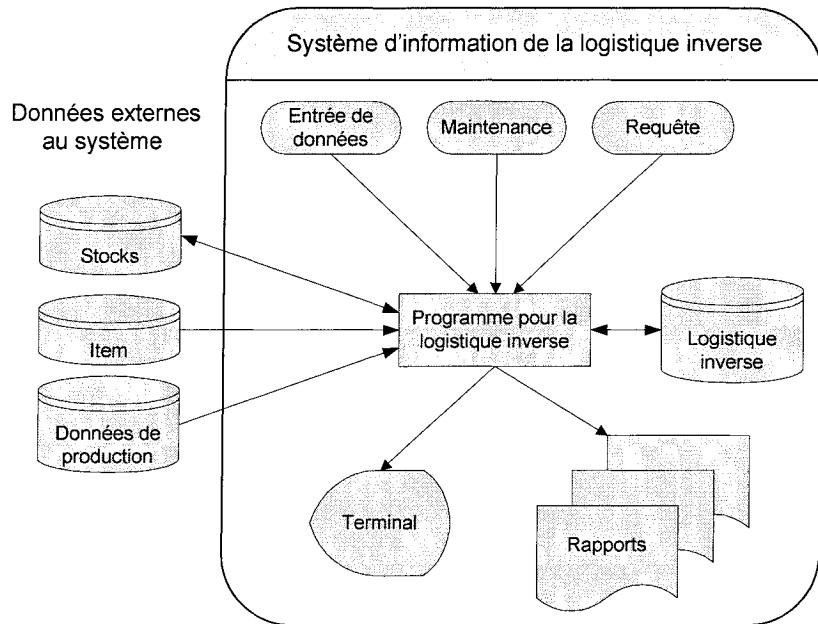


Figure 3-22 Topologie d'un système d'information de la logistique inverse

Tableau 3-10 Décisions pour le système d'information

| Décisions | Niveau | | |
|--|--------|---|---|
| | S | T | O |
| - Intégrer avec le système d'information d'entreprise (ERP) | X | | |
| - Centraliser ou décentraliser le système | X | | |
| - Déterminer si le coût d'impartir est plus petit que lorsque fait à l'interne | X | | |
| - Déterminer les besoins en suivi des retours | | X | |
| - Acheter un système commercial ou développer un système maison | | X | |
| - Offrir un portail Internet au client | | X | |
| - Déterminer la bande passante requise | | X | |

c) Aspects économiques

Les besoins pour le système d'information sont répartis en cinq catégories : le matériel, les logiciels, le support, l'espace (salle informatique et bureau) et le portail Internet. Il est à noter que ce système est partagé par toutes les activités de la logistique inverse. Les

coûts varient selon le volume de retours, les besoins pour les activités, l'information conservée dans les bases de données et le nombre d'utilisateurs.

d) Mesures de performance de la logistique inverse

Le système d'information comporte seulement deux mesures de performance, tel qu'indiqué au tableau 3-2, et elles touchent aux coûts. Les variations par rapport au budget est la mesure de performance du niveau stratégique tandis que le coût horaire par opération est celle du niveau opérationnel.

3.3.7 Système d'expédition

Le système d'expédition est la sortie du système de la logistique inverse. À cette étape, il faut connaître le moment où compenser le client. Comme présenté par la figure 3-1, l'expédition de la compensation vers le client peut avoir lieu à différents moments du processus. Le moment opportun est choisi en fonction de la politique de l'entreprise vis-à-vis une catégorie de clients (client particulier, distributeurs, revendeurs, OEM, etc.) ou vis-à-vis une gamme de produits ou encore une combinaison des deux.

a) Cartographie

La compensation pour un retour peut prendre différentes formes. La plus simple est lorsque l'entreprise ne doit remettre aucune compensation pour le produit retourné. C'est le cas des produits repris en fin de vie, du matériel d'emballage, etc. Une autre possibilité est que l'entreprise donne un crédit au client. Cette forme de compensation est entre autre utilisée lorsque le retour d'un produit n'est pas obligatoire. Par contre, deux options s'offrent à l'entreprise si elle doit retourner un produit : donner un produit d'échange ou alors réexpédier au client le même produit après traitement. La figure 3-23 illustre la compensation. La situation est un peu plus complexe lorsqu'un produit d'échange doit être expédié en compensation comme le montre la figure 3-24. Il faut tout d'abord s'assurer de la disponibilité du produit équivalent. Aussi, il se peut que l'entreprise veuille substituer le produit retourné par un autre modèle lorsque le même

modèle n'est plus disponible. Dans le cas où il n'y a pas de produit de remplacement disponible, il faut offrir au client un crédit. La figure 3-25 présente le dernier sous-processus dans lequel l'emballage (pour le transport) et l'étiquetage du ou des produits sont faits avant l'expédition de la compensation. La décision de localisation des installations est directement influencée par les coûts (de transport, de douanes, etc.) associés à chaque expédition. Ce point est examiné plus en détail dans la section traitant des décisions.

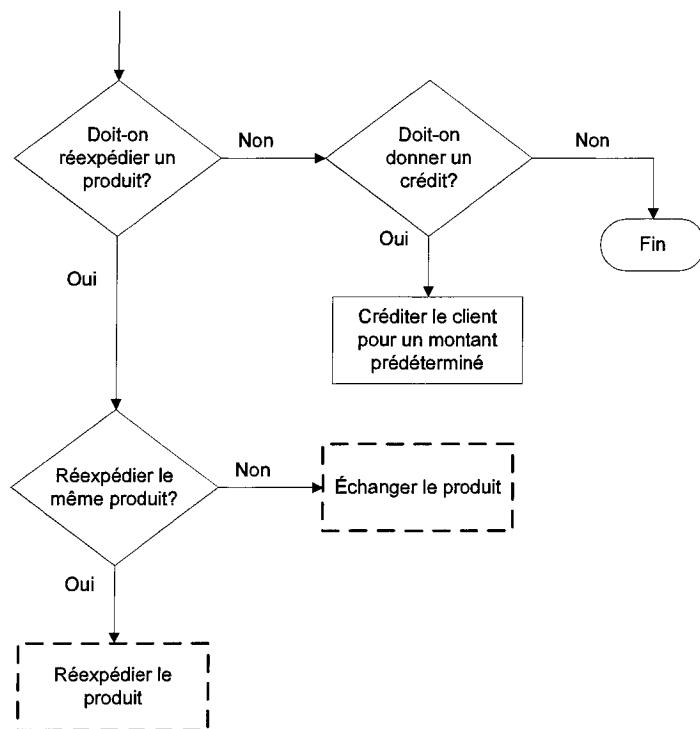


Figure 3-23 Processus : Compenser

b) Décisions

Le système d'expédition comprend quinze décisions qui sont résumées au tableau 3-11. Les trois décisions du niveau stratégique (S) sont de savoir si l'entreprise fait elle-même le transport ou l'impartit, si le coût de la sous-traitance pour l'activité est plus petit que lorsqu'il est fait à l'interne et de déterminer le niveau de service désiré c'est-à-dire le délai de transport. Au niveau tactique (T), les sept décisions sont de choisir le mode de

transport (train, bateau, avion, camion, mixte), d'établir les routes possibles de transport, de choisir les méthodes d'emballage et l'utilisation de contenants réutilisables, de choisir le moment de compenser, de choisir les méthodes d'entreposage, de déterminer les modèles de remplacement et de déterminer qui paye pour le transport. Finalement, faire les tournées de véhicules, gérer les stocks, expédier les retours, déterminer le montant à créditer à un client et savoir si le même produit doit être retourné sont les cinq décisions du niveau opérationnel (O). Un constat intéressant est que plusieurs des décisions à prendre pour le système d'expédition ressemblent à celles prises lors de l'étape Collecte.

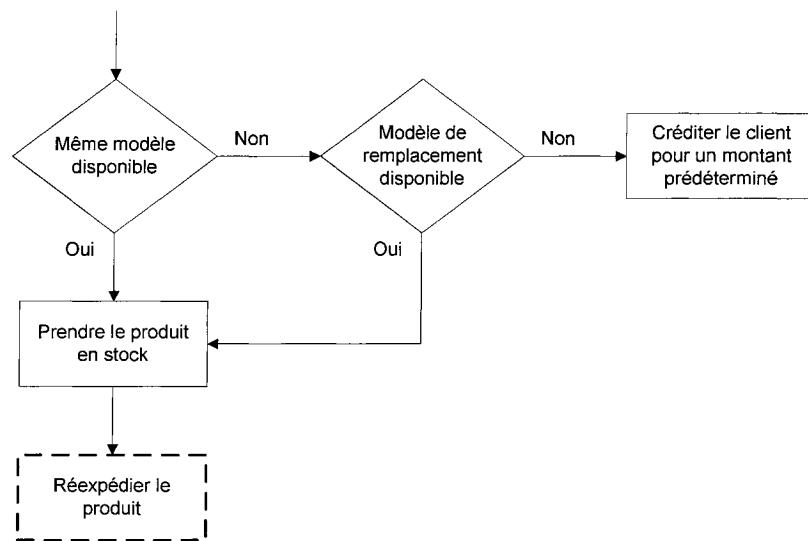


Figure 3-24 Sous-processus d'expédition : Échanger le produit

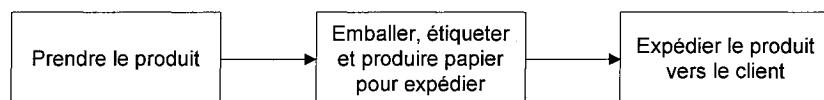


Figure 3-25 Sous-processus d'expédition : Réexpédier le produit

c) Aspects économiques

Les besoins du système d'expédition sont le transport, le matériel d'emballage et l'espace pour la zone de préparation de commandes et le quai d'expédition. La variation des coûts pour ce système dépend du volume et des modes de transport.

d) Mesures de performance de la logistique inverse

Les huit mesures de performance du système d'expédition sont données au tableau 3-2. Les variations par rapport au budget et le coût horaire par opération sont les deux mesures qui traitent de coûts et qui appartiennent au niveau stratégique et opérationnel respectivement. Les six autres mesures sont directement liées aux livraisons faites par le système d'expédition et sont les suivantes : le temps de livraison, la performance des livraisons, la fiabilité des livraisons, l'atteinte de livraison sans défaut, le coût horaire par opération, la qualité des biens livrés et la qualité de la documentation de livraison.

Tableau 3-11 Décisions pour le système d'expédition

| Décisions | Niveau | | |
|--|--------|---|---|
| | S | T | O |
| - Faire soi-même le transport ou l'impartir | X | | |
| - Déterminer si le coût d'impartir est plus petit que lorsque fait à l'interne | X | | |
| - Déterminer le niveau de service désiré | X | | |
| - Choisir le mode de transport | | X | |
| - Établir les routes de transport possibles | | X | |
| - Choisir les méthodes d'emballage et utiliser des contenants réutilisables | | X | |
| - Choisir le moment de compenser | | X | |
| - Choisir les méthodes d'entreposage | | X | |
| - Déterminer les modèles de remplacement | | X | |
| - Déterminer qui paye pour le transport | | X | |
| - Faire les tournées de véhicules | | | X |
| - Gérer les stocks | | | X |
| - Expédier les retours | | | X |
| - Déterminer le montant à créditer au client | | | X |
| - Savoir si le même produit doit être retourné | | | X |

3.4 Méthode d'utilisation

Cette section explique la façon d'utiliser le cadre conceptuel proposé. Une démarche générale, figure 3-2, a été présentée pour le processus de coordination globale. La figure 3-26 montre les relations entre les différents éléments du cadre conceptuel pour chacun des niveaux hiérarchiques. Les lignes pointillées indiquent des intrants. Les boîtes en forme de losange font références aux différentes décisions à prendre. Les boîtes rectangulaires représentent les extrants de la démarche. La boîte au coin arrondi sert à

montrer l'opération d'évaluer les aspects économiques de la logistique inverse. La démarche est séquentielle et débute par le niveau stratégique. La première étape est de prendre les décisions stratégiques pour le processus de coordination globale afin de définir les objectifs stratégiques de la logistique inverse à partir des aspects économiques, de la mission et des objectifs stratégiques de l'entreprise. Ensuite, les décisions stratégiques des six autres processus sont revues de façon à préciser les objectifs tactiques. La deuxième étape est de prendre les décisions tactiques pour définir les besoins opérationnels de chacun des processus. Les intrants de cette étape sont les objectifs tactiques, les aspects économiques et la cartographie générique. La dernière étape consiste à faire la cartographie des processus spécifiques nécessaire à l'entreprise suite aux décisions du niveau opérationnel. La démarche permet le retour en arrière en tout temps. Ainsi, il est possible à un certain point dans la démarche d'apporter des changements à une décision précédente.

3.5 Applicabilité du cadre conceptuel

Cette section a pour but de démontrer l'applicabilité du cadre conceptuel proposé à trois cas industriels d'entreprise œuvrant dans différents secteurs d'activités ainsi qu'à trois expériences vécues en tant que client. Dans les sous-sections suivantes, chacun des cas débute par une brève description des processus et ensuite, ils sont revus pour faire ressortir les points particuliers de ceux-ci par rapport au cadre conceptuel. Finalement, une discussion générale du cadre conceptuel est faite.

3.5.1 Hydro-Québec

Le premier cas industriel est celui d'Hydro-Québec, une entreprise d'état en électricité plus particulièrement pour le traitement des matières dangereuses résiduelles et des biens meubles excédentaires. Les activités d'Hydro-Québec en logistique inverse s'inscrivent dans le cadre du programme de développement durable autant pour l'environnement, la société que l'économie. Ils représentent plus de 10 millions \$ en revenus annuellement

et près de 6 millions \$ en dépenses. Les revenus et dépenses sont redistribués aux clients internes. Le mode de fonctionnement de la logistique inverse chez Hydro-Québec pour le traitement des matières dangereuses résiduelles (MDR) et des biens meubles excédentaires (BME) se retrouve dans la cartographie du cadre conceptuel proposé. La cartographie détaillée de ce cas est présentée à l'annexe A.

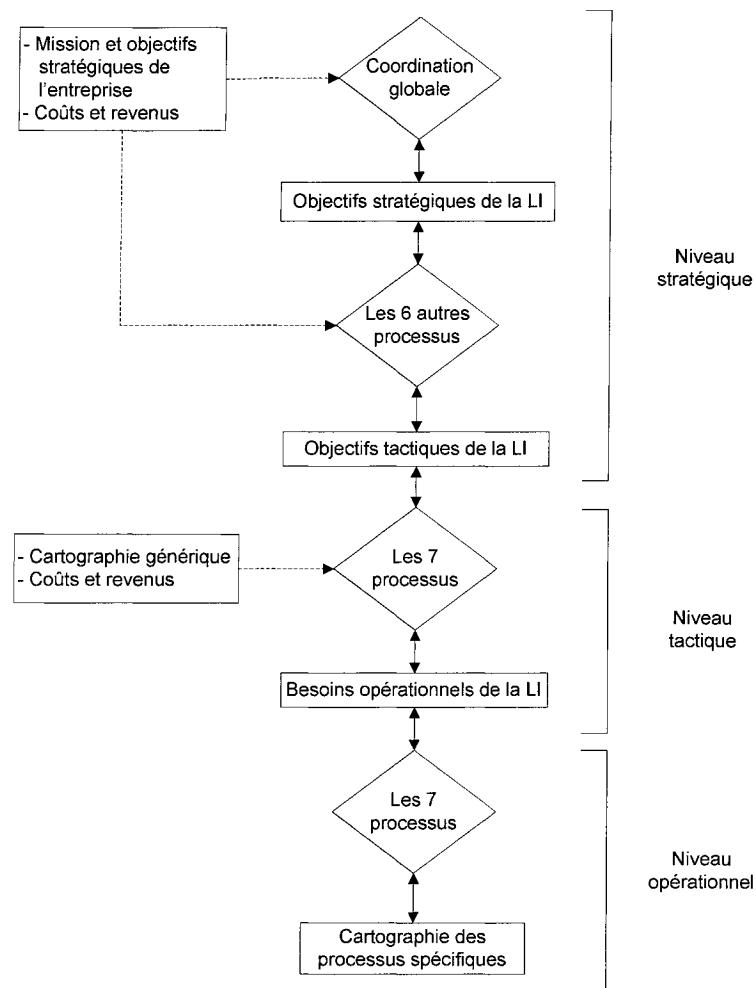


Figure 3-26 Méthode d'utilisation du cadre conceptuel

La première étape, la barrière, est le point d'entrée des MDR et des BME dans le système. Puisqu'Hydro-Québec a déjà émis des directives sur la reprise des MDR et aménagé des zones de récupération, cette étape est transparente pour le générateur de

MDR. De plus, de la formation concernant les méthodes et les risques associés à la récupération des produits est offerte. Les MDR sont transportés dans des barils. L'étape de la collecte se fait en deux temps pour les MDR. En premier, le générateur transporte les MDR vers le point de transit. Ensuite, les barils doivent être transportés dans un délai d'un mois vers le centre de traitement. La responsabilité du centre de traitement débute à la réception du baril au site de transit. Aussi, avant de charger les MDR sur le camion pour les acheminer vers le CRMD : la conformité, l'identification, l'étiquette, l'étanchéité et l'utilisation du bon contenant doivent être vérifiées. Dans le cas des BME, le générateur doit prendre un arrangement avec le groupe de Transport pour la collecte. Dans la façon de faire d'Hydro-Québec, le tri des MDR est minimisé puisque le générateur a déjà fait une grande partie de cette tâche. À la réception, les différents MDR sont placés dans les différentes zones aménagées aux CRMD. En ce qui concerne les BME, leurs états doivent être évalués. Les principales activités de traitement sont le recyclage, la revalorisation, la réutilisation, le don et la mise au rebut. Les données sont entrées dans le système SAP de l'entreprise pour les MDR. L'information détaillée de la provenance des produits n'est pas disponible. Le système contient seulement l'information de l'étape du traitement. Quant aux BME, l'information disponible renseigne sur les revenus. Compte tenu des activités, il n'y a pas d'expédition en tant que tel. Par contre, les différents fournisseurs de services sont contactés pour venir chercher les produits. Le mode de fonctionnement chez Hydro-Québec pour le traitement des MDR et des BME se retrouve dans notre cadre conceptuel proposé. Par ailleurs, plus de détails sur ce cas se retrouve dans Lambert et Riopel (2005).

La grande flexibilité de ce cadre conceptuel, lui permet de s'adapter aux différentes situations qui se présentent à l'intérieur d'une même entreprise. La collecte et le traitement des matières dangereuses résiduelles constituent un centre de coûts puisque les revenus de l'activité ne couvrent pas les dépenses. Pour les biens meubles excédentaires, l'activité permet de générer plus de revenus que de dépenses et est ainsi rentable. Finalement, il y a l'aspect des dons qui ne génèrent pas de revenus directs mais fait qu'Hydro-Québec représente une aide aux organismes sans but lucratif et un bon

citoyen. En effet, il arrive souvent qu'il demande une visibilité promotionnelle au lieu d'un reçu pour don de charité pour un bien.

3.5.2 *Matrox*

Le deuxième cas industriel est celui de Matrox, une entreprise qui conçoit et fabrique des cartes graphiques pour ordinateur. Son réseau de logistique inverse est international. Seule son unité du service de réparation a été analysée. Il y a deux méthodes de fonctionnement un peu différentes qui coexistent à l'intérieur de Matrox pour répondre à deux clientèles distinctes, les grands manufacturiers d'ordinateurs et les particuliers. Le cadre conceptuel est en mesure de couvrir ces deux cas. En fait, il existe en parallèle plusieurs processus pour certaines étapes en fonction des besoins de chaque client. Ainsi, deux étapes Barrière et deux étapes Collecte existent pour tenir compte de ces deux réalités. L'utilisation de plusieurs sous-traitants pour l'étape Traitement permet à l'entreprise de répondre aux besoins régionaux tout en réduisant le temps pour traiter une demande. La cartographie pour les deux types de clients est montrée à l'annexe A. Lambert et Riopel (2005) expliquent les différences en détail.

Le réseau de logistique inverse de Matrox cherche à répondre aux besoins des clients peu importe où ils sont dans le monde dans un délai raisonnable. Compte tenu de la rapidité avec laquelle la technologie électronique évolue, une gestion minutieuse des stocks de produits réparés et des produits à réparer doit être faite pour éviter la désuétude. L'idéal est de pouvoir réparer l'unité défectueuse et la retourner au client le plus rapidement possible et ainsi éviter l'utilisation de stocks de produits de rechange. Pour atteindre cet objectif, il faut mettre en place un système de réparation flexible accompagné d'une documentation claire et à jour.

3.5.3 *Woodflame*

Le dernier cas étudié est celui de la compagnie Woodflame inc., une petite entreprise de la région de Montréal qui fabrique des barbecues alimentés au bois qui lui ont permis de

remporter de nombreux prix au fil des ans. L'annexe A donne la cartographie détaillée de ce cas.

Une personne est affectée au service à la clientèle, étape Barrière. Elle est responsable de donner les numéros d'autorisation de retour pour les détaillants. L'employé donne les informations pour le transport des retours (emballage, adresse, compagnie de transport, ...). Si le client est canadien, il n'a qu'à retourner le produit directement au fabricant. Par contre pour les États-Unis et l'Europe, la situation est différente. En Europe, le client doit retourner le produit à un centre de service. Le centre de service vérifie le produit et confirme le diagnostic. Les pièces de rechange seront expédiées si elles ne sont pas disponibles sur place pour effectuer la réparation. Ainsi, le client n'a pas besoin d'envoyer son produit au Canada. Ce processus n'est pas totalement formalisé. Pour les États-Unis, le produit est envoyé au centre de distribution de Champlain, NY qui fait la consolidation pour envoyer les produits retournés au Canada. Il n'y a aucune étape de tri car tous les produits retournés arrivent à l'entreprise. À l'étape du traitement, les services offerts sont la réparation, la remise à neuf, la mise à niveau et la vente sur les marchés secondaires des retours commerciaux. L'entreprise utilise un système d'information manuel pour enregistrer les numéros d'autorisation de retours. Le passage vers un système informatisé est prévu à court terme. Les défauts sont systématiquement analysés pour améliorer le produit. Le système d'expédition est simple, une fois le traitement subi, les produits sont retournés aux clients ou remis en stocks selon le cas. Ce cas est discuté dans Lambert et Riopel (2005).

Avec l'expansion internationale des ventes, la complexité de la logistique inverse de l'entreprise a augmenté. Par exemple, il faut maintenant être en mesure de répondre aux clients en plusieurs langues. Une façon de régler ce problème est de mettre en place des centres de service à l'étranger assurant ainsi un temps de réponse plus court au client et limitant ainsi le nombre d'intervenants. Par contre, il faut avoir un volume de retours suffisamment élevé pour justifier ce mode opératoire. Une autre problématique est le coût de transport élevé associé à la logistique inverse. En négociant un contrat global de logistique pour le Canada avec un service de transport, l'entreprise a réduit le coût de

transport des retours. Pour le moment, il reste encore à trouver comment réduire les coûts à l'extérieur du Canada. L'application du cadre conceptuel à la portion du système en place n'a pas occasionné de problème. Par ailleurs, un projet chez Woodflame pour compléter la mise en place de son système de logistique inverse à l'aide du cadre conceptuel est en cours.

3.5.4 Expériences vécues

Les trois cas d'expériences vécues personnellement montrent l'interaction du client avec un processus pour le recyclage, la réparation et le retour commercial chez HP Canada, Sears Canada et Bureauengros.com respectivement.

Le premier cas traite du recyclage des cartouches d'imprimante laser par HP Canada. Le processus mis en place est très simple. Les instructions se trouvent dans la boîte de la nouvelle cartouche. La vieille cartouche est retournée dans la boîte sur laquelle l'adresse de retour doit être apposée. L'expédition se fait port payé via Postes Canada. Ainsi, il n'y a qu'à déposer le colis dans une boîte aux lettres et la cartouche sera recyclée.

Le deuxième cas touche la réparation sous garantie de deux outils Craftsman de Sears Canada. L'information sur la façon de retourner varie d'un outil à l'autre, le manuel d'utilisation de la toupie indique de se rendre au magasin pour obtenir une réparation gratuite tandis que celui de la scie à table mentionne de communiquer avec le service d'entretien Sears. Au centre de réparation, la vérification de la date d'achat est faite à l'aide de la facture pour établir la preuve de garantie. Ensuite, une demande de réparation est remplie. Le centre de réparation téléphone lorsque la réparation est effectuée pour aller chercher le produit.

Le dernier cas traite du retour d'une imprimante presque neuve achetée sur le site de transaction bureauengros.com pour bénéficier d'un rabais additionnel qui est apparue cinq jours après l'achat. Pour bénéficier du rabais postal, il n'y a qu'une seule façon possible; soit celle de retourner l'appareil et d'en commander un nouveau. Le service

offert est excellent sauf que le coût pour l'entreprise est élevé car elle doit payer le transport aller retour pour l'échange en plus d'avoir à revendre une imprimante usagée.

3.5.5 *Discussion*

La démonstration de la validité du cadre conceptuel a été faite pour trois types d'entreprises très différentes, une société d'état pour le cas des matières dangereuses résiduelles et des biens meubles excédentaires, une entreprise en électronique et enfin une petite entreprise de fabrication en expansion internationale. Ces cas industriels ont permis le raffinement du cadre conceptuel. Par exemple, le cas d'Hydro-Québec a montré deux formes de revalorisation; une interne et une externe. Cette séparation n'avait pas été faite auparavant. Compte tenu des secteurs d'activités très variés des entreprises, le cadre conceptuel permet de les traiter tous. Bien entendu, une plus grande validation en entreprises permettrait certainement d'améliorer encore le cadre conceptuel. Par ailleurs, la cartographie de Coia (2005) du processus de retour du manufacturier de disques durs Seagate est elle aussi couverte par le cadre conceptuel proposé.

3.6 Conclusion

La mise en place d'un système de logistique inverse demande une réflexion approfondie sur plusieurs aspects comme il a été expliqué précédemment. Il y a une série de décisions à prendre sur le fonctionnement du système de logistique inverse dont plusieurs ont des répercussions financières. Aussi, une revue d'indicateurs de performance a été faite pour donner un moyen de rétroaction sur le système. Précédemment, des mesures de performances pour chacun des processus du cadre conceptuel ont été données. Ces mesures sont divisées selon le niveau décisionnel qu'elles touchent, soit stratégique, tactique ou opérationnel. Les mesures de performance touchent les aspects des coûts, des actifs et de la flexibilité. Il est important de rappeler qu'il faut choisir un nombre limité de mesures de performance dans chacune des

catégories sinon il devient difficile de comprendre les interactions et à quel point les actions influencent les objectifs. Une fois choisie, la méthode de calcul des mesures de performance doit être définie clairement. Ensuite, il faut fixer des objectifs pour chacune des mesures de performance. Il est à noter que les objectifs doivent être réalistes. Finalement, il faut revoir continuellement les objectifs dans le but de faire de l'amélioration continue dans les divers processus de la logistique inverse comme indiqué à la figure 3-2. La dernière étape est la mise en place des mesures de performance pour chaque processus du système de la logistique inverse. Grâce à ces mesures, il est possible d'exercer un contrôle sur les opérations de la logistique inverse et de fixer des objectifs d'amélioration tout en responsabilisant les différents niveaux de la hiérarchie de l'entreprise.

L'aspect financier est incontournable lors de l'élaboration ou de la révision d'un système de logistique inverse. Pour chaque processus du cadre conceptuel les coûts et les revenus ont été exposés. Ceci permet d'établir une base essentielle à la prise de décisions. Par ailleurs, la problématique des éléments intangibles demande à être analysée et considérée. De plus, la plus grande difficulté est de modéliser correctement les coûts et les revenus de façon à optimiser le système de logistique inverse. Finalement, le volume de retours et le niveau de service désiré ont une importance marquée sur le coût total des activités de la logistique inverse.

L'expérience passée a servi au départ à bâtir cette proposition de cadre conceptuel tandis que les cas industriels ont permis de le raffiner. Ainsi, ce cadre conceptuel donne de bonnes pistes pour un gestionnaire de logistique inverse. Par contre, le besoin d'avoir un outil d'auto-évaluation par rapport à la logistique inverse demeure afin d'identifier les faiblesses et les forces pour s'améliorer. Par ailleurs, ce cadre conceptuel de logistique inverse demande à être validée auprès de plus d'entreprises œuvrant dans différents secteurs.

CHAPITRE IV - ÉTUDE DE LOCALISATION DE LA LOGISTIQUE INVERSE CHEZ HYDRO-QUÉBEC

4.1 Introduction

Les activités d'Hydro-Québec en logistique inverse s'inscrivent dans le cadre d'un programme de développement durable autant pour l'environnement, la société que pour l'économie. Elles sont regroupées en deux catégories de biens : les matières dangereuses résiduelles (MDR) et les biens meubles excédentaires (BME). Compte tenu de la disponibilité de l'information, l'étude porte sur les MDR seulement. Actuellement, la structure de récupération des MDR est composée de quatre centres de récupération des matières dangereuses (CRMD) alimentés principalement par quarante-trois sites de transit associés aux activités du réseau des magasins de distribution et découle des besoins en récupération et de gestion des MDR de 1997. Finalement, il est important de souligner que le transport, l'entreposage et le traitement des MDR sont assujettis à des lois et règlements.

La problématique étudiée fait suite à l'annonce officielle par la direction d'Hydro-Québec, en juin 2004, de la fermeture de deux des centres de distribution au 31 décembre 2004, soit ceux situés à St-Jérôme et à Bout-de-l'Île (Montréal). La structure de récupération était jusque là identique à celle de la distribution puisque le point de départ était les centres de distribution, les CRMD étant situés au même endroit que les centres de distribution et les sites de transit au même endroit que les magasins régionaux. La nouvelle structure fait en sorte que deux CRMD ne peuvent plus partager aussi facilement le transport de distribution que par le passé. Plusieurs questions se posent suite à cette annonce : Est-il pertinent de maintenir quatre CRMD? Comment le transport des MDR s'effectuera t-il maintenant?

Ainsi, le problème comporte deux grandes questions. La première question touche à la localisation et à l'affectation tandis que la seconde traite des problèmes d'optimisation du transport (tournées de véhicules). Ces questions suggèrent une décomposition du problème en deux volets. De plus, les contraintes réglementaires font en sorte que la

localisation des CRMD ne peut pas être modifiée facilement. Dans ce chapitre, le premier volet est traité. Le second volet porte sur les tournées de véhicules et est traité dans le prochain chapitre. Il est à noter que cette décomposition du problème en deux ne génère pas nécessairement la meilleure solution en termes de coût indiquent Salhi et Rand (1989). En effet, les coûts sont surestimés puisque le transport se fait individuellement pour chaque site de transit sans essayer de les combiner en tournées de véhicules comme illustré à la figure 4-1. En même temps, les coûts de transport sont sous-estimés étant donné que le temps requis pour charger et décharger les camions n'est pas pris en compte. La première erreur d'estimation devrait avoir plus d'impact sur les coûts que la seconde.

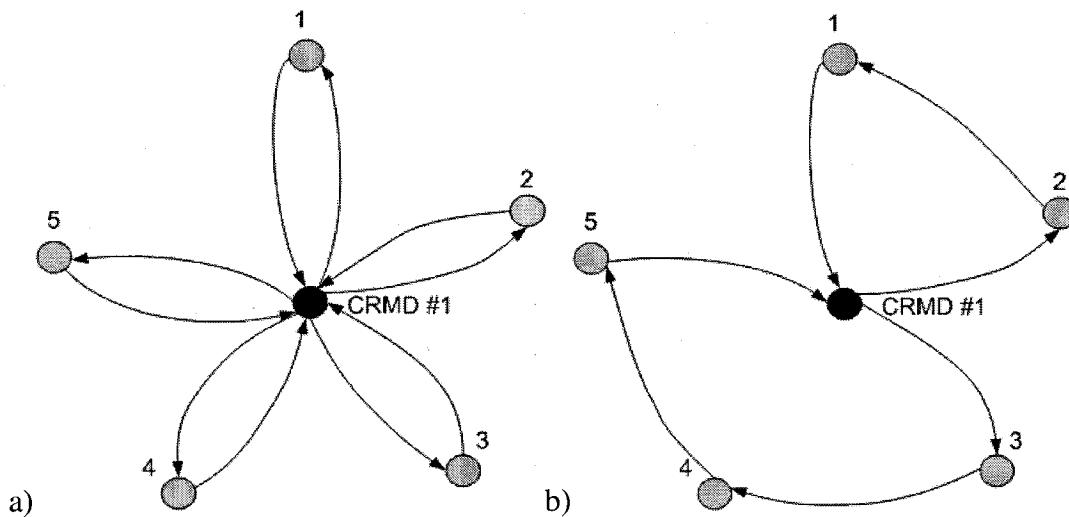


Figure 4-1 Exemples de tournées de véhicules. a) tournées individuelles et b) tournées de plusieurs sites

Par le biais de plusieurs scénarios, ce premier problème cherche d'un point de vue stratégique à vérifier l'impact de la fermeture de deux des centres de distribution sur la localisation des CRMD et l'affectation des sites de transit aux CRMD. Le chapitre est divisé de la façon suivante : une revue de littérature sur les problèmes de localisation en logistique inverse, l'analyse des données du problème étudié, les hypothèses de travail,

l'expérimentation, la proposition d'un modèle de localisation, les résultats, l'analyse de sensibilité et, l'analyse et discussion. Le tout est clôturé par une conclusion.

4.2 Revue de la littérature

Cette revue de la littérature cherche à faire ressortir les caractéristiques des modèles proposés de localisation et d'affectation pour la logistique inverse. En effet, le problème de localisation est très abordé par plusieurs auteurs en logistique inverse. Fleischmann (2001) souligne qu'il existe deux façons de traiter le problème du choix de localisation. La première façon ajoute la logistique inverse à un réseau de logistique existant tandis que la deuxième façon intègre les besoins de distribution et de récupération pour obtenir un nouveau réseau de logistique.

Un premier modèle, celui de Kroon et Vrijens (1995), cherche à minimiser le coût total de logistique pour le traitement de contenants réutilisables. Par ce cas spécial d'un modèle classique de localisation, les auteurs désirent localiser des dépôts parmi les centres de distribution existants. Barros et al. (1998) présentent un modèle multi-niveau de localisation d'entrepôts à capacité finie pour le traitement de sable usé de sites de construction au Pays-Bas. Krikke (1998) examine le problème d'assigner la stratégie optimale de récupération et de disposition de produit. Krikke et al. (1999a) proposent un modèle comme support à la décision afin de concevoir un réseau physique d'un système de logistique inverse multi-échelon. Celui-ci est utilisé pour évaluer si la décision prise par une entreprise est optimale. Jayaraman et al. (1999) font remarquer que plusieurs modèles proposés traitent majoritairement du recyclage et non pas de système manufacturier récupérable. Leur modèle comporte deux hypothèses simplificatrices, c'est-à-dire que l'entreposage/distribution est situé à la même place que l'installation de remise en état et qu'il n'y a aucune contrainte de capacité. Le modèle est testé pour un problème qui traite dix sites de remise à neuf, cinq zones de collecte de produits, dix zones de clients pour cinq différentes lignes de produits. De plus, ils mentionnent que la demande pour les produits remis en état joue un grand rôle dans la décision de localisation, de collecte des unités à réparer et aussi dans la stratégie de distribution.

D'ailleurs, Fleischmann et al. (2001) présentent un modèle pour un réseau de récupération. Ce dernier est obtenu en ajoutant les caractéristiques spécifiques de la logistique inverse à un modèle classique de localisation d'un entrepôt. Leur modèle considère que seulement une partie des produits récupérés peut servir à nouveau et que les autres sont disposés. Ce modèle combine le flot de distribution et le flot de retour sans toutefois tenir compte de la capacité d'entreposage. Un autre auteur, Shih (2001), propose un modèle pour minimiser le coût total (coût de transport, coût des opérations, coûts fixes, coûts de traitement et coûts d'enfouissement) et maximiser les revenus de la vente des matériaux récupérés. Aussi, il permet de déterminer le nombre et l'emplacement des nouvelles installations pour le recyclage d'appareils ménagers et d'ordinateurs personnels à Taiwan. Cependant, ce modèle exclut les options de réparation ou de remise en état. Celui de Jayaraman et al. (2003) cherche à minimiser les coûts de transport. Le modèle est multi-client (source) et multi-site (collecte et traitement). Les produits traités incluent les rappels, ceux pour recycler, ceux pour être disposés ou ceux qui sont dangereux. Les sites d'origine (sources) représentent des magasins, détaillants ou les lieux de dépôt par les clients. Les sites de collecte sont des sites intermédiaires qui reçoivent les produits des sites d'origine. Les sites de traitement peuvent effectuer tous les types de traitements possibles (remise à neuf, recyclage, etc.) bien que les auteurs traitent plus spécifiquement de la remise à neuf.

En résumé, les auteurs indiquent que leurs modèles sont basés sur un modèle classique de localisation d'entrepôts auquel sont ajoutés quelques éléments pour satisfaire les besoins en logistique inverse. Le tableau 4-1 présente un résumé du champ d'application, du type de modèle et de la méthode de résolution pour chacun des travaux cités ci-haut. Les modèles présentent les contraintes suivantes : conservation de flux, conservation de masse, capacité, nombre d'installations ouvertes, de non-négativités et binaires pour les variables de décisions. De plus, chacun de ces modèles cherche à minimiser le coût total en tenant compte des coûts fixes, des coûts de transport, etc. Le tableau 4-2 donne les principales caractéristiques des modèles de localisation.

Tableau 4-1 Modèles de localisation retenus

| Auteurs | Applications | Types de modèles | Méthodes de résolution |
|---------------------------|--|------------------------------|---|
| Kroon et Vrijens (1995) | Contenants réutilisables (Cas spécial d'un modèle de localisation) | Programmation linéaire mixte | Branch & Bound |
| Barros et al. (1998) | Multi-niveau, localisation d'entrepôt à capacité finie | Programmation linéaire mixte | Procédure d'arrondissement dans une heuristique cyclique (Relaxation linéaire) |
| Krikke (1998) | Multi-produit, multi-échelon, localisation, transbordement | Programmation linéaire mixte | Procédure en 2 étapes (ouverture d'installation et échange de capacité entre installations) |
| Krikke et al. (1999a) | Récupération et disposition (Localisation et routage) | Programmation linéaire mixte | Branch & Bound avec LINDO |
| Jayaraman et al. (1999) | Localisation et transport | Programmation linéaire mixte | Branch & Bound avec GAMS |
| Fleischmann (2001) | Localisation de centre de récupération | Programmation linéaire mixte | Branch & Bound avec CPLEX 6.0 |
| Fleischmann et al. (2001) | Localisation de centre de récupération | Programmation linéaire mixte | Branch & Bound avec CPLEX 6.0 |
| Shih (2001) | Localisation | Programmation linéaire mixte | Non spécifié |
| Jayaraman et al. (2003) | Localisation (multi-client, multi-site, multi-produit) | Programmation linéaire mixte | CPLEX et algorithme pour un des problèmes |

Tableau 4-2 Caractéristiques des modèles de localisation retenus

| Auteurs | Fonction | Coûts | Contraintes |
|---------------------------|----------|---|--|
| Kroon et Vrijens (1995) | Minimise | - Fixes - Logistiques (inclus distribution, collection et réallocation) | - Équilibre de flux |
| Barros et al. (1998) | Minimise | - Fixes - Transport - Opération | - Équilibre de flux - Capacités des sites |
| Krikke (1998) | Minimise | - Fixes - Transport - Opération | - Équilibre de flux - Capacités des sites |
| Krikke et al. (1999a) | Minimise | - Transport - Opération - Maintien en stock | - Équilibre de flux - Contrôle des stocks |
| Jayaraman et al. (1999) | Minimise | - Transport - Opération - Maintien en stock | - Équilibre de flux - Capacités d'entreposage - Bornes supérieures sur le nombre de sites |
| Fleischmann (2001) | Minimise | - Fixes - Opération | - Équilibre de flux - Fraction des retours qui est disposé |
| Fleischmann et al. (2001) | Minimise | - Fixes - Opération (inclus transport, production, manutention et disposition) - Pénalité pour ne pas rencontrer la demande - Pénalité pour ne pas collecter | - Équilibre de flux - Fraction des retours qui est disposé |
| Shih (2001) | Maximise | + Revenus - Traitement - Subvention - Transport - Fixes - Opération | - Équilibre de flux - Capacités des sites - Bornes supérieures sur le nombre de sites |
| Jayaraman et al. (2003) | Minimise | - Fixes - Transport | - Équilibre de flux - Capacité des sites j et k - Bornes inférieures et supérieures sur le nombre de sites |

4.3 Analyse des données

Les données utilisées pour l'étude proviennent de deux sources soit directement d'Hydro-Québec soit par la manipulation et la transformation des informations fournies. Les données obtenues sont les transactions de MDR, le transport, les coûts, les capacités des sites, les temps, etc. Il faut préciser que les activités pour les MDR sont réglementées par une entente avec le Ministère de l'environnement du Québec. Le temps de résidence total convenu dans l'entente est d'un mois au site transit et d'un an au total (site transit et CRMD) avant sa disposition. Le temps de résidence débute au moment de la fermeture du baril par le générateur. Aussi, c'est le générateur qui a la responsabilité du transport des MDR vers les sites de transit. Il y a environ 500 générateurs répartis partout dans la province de Québec. Les données ne permettent pas de savoir de quel générateur les MDR proviennent. Tout au long du chapitre, les CRMD sont référencés par un numéro pour simplifier la présentation et sont montrés au tableau 4-3.

Tableau 4-3 Référence des CRMD

| CRMD | Référence |
|---------------|-----------|
| St-Jérôme | #1 |
| Bout-de-l'Île | #2 |
| St-Hyacinthe | #3 |
| Québec | #4 |

Les données de l'année 2003 sont utilisées pour l'optimisation du réseau de transport des MDR. Les données fournies comportent beaucoup de détails sur chaque charge transportée vers un CRMD comme la date, le code produit, le client interne, le site de transit, la quantité ou le poids, le CRMD, etc. Pour l'année 2003, il y a près de 12 000 lignes de transaction entrées dans SAP. Chaque ligne correspond à une charge reçue. Par ailleurs, certaines données ont été ignorées pour l'étude. En effet, deux types de produits reçoivent un traitement différent soit les huiles minérales isolantes (HMI) et les appareillages de plus de 4 000 kg. Le tableau 4-4 indique les codes associés à ces deux produits qui sont exclus des données pour l'étude par la suite.

Tableau 4-4 Codes de produits exclus de l'étude

| Type | Codes |
|--------------------------|---|
| HMI | 3900441, 3900442, 3900443, 3900444, 3001375, 3001376, 3001377, 3001378 |
| APPAREILLAGE > 4 000 kg. | 3900427, 3001425 |

Suite à une analyse plus approfondie, il a été possible de faire plusieurs agrégations des données. La première agrégation est de ne pas distinguer le type de charge, c'est-à-dire liquide, solide, gazeux et appareil. En effet, puisque l'espace et le traitement d'une MDR pour le transport ne diffèrent pas entre elles, il est possible de les considérer comme un type de charge unique. Habituellement, les MDR sont mis dans des barils. La deuxième agrégation a été de combiner les MDR par mois puisque les données fournies sont par jour. Étant donné qu'une charge ne peut pas passer plus d'un mois au site de transit, cette agrégation est logique. Ensuite, une analyse de variance sur les mois a permis de confirmer qu'il n'y a pas de différence significative entre les mois pour un niveau de confiance de 99%. De ce fait, l'utilisation du nombre moyen de charges par mois de MDR par site de transit est une bonne agrégation. Par contre, l'analyse de variance sur les sites de transit a démontré une différence significative entre eux. Ceci indique qu'il n'est pas possible de faire une agrégation des sites de transit. Étant donné que c'est l'affectation de ceux-ci qui doit être fait, cette analyse indique que l'agrégation par mois conserve les aspects différents des sites de transit. L'annexe B présente le détail des deux analyses de variance. Suite aux agrégations et élimination, le tableau 4-5 donne le nombre de charges par site de transit sur une base annuelle et mensuelle (moyenne, minimum et maximum). La fréquence minimale de visites est donnée pour respecter la capacité d'entreposage du mois le plus grand dans l'année. Les données détaillées par mois sont fournies à l'annexe C.

La liste des coûts fixes et variables fournie comporte plus d'une soixantaine de centres de coûts. Seulement les coûts fixes d'opération d'un CRMD suivants ont été considérés : la refacturation des bâtiments, le matériel de transport, l'amortissement, les taxes foncières et les frais financiers. Les autres coûts fournis, comme l'utilisation du système

informatique, ne sont pas influencés par les décisions de localisation ou d'affectation. Il est à noter que la répartition des coûts entre les CRMD est celle fournie par l'entreprise. Le tableau 4-6 énumère les coûts fixes retenus répartis par CRMD.

Tableau 4-5 Nombre de charges de MDR par transit en 2003

| Code | Site de transit | Nombre de charges | | | | Fréquence de visites par mois | |
|------|----------------------|-------------------|---------|------|------|-------------------------------|--|
| | | Annuel | Mensuel | | | | |
| | | | Moy. | Min. | Max. | | |
| 0140 | Bout-de-l'Île | 738 | 62 | 33 | 96 | 4 | |
| 0150 | Jarry | 458 | 38 | 0 | 77 | 3 | |
| 0250 | St-Hyacinthe | 250 | 22 | 5 | 38 | 2 | |
| 0260 | Sorel | 91 | 8 | 0 | 16 | 1 | |
| 0270 | Drummondville | 135 | 11 | 0 | 20 | 1 | |
| 0330 | St-Bruno | 285 | 25 | 9 | 46 | 2 | |
| 0340 | Victoriaville | 161 | 14 | 0 | 40 | 2 | |
| 0350 | Valleyfield | 119 | 10 | 3 | 20 | 1 | |
| 0370 | Granby | 107 | 10 | 3 | 21 | 1 | |
| 0380 | St-Jean | 137 | 12 | 1 | 40 | 2 | |
| 0390 | Châteauguay | 544 | 49 | 22 | 77 | 3 | |
| 0400 | Vaudreuil | 243 | 22 | 4 | 34 | 2 | |
| 0410 | Sherbrooke | 130 | 11 | 0 | 29 | 1 | |
| 0460 | Trois-Rivières | 900 | 78 | 28 | 138 | 5 | |
| 0480 | Beauport | 192 | 16 | 6 | 25 | 1 | |
| 0500 | Thetford-Mines | 245 | 21 | 11 | 38 | 2 | |
| 0510 | Lévis | 246 | 21 | 8 | 32 | 2 | |
| 0550 | Îles-de-la-Madeleine | 146 | 12 | 0 | 62 | 3 | |
| 0570 | Rimouski | 370 | 31 | 5 | 54 | 2 | |
| 0600 | Rivière-du-Loup | 157 | 13 | 4 | 23 | 1 | |
| 0610 | Gaspé | 21 | 2 | 0 | 5 | 1 | |
| 0630 | Carleton | 92 | 8 | 0 | 36 | 2 | |
| 0640 | Baie-Comeau | 568 | 48 | 20 | 125 | 5 | |
| 0660 | Sept-Îles | 140 | 12 | 1 | 26 | 1 | |
| 0690 | Forestville | 157 | 13 | 0 | 34 | 2 | |
| 0720 | Blainville | 160 | 13 | 7 | 23 | 1 | |
| 0740 | Hull | 615 | 52 | 25 | 86 | 3 | |
| 0780 | Papineauville | 43 | 4 | 0 | 6 | 1 | |
| 0800 | Joliette | 209 | 17 | 9 | 23 | 1 | |
| 0820 | Rawdon | 87 | 7 | 2 | 12 | 1 | |
| 0840 | St-Jovite | 172 | 14 | 4 | 34 | 2 | |
| 0860 | Mont-Laurier | 30 | 3 | 0 | 6 | 1 | |
| 0890 | Laval | 288 | 24 | 6 | 42 | 2 | |

Tableau 4-5 Nombre de charges de MDR par transits (suite)

| Code | Site de transit | Nombre de charges | | | Fréquence de visites par mois | |
|------|-----------------|-------------------|---------|------|-------------------------------|---|
| | | Annuel | Mensuel | | | |
| | | | Moy. | Min. | | |
| 0910 | Chicoutimi | 296 | 25 | 7 | 32 | 2 |
| 0940 | Chibougamau | 74 | 6 | 0 | 49 | 2 |
| 0950 | Rouyn-Noranda | 217 | 19 | 7 | 30 | 1 |
| 0970 | Amos | 48 | 4 | 0 | 15 | 1 |
| 1010 | Val d'Or | 87 | 7 | 0 | 34 | 2 |
| 1060 | LG-2 | 442 | 37 | 18 | 64 | 1 |
| 1070 | Némiscau | 127 | 11 | 0 | 21 | 1 |
| 1080 | LG-3 | 106 | 9 | 1 | 24 | 2 |
| 1090 | LG-4 | 196 | 16 | 1 | 50 | 2 |
| 1120 | CERV/IREQ | 225 | 20 | 0 | 53 | 3 |
| 1620 | Québec | 638 | 53 | 31 | 90 | 2 |
| 1630 | St-Jérôme | 354 | 30 | 3 | 46 | 1 |
| | Total | 11046 | 994 | | | |

Tableau 4-6 Description des coûts fixes pour les matières dangereuses

| Catégories de coût | Coûts (\$/année) par CRMD | | | | |
|-------------------------|---------------------------|--------|---------|---------|---------|
| | #1 | #2 | #3 | #4 | Total |
| Refacturation Bâtiments | 71 600 | 8 000 | 33 700 | 82 900 | 222 700 |
| Matériel de transport | 0 | 41 500 | 69 100 | 27 600 | 138 200 |
| Amortissements | 0 | 26 400 | 16 700 | 4 900 | 48 000 |
| Taxes foncières | 0 | 1 500 | 900 | 300 | 2 700 |
| Frais financiers | 0 | 10 400 | 6 600 | 1 900 | 18 900 |
| Total | 71 600 | 87 800 | 127 000 | 117 600 | 404 000 |

Le coût du camion dédié aux MDR et BME de St-Hyacinthe est exclu du tableau précédent. La raison étant que cette étude cherche à déterminer la meilleure stratégie globale pour le transport des MDR et que son inclusion comme coût fixe fausserait l'analyse. Aussi, le coût de transport est seulement fonction du temps selon l'information fournie. Par ailleurs, aucune règle particulière n'existe pour allouer le transport à l'externe actuellement. Le taux horaire est de 85\$ de l'heure lorsque le transport est fait à l'interne tandis que le taux est de 65\$ de l'heure pour le transport de marchandise normale par transporteur externe. En général, le taux horaire pour le transport des MDR à l'externe est plus élevé mais n'a pas été fourni. Le coût de la main-

d'œuvre directe planifié pour 2005, soit les commis matières dangereuses, est donné au tableau 4-7. Le coût de la main-d'œuvre n'est pas un facteur à prendre en compte dans l'étude puisque que le nombre de commis ne change pas. De ce fait, les seuls coûts variables pertinents des CRMD pour cette étude sont les coûts de transport. Le coût de transport utilisé par la suite est de 85\$ de l'heure. Une analyse de sensibilité est faite plus loin pour déterminer son influence sur la décision.

Tableau 4-7 Masse salaire pour les commis matières dangereuses

| CRMD | #1 | #2 | #3 | #4 | Total |
|----------------------------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| Masse salariale (\$/année) | 267 000 | 140 600 | 347 200 | 316 800 | 1 071 600 |

Il est prévu de changer la flotte de remorque d'Hydro-Québec en 2005 pour des remorques à rideau afin de permettre le chargement par l'arrière et par les côtés. Certaines remorques seront équipées de chargeuse pour plus d'autonomie. La capacité de ces nouvelles remorques est de 88 charges (22 palettes). Du côté des transporteurs externes, leur remorque ne comporte aucun équipement pour faire le chargement. Il est à noter que St-Hyacinthe possède un camion plateforme avec remorque qui peut recevoir dix palettes sur la plateforme et huit palettes sur la remorque pour un total de 72 charges. Ce camion est complètement autonome car il a une grue embarquée. Actuellement, les visites faites par le camion de St-Hyacinthe ne se limitent pas seulement aux sites de transit. Comme indiqué précédemment au niveau des coûts, cette situation particulière est ignorée. Une autre particularité notée dans le transport des MDR pour les sites de LG-2, LG-3 et LG-4 est l'utilisation de palettes de quatre barils. Cette différence n'est pas considérée non plus.

La capacité d'entreposage des sites de transit n'a pu être fournie. Par contre, elle est estimée à entre 30 et 40 charges par site de transit. Cependant, elle n'est pas une contrainte selon les horaires de collecte actuellement en place. Étant donné que le détail précis pour chaque site de transit n'a pas été obtenu, la capacité d'entreposage a été établie à 30 charges par sites de transit. L'étude des données montre pour certaines

semaines que la quantité de MDR reçue est supérieure à la capacité d'entreposage. Lorsque cela se produit, des visites additionnelles sont faites pour contrer la situation. De plus, la capacité d'entreposage des CRMD n'a pas été fournie puisqu'elle n'est pas une contrainte actuellement. Par contre, la capacité de traitement des CRMD se voit limitée par le nombre de préposés matières dangereuses. Ces éléments de capacité du système sont discutés plus en détail dans la section des hypothèses. Aussi, l'hypothèse que le personnel peut être relocalisé d'un CRMD à un autre est envisageable et est discuté plus loin. Le tableau 4-8 donne la capacité globale de chaque site. La capacité est déterminée en fonction du nombre d'employés et de la quantité de MDR traitées en 2003. Les postes de chef préposé récupération et préposé récupération de l'organigramme obtenu sont les seuls personnels considérés pour chaque CRMD dans le but de déterminer la capacité de traitement des MDR des CRMD. La règle générale est que deux préposés sont suffisants pour accomplir les tâches. De plus, il y a un commis par CRMD qui effectue les transactions mais ceux-ci ne sont pas considérés. Également, il est possible de recourir aux employés surnuméraires si la charge de travail est plus élevée. Le CRMD de St-Jérôme sert de base pour l'établissement de la capacité théorique par CRMD, soit de 1 740 charges par préposé par année.

Tableau 4-8 Capacité de traitement des CRMD en MDR

| CRMD | Nombre de ressources (préposé MD) | Nombre total de charges traitées en 2003 | Nombre de charges traitées par préposé | Capacité maximum estimée (en charge) |
|-------|-----------------------------------|--|--|--------------------------------------|
| #1 | 2 | 3 477 | 1 739 | 3 480 |
| #2 | 1 | 1 196 | 1 196 | 1 740 |
| #3 | 2 | 3 327 | 1 664 | 3 480 |
| #4 | 2 | 3 046 | 1 523 | 3 480 |
| Total | 7 | 11 046 | 1 578 | 12 180 |

Le logiciel Microsoft MapPoint 2004 a été utilisé afin de déterminer les distances et le temps de transports entre les différents sites sous étude. Les paramètres utilisés pour la vitesse des différents tronçons de route sont donnés dans le tableau 4-9. La sélection de la route se fait selon le chemin le plus rapide. Des tronçons de routes ont été évités

comme le tunnel L.H.-Lafontaine et le tunnel Ville-Marie de même que les routes via l'Ontario et les États-Unis. En ce qui concerne les Îles-de-la-Madeleine, le passage sur le territoire du Nouveau-Brunswick est nécessaire. L'utilisation des traversiers (Sorel-St-Ignace-de-Layola, Hudson-Oka, Escoumin-Trois-Pistoles, Godbout-Matane, Baie-Comeau-Matane, Sept-Îles-Rimouski et Rivière-du-Loup-St-Siméon) est généralement évitée sauf celui de Baie-Ste-Catherine-Tadoussac et celui qui se rend aux Îles-de-la-Madeleine. Les sites suivants n'ont pas été trouvés dans le logiciel MapPoint 2004 : LG-2, LG-3 et LG-4. Les distances et les temps calculés sont basés sur les distances fournies par Hydro-Québec pour ces sites à partir de Rouyn-Noranda. La figure 4-2 montre l'emplacement des CRMD et des sites de transit de l'étude.

Tableau 4-9 Vitesse des types de routes

| Types de routes | Vitesse (km/h) |
|-----------------|----------------|
| Autoroute | 100 |
| Route | 90 |
| Rue principale | 50 |
| Rue secondaire | 30 |

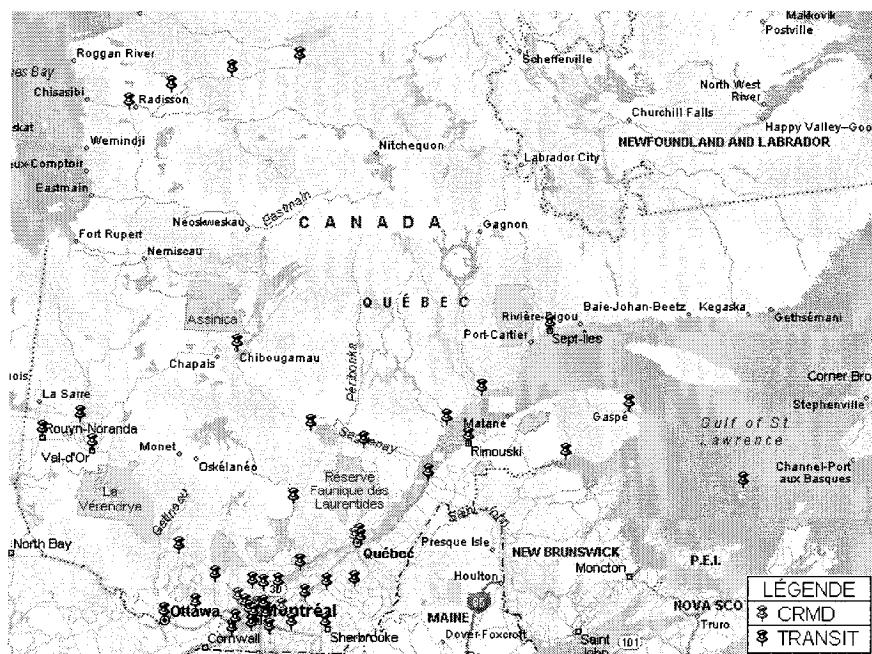


Figure 4-2 Emplacement des CRMD et sites de transit d'Hydro-Québec

La matrice de temps qui en résulte est donnée à l'annexe D. Il est à noter que les temps obtenus n'incluent pas de temps pour les pauses, les repas ou les arrêts pour mettre de l'essence. Aussi, la distance parcourue par les traversiers n'est pas prise en compte dans le calcul de la distance. Par contre, le temps passé sur le traversier a été considéré. Les temps obtenus ont été comparés avec la liste des distances et temps entre les sites de transit et les CRMD remise par Hydro-Québec. Aucune différence notable n'a été observée.

4.4 Hypothèses

La section précédente décrit le fonctionnement du réseau de logistique inverse d'Hydro-Québec. Pour poursuivre l'étude, les hypothèses suivantes sont ajoutées et sont expliquées par la suite :

- la localisation des quatre CRMD actuels est maintenue;
- les revenus de la vente et le coût de traitement par unité sont considérés comparables entre les CRMD;
- le cas particulier du générateur qui envoie directement vers un CRMD n'est pas considéré (cas exceptionnel : réfection majeure);
- les sites de transit des régions non reliées par routes sont ignorés;
- le niveau d'activité demeure constant d'année en année;
- le coût de transport est fonction de la distance parcourue seulement;
- le transport se fait seulement sur les routes du Québec (sauf pour les îles-de-la-Madeleine);
- l'utilisation de traversiers est évitée le plus possible;
- les coûts de la main-d'œuvre sont considérés constants et ignorés;
- la relocalisation d'un employé n'entraîne aucun coût pour l'entreprise;
- la capacité d'un site de transit est de 30 charges;
- la capacité d'entreposage des CRMD est très grande;
- la capacité de traitement des CRMD est limitée par le nombre d'employés;

- la capacité du camion de transport est de 88 charges.

La première hypothèse est le maintien des quatre mêmes CRMD (St-Jérôme, Bout-de-l'Île, St-Hyacinthe et Québec). Le but du problème n'est pas de chercher à trouver une meilleure localisation des CRMD. Par contre, une analyse de sensibilité est faite sur ce sujet pour voir son influence sur la solution obtenue. Dans les scénarios où la capacité est accrue, un choix de localisation est fait parmi les quatre CRMD. La deuxième hypothèse est que les revenus et coûts de traitement par unité sont considérés comparables entre les CRMD. En fait, la plupart des MDR ne procurent aucun revenu et les coûts de traitement sont ignorés parce qu'il y a trop de facteurs qui influencent leur détermination. Il existe certains cas particuliers où le générateur envoie directement vers un CRMD. Ces cas exceptionnels ne sont pas considérés puisque ces MDR ne passent pas par un site de transit. Les sites de transit des régions non reliées par routes (Baie d'Hudson, Ungava, Basse côte nord et Île d'Anticosti) dont l'expédition vers le CRMD est faite par bateaux ne sont pas non plus considérés. Les MDR arrivent au port de Valleyfield une fois par année entre les mois de septembre et novembre pour les deux premiers et au port de Rimouski pour les deux autres. Le transport se fait ensuite vers le CRMD par camion. De plus, les volumes sont faibles pour ces quatre sites de transit. Par ailleurs, le niveau d'activité des CRMD est prévu de demeurer constant pour les années à venir. L'analyse a débuté avec les données de 2003. Les données de 2004, une fois disponibles, ont été comparées à celles de 2003 et confirment cette hypothèse. Comme mentionné précédemment, le coût de transport est seulement fonction du temps où le camion est utilisé. Cette hypothèse est valide lorsqu'un transporteur externe est utilisé. Par contre, lorsque le transport est fait à l'interne il faut considérer que le reste du temps disponible des camions est utilisé pour transporter d'autres marchandises sinon la fonction de coût est plus complexe. La prochaine hypothèse est que le transport se fait uniquement sur les routes du Québec. Celle-ci se justifie par le fait que le transport des MDR exige des permis spéciaux et qu'ils ne sont valides que sur un territoire donné. L'utilisation des traversiers est évitée le plus possible pour plusieurs raisons. Il y a entre autres les contraintes que certains traversiers ne fonctionnent pas toute l'année et que la

capacité du traversier ne permet pas toujours le type de camion utilisé. Dans le modèle, les coûts de la main-d'œuvre sont considérés constants et ignorés. Cette hypothèse est nécessaire pour ne pas influencer le choix de localisation en fonction des différences de salaires. Ces différences salariales s'expliquent majoritairement par l'ancienneté et le niveau de scolarité tel que prévu par les différentes conventions collectives. Les coûts de relocalisation sont ignorés dans le modèle retenu compte tenu que l'entreprise semble préférer réaffecter les employés à un autre poste et ouvrir des nouveaux postes à l'autre endroit comme ce fut le cas pour les centres de distribution. En réalité, l'entreprise cherche à trouver une nouvelle affectation à un employé d'un site afin d'éviter de le relocaliser. Ensuite, un nouveau poste est affiché à l'endroit désiré. La situation actuelle rend ceci possible puisqu'il y a des postes ouverts à plusieurs endroits. Malgré tout, une analyse de sensibilité est faite plus loin sur cette hypothèse dans le but de justifier le choix de l'ignorer. Étant donné que le détail précis de la capacité d'entreposage pour chaque site de transit n'a pas été obtenu, elle a été établie à 30 charges par site de transit. Comme mentionné précédemment, un transport peut être ajouté au besoin si un site de transit n'a plus de place pour recevoir des MDR. Cet estimé est conservateur et a pour impact d'augmenter la fréquence de visites d'un site de transit. Pour ce qui est de la capacité d'entreposage des CRMD, elle est considérée infinie. En effet, il s'agit de demander aux différents fournisseurs de venir chercher les MDR lorsque l'espace d'entreposage commence à manquer. C'est un peu l'équivalent d'augmenter le taux de rotation des stocks. Par contre, la capacité de traitement du système est limitée par la main-d'œuvre. Ainsi, une augmentation de personnel requis au CRMD est possible pour permettre une augmentation du volume de retour à traiter. Cependant, les zones de travail ne permettent pas d'augmenter la capacité à l'infini. Ici, l'hypothèse que la capacité peut être doublée suite à l'ajout de personnel le jour est utilisée. Par contre, le nombre total d'employés doit demeurer le même pour l'ensemble des CRMD. La dernière hypothèse faite concerne la capacité des camions. Elle est de 88 charges et sert à uniformiser la flotte de camions pour l'ensemble des CRMD. Cette hypothèse a peu d'influence au niveau du modèle de localisation.

4.5 Expérimentation

Après une analyse des données, il semble y avoir trois variables qui peuvent avoir une influence sur le résultat de l'étude. Ces trois variables sont : la stratégie de transport, le nombre de CRMD ouverts et la capacité des camions utilisés. Dans le cas de l'étude de localisation, la dernière variable ne sera pas traitée. De plus, deux stratégies de transport sont envisageables : le transport autonome des MDR (soit par un transporteur externe ou par un transporteur interne dédié) et le transport combiné en utilisant le plus possible le transport de distribution. Ces deux stratégies de transport sont étudiées. Pour vérifier la reconfiguration du nombre de CRMD, il faut que la capacité de ceux restant ouverts soit augmentée afin d'être en mesure de traiter une augmentation de travail. Ceci est possible grâce à l'hypothèse qui permet de doubler la capacité de traitement tout en conservant le nombre actuel total d'employés.

Avec ces deux variables et leurs niveaux, quatre scénarios sont donc envisagés. Le premier scénario consiste à maintenir la capacité actuelle des CRMD et obtenir l'affectation optimale grâce à un service de transport autonome. Pour le deuxième scénario, la capacité des CRMD est doublée et un service de transport autonome est utilisé afin de trouver l'affectation optimale des sites de transit aux CRMD. Le troisième scénario conserve la capacité actuelle tout en combinant le transport des MDR sur les retours des camions de distribution. Pour ce faire, l'affectation des sites de transit aux CRMD correspond à celle en place actuellement, c'est-à-dire selon les données de 2003, de façon à pouvoir combiner le plus possible. Ce scénario sert de témoin. Le dernier scénario permet de doubler la capacité des CRMD et de combiner le transport des MDR sur les retours des camions de distribution. Pour ce scénario, a priori, il a été choisi de conserver les CRMD #3 et #4 (les mêmes que les centres de distribution qui demeurent ouvert) dans le but de maximiser l'utilisation des camions de distribution et de connaître l'impact de la fermeture des deux centres de distribution sur le transport. Le tableau 4-10 résume les quatre scénarios considérés.

Deux mesures de performance ont été choisies pour l'analyse des résultats. Le premier indicateur de performance retenu est le coût. Cette mesure est utilisée dans les modèles

mathématiques de localisation et de tournées de véhicules. Le second indicateur de performance est le taux d'utilisation des ressources des CRMD. L'établissement du taux d'utilisation des CRMD permet de voir les déséquilibres de charges par rapport à la capacité disponible. Le calcul est obtenu par le ratio (%) entre la charge totale assignée et la capacité annuelle disponible. Finalement, il est à noter que le respect de la conformité légale est considéré comme très important. Compte tenu de sa nature difficile à mesurer, les scénarios ainsi que le modèle sont construits de façon à assurer cette conformité.

Tableau 4-10 Scénarios à l'étude

| Scénario | Capacité de traitement | CRMD considérés | Transport | Affectation |
|----------|------------------------|-----------------|-----------|-------------|
| 1 | Actuelle | Tous | Autonome | Optimale |
| 2 | Double | Tous | Autonome | Optimale |
| 3 | Actuelle | Tous | Combiné | Actuelle |
| 4 | Double | #3 et #4 | Combiné | Optimale |

4.6 Modèle

Pour cette première partie de l'étude, un modèle de localisation est nécessaire afin d'assigner à chaque site de transit un CRMD pour le traitement des MDR. Celui-ci fait suite à l'étude des données, aux hypothèses énoncées et à l'expérimentation proposée dans les sections précédentes. Plusieurs essais ont été réalisés pour en arriver au modèle décrit plus loin. Un des premiers aspects importants est le contrôle de la capacité à recevoir des MDR et de les traiter aux CRMD. Comme discuté précédemment la limite à la capacité d'un CRMD est directement liée au nombre d'employés. Étant donné que l'entreprise a indiqué son désir de maintenir le niveau d'emploi actuel, le modèle doit être en mesure de respecter cette contrainte. D'ailleurs aucun de modèles présentés dans la revue de littérature ne contrôlent la capacité en fonction du nombre d'employés. Deux autres aspects qui doivent être pris en compte est que l'affectation doit demeurer la même par la suite et aussi qu'un site de transit est affecté à un seul CRMD.

Incidemment, le modèle proposé diffère de ceux décrits précédemment et comporte les caractéristiques suivantes : un seul produit (charges de MDR), la capacité existante des

CRMD en terme de ressources est considérée, la localisation des sites de transit étant donné est pris en compte puisque celle des générateurs n'est pas disponible et les revenus de la vente sont ignorés (supposés égaux entre les CRMD). Il est très similaire à un modèle classique de localisation d'entrepôts. Au lieu de faire la distribution à partir d'un entrepôt, celui-ci fait la collecte pour transporter vers les CRMD. L'explication de la notation est donnée au tableau 4-11 et la formulation du modèle est la suivante :

$$\text{Min } Z = \sum_j CF_j T_j + \sum_i \sum_j 2 * CT * f_i * D_{ij} U_{ij} \quad (4.0)$$

Sujet à

$$\sum_i U_{ij} * S_i \leq MAXT * (p_j + a_j - r_j) \quad \forall j \quad (4.1)$$

$$p_j + a_j - r_j \leq T_j * FA * p_j \quad \forall j \quad (4.2)$$

$$\sum_j U_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (4.3)$$

$$\sum_j a_j = \sum_j r_j \quad (4.4)$$

$$T_j \in \{0,1\} \quad (4.5)$$

$$U_{ij} \in \{0,1\} \quad (4.6)$$

$$a_j \in \{0,1\} \quad (4.7)$$

$$p_j \in \{0,1\} \quad (4.8)$$

La fonction économique cherche à minimiser le coût total d'opération et de transport pour les CRMD. Les coûts fixes d'opération d'un CRMD (CF_j) sont pris en compte dans le premier terme. Ils incluent les éléments de coût reliés aux MDR suivants : la refacturation des bâtiments, le matériel de transport, l'amortissement, les taxes foncières et les frais financiers. Il est à noter que la répartition des coûts entre les CRMD est celle fournie par l'entreprise. Les seuls frais variables considérés par le modèle sont les coûts de transport et sont représentés par le second terme. En effet, le coût de la main-d'œuvre est supposé constant étant donné que la relocalisation, l'embauche ou les réaffectations du personnel sont possibles. Le coût de transport est obtenu en multipliant le taux

horaire de transport (CT) par le temps de transport (D_{ij}) entre le site de transit et le CRMD et la fréquence de visites (f_j) est multipliée par deux pour tenir compte des allers-retours. Le taux horaire de transport est composé du coût d'utilisation du camion (l'amortissement, l'essence, les réparations, les assurances, etc.) et du coût du chauffeur (salaire et avantages sociaux). La fréquence de visites est déterminée par la quantité mensuelle maximum de charges divisée par la capacité d'entreposage du site de transit. Ainsi, la fréquence correspond au nombre de fois qu'un site de transit est visité à chaque mois. Finalement, le modèle ne tient pas compte du coût de fermeture et de démantèlement d'un CRMD.

Tableau 4-11 Notation pour le modèle de localisation

| <i>Indices</i> | |
|-------------------------------|--|
| i | site de transit |
| j | CRMD |
| <i>Paramètres</i> | |
| CF_j | coût d'opération du CRMD j |
| CT | coût de transport (\$/heure) |
| f_j | fréquence de visites vers le site de transit i |
| D_{ij} | temps de transport (en heure) du site de transit i au CRMD j |
| S_i | quantité de charge disponible au site de transit i |
| $MAXT$ | capacité maximum de traitement par personne (en charge) |
| p_j | nombre d'employés au CRMD j |
| FA | facteur d'ajustement de la capacité de traitement |
| <i>Variables de décisions</i> | |
| T_j | 0/1 pour la sélection d'un CRMD j |
| U_{ij} | 0/1 pour l'utilisation du CRMD j par le site de transit i |
| a_j | nombre d'employés ajoutés au CRMD j |
| r_j | nombre d'employés retirés du CRMD j |

Les contraintes 4.1 assurent que la capacité de traitement est respectée pour chaque CRMD. Elles tiennent compte de la quantité maximum $MAXT$ qu'un employé peut traiter annuellement. Pour ce qui est des contraintes 4.2, elles font en sorte que le nombre d'employés ajoutés ou retirés d'un CRMD ne dépasse pas le facteur d'ajustement de la capacité de traitement FA multiplié par le nombre d'employés actuels. Les contraintes 4.3 garantissent qu'un seul CRMD est attribué par site de transit.

Quant à la contrainte 4.4, elle assure l'équilibre du nombre d'employés ajoutés avec le nombre d'employés retirés pour l'ensemble des CRMD. Finalement, les contraintes 4.5, 4.6, 4.7 et 4.8 obligent que T_j , U_{ij} , a_j et r_j soient des variables binaires. Le modèle en langage OPL utilisé est donné à l'annexe E et les jeux de données sont fournis à l'annexe F.

4.7 Résultats

Cette section présente les résultats des quatre scénarios étudiés. L'outil de résolution utilisé est OPL Studio version 3.7, un logiciel qui résout des problèmes de programmation mathématique et qui permet de trouver la solution optimale du modèle décrit précédemment. L'ordinateur utilisé est un Pentium 4 de 2,53 GHz avec 1,00 Giga-octets de mémoire vive sous le système d'exploitation Windows XP SP2. Les distances et les temps de transport sont basés sur le réseau routier du Québec à l'aide du logiciel MapPoint 2004 de Microsoft. Il est à noter que les contraintes décrites auparavant quant au transport des MDR ont été considérées.

Un sommaire des résultats par CRMD est donné et les sites de transit affectés à chaque CRMD sont présentés. Ceci est accompagné d'une analyse de la charge de travail des CRMD et des changements du niveau d'emploi des CRMD. Le temps de résolution avec CPLEX 7.0 pour tous les scénarios est inférieur à une seconde. Les scénarios comportent 192 variables et 54 contraintes. Les coûts des solutions de chacun des quatre scénarios sont montrés au tableau 4-12 ainsi que la variation (entre parenthèse) par rapport au scénario #2, le plus faible en coûts. Les coûts fixes comportent la refacturation des bâtiments, le matériel de transport, l'amortissement, les taxes foncières et les frais financiers. Le coût de transport tient compte du temps que le camion est utilisé multiplié par le taux horaire. Le tableau 4-13 fournit un sommaire des résultats du modèle. Le résultat de l'affectation pour chaque scénario est dévoilé au tableau 4-14. Finalement, l'utilisation de la moyenne des retours fait en sorte que la quantité reçue excède la capacité de traitement pour certains mois comme indiqué au tableau 4-15.

Tableau 4-12 Sommaire des coûts du modèle de localisation avec les données de 2003

| Scénario | Nombre de CRMD | Coûts | | | Total |
|----------|----------------|-------------------|------------------|--------------------|-------|
| | | Fixes | Transport | | |
| #1 | 4 | 404 000\$ (114 %) | 698 598\$ (-4 %) | 1 102 598\$ (20 %) | |
| #2 | 2 | 189 200\$ (0 %) | 730 388\$ (0 %) | 919 588\$ (0 %) | |
| #3 | 4 | 404 000\$ (114 %) | 701 624\$ (-4 %) | 1 105 624\$ (20 %) | |
| #4 | 2 | 244 600\$ (29%) | 775 302\$ (6 %) | 1 019 902\$ (11 %) | |

Tableau 4-13 Sommaire des résultats du modèle de localisation

| Scénario | CRMD | T _j | $\sum U_{ij}$ | p _j | a _j | r _j | S _i | Capacité de traitement annuelle | % de la capacité |
|----------|------|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------------|------------------|
| 1 | #1 | Ouvert | 16 | 2 | 0 | 0 | 3 091 | 3 480 | 88,8% |
| | #2 | Ouvert | 4 | 1 | 0 | 0 | 1 648 | 1 740 | 94,7% |
| | #3 | Ouvert | 11 | 2 | 0 | 0 | 2 965 | 3 480 | 85,2% |
| | #4 | Ouvert | 14 | 2 | 0 | 0 | 3 342 | 3 480 | 96,0% |
| 2 | #1 | Ouvert | 28 | 2 | 2 | 0 | 6 508 | 6 960 | 93,5% |
| | #2 | Fermé | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | - |
| | #3 | Fermé | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | - |
| | #4 | Ouvert | 17 | 2 | 1 | 0 | 4 538 | 5 220 | 86,9% |
| 3 | #1 | Ouvert | 16 | 2 | 0 | 0 | 3 181 | 3 480 | 91,4% |
| | #2 | Ouvert | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 196 | 1 740 | 68,7% |
| | #3 | Ouvert | 13 | 2 | 0 | 0 | 3 327 | 3 480 | 95,6% |
| | #4 | Ouvert | 14 | 2 | 0 | 0 | 3 342 | 3 480 | 96,0% |
| 4 | #1 | Fermé | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | - |
| | #2 | Fermé | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | - |
| | #3 | Ouvert | 30 | 2 | 2 | 0 | 6 804 | 6 960 | 97,8% |
| | #4 | Ouvert | 15 | 2 | 1 | 0 | 4 242 | 5 220 | 81,3% |

4.7.1 Scénario 1 : Transport des MDR autonomes selon la capacité actuelle

Le premier scénario conserve les quatre CRMD ouverts. De plus, la capacité des centres demeure la même que celle actuellement en place. Le coût annuel obtenu pour la solution optimale est de 1 102 598\$. L'implantation de cette solution n'entraîne aucun

changement des coûts fixes annuels puisque les quatre CRMD sont maintenus. L'analyse des résultats montre un partage assez bien réparti dans la charge de travail entre les CRMD. Ainsi le CRMD #4 est le plus sollicité avec une charge de travail de 96,0% de sa capacité disponible. Ensuite, il y a le CRMD #2 qui est exploité à 94,7% de sa capacité, tandis que les deux autres CRMD sont utilisés autour de 85%. La capacité de traitement est excédée de trois à cinq mois par CRMD de 2% à 73%. Le plus gros problème de capacité subvient au CRMD #4 au mois de juillet avec un retour de Baie-Comeau de près de trois fois supérieur à sa moyenne.

Tableau 4-14 Affectation des sites de transit aux CRMD

| Scénario | 1 | | | | 2 | | | | 3 | | | | 4 | | | | |
|----------------------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | CRMD | # 1 | # 2 | # 3 | # 4 |
| Site de transit | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bout-de-l'Île | | X | | | | X | | | | | X | | | | | | X |
| Jarry | | X | | | | X | | | | | X | | | | | | X |
| St-Hyacinthe | | | X | | | X | | | | | | X | | | | | X |
| Sorel | | | X | | | X | | | | | | X | | | | | X |
| Drummondville | | | X | | | | | | X | | | X | | | | | X |
| St-Bruno | | | X | | | X | | | | | | X | | | | | X |
| Victoriaville | | | X | | | | | | X | | | X | | | | | X |
| Valleyfield | X | | | | | X | | | | | | X | | | | | X |
| Granby | | | X | | | X | | | | | | X | | | | | X |
| St-Jean | | | X | | | X | | | | | | X | | | | | X |
| Châteauguay | | | X | | | X | | | | | | X | | | | | X |
| Vaudreuil | | X | | | | X | | | | | | X | | | | | X |
| Sherbrooke | | | X | | | X | | | | | | X | | | | | X |
| Trois-Rivières | | | X | | | | | | X | | | X | | | | | X |
| Beauport | | | | X | | | | X | | | | X | | | | | X |
| Thetford-Mines | | | | X | | | | X | | | | X | | | | | X |
| Lévis | | | | X | | | | X | | | | X | | | | | X |
| Îles-de-la-Madeleine | | | | X | | | | X | | | | X | | | | | X |
| Rimouski | | | | X | | | | X | | | | X | | | | | X |
| Rivière-du-Loup | | | | X | | | | X | | | | X | | | | | X |
| Gaspé | | | | X | | | | X | | | | X | | | | | X |
| Carleton | | | | X | | | | X | | | | X | | | | | X |
| Baie-Comeau | | | | X | | | | X | | | | X | | | | | X |
| Sept-Îles | | | | X | | | | X | | | | X | | | | | X |
| Forestville | | | | X | | | | X | | | | X | | | | | X |

Tableau 4-14 Affectation des sites de transit aux CRMD (suite)

| Scénario | 1 | | | | 2 | | | | 3 | | | | 4 | | | | |
|-----------------|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|
| | CRMD | # 1 | # 2 | # 3 | # 4 | CRMD | # 1 | # 2 | # 3 | # 4 | CRMD | # 1 | # 2 | # 3 | # 4 | CRMD | # 1 |
| Site de transit | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Blainville | X | | | | | X | | | | | X | | | | | | X |
| Hull | X | | | | | X | | | | | X | | | | | | X |
| Papineauville | X | | | | | X | | | | | X | | | | | | X |
| Joliette | | X | | | | X | | | | | X | | | | | | X |
| Rawdon | X | | | | | X | | | | | X | | | | | | X |
| St-Jovite | X | | | | | X | | | | | X | | | | | | X |
| Mont-Laurier | X | | | | | X | | | | | X | | | | | | X |
| Laval | X | | | | | X | | | | | X | | | | | | X |
| Chicoutimi | | | | X | | | | | X | | | | X | | | | X |
| Chibougamau | | | | X | | | | X | | | | X | | | | | X |
| Rouyn-Noranda | X | | | | | X | | | | | X | | | | | | X |
| Amos | X | | | | | X | | | | | X | | | | | | X |
| Val d'Or | X | | | | | X | | | | | X | | | | | | X |
| LG-2 | X | | | | | X | | | | | X | | | | | | X |
| Némiscau | X | | | | | X | | | | | X | | | | | | X |
| LG-3 | X | | | | | X | | | | | X | | | | | | X |
| LG-4 | X | | | | | X | | | | | X | | | | | | X |
| CERV/IREQ | | | X | | X | | | | | | | | X | | | | X |
| Québec | | | | X | | | | X | | | | | | | | | X |
| St-Jérôme | X | | | | X | | | | | X | | | | | | | X |

4.7.2 Scénario 2 : Transport autonome des MDR selon le double de la capacité actuelle

Le deuxième scénario détermine lesquels des quatre CRMD resteront ouverts si la capacité des centres peut être doublée. Le nombre total d'employés doit cependant demeurer le même qu'actuellement. La solution optimale obtenue conserve deux des quatre CRMD pour un coût annuel total de \$919 588. L'implantation de cette solution permet une diminution des coûts fixes de 214 800\$ annuellement par rapport à maintenir quatre CRMD. La solution optimale propose de fermer les CRMD #2 et #3. Les employés de ces deux CRMD sont relocalisés vers les CRMD #1 et #4. L'analyse des résultats du modèle de localisation montre que plus de 60% des sites de transit sont affectés au CRMD #1 et le reste au CRMD #4. Ainsi, la charge de travail du CRMD #1

représente 93,5% de sa capacité disponible après l'ajout de deux employés. Le CRMD #4 est utilisé quant à lui à 86,9% de sa capacité après l'ajout de un employé. Cette inégalité du nombre de sites de transit affectés est attribuable au fait que les CRMD #1, #2 et #3 sont situés assez près les uns des autres et qu'ils ont un grand nombre de sites de transit à proximité. La situation est différente pour le CRMD #4 qui est, quant à lui, plus éloigné et a un moins grand nombre de sites de transit dans ses environs. La contrainte qui impose que le nombre d'employés ne puisse pas dépasser le double du nombre actuel constitue la principale raison qui justifie que le CRMD #1 soit fortement utilisé comparativement au CRMD #4. La capacité utilisée surpassé de 1% à 24% celle de traitement à trois occasions pour le CRMD #1 et à quatre occasions pour le CRMD #4. La décision d'Hydro-Québec de fermer les centres de distribution #1 et #2 diffère de la solution obtenue de fermer les CRMD #2 et #3. Ceci est vérifié au scénario 4.

Tableau 4-15 Capacité mensuelle excédée

| Scénario | CRMD | Mois (quantité de charges) | Capacité de traitement mensuelle |
|----------|------|---|----------------------------------|
| 1 | #1 | Juin (322), juillet (315), septembre (354) et octobre (336) | 290 |
| | #2 | Février (158), mars (187) et avril (174) | 145 |
| | #3 | Janvier (311), juin (330) et octobre (356) | 290 |
| | #4 | Juillet (502), septembre (304), octobre (337), novembre (398) et décembre (297) | 290 |
| 2 | #1 | Avril (628), juin (617), septembre (583) et octobre (687) | 580 |
| | #4 | Juillet (540), octobre (470) et novembre (479) | 435 |
| 3 | #1 | Avril (310), juin (342), juillet (337), septembre (372) et octobre (353) | 290 |
| | #2 | Avril (148) | 145 |
| | #3 | Janvier (337), juin (350) et octobre (360) | 290 |
| | #4 | Juillet (502), septembre (304), octobre (337), novembre (398) et décembre (297) | 290 |
| 4 | #3 | Avril (653), juin (636), juillet (581), septembre (613) et octobre (704) | 580 |
| | #4 | Juillet (530), octobre (453) et novembre (479) | 435 |

4.7.3 Scénario 3 : Transport des MDR combinées avec le transport de distribution

Le troisième scénario cherche à combiner le transport des MDR avec celui des camions des magasins de distribution. La capacité des CRMD est inchangée. Le transport des magasins de distribution se fait via une flotte de camions dédiés avec une capacité de 88 charges. Par contre, la plus grande contrainte est de s'assurer d'avoir l'espace et le temps disponible pour prendre les MDR. Ceci n'est pas vérifié dans ce chapitre. La localisation des CRMD demeure la même qu'originalement. Le coût annuel du scénario témoin est de 1 105 624\$.

Aucun changement des coûts fixes annuels n'est à prévoir suite à l'implantation de cette solution puisque les quatre CRMD sont maintenus. Le modèle de localisation sert à calculer le coût de l'affectation selon les données de 2003 pour les quatre CRMD. L'analyse de la charge de travail entre les CRMD montre un partage assez bien réparti pour trois des quatre CRMD. Ainsi le CRMD #4 est le plus sollicité avec une charge de travail de 96,0% de sa capacité disponible. Ensuite, le CRMD #3 suit de près avec 95,6% de sa capacité. Le CRMD #1 est sollicité à 91,4% de sa capacité tandis que le CRMD #2 est le moins sollicité avec seulement 68,7%. La capacité de traitement est excédée de 2% à 73% et cela de une à cinq mois par CRMD. Comme au scénario 1, le plus gros problème de capacité subvient au CRMD #4 au mois de juillet pour le site de transit de Baie-Comeau.

4.7.4 Scénario 4 : Transport des MDR combinées avec le transport de distribution selon le double de la capacité actuelle

Le quatrième scénario reprend l'hypothèse du transport combiné du scénario 3 en plus de permettre de doubler la capacité des CRMD. Le nombre total d'employés doit cependant demeurer le même. Les CRMD qui restent ouverts sont les mêmes que les centres de distribution qui ont été conservé, soit les CRMD #3 et #4. Une problématique particulière se pose ici au niveau de l'affectation des transits au CRMD. Deux options sont possibles, soit d'effectuer une affectation optimale sans tenir compte des transports

de distribution disponibles, soit de réaliser une affectation basée sur les transports de distribution disponibles pour maximiser l'utilisation du transport de retours. La première option est retenue pour ce scénario. Le coût annuel obtenu selon l'affectation est de 1 019 902\$.

L'implantation de cette solution permet de diminuer les coûts fixes annuels de près de 160 000\$ puisque seulement deux CRMD sont maintenus. L'analyse de la charge de travail entre les CRMD montre un déséquilibre. Ainsi, le CRMD #3 est très sollicité avec une charge de travail de 97,8% de sa capacité disponible. Le CRMD #4 est sollicité quant à lui à 81,3% de sa capacité. Pour ce dernier scénario, la capacité utilisée dépasse de 0% à 22% celle de traitement à trois occasions pour le CRMD #3 et à cinq occasions pour le CRMD #4.

4.8 Analyse de sensibilité

Cette section fait l'analyse de sensibilité du modèle de localisation décrit précédemment. Le but recherché est de voir à quel point les solutions sont sensibles aux variations de différents paramètres. L'étude précédente montrait des solutions avec deux ou quatre CRMD. Une première analyse est de déterminer quelle est la meilleure solution si Hydro-Québec désire conserver trois CRMD. Ensuite, l'analyse de sensibilité concernant le coût de relocalisation est faite. Subséquemment, une variation du coût horaire de transport et des coûts fixes est réalisée. Finalement, l'impact de la localisation des CRMD est étudié en changeant la localisation des CRMD. Encore une fois, le temps de résolution du modèle avec CPLEX 7.0 est inférieur à une seconde.

4.8.1 Conserver trois CRMD

Puisque que les solutions du modèle de localisation conservaient deux ou quatre CRMD, cette sous-section choisit de fermer à tour de rôle chacun des CRMD pour voir quel est l'impact sur le réseau de logistique inverse d'en conserver trois. Tout d'abord, il faut maintenir la capacité globale après la fermeture d'un CRMD. En fixant la variable

$FA = 2$, c'est-à-dire permettre de doubler la capacité, la solution du scénario 2 qui ne comporte que deux CRMD est obtenue. Pour que le modèle conserve trois CRMD, il faut poser $FA = 1,5$. Un FA de 1,5 est requis afin d'obtenir un nombre entier pour a_j ou r_j . Le tableau 4-16 présente le sommaire des coûts suite à la fermeture d'un CRMD tout en conservant les trois autres. Le détail de chacun est expliqué par la suite. Le sommaire des résultats est présenté au tableau 4-17. Le tableau 4-18 donne pour chaque CRMD les sites de transit affectés suite à la fermeture d'un CRMD.

Tableau 4-16 Sommaire des coûts suite à la fermeture d'un CRMD

| Fermeture du CRMD | Coût annuel total | Coût évité |
|-------------------|-------------------|------------|
| #1 | 1 082 984\$ | 19 614\$ |
| #2 | 1 025 372\$ | 77 226\$ |
| #3 | 994 162\$ | 108 436\$ |
| #4 | 1 097 538\$ | 5 060\$ |

Pour $FA = 1,5$, le modèle ferme le CRMD de St-Hyacinthe en premier. Le coût annuel de la solution obtenue est de 994 162\$ soit une réduction de 108 436\$ par rapport au scénario 1. La fermeture du CRMD #3 en premier est attribuable au fait que c'est lui qui a les plus grands coûts fixes parmi l'ensemble des CRMD. La répartition de la charge de travail entre les CRMD n'est pas bien équilibrée. Ainsi le CRMD #2 est le plus sollicité avec une charge de travail de 98,4% de sa capacité disponible.

En forçant le modèle à conserver le CRMD #3 ouvert, le choix de fermeture d'un CRMD suivant est celui de Bout-de-L'Île. Le coût annuel de la solution est de 1 025 372\$ et permet de réduire les coûts de 77 226\$ comparativement au scénario 1. Les coûts fixes du CRMD #2 sont les deuxièmes plus élevés. L'équilibre de la répartition de la charge de travail entre les CRMD est mieux que lors de la fermeture du CRMD #3.

Si les CRMD #2 et #3 ne peuvent pas être fermés, le CRMD de St-Jérôme est alors retenu. Le coût annuel de la solution est de 1 082 984\$. La réduction de coût par rapport au scénario 1 est de 19 614\$. L'équilibre de la répartition de la charge de travail entre les

CRMD est moins bon que celui obtenu pour la fermeture du CRMD #2 ou #3. En effet, les CRMD #2 et #3 sont presqu'à pleine capacité tandis que le CRMD #4 n'est utilisé qu'à 81,3%. Aussi, les sites de transit de Hull et de Papineauville, pourtant à proximité l'un de l'autre, se retrouvent dans deux CRMD différents.

Tableau 4-17 Sommaire des résultats suite à la fermeture d'un CRMD

| CRMD fermé | CRMD | T _j | ΣU _{ij} | p _j | a _j | r _j | S _i | Capacité de traitement annuelle | % de la capacité |
|------------|------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------------|------------------|
| #1 | #1 | Fermé | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | - |
| | #2 | Ouvert | 10 | 1 | 0 | 0 | 1 716 | 1 740 | 98,6% |
| | #3 | Ouvert | 20 | 2 | 1 | 0 | 5 088 | 5 220 | 97,5% |
| | #4 | Ouvert | 15 | 2 | 1 | 0 | 4 242 | 5 220 | 81,3% |
| #2 | #1 | Ouvert | 20 | 2 | 1 | 0 | 4 739 | 5 220 | 90,8% |
| | #2 | Fermé | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | - |
| | #3 | Ouvert | 11 | 2 | 0 | 0 | 2 965 | 3 480 | 85,2% |
| | #4 | Ouvert | 14 | 2 | 0 | 0 | 3 342 | 3 480 | 96,0% |
| #3 | #1 | Ouvert | 21 | 2 | 1 | 0 | 4 795 | 5 220 | 91,9% |
| | #2 | Ouvert | 7 | 1 | 0 | 0 | 1 713 | 1 740 | 98,4% |
| | #3 | Fermé | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | - |
| | #4 | Ouvert | 17 | 2 | 1 | 0 | 4 538 | 5 220 | 86,9% |
| #4 | #1 | Ouvert | 20 | 2 | 1 | 0 | 4 545 | 5 220 | 87,1% |
| | #2 | Ouvert | 3 | 1 | 0 | 0 | 1 712 | 1 740 | 98,4% |
| | #3 | Ouvert | 22 | 2 | 1 | 0 | 5 088 | 5 220 | 91,7% |
| | #4 | Fermé | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | - |

Finalement, si aucun des trois premiers CRMD ne peut être fermé, c'est celui de Québec qui est fermé. La solution donne un coût annuel de 1 097 538\$ et entraîne une réduction de 5 060\$ par rapport au premier scénario. La charge de travail du CRMD #2 est près de sa pleine capacité tandis que les deux autres sont autour de 90%. Encore une fois, certaines affectations rendent impossibles la combinaison de plusieurs sites de transit lors des tournées de véhicules.

Tableau 4-18 Affectation des sites de transit suite à la fermeture d'un CRMD

| CRMD fermé | #1 | | | | #2 | | | | #3 | | | | #4 | | | |
|----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | #1 | #2 | #3 | #4 | #1 | #2 | #3 | #4 | #1 | #2 | #3 | #4 | #1 | #2 | #3 | #4 |
| Site de transit | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bout-de-l'Île | X | | | | X | | | | X | | | | X | | | |
| Jarry | | X | | | X | | | | X | | | | X | | | |
| St-Hyacinthe | | X | | | | X | | | X | | | | | | | X |
| Sorel | | X | | | | X | | | X | | | | | | | X |
| Drummondville | | X | | | | X | | | | | | X | | | | X |
| St-Bruno | | X | | | | X | | | X | | | | | | | X |
| Victoriaville | | X | | | | X | | | | | | X | | | | X |
| Valleyfield | | X | X | | | | | | X | | | | X | | | |
| Granby | | X | | | | X | | | X | | | | | | | X |
| St-Jean | | X | | | | X | | | X | | | | | | | X |
| Châteauguay | | X | | | | X | | | X | | | | | | | X |
| Vaudreuil | | X | X | | | | | | X | | | | X | | | |
| Sherbrooke | | X | | | | X | | | X | | | | | | | X |
| Trois-Rivières | | | X | | | X | | | | | | X | | | | X |
| Beauport | | | X | | | | X | | | | | X | | | | X |
| Thetford-Mines | | | X | | | | X | | | | | X | | | | X |
| Lévis | | | X | | | | X | | | | | X | | | | X |
| Îles-de-la-Madeleine | | | X | | | | X | | | | | X | | | | X |
| Rimouski | | | X | | | | X | | | | | X | | | | X |
| Rivière-du-Loup | | | X | | | | X | | | | | X | | | | X |
| Gaspé | | | X | | | | X | | | | | X | | | | X |
| Carleton | | | X | | | | X | | | | | X | | | | X |
| Baie-Comeau | | | X | | | | X | | | | | X | | | | X |
| Sept-Îles | | | X | | | | X | | | | | X | | | | X |
| Forestville | | | X | | | | X | | | | | X | | | | X |
| Blainville | | X | | X | | | | | X | | | | X | | | |
| Hull | | X | | X | | | | | X | | | | X | | | |
| Papineauville | | X | | X | | | | | X | | | | X | | | |
| Joliette | | X | | X | | | | | X | | | | X | | | |
| Rawdon | | X | | X | | | | | X | | | | X | | | |
| St-Jovite | | X | | X | | | | | X | | | | X | | | |
| Mont-Laurier | | X | | X | | | | | X | | | | X | | | |
| Laval | | | X | X | | | | | X | | | | X | | | |
| Chicoutimi | | | X | | | | X | | | | | X | | | | X |
| Chibougamau | | | X | | | | X | | | | | X | | X | | |
| Rouyn-Noranda | | | X | X | | | | | X | | | | X | | | |

Tableau 4-18 Affectation des sites de transit suite à la fermeture d'un CRMD (suite)

| CRMD fermé | #1 | | | | #2 | | | | #3 | | | | #4 | | | |
|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | #1 | #2 | #3 | #4 | #1 | #2 | #3 | #4 | #1 | #2 | #3 | #4 | #1 | #2 | #3 | #4 |
| Site de transit | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Amos | | X | | | X | | | | X | | | | X | | | |
| Val d'Or | | X | | | X | | | | X | | | | X | | | |
| LG-2 | | | X | | X | | | | X | | | | X | | | |
| Némiscau | | | X | | X | | | | X | | | | X | | | |
| LG-3 | | X | | | X | | | | X | | | | X | | | |
| LG-4 | | X | | | X | | | | X | | | | X | | | |
| CERV/IREQ | | | X | | | X | | | X | | | | | | | X |
| Québec | | | | X | | | X | | | | X | | | | X | |
| St-Jérôme | | | X | | X | | | | X | | | X | | | | |

4.8.2 Coût de relocalisation

L'analyse de sensibilité du modèle par l'ajout d'un coût de relocalisation à la fonction objectif est faite pour le scénario 2 seulement, soit celui qui fait doubler la capacité de traitement ($FA = 2$). Le terme ajouté est l'addition de la somme des employés ajoutés ($\sum a_j$) multiplié par le coût de relocalisation par employé. Le tableau 4-19 donne le sommaire pour les coûts de relocalisation ainsi que la solution équivalente obtenue.

Tableau 4-19 Sommaire des résultats pour la variation du coût de relocalisation

| Coût de relocalisation | Résultat |
|------------------------|---------------------------------|
| 0 - 52 992\$ | Même solution que le scénario 2 |
| 52 992\$ - 77 226\$ | Fermeture de Bout-de-l'Île |
| > 77 226\$ | Même solution que le scénario 1 |

Si le coût de relocalisation ne dépasse pas 52 992\$, la solution obtenue pour le scénario 2 est valide. Par contre si le coût de relocalisation se situe entre 52 992\$ et 77 226\$, la solution obtenue conserve trois CRMD et ferme le CRMD de Bout-de-l'Île. Si le coût de relocalisation est plus grand que 77 226\$, alors le modèle conserve les quatre CRMD et donne la même solution que le scénario 1. L'hypothèse faite auparavant d'ignorer ce coût du modèle est acceptable puisque le coût de relocalisation est relativement grand

pour avoir une influence sur l'affectation et compte tenu de la politique de l'entreprise qui favorise la réaffectation des employés et l'ouverture de nouveaux postes.

4.8.3 Variation du coût horaire de transport

Le but de faire varier le coût horaire de transport (CT) est de voir la sensibilité de l'affectation obtenue pour une plage de CT assez large. L'analyse de sensibilité est effectuée pour $FA = 1$ et $FA = 2$, ce qui représente la situation des scénarios 1 et 2. Le tableau 4-20 montre les résultats pour des variations de plus ou moins 40% de CT. Pour $FA = 1$, la solution obtenue est identique à celle du scénario 1 dans toute la plage de valeurs de CT essayé, soit de $0,6 * CT$ jusqu'à $1,4 * CT$. Ainsi, une variation de 20% de CT entraîne une variation de 139 719\$ dans le même sens de façon linéaire. La situation est semblable pour $FA = 2$. La solution correspond à la même que le scénario 2 pour les différentes valeurs de CT utilisées. Dans ce cas, une augmentation de 20% du CT produit une augmentation du coût total de 146 077\$. Le taux horaire du coût de transport n'a pas d'influence sur la décision d'affection autant pour le scénario 1 que pour le scénario 2. Le coût total varie linéairement dans les deux cas tel qu'illustre à la figure 4-3.

Tableau 4-20 Sommaire des résultats suite à la variation de CT

| Variation | Coût annuel total | |
|-----------|-------------------|-------------|
| | FA = 1 | FA = 2 |
| 0.6 * CT | 823 159\$ | 627 433\$ |
| 0.8 * CT | 962 878\$ | 773 510\$ |
| 1.2 * CT | 1 242 318\$ | 1 065 666\$ |
| 1.4 * CT | 1 382 037\$ | 1 211 743\$ |

4.8.4 Variation des coûts fixes

L'autre facteur de coût de la fonction objectif est la portion concernant les coûts fixes (CF_j). L'analyse de sensibilité de l'affectation est faite sur une plage de plus ou moins

40% de CF_j pour $FA = 1$ et $FA = 2$ de façon à reprendre les scénarios 1 et 3. Le tableau 4-21 montre les résultats pour les variations de CF_j .

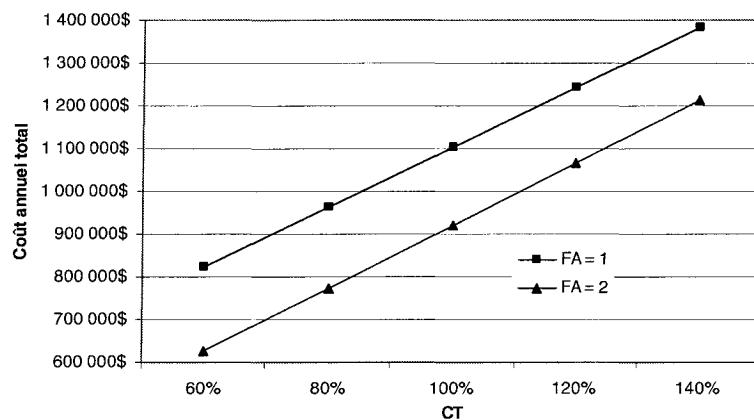


Figure 4-3 Impact de la variation de CT sur le coût de la solution

Dans les deux cas, $FA = 1$ et $FA = 2$, les solutions obtenues correspondent aux solutions des scénarios 1 et 3 respectivement pour toute la plage de valeurs de CF_j essayé. Lorsque $FA = 1$, une variation de 20% de CF_j entraîne une variation de 80 800\$ tandis que $FA = 2$, une augmentation de 20% du CT fait augmenter le coût total de 37 840\$. Comme pour le taux horaire du coût de transport, les coûts fixes n'ont pas d'influence sur la décision d'affection autant pour le scénario 1 que le scénario 2. Par ailleurs, le coût total varie linéairement dans les deux cas. Par contre, la variation est moindre lorsque $FA = 2$ tel qu'illustré à la figure 4-4.

Tableau 4-21 Sommaire des résultats suite à la variation de CF_j

| Variation | Coût annuel total | |
|--------------|-------------------|-----------|
| | FA = 1 | FA = 2 |
| 0.6 * CF_j | 940 998\$ | 843 908\$ |
| 0.8 * CF_j | 1 021 798\$ | 881 748\$ |
| 1.2 * CF_j | 1 183 398\$ | 957 428\$ |
| 1.4 * CF_j | 1 264 198\$ | 995 268\$ |

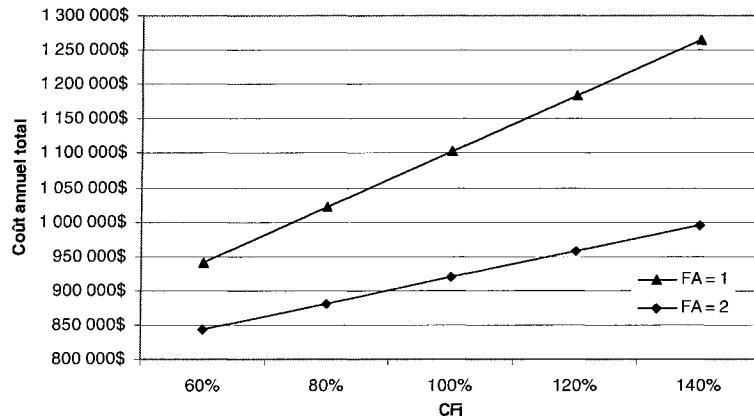


Figure 4-4 Impact de la variation de CF_j sur le coût de la solution

4.8.5 *Changement de localisation des CRMD*

Cette dernière analyse veut vérifier l'impact de la localisation des CRMD autant pour $FA = 1$ et $FA = 2$. En réalité, ce ne sont pas tous les sites de transit qui peuvent recevoir un CRMD. Le but de l'analyse de sensibilité n'est pas de choisir le meilleur site mais de plutôt voir quelle est la répercussion sur les coûts si la localisation d'un CRMD est changée. En 2003, les quatre sites de transit avec le plus grand volume de MDR sont Trois-Rivières avec 900 charges, Bout-de-l'Île avec 738 charges, Québec avec 638 charges et Hull avec 615 charges. Présentement, Bout-de-l'Île et Québec sont des CRMD. Ainsi, Trois-Rivières et Hull sont de bons candidats pour recevoir un CRMD compte tenu du volume de MDR à ces sites selon les hypothèses suivantes :

- les mêmes coûts fixes du CRMD fermé s'applique au nouveau CRMD;
- la fermeture du CRMD n'entraîne aucun coût de fermeture;
- l'ouverture d'un nouveau CRMD n'occasionne pas de coût.

Les deux candidats remplacent d'autres CRMD. L'analyse est faite un à la fois. Ainsi, Trois-Rivières est choisi pour remplacer Québec et Hull pour remplacer St-Jérôme. Le tableau 4-22 montre le coût annuel total pour les deux remplaçants sélectionnés. Le sommaire des résultats est présenté au tableau 4-23 pour les quatre cas et le tableau 4-24 montre l'affectation des sites de transit aux CRMD.

Tableau 4-22 Coût annuel total suite au remplacement d'un CRMD

| Remplacement de | Coût annuel total | |
|---------------------------|-------------------|-----------|
| | FA = 1 | FA = 2 |
| Québec par Trois-Rivières | 1 129 356\$ | 928 666\$ |
| St-Jérôme par Hull | 1 057 854\$ | 946 630\$ |

Tableau 4-23 Sommaire des résultats suite au remplacement d'un CRMD

| CRMD remplacé | CRMD | T _j | $\sum U_{ij}$ | p _j | a _j | r _j | S _i | Capacité de traitement annuelle | % de la capacité |
|------------------|------|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|---------------------|
| #4 et FA = 1 | #1 | Ouvert | 14 | 2 | 0 | 0 | 2 891 | 3 480 | 83,1% |
| | #2 | Ouvert | 4 | 1 | 0 | 0 | 1 648 | 1 740 | 94,7% |
| | #3 | Ouvert | 13 | 2 | 0 | 0 | 3 051 | 3 480 | 87,7% |
| | #4 | Ouvert | 14 | 2 | 0 | 0 | 3 456 | 3 480 | 99,3% |
| #4 et FA = 2 | #1 | Ouvert | 20 | 2 | 1 | 0 | 5 084 | 5 220 | 97,4% |
| | #2 | Fermé | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | - |
| | #3 | Ouvert | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | - |
| | #4 | Ouvert | 24 | 2 | 2 | 0 | 5 962 | 6 960 | 85,7% |
| #1 et FA = 1 | #1 | Ouvert | 13 | 2 | 0 | 0 | 2 556 | 3 480 | 73,4% |
| | #2 | Ouvert | 6 | 1 | 0 | 0 | 1 725 | 1 740 | 99,1% |
| | #3 | Ouvert | 12 | 2 | 0 | 0 | 3 423 | 3 480 | 98,4% |
| | #4 | Ouvert | 14 | 2 | 0 | 0 | 3 342 | 3 480 | 96,0% |
| #1 et FA = 2 | #1 | Ouvert | 13 | 2 | 0 | 0 | 2 597 | 3 480 | 74,6% |
| | #2 | Ouvert | 12 | 1 | 1 | 0 | 1 712 | 3 480 | 98,6% |
| | #3 | Fermé | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | - |
| | #4 | Ouvert | 20 | 2 | 1 | 0 | 5 009 | 5 220 | 96,0% |

a) *Remplacement de Québec par Trois-Rivières*

Le premier remplacement se fait au niveau du CRMD de Québec (#4) par Trois-Rivières. Le coût annuel de la solution suite au remplacement du CRMD #4 est de 1 129 356\$ pour FA = 1. Le coût annuel total est supérieur à celui du scénario 1 de 26 758\$. Par contre, la charge de travail est presqu'à pleine capacité pour le nouveau

CRMD de Trois-Rivières. Sa localisation plus centrale pourrait en être la cause. De plus, l'affectation ne semble pas trop bonne puisque des sites qui sont à proximité l'un de l'autre sont envoyés vers deux CRMD différents. Pour FA = 2, le coût annuel de la solution suite au remplacement du CRMD #4 est de 928 666\$. Le coût annuel total est supérieur à celui du scénario 2 de 9 078\$. L'équilibre de la charge de travail est meilleur que pour FA = 1 sauf que le CRMD #1 est utilisé à 97,4%. Le problème d'affectation lorsque FA = 1 est encore présent sauf qu'il y a moins de sites touchés.

Tableau 4-24 Affectation des sites de transit suite au remplacement d'un CRMD

| CRMD remplacé | #4 et FA = 1 | | | | #4 et FA = 2 | | | | #1 et FA = 1 | | | | #1 et FA = 2 | | | |
|----------------------|--------------|---|---|---|--------------|---|---|---|--------------|---|---|---|--------------|---|---|---|
| | CRMD | # | # | # | # | # | # | # | # | # | # | # | # | # | # | # |
| Site de transit | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Bout-de-l'Île | | X | | | X | | | | | X | | | | | X | |
| Jarry | | X | | | X | | | | | | X | | | | X | |
| St-Hyacinthe | | | X | | | | | X | | | X | | | | | X |
| Sorel | | | X | | | | | X | | | X | | | | | X |
| Drummondville | | | X | | | | | X | | | X | | | | | X |
| St-Bruno | | | X | | X | | | | | | X | | | | X | |
| Victoriaville | | | | X | | | | X | | | X | | | | | X |
| Valleyfield | X | | | | X | | | | X | | | | | | X | |
| Granby | | | X | | X | | | | | | X | | | | X | |
| St-Jean | | | X | | X | | | | | | X | | | | X | |
| Châteauguay | X | | | | X | | | | | | X | | | | X | |
| Vaudreuil | | X | | | X | | | | | X | | | | | X | |
| Sherbrooke | | | X | | | | | X | | | X | | | | | X |
| Trois-Rivières | | | | X | | | | X | | | X | | | | | X |
| Beauport | | | X | | | | | X | | | | X | | | | X |
| Thetford-Mines | | | X | | | | | X | | | | X | | | | X |
| Lévis | | | X | | | | | X | | | X | | | | | X |
| Îles-de-la-Madeleine | | | | X | | | | X | | | | X | | | | X |
| Rimouski | | | X | | | | | X | | | | X | | | | X |
| Rivière-du-Loup | | | | X | | | | X | | | | X | | | | X |
| Gaspé | | | | X | | | | X | | | | X | | | | X |
| Carleton | | | | X | | | | X | | | | X | | | | X |
| Baie-Comeau | | | | X | | | | X | | | | X | | | | X |
| Sept-Îles | | | | X | | | | X | | | | X | | | | X |
| Forestville | | | | X | | | | X | | | | X | | | | X |
| Blainville | X | | | | X | | | | | X | | | | X | | |
| Hull | X | | | | X | | | | X | | | | X | | | |

Tableau 4-24 Affectation des sites de transit suite au remplacement d'un CRMD (suite)

| CRMD remplacé | #4 et FA = 1 | | | | #4 et FA = 2 | | | | #1 et FA = 1 | | | | #1 et FA = 2 | | | | |
|-----------------|--------------|--------|--------|--------|--------------|--------|--------|--------|--------------|--------|--------|--------|--------------|--------|--------|--------|--------|
| | CRMD | # 1 | # 2 | # 3 | # 4 | # 1 | # 2 | # 3 | # 4 | # 1 | # 2 | # 3 | # 4 | # 1 | # 2 | # 3 | # 4 |
| Site de transit | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Papineauville | X | | | | | X | | | | X | | | | X | | | |
| Joliette | | X | | | | | | X | | X | | | | X | | | |
| Rawdon | X | | | | | X | | | | X | | | | X | | | |
| St-Jovite | X | | | | | X | | | | X | | | | X | | | |
| Mont-Laurier | X | | | | | X | | | | X | | | | X | | | |
| Laval | X | | | | | X | | | | X | | | | X | | | |
| Chicoutimi | | | X | | | | | X | | | | X | | | | X | |
| Chibougamau | | | X | | | | | X | | | | X | | | | X | |
| Rouyn-Noranda | X | | | | | X | | | | X | | | | X | | | |
| Amos | X | | | | | X | | | | X | | | | X | | | |
| Val d'Or | X | | | | | X | | | | X | | | | X | | | |
| LG-2 | | | X | | | | | X | X | | | | | X | | | |
| Némiscau | X | | | | | X | | | | X | | | | X | | | |
| LG-3 | | | X | | | | | X | X | | | | | X | | | |
| LG-4 | | | X | | | | | X | X | | | | | X | | | |
| CERV/IREQ | | X | | | | X | | | | | | X | | | X | | |
| Québec | | X | | | | | | X | | | | X | | | | X | |
| St-Jérôme | X | | | | | X | | | | X | | | | X | | | |

b) Remplacement de St-Jérôme par Hull

Le second remplacement se fait au niveau du CRMD de St-Jérôme (#4) par Hull. Le coût annuel de la solution suite au remplacement du CRMD #1 est de 1 057 854\$ pour FA = 1. Pour FA = 1, le coût annuel total est inférieur à celui du scénario 1 de 44 744\$. L'équilibre de la charge de travail n'est pas bon puisque le CRMD #1 est utilisé à seulement 73% et tous les autres sont sollicités à plus de 96%. Par contre, l'affectation ne présente pas de problème. Le coût annuel de la solution suite au remplacement du CRMD #4 est de 946 630\$ lorsque FA = 2. La première constatation est que trois CRMD sont requis dans ce cas-ci entraînant une augmentation du coût annuel total de 27 042\$ tandis qu'il y avait eu une diminution de ce coût avec FA = 1. Encore une fois, il y a un déséquilibre dans la charge de travail. Ainsi, le CRMD #1 n'est utilisé qu'à moins de 75% tandis que les CRMD #2 et #4 sont utilisés à plus de 96%. Aussi, il est à

noter que le nombre d'employés du CRMD #2 a été augmenté bien que sa capacité physique soit limitée.

4.8.6 *Variation de la capacité de traitement*

Il est clair a priori que le système est limité par la capacité de traitement (MAXT). Une analyse de ce paramètre permettra de faire ressortir les gains possibles si des changements dans les méthodes de travail sont apportés dans le but de simplifier les tâches. Une variation de 20% de MAXT par tranche de 10% est analysée pour FA = 1 et FA = 2. Le tableau 4-25 montre les coûts annuels totaux pour les deux variations. Une augmentation de MAXT de 10% pour FA = 1 donne une réduction du coût annuel de 612\$ par rapport au scénario 1. Par contre, la diminution du coût annuel n'est pas linéaire. Le sommaire des résultats est présenté au tableau 4-26 pour une augmentation de 10% et de 20% de MAXT pour FA = 1 et FA = 2. L'affectation du CRMD #4 est la même que pour le scénario 1 dans les deux cas tandis que celle du CRMD #3 diffère en ayant le site de transit de Châteauguay en moins qui se retrouve maintenant au CRMD #2. Le CRMD #2 est toujours le plus sollicité avec plus de 95%. Le modèle cherche à utiliser le maximum de la capacité de ce CRMD. Les changements d'affectation sont dus au fait qu'il y a un nombre élevé de sites de transit à proximité. Pour FA = 2, la solution obtenue est toujours la même que celle du scénario 2 peu importe la variation de MAXT. La seule différence est que le taux d'utilisation des deux CRMD ouverts diminue avec l'augmentation de MAXT. En conséquence, l'affectation n'est pas limitée par la capacité du modèle lorsque l'hypothèse de doubler la capacité des CRMD est utilisée.

Tableau 4-25 Coût annuel total suite à la variation de capacité de traitement des CRMD

| Variation | Coût annuel total | |
|------------|-------------------|-----------|
| | FA = 1 | FA = 2 |
| 1,1 * MAXT | 1 101 986\$ | 919 588\$ |
| 1,2 * MAXT | 1 101 510\$ | 919 588\$ |

Tableau 4-26 Sommaire des résultats pour l'augmentation de MAXT

| Scénario | CRMD | T _j | $\sum U_{ij}$ | P _j | a _j | r _j | S _i | Capacité de traitement annuelle | % de la capacité |
|----------------------------|------|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------------|------------------|
| 1,1 * MAXT et FA = 1 | #1 | Ouvert | 17 | 2 | 0 | 0 | 3 424 | 3 828 | 89,4% |
| | #2 | Ouvert | 4 | 1 | 0 | 0 | 1 859 | 1 914 | 97,1% |
| | #3 | Ouvert | 10 | 2 | 0 | 0 | 2 421 | 3 828 | 63,2% |
| | #4 | Ouvert | 14 | 2 | 0 | 0 | 3 342 | 3 828 | 87,3% |
| 1,2 * MAXT et FA = 1 | #1 | Ouvert | 16 | 2 | 0 | 0 | 3 300 | 4 176 | 79,0% |
| | #2 | Ouvert | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 983 | 2 088 | 95,0% |
| | #3 | Ouvert | 10 | 2 | 0 | 0 | 2 421 | 4 176 | 58,0% |
| | #4 | Ouvert | 14 | 2 | 0 | 0 | 3 342 | 4 176 | 80,0% |
| 1,1 * MAXT et FA = 2 | #1 | Ouvert | 28 | 2 | 2 | 0 | 6 508 | 7 656 | 85,0% |
| | #2 | Fermé | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | - |
| | #3 | Fermé | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | - |
| | #4 | Ouvert | 17 | 2 | 1 | 0 | 4 538 | 5 742 | 79,0% |
| 1,2 * MAXT et FA = 2 | #1 | Ouvert | 28 | 2 | 2 | 0 | 6 508 | 8 352 | 77,9% |
| | #2 | Fermé | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | - |
| | #3 | Fermé | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | - |
| | #4 | Ouvert | 17 | 2 | 1 | 0 | 4 538 | 6 264 | 72,4% |

4.8.7 Discussion et conclusion

L'analyse de sensibilité a été réalisée sur six paramètres du modèle de localisation. En premier, l'ordre de préférence de fermeture d'un CRMD se fait selon l'importance des coûts fixes et l'augmentation des coûts de transport qui en résulte. Ainsi, le CRMD de St-Hyacinthe est le premier à être fermé. Ensuite, la fermeture se fait dans l'ordre suivant : Bout-de-l'Île, St-Jérôme et Québec. En deuxième, l'ajout d'un coût de relocalisation au modèle montre que celui-ci doit être supérieur à 50 000\$ pour que la solution soit affectée. Ceci confirme l'hypothèse de l'ignorer du modèle. En troisième, la variation du coût horaire de transport ne modifie aucunement l'affectation obtenue aux scénarios 1 et 2. Bien entendu, il influence le coût total de la solution de façon linéaire.

La différence entre l'accroissement des coûts entre FA = 1 et FA = 2 est inférieure à 0,5%. Donc, peu importe la décision prise pour l'affectation, un changement de CT dans la plage étudiée ne demande pas de revoir l'affectation des sites de transit aux CRMD. En quatrième, la variation des coûts fixes se comporte de la même manière que la variation du coût horaire de transport. Par contre, la différence de coûts entre FA = 1 et FA = 2 est très grande soit une diminution de plus de 50%. L'impact de la variation des coûts fixes est moins grand lorsque FA = 2 puisqu'il entraîne la fermeture de deux CRMD et qu'il diminue ainsi les coûts fixes. Étant donné que les coûts fixes varient d'un CRMD à l'autre, il est possible que l'influence de la variation soit différente. En cinquième, l'influence de la localisation des CRMD sur le coût annuel total est analysée. Ici, deux CRMD ont été changés un à un par deux autres sites. Les résultats obtenus montrent une grande sensibilité quant à l'affectation. En fait, le remplacement du CRMD de Québec par Trois-Rivières produit une affectation qui rendra impossible la combinaison de plusieurs sites de transit lors des tournées de véhicules au chapitre suivant. Du côté des coûts, des différences de -4% à +3% par rapport au scénario 1 et de +1% à +3% par rapport au scénario 2 sont notées. Ces variations sont assez faibles pour conclure que la localisation actuelle des CRMD répond aux besoins du moment. La capacité de traitement MAXT influence la solution seulement lorsque FA = 1. Par contre, la variation du coût est mineure.

L'analyse de sensibilité a permis de déterminer qu'aucun facteur n'a un impact majeur sur l'affectation des sites de transit aux CRMD. Le tableau 4-27 présente un sommaire de l'influence des paramètres analysés. De plus, les variations du coût horaire de transport et des coûts fixes des CRMD n'ont pas d'impact sur l'affectation. La principale contrainte du modèle est liée à la capacité de traitement des CRMD lorsque FA = 1.

4.9 Comparaison des scénarios et discussion

Tout d'abord, il faut se souvenir que le modèle de localisation surestime d'une part les coûts de transport puisqu'il se fait individuellement pour chaque site de transit et les

sous-estime d'autre part puisqu'il ne tient pas compte du coût requis pour charger et décharger les camions. Le nombre de CRMD ouverts, les coûts fixes, le coût de transport et le coût annuel total des quatre scénarios sont présentés précédemment au tableau 4-12. Le coût de transport est obtenu par la soustraction des coûts fixes du coût annuel total. La solution la moins dispendieuse du modèle de localisation est donnée par le scénario 2 suivi du scénario 4. Ces deux scénarios proposent de garder seulement deux CRMD. Globalement, la variation des coûts de transport entre les quatre scénarios est très minime. Les scénarios 2 et 4 qui proposent de fermer deux CRMD font augmenter les coûts de transport.

Tableau 4-27 Sommaire de l'analyse de sensibilité

| Paramètre | Influence sur l'affectation | Influence sur les coûts |
|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Coût de relocalisation | Négligeable | Sensible |
| Coût horaire de transport | Aucune | Linéaire |
| Coûts fixes | Aucune | Linéaire |
| Localisation des CRMD | Importante | Faible |
| Capacité de traitement | Faible | Non linéaire (Négligeable) |

4.10 Conclusion

Ce chapitre a traité du premier volet du problème d'Hydro-Québec suite à la fermeture de deux centres de distribution soit la localisation et l'affectation. L'étude est faite pour les MDR puisque les données concernant les autres produits ne sont pas disponibles de façon aussi détaillée. De plus, le contexte réglementé des MDR impose à Hydro-Québec beaucoup de contraintes. Les données de l'année 2003 pour les MDR ont été utilisées. Ces données ont demandé une analyse avant de pouvoir les utiliser. De plus, une agrégation a été possible pour ne considérer qu'un seul produit, une charge et de prendre les moyennes mensuelles par site de transit. Ceci a réduit considérablement la quantité de données et facilité l'étude. Le modèle de localisation de logistique inverse proposé est aussi une variante d'un modèle de localisation d'entrepôt classique avec les particularités requises pour la problématique étudiée. Il a les caractéristiques suivantes : un seul produit, plusieurs clients et une capacité de traitement limité. Quatre scénarios

ont été étudiés. Ces scénarios font varier la capacité de traitement des CRMD et la façon de faire le transport, soit autonome ou en combinant avec la distribution. Les résultats montrent que le scénario 2, soit de doubler la capacité et de faire le transport autonome, est le meilleur en termes de coût et de la répartition de la charge de travail. L'analyse de sensibilité montre la robustesse du modèle et bien que certaines données ne soient pas nécessairement parfaites les solutions ne changent pas beaucoup. Par ailleurs, le modèle de localisation tient compte de tournées individuelles pour chaque site de transit dans le calcul de sa fonction de coût. Conséquemment, le coût de transport est supérieur à celui obtenu si des tournées de véhicules sont faites. Le prochain chapitre présente les tournées de véhicules pour les quatre solutions des scénarios retenus dans ce chapitre.

CHAPITRE V - ÉTUDE D'OPTIMISATION DU TRANSPORT DE LA LOGISTIQUE INVERSE CHEZ HYDRO-QUÉBEC

5.1 Introduction

Ce chapitre propose des tournées de véhicules pour les quatre scénarios développés au chapitre précédent dans l'étude de localisation et d'affectation des sites de transit aux CRMD. Ce problème se veut le deuxième volet de l'étude concernant l'impact de la fermeture des deux centres de distribution d'Hydro-Québec puisqu'une stratégie de décomposition du problème a été adoptée. L'impact de l'affectation des sites de transit sur les tournées de véhicules proposées est analysé plus en détail par la suite. Ainsi, l'étude reprend les deux scénarios de transport autonome et les deux scénarios de transport combiné du chapitre précédent.

Ce deuxième problème comporte deux objectifs qui sont de proposer des tournées de véhicules et de vérifier la faisabilité des tournées proposées. Le chapitre est structuré de la façon suivante : une revue de littérature sur les problèmes de tournées de véhicules pour la logistique inverse, l'analyse des données du problème étudié, les hypothèses de travail, l'expérimentation, la proposition d'un modèle de tournées de véhicules, les résultats, l'analyse des tournées de véhicules et discussion. Le tout est clôturé par une conclusion.

5.2 Revue de la littérature

La littérature de la logistique inverse comporte peu d'articles concernant les tournées de véhicules. La principale raison qui explique cette situation est que les problèmes de tournées de véhicules ne sont pas différents en logistique inverse de ceux des autres domaines. Ainsi, cette revue de la littérature s'attarde brièvement à quelques modèles de tournées de véhicules pertinents au présent problème de logistique inverse des matières dangereuses. Tout d'abord, la littérature sur les tournées de véhicules reconnaît que c'est un problème difficile à résoudre en optimisation combinatoire (Wu et al., 2002). Aussi, il existe une multitude de variantes et de méthodes de résolution. Toth et Vigo (2002),

dans leur livre, énumèrent différentes formulations possibles; symétrique ou asymétrique, contraintes de capacité des camions, fenêtres de temps pour visiter chaque site, départ et retour au dépôt, collecte et livraison, etc. De plus, les méthodes de résolution sont variées parmi les méthodes exactes et les heuristiques. Le choix de la méthode dépend de l'exactitude de la solution par rapport à l'optimalité et de la taille du problème. Bostel et al. (2005) font la distinction de trois classes de problèmes de tournées de véhicules : 1) livraison en premier, collecte en second, 2) livraison et collecte mélangées et 3) livraison et collecte simultanées. Ils mentionnent que les problèmes de logistique inverse appartiennent principalement aux deux dernières classes. De même, le problème à l'étude correspond à la troisième classe. En ce qui concerne les problèmes de tournées de véhicules avec des retours, Toth et Vigo (1999) proposent un algorithme pour solutionner un problème de tournées de véhicules avec transport de retour en deux étapes. Tout d'abord, il faut faire l'assignation des points aux camions et ensuite la détermination des routes. Dethloff (2001) examine le cas particulier du problème de livraison et de collecte lorsque le point d'origine ou bien la destination de chaque demande de transport correspond au dépôt. De plus, les requêtes se produisent en paire seulement, c'est-à-dire, vers et du même client. Sa formulation prend en considération la capacité du camion lors de l'établissement de la tournée. Pareillement, il utilise une heuristique à deux étapes. Du côté du transport des matières dangereuses, Zografos et Androutsopoulos (2004) ajoutent dans leur modèle de tournées de véhicules un risque associé avec chaque route, c'est-à-dire la probabilité d'avoir un accident multipliée par l'impact des conséquences de l'accident. Ainsi, leur fonction minimise deux objectifs, un de coût et l'autre tient compte du risque associé. Le tableau 5-1 présente seulement quelques articles pertinents au problème étudié. Il est important de souligner que ces modèles ne considèrent pas l'effet de l'impartition ainsi que celui des délais de livraison ou de collecte. De plus amples informations sur les problèmes de mise en place de tournées de véhicules peuvent être obtenues dans la revue de littérature de Laporte et Osman (1995).

5.3 Analyse des données

Les données utilisées sont les mêmes que celles décrites au chapitre précédent. Le nombre mensuel de charges et la fréquence de visites mensuelle des sites de transit sont les mêmes que ceux du tableau 4-5. Le taux horaire d'utilisation d'un camion d'Hydro-Québec est établi à 85\$ de l'heure. Le type de camion utilisé correspond aux remorques d'une capacité de 88 charges. De plus, l'entreprise désire dans la mesure du possible que le chauffeur fasse un aller-retour dans la même journée et certaines routes très longues sont imparties aux transporteurs externes. En effet, la Baie-James (LG-2, LG-3, LG-4 et Némiscau) et les Îles-de-la-Madeleine sont desservis par des transporteurs externes.

Tableau 5-1 Sommaire des modèles de tournées de véhicules pour la logistique inverse

| Auteurs | Applications | Types de modèles | Méthodes de résolution |
|------------------------------------|---|--|---|
| Toth et Vigo (1999) | Tournées de véhicules avec transport de retour | Modèle d'optimisation | Heuristique avec relaxation (basé sur TSP et échange d'arcs) |
| Dethloff (2001) | Routage de véhicules avec collectes et livraisons simultanées | Modèle d'optimisation | Heuristique en 2 étapes (Regroupement de clients suivi de l'établissement de route (TSP)) |
| Zografos et Androutsopoulos (2004) | Tournées de véhicules pour les matières dangereuses | Modèle d'optimisation (MIP) à deux fonctions objectifs | Heuristique d'insertion |

L'accès au site de transit est limité. Les sites sont clôturés et ont une capacité de 30 à 40 charges. Les heures d'ouverture sont du lundi au vendredi de 8h00 à 12h00 et 13h00 à 16h00. Les CRMD sont ouverts quatre jours par semaine de 7h00 à 12h00 et de 13h45 à 17h00, soit 8 heures et 15 minutes d'opérations par jour. Le temps de chacune des activités reliées à la manipulation des MDR au site de transit et au CRMD est donné au tableau 5-2 ainsi que la ou les personnes effectuant la tâche. Il est à noter qu'Hydro-

Québec établit le temps standard pour le chargement et le déchargement d'une palette à 3 minutes. Ainsi, l'estimation du temps de chargement et de déchargement fourni de chaque charge (contenant ou appareillage) est d'une minute. Dans le cas de cette étude, les temps pertinents sont ceux où le camion est utilisé soit le temps passé au site de transit auquel est additionné le temps requis pour décharger le camion une fois au CRMD. Ainsi, il y a 2,5 minutes par charges transportées qu'il faut ajouter au temps de transport. Les horaires de livraison des magasins de distribution ont été fournis. Cette information sert à vérifier la possibilité de combiner le transport de MDR avec les voyages de retour des camions. Bien que le nombre de palettes laissées à chaque endroit ne soit pas indiqué, l'analyse est faite dans le but de déterminer les besoins en espace et en temps pour le retour des MDR. Enfin, il faut aussi évaluer le temps requis pour l'ajout de travail. Les horaires de livraison à partir des centres de distribution sont donnés à l'annexe G. La matrice de temps (annexe D) développée au chapitre précédent est utilisée pour calculer le temps de transport des tournées de véhicules.

Tableau 5-2 Temps par activité pour le traitement des MDR

| Lieu | Activité | Temps par contenant ou appareillage |
|-----------------|---|---|
| Site de transit | Vérifier et Charger Préparer document d'expédition | 1 min/ch (Chauffeur) 0,5 min/ch (Chauffeur) |
| CRMD | RÉCEPTIONNER : - Décharger - Peser - Enregistrer - Trier - Réceptionner SAP ENTREPOSER: - Manutentionner - Entreposer EXPÉDIER: - Préparer expédition - Vérifier et Charger - Préparer document d'expédition - Enregistrer SAP | 1 min/ch (Chauffeur et 2 préposés) 1 min/ch (Préposé) 2 min/ch (Préposé et commis) 1 min/ch (2 préposés) 1 min/ch (Commis) 2 min/ch (2 préposés) 2 min/ch (2 préposés) 2 min/ch (2 préposés) 1,5 min/ch (2 préposés) 0,5 min/ch (Préposé) 1,5 min/ch (Commis) |

5.4 Hypothèses

La section précédente décrit le fonctionnement du transport de logistique inverse d'Hydro-Québec. Afin de poursuivre l'étude, un certain nombre d'hypothèses sont requises en plus de celles du chapitre précédent. Les hypothèses ajoutées sont expliquées par la suite et sont les suivantes :

- la fréquence maximum de visites d'un site de transit est de quatre fois par mois;
- le temps pour accéder à un site, stationner le camion et repartir est de 15 minutes;
- les routes déjà faites par des transporteurs externes sont ignorées;
- le temps et l'espace requis pour faire la livraison des magasins et la collecte des MDR ne sont pas des contraintes;
- le temps de faire le plein d'essence du camion est considéré nul;
- l'hébergement est disponible lorsque nécessaire;
- le temps disponible pour effectuer les tournées de véhicules est inférieur au temps travaillé par le chauffeur.

La première hypothèse fixe la fréquence maximale mensuelle de visites des sites de transit à quatre fois par mois. Compte tenu que Trois-Rivières et Baie-Comeau demande cinq visites par mois, la fréquence mensuelle utilisée par la suite est de quatre et correspond à une visite par semaine. Cette hypothèse est la conséquence d'avoir établi la capacité d'entreposage égale de 30 charges pour tous les sites de transit. En effet, il est fort probable que ces sites aient une capacité plus grande. Par ailleurs, il est possible d'ajouter une tournée pour un site de transit si la capacité d'entreposage manque. Les temps pour accéder au site de transit, stationner le camion et repartir n'ont pas pu être fournis. C'est pourquoi, dans le but d'être le plus près de la réalité pour les tournées obtenues, ce temps est estimé à 15 minutes par site. Deux possibilités se présentent quant aux routes déjà attribuées à des transporteurs externes, soit de les conserver, soit de les ignorer. Dans ces cas, les MDR sont transportées et consolidées à un autre site de transit. La remorque est ensuite transportée vers un CRMD en train routier. L'hypothèse de les ignorer est choisie puisque ces routes ne sont pas affectées par la fermeture des

deux centres de distribution, bien que ces sites de transit aient été considérés dans le premier volet de l'étude. Les tournées combinées sont faites à partir de tournées existantes sans tenir compte du temps et de l'espace disponible pour reprendre les MDR étant donné que l'information n'est pas disponible. En fait, l'étude va permettre de déterminer la faisabilité de combiner le transport de distribution avec le retour des MDR. L'hypothèse suivante considère que le plein d'essence du camion est fait en dehors du temps alloué pour les tournées et qu'il n'augmente pas la durée prévue. Une autre simplification est de ne pas considérer les endroits d'hébergements possibles dans l'élaboration des tournées. En effet, lorsqu'il est impossible de revenir au point de départ à la fin d'une journée, l'hébergement est disponible immédiatement pour le chauffeur. La dernière hypothèse, qui stipule que le temps utilisé est inférieur au temps travaillé par le chauffeur est nécessaire afin de s'assurer qu'il reste du temps de disponible lors des tournées compte tenu de la variabilité des quantités de MDR aux sites de transit. De plus, l'horaire de travail des chauffeurs de camions d'Hydro-Québec n'est pas nécessairement le même que celui d'un transporteur externe. Le temps utilisé par la suite est de 7,5 heures par jour. Par exemple, si un chauffeur travaille 35 heures par semaine sur une période de 4 jours, cela représente 8,75 heures par jour. En tenant compte des pauses, estimées à au moins 30 minutes par jour, il reste 0,75 heure de temps non-utilisé dans la journée.

5.5 Expérimentation

Dans ce deuxième volet du problème, les tournées de véhicules sont élaborées pour les quatre mêmes scénarios du chapitre précédent décrit au tableau 4-10. Les deux premiers scénarios représentent le transport autonome, un à partir de quatre CRMD et l'autre à partir de deux CRMD. Les deux derniers scénarios combinent le transport des MDR avec la distribution dans le cas de quatre CRMD et de deux CRMD. Les tournées sont effectuées par la suite selon les affectations obtenues pour chacun des scénarios. En ce qui concerne les tournées autonomes, le modèle de tournées de véhicules décrit plus loin est utilisé. Les tournées sont faites pour chacun des CRMD. Par contre, dans plusieurs

cas la taille du problème est trop grande et demande de subdiviser le problème en plus petits problèmes afin de le résoudre. Les subdivisions sont obtenues selon les règles suivantes :

- séparation de part et d'autre du fleuve St-Laurent (rive nord et rive sud);
- plusieurs sites de transit concentrés dans une même région;
- peu de tronçons de routes pour desservir à partir d'un CRMD (par exemple le Grand Nord, la Gaspésie, etc.).

Pour combiner les tournées avec la distribution, la première étape est d'examiner les tournées des centres de distribution et d'isoler les visites qui correspondent aux sites de transit. Ensuite, le coût de chaque tournée combinée est calculé en considérant le coût du transport pour le retour. Si plusieurs sites sont visités dans une tournée de distribution, seul le coût de transport pour les sites de transit est considéré, c'est-à-dire que le coût de transport à un site qui ne correspond pas à un site de transit est ignoré. L'outil de résolution utilisé est OPL Studio version 3.7 à l'aide d'un ordinateur Pentium 4 de 2,53 GHz avec 1,00 Giga-octets de mémoire vive sous le système d'exploitation Windows XP SP2. Encore une fois, les contraintes décrites précédemment quant au transport des MDR ont été considérées. L'analyse des résultats se fait selon deux niveaux. Le premier niveau d'analyse est en termes de coûts tandis que le second niveau est en termes d'utilisation des ressources de transport. Pour ce faire, trois mesures de performance sont utilisées. La première mesure de performance est de calculer le coût total de chaque scénario. Ce coût est composé du coût de transport, du frais de séjour pour les tournées de plus d'un jour et du coût de chargement et déchargement du camion. La deuxième mesure traite de l'utilisation des camions par rapport à la capacité et aussi par rapport au nombre de jours par mois requis. La troisième et dernière mesure est la durée des tournées. La durée est calculée en additionnant le temps de transport au temps de chargement et de déchargement ainsi que le temps pour accéder à un site de transit.

5.6 Modèle et méthodologie de résolution

Pour cette deuxième partie de l'étude, un modèle de tournées de véhicules a été développé afin de répondre aux contraintes de l'entreprise pour le transport des MDR. Ce modèle fait suite à une étude des données et prend en considération les hypothèses énoncées dans les sections précédentes. La solution du modèle de localisation décrit précédemment sert de base à la création des tournées de véhicules. Ainsi, il faut créer des tournées qui visitent chaque site de transit affecté à un CRMD selon les fréquences établies, et cela, pour chacun des CRMD ouverts. Cette considération est importante puisqu'elle est différente d'un site de transit à un autre. D'abord un bref retour sur les principales hypothèses qui ont conduit au modèle s'impose. La capacité des camions pour le transport des MDR est de 88 charges. Les sites de transit les plus éloignés sont desservis par des transporteurs externes et ignorés. Finalement, ce modèle ne combine pas le transport des MDR avec le transport de distribution. Les routes combinées sont faites manuellement à partir des tournées de distribution. Une contrainte de durée de temps des tournées est imposée par l'entreprise. Lorsque possible, le chauffeur doit revenir le jour même au CRMD. Aussi, une tournée ne peut pas durer plus de quatre jours étant donné que les CRMD sont fermés le vendredi. Ces contraintes sont nécessaires pour obtenir des tournées très proches de la réalité de l'entreprise. Les temps de transport varient légèrement entre l'aller et le retour et rendent le problème asymétrique. Le modèle de tournées de véhicules développé a les caractéristiques suivantes : des routes asymétriques, une capacité finie des camions, chaque site de transit doit être visité ainsi que des tournées en boucle à partir de chaque CRMD. Enfin, les tournées sont élaborées pour une période d'un mois étant donné la contrainte imposée pour le temps de résidence au site de transit qui est de un mois maximum. Le tableau 5-3 présente la notation utilisée. La formulation du modèle est la suivante :

$$\text{Min } Z = \sum_i \sum_j \sum_k CT * D_{ij} X_{ijk} + \sum_k PEN * (P_k - 1) \quad (5.0)$$

Sujet à

$$\sum_{\substack{i \\ i \neq j}} \sum_k X_{ijk} = 1 \quad \forall j > 1 \quad (5.1)$$

$$\sum_{\substack{i \\ i \neq j}} \sum_k X_{ipk} - \sum_{\substack{j \\ i \neq j}} \sum_k X_{pjk} = 0 \quad \forall p \text{ et } k \quad (5.2)$$

$$\sum_{\substack{i \\ i > 1}} \sum_j X_{ijk} * S_i = C_k \quad \forall k \quad (5.3)$$

$$C_k \leq MAXC_k * T_k \quad \forall k \quad (5.4)$$

$$\sum_j X_{1jk} = T_k \quad \forall k \quad (5.5)$$

$$\sum_i \sum_j X_{ijk} * D_{ij} + C_k * TCD + TF * \sum_i \sum_j X_{ijk} \leq LJ * P_k \quad \forall k \quad (5.6)$$

Contraintes d'élimination de sous-tours (5.7)

$$X_{ijk} \in \{0,1\} \quad (5.8)$$

$$T_k \in \{0,1\} \quad (5.9)$$

Tableau 5-3 Notation pour le modèle de tournées de véhicules

| Indices | |
|-------------------------|---|
| <i>i et j</i> | site de transit où 1 est le CRMD (dépôt) |
| <i>k</i> | numéro de la tournée |
| Paramètres | |
| <i>CT</i> | coût de transport (\$/minute) |
| <i>D_{ij}</i> | temps de transport (en minutes) du site de transit <i>i</i> au site de transit <i>j</i> |
| <i>PEN</i> | coût de ne pas revenir le même jour |
| <i>S_i</i> | quantité de produit disponible au site de transit <i>i</i> (en charges) |
| <i>MAXC_k</i> | capacité maximum du camion sur tournée <i>k</i> |
| <i>TCD</i> | temps de chargement et déchargement par charge (en minutes) |
| <i>TF</i> | temps pour entrer sur un site de transit et quitter (en minutes) |
| <i>LJ</i> | longueur de la journée (en minutes) |
| Variables de décisions | |
| <i>X_{ijk}</i> | transport du site de transit <i>i</i> au site de transit <i>j</i> sur la tournée <i>k</i> (0/1) |
| <i>P_k</i> | Durée (en jours) de la tournée <i>k</i> (Nombre entier compris entre 1 et 4) |
| <i>T_k</i> | 0/1 pour l'utilisation du camion sur tournée <i>k</i> |
| <i>C_k</i> | nombre de charges du camion sur tournée <i>k</i> |

La fonction économique du problème de tournées de véhicules cherche à minimiser les coûts de transport (CT) en fonction du temps passé à visiter les sites de transit. Le modèle ne considère pas de coût fixe pour l'utilisation des camions. Le dernier terme est une pénalité (PEN) associée aux tournées plus longues qu'une journée. Cette pénalité correspond au coût additionnel que l'entreprise doit défrayer pour une nuit d'hôtel, les repas du chauffeur et une prime d'éloignement. Les tests initiaux du modèle montrent une sensibilité de la solution à la valeur de PEN utilisée. Plus la valeur de PEN est grande, plus le modèle force les tournées à être d'une durée de moins d'un jour lorsque possible. Ceci a pour effet d'avoir plus de tournées et moins de sites de transit visités par tournée. La valeur retenue de PEN est 200\$ et permet d'obtenir des tournées qui répondent aux critères spécifiés auparavant.

Les contraintes (5.1) garantissent que chaque site de transit est visité et cela par un seul camion. Les contraintes (5.2) assurent l'équilibre des flux dans les sites de transit. Les contraintes de connectivité et de capacité sont données par (5.3) et (5.4). Les contraintes (5.5) obligent à ce que les tournées débutent et terminent au CRMD. Aussi, l'utilisation d'un camion est contrôlée par la variable T_k . Les contraintes (5.6) calculent la durée des tournées et s'assurent qu'elles ne dépassent pas la durée permise. La durée d'une tournée (portion de gauche) est obtenue en additionnant le temps de transport, le temps de chargement et de déchargement et le temps pour entrer et sortir d'un site. La portion de droite s'assure que la durée de la tournée ne dépasse pas quatre jours en multipliant la longueur d'une journée de travail par le nombre de jours requis pour faire la tournée. Les contraintes d'élimination de sous-tours (5.7) peuvent être modélisées de plusieurs façons, mais leur nombre est tel qu'on ne peut résoudre les problèmes avec toutes ces contraintes. Ainsi, uniquement les contraintes d'éliminations des sous-tours de longueur 1 à 3 ont été insérées, ce qui a permis de résoudre à l'optimalité tous les problèmes. Finalement, les contraintes (5.8) et (5.9) garantissent que les X_{ijk} et T_k sont des variables binaires. Tel que mentionné précédemment, la stratégie de résolution adoptée est de subdiviser les tournées en plus petits problèmes en exploitant certaines caractéristiques du territoire québécois. De ce fait, il est alors possible de trouver des solutions pour les

problèmes à l'étude. Pour référence, le modèle en langage OPL est donné à l'annexe H et les jeux de données le sont à l'annexe I.

5.7 Résultats

Cette section présente les résultats des tournées de véhicules mensuelles pour les quatre scénarios étudiés par le biais de trois tableaux différents. Le premier tableau donne un sommaire des tournées par CRMD quant au nombre de tournées, au nombre de subdivisions, le coût de transport, le frais de séjour (la somme des pénalités), le coût de chargement et de déchargement et le coût total de tournées. Le deuxième tableau montre les subdivisions, le numéro de tournées et les sites de transit visités dans la tournée. Le numéro de tournée comporte trois éléments séparés par des tirets. Le premier élément indique le numéro du scénario. Le deuxième élément fait référence au CRMD. Le dernier élément est un compteur numérique qui permet de distinguer les tournées d'un CRMD pour un scénario. Ainsi, la tournée 1-3-2 correspond à la deuxième tournée du CRMD #3 pour le scénario 1. Finalement, le dernier tableau donne le nombre de charges, le détail des coûts et le nombre de jours requis de chacune des tournées. Le sommaire des tournées mensuelles de véhicules des scénarios de transport autonome est montré au tableau 5-4 tandis que le tableau 5-5 est pour le transport combiné. Une colonne est ajoutée pour distinguer les coûts des transports combinés des transports autonomes. Les prochaines sous-sections présentent le détail de chacune des tournées obtenues. De plus, les caractéristiques de calcul des tournées de véhicules se retrouvent à l'annexe J.

5.7.1 Scénario 1 : Transport autonome des MDR selon la capacité actuelle

Le premier scénario conserve les quatre CRMD ouverts et conserve la même capacité de traitement que celle qui est actuellement en place. Le temps de résolution du modèle avec CPLEX 7.0 varie beaucoup d'une subdivision à une autre soit de quelques secondes jusqu'à plus d'une heure. Les vingt-cinq tournées de ce premier scénario sont

présentées au tableau 5-6. Le tableau 5-7 donne le détail de chacune des tournées de ce scénario.

Tableau 5-4 Sommaire des tournées mensuelles de véhicules des scénarios 1 et 2

| CRMD | Nombre de tournées | Nombre de subdivisions | Coût de transport | Frais de séjour | Coût de chargement et déchargement | Coût total des tournées |
|------------|--------------------|------------------------|-------------------|-----------------|------------------------------------|-------------------------|
| Scénario 1 | | | | | | |
| #1 | 6 | 2 | 3 783\$ | 600\$ | 1 145\$ | 5 528\$ |
| #2 | 3 | 1 | 448\$ | 0\$ | 468\$ | 916\$ |
| #3 | 7 | 2 | 1 896\$ | 0\$ | 1 381\$ | 3 277\$ |
| #4 | 10 | 3 | 9 475\$ | 2 000\$ | 1 473\$ | 12 948\$ |
| Total | 25 | S/O | 15 602\$ | 2 600\$ | 4 467\$ | 22 669\$ |
| Scénario 2 | | | | | | |
| #1 | 17 | 6 | 6 066\$ | 600\$ | 2 894\$ | 9 560\$ |
| #4 | 15 | 5 | 10 781\$ | 2 000\$ | 2 044\$ | 14 825\$ |
| Total | 32 | S/O | 16 847\$ | 2 600\$ | 4 938\$ | 24 385\$ |

Tableau 5-5 Sommaire des tournées mensuelles de véhicules des scénarios 3 et 4

| CRMD | Combiné | Nombre de tournées | Coût de transport | Frais de séjour | Coût de chargement et déchargement | Coût total des tournées |
|------------|---------|--------------------|-------------------|-----------------|------------------------------------|-------------------------|
| Scénario 3 | | | | | | |
| #1 | Oui | 12 | 2 327\$ | 400\$ | 1 133\$ | 3 860\$ |
| | Non | 2 | 1 320\$ | 200\$ | 177\$ | 1 697\$ |
| #2 | Oui | 3 | 47\$ | 0\$ | 266\$ | 313\$ |
| #3 | Oui | 10 | 1 039\$ | 0\$ | 1 247\$ | 2 286\$ |
| | Non | 4 | 1 046\$ | 0\$ | 531\$ | 1 577\$ |
| #4 | Oui | 13 | 3 395\$ | 800\$ | 1 233\$ | 5 428\$ |
| | Non | 6 | 6 891\$ | 1 600\$ | 453\$ | 8 944\$ |
| Total | | 50 | 16 065\$ | 3 000\$ | 5 040\$ | 24 105\$ |
| Scénario 4 | | | | | | |
| #3 | Oui | 10 | 1 039\$ | 0\$ | 1 247\$ | 2 286\$ |
| | Non | 12 | 6 078\$ | 1 400\$ | 1 859\$ | 8 987\$ |
| #4 | Oui | 19 | 4 078\$ | 800\$ | 1 807\$ | 6 485\$ |
| | Non | 6 | 6 891\$ | 1 600\$ | 453\$ | 8 544\$ |
| Total | | 47 | 18 086\$ | 3 800\$ | 5 366\$ | 26 302\$ |

Tableau 5-6 Tournées mensuelles de véhicules du scénario 1

| Sub-division | Tour | Sites visités |
|--------------|--------|--|
| CRMD #1 | | |
| Autres sites | 1-1-1 | St-Jérôme – Blainville – Laval2 – Rawdon – St-Jérôme |
| | 1-1-2 | St-Jérôme – Laval1 – Papineauville – Hull3 – St-Jérôme |
| | 1-1-3 | St-Jérôme – Hull2 – Valleyfield – St-Jérôme |
| | 1-1-4 | St-Jérôme – Hull1 – St-Jérôme |
| Grand Nord | 1-1-5 | St-Jérôme – St-Jovite1 – Val d'Or1 – Amos – Rouyn-Noranda – Mont-Laurier – St-Jérôme |
| | 1-1-6 | St-Jérôme – St-Jovite2 – Val d'Or2 – St-Jérôme |
| | | CRMD #2 |
| Aucune | 1-2-1 | Bout-de-l'Île – Jarry2 – Bout-de-l'Île |
| | 1-2-2 | Bout-de-l'Île – Jarry1 – Vaudreuil2 – Bout-de-l'Île |
| | 1-2-3 | Bout-de-l'Île – Jarry3 – Vaudreuil1 – Joliette – Bout-de-l'Île |
| Est | 1-3-1 | St-Hyacinthe – St-Bruno2 – Châteauguay3 – St-Jean2 – St-Hyacinthe |
| | 1-3-2 | St-Hyacinthe – Châteauguay1 – St-Bruno1 – CERV/IREQ1 – St-Hyacinthe |
| | 1-3-3 | St-Hyacinthe – CERV/IREQ2 – Châteauguay2 – St-Jean1 – St-Hyacinthe |
| | 1-3-4 | St-Hyacinthe – Sorel – Trois-Rivières1 – St-Hyacinthe |
| Ouest | 1-3-5 | St-Hyacinthe – Trois-Rivières3 – Victoriaville1 – Drummondville – St-Hyacinthe |
| | 1-3-6 | St-Hyacinthe – Trois-Rivières4 – Victoriaville2 – St-Hyacinthe |
| | 1-3-7 | St-Hyacinthe – Granby – Sherbrooke – Trois-Rivières2 – St-Hyacinthe |
| | | CRMD #4 |
| Sud Est | 1-4-1 | Québec – Rivière-du-Loup – Rimouski1 – Gaspé – Carleton1 – Lévis1 – Québec |
| | 1-4-2 | Québec – Thetford-Mines1 – Québec |
| | 1-4-3 | Québec – Lévis2 – Carleton2 – Rimouski2 – Québec |
| | 1-4-4 | Québec – Lévis2 – Thetford-Mines2 – Québec |
| Nord Est | 1-4-5 | Québec – Baie-Comeau4 – Sept-Îles – Beauport – Québec |
| | 1-4-6 | Québec – Forestville2 – Baie-Comeau1 – Québec |
| | 1-4-7 | Québec – Baie-Comeau2 – Forestville1 – Québec |
| | 1-4-8 | Québec – Baie-Comeau3 – Québec |
| CRMD #4 | | |
| Nord Ouest | 1-4-9 | Québec – Chicoutimi1 – Chibougamau2 – Québec |
| | 1-4-10 | Québec – Chicoutimi2 – Chibougamau1 – Québec |

Tableau 5-7 Détail des tournées de véhicules du scénario 1

| Tour | Nombre de charges | Transport (\$) | Frais de séjour (\$) | Chargement et déchargement (\$) | Durée (jours) |
|---------|-------------------|----------------|----------------------|---------------------------------|---------------|
| CRMD #1 | | | | | |
| 1-1-1 | 34 | 202,63 | 0,00 | 205,42 | 1 |
| 1-1-2 | 34 | 427,93 | 0,00 | 205,42 | 1 |
| 1-1-3 | 28 | 466,19 | 0,00 | 162,92 | 1 |
| 1-1-4 | 18 | 345,75 | 0,00 | 106,25 | 1 |
| 1-1-5 | 37 | 1 322,06 | 400,00 | 258,54 | 3 |
| 1-1-6 | 12 | 1 018,82 | 200,00 | 106,25 | 2 |
| CRMD #2 | | | | | |
| 1-2-1 | 13 | 68,02 | 0,00 | 88,54 | 1 |
| 1-2-2 | 24 | 141,70 | 0,00 | 148,75 | 1 |
| 1-2-3 | 41 | 238,06 | 0,00 | 230,06 | 1 |
| CRMD #3 | | | | | |
| 1-3-1 | 34 | 206,88 | 0,00 | 205,42 | 1 |
| 1-3-2 | 38 | 205,47 | 0,00 | 219,58 | 1 |
| 1-3-3 | 32 | 233,81 | 0,00 | 198,33 | 1 |
| 1-3-4 | 27 | 269,23 | 0,00 | 159,58 | 1 |
| 1-3-5 | 38 | 308,91 | 0,00 | 219,58 | 1 |
| 1-3-6 | 26 | 293,32 | 0,00 | 155,83 | 1 |
| 1-3-7 | 29 | 378,34 | 0,00 | 223,13 | 1 |
| CRMD #4 | | | | | |
| 1-4-1 | 47 | 1 558,70 | 400,00 | 293,96 | 3 |
| 1-4-2 | 11 | 221,05 | 0,00 | 81,46 | 1 |
| 1-4-3 | 20 | 1 123,68 | 200,00 | 134,58 | 2 |
| 1-4-4 | 22 | 252,23 | 0,00 | 141,67 | 1 |
| 1-4-5 | 40 | 1 382,99 | 400,00 | 226,67 | 3 |
| 1-4-6 | 19 | 881,37 | 200,00 | 131,04 | 2 |
| 1-4-7 | 19 | 881,37 | 200,00 | 131,04 | 2 |
| 1-4-8 | 12 | 881,37 | 200,00 | 85,00 | 2 |
| 1-4-9 | 17 | 1 146,35 | 200,00 | 123,96 | 2 |
| 1-4-10 | 17 | 1 146,35 | 200,00 | 123,96 | 2 |

5.7.2 Scénario 2 : Transport autonome des MDR selon le double de la capacité actuelle

Le deuxième scénario du chapitre précédent a déterminé lesquels des quatre CRMD demeurent ouverts si la capacité des centres peut être doublée. Les CRMD qui demeurent ouverts sont les #1 et #4. Pour les différentes subdivisions, le temps de

résolution du modèle avec CPLEX 7.0 varie de moins d'une seconde à dix minutes. Le tableau 5-8 montre les trente-deux tournées pour les deux CRMD ouverts. Le détail des tournées du deuxième scénario est donné au tableau 5-9.

5.7.3 Scénario 3 : Transport des MDR combinées avec le transport de distribution

Le troisième scénario combine le transport des MDR avec les camions des magasins de distribution en conservant la capacité actuelle des CRMD. À partir des tournées de véhicules pour la distribution, le transport des MDR a été ajouté au retour des camions. Le coût de transport considéré est la moitié du trajet total des sites nécessitant le retour de MDR. Si un site de transit n'est pas visité par un des camions de distribution une tournée autonome doit être ajoutée. Le tableau 5-10 donne les tournées combinées. Une nouvelle colonne est ajoutée pour donner les jours prévus des tournées des camions de distribution. De plus, les sites en italique dans la tournée ne sont pas des sites de transit mais sont des points de livraisons que les camions de distribution visitent. Par contre, il est impossible de visiter tous les sites de transit selon la fréquence du tableau 4-5 avec les tournées combinées. Par exemple, les sites de transit d'Amos, de St-Jovite, de Gaspé, de Carleton, de Sept-Îles, de Forestville et de Chibougamau ne sont pas visités par les camions de distribution. Aussi, les sites de transit de Trois-Rivières et de Victoriaville sont affectés au CRMD #3 tandis qu'ils sont desservis par le centre de distribution de Québec, soit le CRMD #4. Incidemment, des tournées additionnelles sont nécessaires et sont présentées au tableau 5-11. Le tableau 5-12 montre le détail des tournées combinées et des tournées additionnelles du scénario 3.

5.7.4 Scénario 4 : Transport des MDR combinées avec le transport de distribution selon le double de la capacité actuelle

Le quatrième scénario permet de doubler la capacité des CRMD et reprend les mêmes hypothèses pour le transport combiné que celles du scénario 3. Pour le CRMD #3, les dix tournées combinées avec la distribution sont les mêmes que celles du scénario 3.

Tableau 5-8 Tournées mensuelles de véhicules du scénario 2

| Sub-division | Tour | Sites visités |
|--------------|--------|--|
| CRMD #1 | | |
| Grand Nord | 2-1-1 | St-Jérôme – St-Jovite1 – Val d'Or2 – Amos – Rouyn-Noranda – Mont-Laurier – St-Jérôme |
| | 2-1-2 | St-Jérôme – Val d'Or1 – St-Jovite2 – St-Jérôme |
| Ouest | 2-1-3 | St-Jérôme – Hull3 – St-Jérôme |
| | 2-1-4 | St-Jérôme – Papineauville – Hull2 – St-Jérôme |
| | 2-1-5 | St-Jérôme – Hull1 – St-Jérôme |
| Sud | 2-1-6 | St-Jérôme – St-Jean2 – St-Hyacinthe1 – CERV/IREQ2 – St-Bruno1 – St-Jérôme |
| | 2-1-7 | St-Jérôme – St-Jean1 – Sherbrooke – Granby – St-Jérôme |
| | 2-1-8 | St-Jérôme – CERV/IREQ1 – Sorel – St-Hyacinthe2 – St-Bruno2 – St-Jérôme |
| | 2-1-9 | St-Jérôme – Châteauguay1 – St-Jérôme |
| Centre Ouest | 2-1-10 | St-Jérôme – Vaudreuil2 – Valleyfield – Châteauguay2 – St-Jérôme |
| | 2-1-11 | St-Jérôme – Châteauguay3 – Vaudreuil1 – St-Jérôme |
| Centre | 2-1-12 | St-Jérôme – Jarry2 – Bout-de-l'Île4 – St-Jérôme |
| | 2-1-13 | St-Jérôme – Jarry3 – Bout-de-l'Île2 – St-Jérôme |
| | 2-1-14 | St-Jérôme – Jarry1 – Bout-de-l'Île1 – St-Jérôme |
| | 2-1-15 | St-Jérôme – Bout-de-l'Île3 – St-Jérôme |
| Lanaudière | 2-1-16 | St-Jérôme – Laval2 – Joliette – Rawdon – St-Jérôme |
| | 2-1-17 | St-Jérôme – Blainville – Laval1 – St-Jérôme |
| CRMD #4 | | |
| Sud Est | 2-4-1 | Québec – Lévis1 – Carleton2 – Rimouski2 – Québec |
| | 2-4-2 | Québec – Rimouski1 – Gaspé – Carleton1 – Rivière-du-Loup – Lévis2 – Québec |
| Sud Ouest | 2-4-3 | Québec – Thetford-Mines2 – Québec |
| | 2-4-4 | Québec – Drummondville – Victoriaville2 – Thetford-Mines1 – Québec |
| | 2-4-5 | Québec – Victoriaville1 – Québec |
| Nord Est | 2-4-6 | Québec – Baie-Comeau4 – Forestville1 – Québec |
| | 2-4-7 | Québec – Sept-Îles – Baie-Comeau3 – Québec |
| | 2-4-8 | Québec – Baie-Comeau1 – Québec |
| | 2-4-9 | Québec – Baie-Comeau2 – Forestville2 – Québec |
| Nord Ouest | 2-4-10 | Québec – Beauport - Trois-Rivières2 – Québec |
| | 2-4-11 | Québec – Trois-Rivières3 – Québec |
| | 2-4-12 | Québec – Trois-Rivières4 – Québec |
| | 2-4-13 | Québec – Trois-Rivières1 – Québec |
| Nord Nord | 2-4-14 | Québec – Chibougamau1 – Chicoutimi2 – Québec |
| | 2-4-15 | Québec – Chibougamau2 – Chicoutimi1 – Québec |

Tableau 5-9 Détail des tournées de véhicules du scénario 2

| Tour | Nombre de charges | Transport (\$) | Frais de séjour (\$) | Chargement et déchargement (\$) | Durée (jours) |
|---------|-------------------|----------------|----------------------|---------------------------------|---------------|
| CRMD #1 | | | | | |
| 2-1-1 | 45 | 1 322,06 | 400,00 | 286,88 | 3 |
| 2-1-2 | 19 | 1 018,82 | 200,00 | 131,04 | 2 |
| 2-1-3 | 18 | 345,75 | 0,00 | 106,25 | 1 |
| 2-1-4 | 22 | 364,17 | 0,00 | 141,67 | 1 |
| 2-1-5 | 18 | 345,75 | 0,00 | 106,25 | 1 |
| 2-1-6 | 39 | 328,74 | 0,00 | 244,38 | 1 |
| 2-1-7 | 26 | 409,51 | 0,00 | 177,08 | 1 |
| 2-1-8 | 41 | 315,99 | 0,00 | 251,46 | 1 |
| 2-1-9 | 16 | 155,87 | 0,00 | 99,17 | 1 |
| 2-1-10 | 37 | 246,56 | 0,00 | 216,04 | 1 |
| 2-1-11 | 27 | 213,97 | 0,00 | 159,38 | 1 |
| 2-1-12 | 29 | 167,21 | 0,00 | 166,46 | 1 |
| 2-1-13 | 29 | 167,21 | 0,00 | 166,46 | 1 |
| 2-1-14 | 29 | 167,21 | 0,00 | 166,46 | 1 |
| 2-1-15 | 16 | 155,87 | 0,00 | 99,17 | 1 |
| 2-1-16 | 38 | 223,89 | 0,00 | 219,58 | 1 |
| 2-1-17 | 26 | 117,61 | 0,00 | 155,83 | 1 |
| CRMD #4 | | | | | |
| 2-4-1 | 31 | 1 130,77 | 200,00 | 194,79 | 2 |
| 2-4-2 | 46 | 1 558,70 | 400,00 | 290,42 | 3 |
| 2-4-3 | 11 | 218,22 | 0,00 | 81,46 | 1 |
| 2-4-4 | 30 | 393,93 | 0,00 | 191,25 | 1 |
| 2-4-5 | 7 | 221,05 | 0,00 | 67,29 | 1 |
| 2-4-6 | 19 | 881,37 | 200,00 | 131,04 | 2 |
| 2-4-7 | 24 | 1 375,91 | 400,00 | 148,75 | 3 |
| 2-4-8 | 12 | 881,37 | 200,00 | 85,00 | 2 |
| 2-4-9 | 19 | 881,37 | 200,00 | 131,04 | 2 |
| 2-4-10 | 35 | 253,64 | 0,00 | 187,71 | 1 |
| 2-4-11 | 19 | 229,55 | 0,00 | 109,79 | 1 |
| 2-4-12 | 19 | 229,55 | 0,00 | 109,79 | 1 |
| 2-4-13 | 19 | 229,55 | 0,00 | 109,79 | 1 |
| 2-4-14 | 17 | 1 147,77 | 200,00 | 123,96 | 2 |
| 2-4-15 | 17 | 1 147,77 | 200,00 | 123,96 | 2 |

Tableau 5-10 Tournées mensuelles combinées de véhicules du scénario 3

| Tour | Sites visités | Jour prévu |
|---------|--|----------------------|
| CRMD #1 | | |
| 3-1-1 | St-Jérôme – Rawdon – <i>Ste-Émilie-de-l'Énergie</i> – St-Jérôme | Lundi |
| 3-1-2 | St-Jérôme – Mont-Laurier – <i>Maniwaki</i> – St-Jérôme | Lundi |
| 3-1-3 | St-Jérôme – Hull – St-Jérôme | Mardi |
| 3-1-4 | St-Jérôme – Hull – St-Jérôme | Mardi |
| 3-1-5 | St-Jérôme – Hull – St-Jérôme | Mardi |
| 3-1-6 | St-Jérôme – Papineauville – <i>Notre-Dame-de-la-Salette</i> – St-Jérôme | Mardi |
| 3-1-7 | St-Jérôme – Val-d'Or – Rouyn-Noranda – St-Jérôme | Mardi |
| 3-1-8 | St-Jérôme – Val-d'Or – Rouyn-Noranda – St-Jérôme | Mardi |
| 3-1-9 | St-Jérôme – <i>Lachute</i> – <i>Carillon</i> – Laval – St-Jérôme | Mercredi |
| 3-1-10 | St-Jérôme – <i>Lachute</i> – <i>Carillon</i> – Laval – St-Jérôme | Merc |
| 3-1-11 | St-Jérôme – Blainville – St-Jérôme | Merc |
| 3-1-12 | St-Jérôme – Joliette – <i>L'Assomption</i> – St-Jérôme | Jeudi |
| CRMD #2 | | |
| 3-2-1 | Bout-de-L'Île – Jarry – Bout-de-L'Île | Lun - Ven |
| 3-2-2 | Bout-de-L'Île – Jarry – Bout-de-L'Île | Lun - Ven |
| 3-2-3 | Bout-de-L'Île – Jarry – Bout-de-L'Île | Lun - Ven |
| CRMD #3 | | |
| 3-3-1 | St-Hyacinthe – St-Jean – Vaudreuil – St-Hyacinthe | Lundi et mercredi |
| 3-3-2 | St-Hyacinthe – St-Jean – Vaudreuil – St-Hyacinthe | Lundi et mercredi |
| 3-3-3 | St-Hyacinthe – St-Bruno – Sorel – St-Hyacinthe | Mardi et jeudi |
| 3-3-4 | St-Hyacinthe – St-Bruno – Sorel – St-Hyacinthe | Mardi et jeudi |
| 3-3-5 | St-Hyacinthe – Châteauguay – Valleyfield – <i>Beauharnois</i> – St-Hyacinthe | Mardi et jeudi |
| 3-3-6 | St-Hyacinthe – Châteauguay – Valleyfield – <i>Beauharnois</i> – St-Hyacinthe | Mardi et jeudi |
| 3-3-7 | St-Hyacinthe – Châteauguay – Valleyfield – <i>Beauharnois</i> – St-Hyacinthe | Mardi et jeudi |
| 3-3-8 | St-Hyacinthe – Drummondville – Sherbrooke – Granby – St-Hyacinthe | Mercredi et vendredi |
| 3-3-9 | St-Hyacinthe – CERV/IREQ – St-Hyacinthe | Vendredi |
| 3-3-10 | St-Hyacinthe – CERV/IREQ – St-Hyacinthe | Vendredi |

Tableau 5-10 Tournées mensuelles combinées de véhicules du scénario 3 (suite)

| Tour | Sites visités | Jour prévu |
|---------|---|------------|
| CRMD #4 | | |
| 3-4-1 | Québec – Beauport – <i>Donnacona ou La Malbaie</i> – Québec | Lundi |
| 3-4-2 | Québec – Rimouski – Québec | Lundi |
| 3-4-3 | Québec – Rimouski – Québec | Lundi |
| 3-4-4 | Québec – Chicoutimi – Québec | Mardi |
| 3-4-5 | Québec – Chicoutimi – Québec | Mardi |
| 3-4-6 | Québec – Thetford-Mines – <i>St-Agapit</i> – Québec | Mardi |
| 3-4-7 | Québec – Thetford-Mines – <i>St-Agapit</i> – Québec | Mardi |
| 3-4-8 | Québec – Baie-Comeau – Québec | Mercredi |
| 3-4-9 | Québec – Baie-Comeau – Québec | Mercredi |
| 3-4-10 | Québec – Baie-Comeau – Québec | Mercredi |
| 3-4-11 | Québec – Baie-Comeau – Québec | Mercredi |
| 3-4-12 | Québec – Lévis – Rivière du Loup – Québec | Mercredi |
| 3-4-13 | Québec – Lévis – Rivière du Loup – Québec | Mercredi |

Tableau 5-11 Tournées de véhicules additionnelles du scénario 3

| Sub-division | Tour | Sites visités |
|--------------|--------|--|
| CRMD #1 | | |
| Aucune | 3-1-13 | St-Jérôme – Amos – St-Jovite – St-Jérôme |
| | 3-1-14 | St-Jérôme – St-Jovite – St-Jérôme |
| CRMD #3 | | |
| Aucune | 3-3-11 | St-Hyacinthe – Trois-Rivières – Victoriaville – St-Hyacinthe |
| | 3-3-12 | St-Hyacinthe – Trois-Rivières – Victoriaville – St-Hyacinthe |
| | 3-3-13 | St-Hyacinthe – Trois-Rivières – St-Hyacinthe |
| | 3-3-14 | St-Hyacinthe – Trois-Rivières – St-Hyacinthe |
| CRMD #4 | | |
| Sud Est | 3-4-14 | Québec – Carleton – Québec |
| | 3-4-15 | Québec – Gaspé – Carleton – Québec |
| Nord Ouest | 3-4-16 | Québec – Chibougamau – Québec |
| | 3-4-17 | Québec – Chibougamau – Québec |
| Nord Est | 3-4-18 | Québec – Sept-Îles – Forestville – Québec |
| | 3-4-19 | Québec – Forestville – Québec |

Tableau 5-12 Détail des tournées combinées de véhicules du scénario 3

| Tour | Nombre de charges | Transport (\$) | Frais de séjour (\$) | Chargement et déchargement (\$) | Durée (jours) |
|---------|-------------------|----------------|----------------------|---------------------------------|---------------|
| CRMD #1 | | | | | |
| 3-1-1 | 8 | 63,75 | 0,00 | 70,83 | 1 |
| 3-1-2 | 3 | 193,38 | 0,00 | 53,13 | 1 |
| 3-1-3 | 18 | 172,13 | 0,00 | 106,25 | 1 |
| 3-1-4 | 18 | 172,13 | 0,00 | 106,25 | 1 |
| 3-1-5 | 18 | 172,13 | 0,00 | 106,25 | 1 |
| 3-1-6 | 4 | 104,13 | 0,00 | 56,67 | 1 |
| 3-1-7 | 20 | 622,20 | 200,00 | 134,58 | 2 |
| 3-1-8 | 20 | 622,20 | 200,00 | 134,58 | 2 |
| 3-1-9 | 12 | 46,33 | 0,00 | 85,00 | 1 |
| 3-1-10 | 12 | 46,33 | 0,00 | 85,00 | 1 |
| 3-1-11 | 14 | 34,43 | 0,00 | 92,08 | 1 |
| 3-1-12 | 17 | 78,20 | 0,00 | 102,71 | 1 |
| 3-1-13 | 12 | 1 162,80 | 200,00 | 106,25 | 2 |
| 3-1-14 | 8 | 157,25 | 0,00 | 70,83 | 1 |
| CRMD #2 | | | | | |
| 3-2-1 | 13 | 15,73 | 0,00 | 88,54 | 1 |
| 3-2-2 | 13 | 15,73 | 0,00 | 88,54 | 1 |
| 3-2-3 | 13 | 15,73 | 0,00 | 88,54 | 1 |
| CRMD #3 | | | | | |
| 3-3-1 | 17 | 123,25 | 0,00 | 123,96 | 1 |
| 3-3-2 | 17 | 123,25 | 0,00 | 123,96 | 1 |
| 3-3-3 | 16 | 87,13 | 0,00 | 120,42 | 1 |
| 3-3-4 | 16 | 87,13 | 0,00 | 120,42 | 1 |
| 3-3-5 | 20 | 130,48 | 0,00 | 134,58 | 1 |
| 3-3-6 | 20 | 130,48 | 0,00 | 134,58 | 1 |
| 3-3-7 | 20 | 130,48 | 0,00 | 134,58 | 1 |
| 3-3-8 | 32 | 124,95 | 0,00 | 198,33 | 1 |
| 3-3-9 | 10 | 51,00 | 0,00 | 77,92 | 1 |
| 3-3-10 | 10 | 51,00 | 0,00 | 77,92 | 1 |
| 3-3-11 | 26 | 293,25 | 0,00 | 155,83 | 1 |
| 3-3-12 | 26 | 293,25 | 0,00 | 155,83 | 1 |
| 3-3-13 | 19 | 229,50 | 0,00 | 109,79 | 1 |
| 3-3-14 | 19 | 229,50 | 0,00 | 109,79 | 1 |
| CRMD #4 | | | | | |
| 3-4-1 | 16 | 13,60 | 0,00 | 99,17 | 1 |
| 3-4-2 | 16 | 289,85 | 0,00 | 99,17 | 1 |
| 3-4-3 | 16 | 289,85 | 0,00 | 99,17 | 1 |
| 3-4-4 | 13 | 220,15 | 0,00 | 88,54 | 1 |

Tableau 5-12 Détail des tournées combinées de véhicules du scénario 3 (suite)

| Tour | Nombre de charges | Transport (\$) | Frais de séjour (\$) | Chargement et déchargement (\$) | Durée (jours) |
|---------|-------------------|----------------|----------------------|---------------------------------|---------------|
| CRMD #4 | | | | | |
| 3-4-5 | 13 | 220,15 | 0,00 | 88,54 | 1 |
| 3-4-6 | 11 | 109,23 | 0,00 | 81,46 | 1 |
| 3-4-7 | 11 | 109,23 | 0,00 | 81,46 | 1 |
| 3-4-8 | 12 | 442,85 | 200,00 | 85,00 | 2 |
| 3-4-9 | 12 | 442,85 | 200,00 | 85,00 | 2 |
| 3-4-10 | 12 | 442,85 | 200,00 | 85,00 | 2 |
| 3-4-11 | 12 | 442,85 | 200,00 | 85,00 | 2 |
| 3-4-12 | 18 | 185,73 | 0,00 | 127,50 | 1 |
| 3-4-13 | 18 | 185,73 | 0,00 | 127,50 | 1 |
| 3-4-14 | 4 | 1 122,26 | 200,00 | 56,67 | 2 |
| 3-4-15 | 6 | 1 545,95 | 400,00 | 85,00 | 3 |
| 3-4-16 | 4 | 1 088,26 | 200,00 | 56,67 | 2 |
| 3-4-17 | 4 | 1 088,26 | 200,00 | 56,67 | 2 |
| 3-4-18 | 19 | 1 377,32 | 400,00 | 131,04 | 3 |
| 3-4-19 | 7 | 688,82 | 200,00 | 67,29 | 2 |

Dans ce scénario, le site de transit de Victoriaville est affecté au CRMD #3 tandis qu'il est desservi par le centre de distribution qui correspond au CRMD #4. Toutefois, la capacité du CRMD #4 permet d'ajouter le site de transit de Victoriaville. Ce site de transit est transféré au CRMD #4 puisque le but est de combiner le transport. Ainsi, les tournées combinées et additionnelles du CRMD #4 trouvées au scénario 3 sont les mêmes dans ce scénario. Donc, il faut douze tournées additionnelles (seulement des MDR) pour le CRMD #3 et six tournées combinées supplémentaires pour le CRMD #4 à celles du scénario 3. Elles sont montrées aux tableaux 5-13 et 5-14. Le tableau 5-15 présente le détail des tournées qui s'ajoutent à celles du scénario 3 pour les CRMD #3 et #4.

5.8 Analyse des tournées de véhicules et discussion

Cette section traite l'analyse des tournées de véhicules d'un point de vue opérationnel. Le but recherché est de vérifier comment les tournées obtenues par le modèle à l'aide

des données de l'année 2003 peuvent être mises en place pour les quatre scénarios. L'analyse des quatre scénarios est faite en deux parties. La première partie représente une analyse globale des résultats tandis que la deuxième contient l'analyse détaillée des tournées.

Tableau 5-13 Tournées de véhicules additionnelles du scénario 4

| Sub-division | Tour | Sites visités |
|--------------------|--------|---|
| CRMD #3 | | |
| Grand Nord | 4-3-11 | St-Hyacinthe – St-Jovite1 – Val d'Or1 – St-Hyacinthe |
| | 4-3-12 | St-Hyacinthe – St-Jovite2 – Val d'Or2 – Amos Rouyn-Noranda – Mont-Laurier – St-Hyacinthe |
| Basses Laurentides | 4-3-13 | St-Hyacinthe – St-Jérôme2 – Rawdon – Joliette – St-Hyacinthe |
| | 4-3-14 | St-Hyacinthe – Laval1 – St-Hyacinthe |
| | 4-3-15 | St-Hyacinthe – St-Jérôme1 – Blainville – Laval2 – St-Hyacinthe |
| | 4-3-16 | St-Hyacinthe – Bout-de-l'Île4 – Jarry1 – St-Hyacinthe |
| Montréal | 4-3-17 | St-Hyacinthe – Jarry3 – Bout-de-l'Île2 – St-Hyacinthe |
| | 4-3-18 | St-Hyacinthe – Bout-de-l'Île1 – Jarry2 – St-Hyacinthe |
| | 4-3-19 | St-Hyacinthe – Bout-de-l'Île3 – St-Hyacinthe |
| | 4-3-20 | St-Hyacinthe – Hull2 – Papineauville – St-Hyacinthe |
| Outaouais | 4-3-21 | St-Hyacinthe – Hull3 – St-Hyacinthe |
| | 4-3-22 | St-Hyacinthe – Hull1 – St-Hyacinthe |

Tableau 5-14 Tournées combinées de véhicules supplémentaires du scénario 4

| Tour | Sites visités | Jour prévu |
|---------|---|-------------------|
| CRMD #4 | | |
| 4-4-20 | Québec – Trois-Rivières – <i>Shawinigan</i> – Québec | Lundi et mercredi |
| 4-4-21 | Québec – Trois-Rivières – <i>Shawinigan</i> – Québec | |
| 4-4-22 | Québec – Trois-Rivières – <i>Shawinigan</i> – Québec | |
| 4-4-23 | Québec – Trois-Rivières – <i>Shawinigan</i> – Québec | |
| 4-4-24 | Québec – Victoriaville – <i>St-Hyacinthe</i> – Québec | Mardi et jeudi |
| 4-4-25 | Québec – Victoriaville – <i>St-Hyacinthe</i> – Québec | |

Tableau 5-15 Détail des tournées de véhicules du scénario 4

| Tour | Nombre de charges | Transport (\$) | Frais de séjour (\$) | Chargement et déchargement (\$) | Durée (jours) |
|---------|-------------------|----------------|----------------------|---------------------------------|---------------|
| CRMD #3 | | | | | |
| 4-3-11 | 12 | 1 237,04 | 400,00 | 106,25 | 3 |
| 4-3-12 | 37 | 1 540,28 | 400,00 | 258,54 | 3 |
| 4-3-13 | 40 | 358,50 | 0,00 | 226,67 | 1 |
| 4-3-14 | 12 | 189,88 | 0,00 | 85,00 | 1 |
| 4-3-15 | 41 | 289,07 | 0,00 | 230,21 | 1 |
| 4-3-16 | 29 | 218,22 | 0,00 | 166,46 | 1 |
| 4-3-17 | 29 | 218,22 | 0,00 | 166,46 | 1 |
| 4-3-18 | 29 | 218,22 | 0,00 | 166,46 | 1 |
| 4-3-19 | 16 | 198,38 | 0,00 | 99,17 | 1 |
| 4-3-20 | 22 | 544,13 | 200,00 | 141,67 | 2 |
| 4-3-21 | 18 | 532,78 | 200,00 | 106,25 | 2 |
| 4-3-22 | 18 | 532,79 | 200,00 | 106,25 | 2 |
| CRMD #4 | | | | | |
| 4-4-20 | 19 | 114,78 | 0,00 | 131,04 | 1 |
| 4-4-21 | 19 | 114,78 | 0,00 | 131,04 | 1 |
| 4-4-22 | 19 | 114,78 | 0,00 | 131,04 | 1 |
| 4-4-23 | 19 | 114,78 | 0,00 | 131,04 | 1 |
| 4-4-24 | 11 | 111,94 | 0,00 | 67,29 | 1 |
| 4-4-25 | 11 | 111,94 | 0,00 | 67,29 | 1 |

L'analyse globale des tournées montre une comparaison des quatre scénarios sur les aspects de coûts, de nombre de tournées, de capacité des camions et le nombre de camions requis. L'analyse détaillée des tournées est effectuée à l'aide d'un tableau Excel et a pour objectif de vérifier : 1) le respect de la capacité d'entreposage des sites de transit, 2) l'utilisation des camions et 3) la durée des tournées. Pour réussir à démontrer la validité des tournées et faire ressortir les problèmes possibles, les données sont regroupées par semaine comparativement au modèle de tournées de véhicules qui utilisait des moyennes mensuelles de charges de MDR par sites de transit. Le but est d'évaluer la faisabilité des tournées proposées en utilisant les quantités hebdomadaires de MDR. Une hypothèse est faite quant au fait que les charges soient présentes au début de la semaine avant l'arrivée du camion. Grâce à cette analyse détaillée, il est possible de faire le calcul de l'utilisation des camions, de la quantité entreposée aux sites de

transit et de la durée des tournées pour chacune des tournées de véhicules des différents scénarios. L'analyse permet aussi de calculer la moyenne, le minimum et le maximum pour les trois mesures retenues.

5.8.1 Analyse globale

En premier, un aperçu des coûts totaux des différents scénarios sur une base annuelle est donné au tableau 5-16. Les coûts fixes obtenus pour chaque scénario lors du problème de localisation et d'affectation sont ajoutés aux coûts de tournées. En termes de coût, la meilleure solution est obtenue avec le scénario 2. Le scénario 4 suit en deuxième avec près de 90 000\$ de plus. Les scénarios 1 et 3 coûtent 90 000\$ plus cher que le scénario 4.

Tableau 5-16 Coûts annuels des 4 scénarios

| Scénario | Nombre de CRMD | Transport | Coûts | | |
|----------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | Fixes | Tournées | Total |
| #1 | 4 | Autonome | 404 000\$ | 272 028\$ | 676 028\$ |
| #2 | 2 | Autonome | 189 200\$ | 292 620\$ | 481 820\$ |
| #3 | 4 | Combiné | 404 000\$ | 289 260\$ | 693 260\$ |
| #4 | 2 | Combiné | 244 600\$ | 327 024\$ | 571 624\$ |

Au chapitre précédent, un coût de transport a été calculé pour chaque scénario. Ce coût de transport est obtenu en considérant des tournées individuelles des sites de transit tandis que le modèle de tournées de véhicules de ce chapitre permet de regrouper plusieurs sites de transit tel qu'illustré à la figure 4-1. Ce regroupement permet de réduire les coûts de transport par rapport au modèle de localisation. Le tableau 5-17 fait la comparaison entre le coût de transport des deux modèles. Par ailleurs, le rang des scénarios est le même pour les deux modèles. Les tournées de véhicules entraînent une réduction de plus de 400 000\$ des coûts de transport et ce même en considérant un temps fixe pour entrer et sortir des sites de transit et du temps de chargement et déchargement. Somme toute, l'écart entre les quatre scénarios est de moins de 10%. La réduction des coûts de transport est importante et est attribuable à l'étendue du territoire

Québécois qui doit être couvert pour le transport des MDR. Aussi, certaines routes éloignées faites par des transporteurs externes n'ont pas été considérées dans cette deuxième partie de l'étude.

Tableau 5-17 Comparaison des coûts annuels de transport du modèle de localisation à ceux du modèle de tournées de véhicules

| Scénario | Coûts de transport (rang) | | |
|----------|---------------------------|--------------------|---------------|
| | Modèle de localisation | Modèle de tournées | Écart |
| #1 | 698 598\$ (1) | 272 028\$ (1) | 426 570\$ (2) |
| #2 | 730 388\$ (3) | 292 620\$ (3) | 437 768\$ (3) |
| #3 | 701 624\$ (2) | 289 260\$ (2) | 412 364\$ (1) |
| #4 | 775 302\$ (4) | 327 024\$ (4) | 448 278\$ (4) |

En deuxième, l'analyse est faite sur le nombre de tournées obtenu pour les différents scénarios. Le tableau 5-18 donne pour chacun des scénarios, le nombre minimum de tournées requises sans tenir compte des contraintes. Le calcul du nombre minimum est fait par rapport à la capacité du camion et à la fréquence de visites. Ainsi, le nombre minimum de tournées basé sur la capacité du camion est obtenu en divisant le nombre de charges à transporter pour un CRMD par la capacité du camion. Le nombre minimum de tournées basé sur la fréquence de visites correspond au maximum de la fréquence de visites pour le site de transit affecté au CRMD ayant la plus grande fréquence de visites. Par exemple, le nombre de tournées obtenu pour le scénario 1, soit 25, dépasse de beaucoup le nombre minimum nécessaire de neuf tournées selon la capacité et de quatorze tournées en fonction du nombre de visites maximum. Cette analyse est faite seulement pour les deux premiers scénarios. Ainsi, le nombre de tournées nécessaires compte tenu des contraintes imposées est de près de 50% de plus que le minimum.

En troisième, l'utilisation globale de la capacité des camions par CRMD est analysée afin de déterminer la moyenne, le pourcentage par rapport à la capacité ainsi que le minimum et le maximum. De plus, l'analyse permet de calculer le nombre de jours d'utilisation du camion pour avoir ainsi une idée du nombre de camions nécessaire par CRMD. Le nombre de jours est obtenu en additionnant la durée des tournées donnée dans les tableaux précédents. Le résultat de cette analyse est présenté au tableau 5-19.

Tableau 5-18 Analyse du nombre de tournées

| CRMD | Nombre de charges | Nombre de visites | Nombre minimum de tournées | |
|------------|-------------------|-------------------|----------------------------|-----------|
| | | | Capacité | Fréquence |
| Scénario 1 | | | | |
| #1 | 153 | 15 | 2 | 3 |
| #2 | 78 | 6 | 1 | 3 |
| #3 | 234 | 19 | 3 | 4 |
| #4 | 224 | 22 | 3 | 4 |
| Scénario 2 | | | | |
| #1 | 488 | 39 | 6 | 4 |
| #4 | 318 | 30 | 4 | 4 |

Tableau 5-19 Analyse de l'utilisation de la capacité et des camions par mois

| CRMD | Utilisation de la capacité (charges) | | | | Utilisation du camion | |
|------------|--------------------------------------|------|-----|-----|-----------------------|--------|
| | Moy | % | Min | Max | Jours | Nombre |
| Scénario 1 | | | | | | |
| #1 | 28 | 31 % | 12 | 37 | 9 | < 1 |
| #2 | 26 | 30 % | 13 | 41 | 3 | << 1 |
| #3 | 32 | 37 % | 26 | 38 | 7 | < 1 |
| #4 | 23 | 26 % | 11 | 47 | 20 | > 1 |
| Moy | 27 | 31% | 11 | 47 | 39 | > 2 |
| Scénario 2 | | | | | | |
| #1 | 28 | 32% | 16 | 45 | 20 | > 1 |
| #4 | 22 | 25% | 7 | 46 | 25 | > 1 |
| Moy | 25 | 30% | 7 | 46 | 45 | ~ 3 |
| Scénario 3 | | | | | | |
| #1 | 14 | 15 % | 3 | 20 | 17 | ~ 1 |
| #2 | 13 | 15 % | 13 | 13 | 3 | << 1 |
| #3 | 20 | 22 % | 10 | 32 | 14 | < 1 |
| #4 | 12 | 14 % | 4 | 19 | 31 | ~ 2 |
| Moy | 14 | 16 % | 3 | 32 | 65 | ~ 4 |
| Scénario 4 | | | | | | |
| #3 | 22 | 25 % | 10 | 41 | 29 | < 2 |
| #4 | 13 | 15 % | 4 | 19 | 37 | > 2 |
| Moy | 17 | 19 % | 4 | 41 | 66 | > 4 |

Le nombre de charges transportées au scénario 1 varie de 11 à 47 charges par tournée avec une moyenne de 28. Ceci représente une utilisation moyenne de la capacité du camion de 31 % et une variation de 13 % à 53 %. Du côté du nombre de jours

d'utilisation des camions, le CRMD #1 donne 9 jours de travail à répartir sur 3 semaines différentes soit moins d'un camion par mois. Pour ce qui est du CRMD #2, il y a 3 jours de transport par mois à répartir sur 3 semaines, soit moins de 1 camion. La situation est semblable pour le CRMD #3 avec 7 jours de transport par mois à répartir sur 4 semaines. Encore une fois, il faut moins d'un camion. Finalement, le CRMD #4 comporte 20 jours de transport qui fait en sorte qu'un peu plus d'un camion est requis. Au total un peu plus que deux camions sont requis pour le premier scénario pour faire les tournées proposées.

Pour le scénario 2, le nombre de charges transportées vers le CRMD #1 varie de 7 à 46 charges par tournée avec une moyenne de 25. En ce qui a trait à l'utilisation du camion, le CRMD #1 exige 20 jours de travail soit un peu plus d'un camion par mois. Les tournées du CRMD #4 transportent en moyenne 20 charges. Il y a 25 jours de transport par mois, soit plus de 1 camion pour le CRMD #4. Au total, près de trois camions sont nécessaires.

Quant au scénario 3, le CRMD #3 comporte deux tournées combinées (3-3-9 et 3-310) qui sont planifiées le vendredi. Ceci ne peut pas fonctionner puisque le CRMD n'est pas ouvert ce jour-là. Le nombre de charges par tournée varie de 3 à 32 avec une moyenne de 14 pour ce scénario. Ainsi, l'utilisation moyenne de la capacité du camion est de 16 %. En ce qui concerne le nombre de jours d'utilisation des camions, le CRMD #1 demande presqu'un camion par mois avec 17 jours de travail à répartir sur au moins 3 semaines différentes. Pour le CRMD #2, il y a 3 jours de transport à répartir sur le mois (moins de 1 camion). Le CRMD #3 compte 14 jours de transport par mois à répartir sur 4 semaines ce qui représente moins d'un camion aussi. Finalement, le CRMD #4 comporte 31 jours de transport ce qui fait en sorte que presque deux camions sont requis. Donc, le nombre de camions est inférieur à 1 pour les trois premiers CRMD et supérieur à 1 pour le quatrième. Au total, près de 4 camions sont nécessaires pour faire le transport des MDR de ce scénario.

Les tournées du dernier scénario comportent de 4 à 41 charges et une moyenne de 17 charges. Ainsi, l'utilisation moyenne de la capacité du camion est de 19 % avec une

variation de 5 % à 46 %. Pour ce qui est du nombre de jours d'utilisation des camions, le CRMD #3 a besoin de près de deux camions par mois avec 29 jours de travail à répartir sur au moins 4 semaines différentes. Le CRMD #4, quant à lui, compte 37 jours de transport par mois à répartir sur 4 semaines ce qui représente plus de deux camions. Au total, plus de 4 camions sont nécessaires pour faire le transport des MDR du scénario 4.

5.8.2 Analyse détaillée

L'analyse détaillée a pour objectif de vérifier : 1) le respect de la capacité d'entreposage des sites de transit, 2) l'utilisation des camions et 3) la durée des tournées et elle est faite pour chacun des scénarios. Un tableau Excel est utilisé pour faire la vérification des tournées. Un exemple de feuille de calcul est donné à l'annexe K. Une feuille est nécessaire pour chaque subdivision. La première colonne contient le numéro de la semaine, les colonnes suivantes contiennent les quantités de MDR aux sites de transit. Les colonnes subséquentes calculent les stocks de MDR à chaque semaine selon l'horaire de la tournée. Enfin, les dernières colonnes montrent les tournées hebdomadaires. Les tournées sont répétées à toutes les quatre semaines. Elles sont vérifiées en utilisant des données hebdomadaires au lieu de prendre les moyennes mensuelles comme auparavant. Chacun des scénarios est analysés selon trois aspects. Le premier aspect, le respect de la capacité d'entreposage des sites de transit, est vérifié en calculant le nombre maximum de charges à un site de transit. De plus, le minimum et la moyenne sont aussi calculés. L'utilisation du camion, le deuxième aspect, est mesurée pour chaque tournée en calculant la moyenne, le minimum et le maximum. Finalement, le troisième aspect est la détermination de la durée des tournées. Ceci permet de s'assurer que le temps prévu pour la tournée peut être respecté et d'examiner si d'autres tournées peuvent être faites dans le temps disponible d'une journée. Pour plus de précision, le calcul se fait en minutes. Pour les tournées combinées, seul le temps d'accéder aux sites de transits et aux CRMD ainsi que le temps de chargement et de déchargement sont calculés puisqu'il faut savoir combien de temps est nécessaire pour ajouter les retours de MDR à la tournée de distribution. En ce qui concerne les autres

tournées, le temps total est calculé. L'annexe L présente l'analyse détaillée des tournées de chacun des scénarios.

5.8.3 *Discussion et conclusion*

Les quatre scénarios ont été analysés de deux façons. La première façon cherche à comparer les scénarios d'un point de vue global tandis que la seconde façon cherche à faire ressortir les problèmes possibles lors des tournées pour chaque scénario. En général, les tournées proposées par le modèle de tournées de véhicules répondent assez bien aux critères de l'entreprise. La majorité des tournées sont de moins d'un jour et aucune ne prend plus de trois jours. Les deux scénarios qui autorisent à doubler la capacité des CRMD donnent des coûts de tournées plus élevés. Ceci était à prévoir puisque si seulement deux CRMD sont ouverts, il faut plus de temps de transport pour faire les tournées. La possibilité de combiner le transport de MDR avec celui de la distribution n'entraîne pas d'économie au niveau des coûts de transport. Pourtant, seulement la moitié du coût de transport est imputée dans ce cas. L'explication de cette augmentation des coûts est attribuable au fait que les tournées de distribution ne permettent pas de visiter beaucoup de sites dans une journée ce qui fait augmenter le nombre de tournées. La variation du coût des tournées entre les trois premiers scénarios est de moins de 8% tandis que le scénario 4 fait augmenter le coût des tournées d'environ 20% par rapport au scénario 1. Donc, la décision de combiner le transport des MDR avec la distribution ne peut pas être uniquement basée sur les coûts. Elle demande aussi une vérification du temps et de l'espace disponibles sur les tournées de distribution. L'analyse globale montre une faible utilisation des camions pour les quatre scénarios.

L'analyse détaillée des tournées a permis de faire ressortir les tournées et les sites de transit qui pourraient causer des problèmes. La vérification est faite en ce qui concerne l'utilisation des camions, la capacité des sites de transit et la durée des tournées. Dans ce cas, les données sont regroupées par semaine. Il est arrivé une seule fois sur les quatre scénarios que la capacité du camion soit excédée. Par contre, dans de nombreux cas la

capacité d'entreposage de plusieurs sites de transit est excédée. Ceci est fort probablement attribuable au fait que la capacité de certains sites de transit est supérieure à 30 charges, telle qu'établi dans les hypothèses. Quant à la durée des tournées, l'analyse fait ressortir quelques tournées dont la durée correspond à un peu moins d'une journée. Donc, dans 50% des cas, ces tournées ne causent pas de problèmes. Dans l'autre 50% des cas, le temps requis ne peut pas être respecté. En réalité, aucun problème n'est anticipé compte tenu du fait que les tournées sont basées sur une journée de 450 minutes et que le temps d'ouverture des CRMD est plus long. Aussi, il y a plusieurs tournées de plus d'un jour qui comportent peu d'heure de travail lors de la dernière journée de la tournée. Ainsi, le temps disponible de ces tournées peut être comblé de façon à augmenter l'utilisation du camion. Ce travail sera fait dans le cadre d'un autre projet.

La distance totale parcourue annuellement de chaque scénario est représentée au tableau 5-20. Le calcul de la distance pour les scénarios 3 et 4 est fait pour les tournées additionnelles seulement. Le premier constat est une réduction de la distance pour les scénarios de transport combiné de 30% à 70% sur les scénarios de transport autonome. Ainsi, les scénarios de transport combiné permettent une réduction de la congestion sur les routes, des gaz à effet de serre ainsi que la taille de la flotte de camions.

5.9 Conclusion

La problématique du transport des MDR chez Hydro-Québec est dépendante de la localisation des CRMD et de l'affectation des sites de transit couvert au chapitre précédent. Les méthodes de fonctionnement actuelles ont été considérées dans le modèle de tournées de véhicules développé. Le modèle aussi est basé sur les contraintes de fonctionnement actuelles. Les tournées doivent être d'une journée lorsque possible. De plus, les CRMD sont ouverts seulement quatre jours par semaine. Aussi, les MDR ne peuvent être laissées plus d'un mois à un site de transit. Des hypothèses ont été faites de façon à simplifier le problème sans toutefois l'éloigner trop de la réalité. Par exemple, le temps requis pour faire le plein d'essence est ignoré, l'hébergement est disponible

partout, etc. C'est pourquoi, une analyse encore plus exhaustive que celle faite précédemment doit être réalisée avant de mettre en place le scénario retenu.

Tableau 5-20 Distances parcourues annuelles des scénarios

| CRMD | Distances (km) | | | |
|-------|----------------|------------|------------|------------|
| | Scénario 1 | Scénario 2 | Scénario 3 | Scénario 4 |
| #1 | 42 748 | 67 928 | 15 016 | - |
| #2 | 4 398 | - | 0 | - |
| #3 | 22 917 | - | 12 907 | 70 362 |
| #4 | 109 068 | 126 488 | 79 795 | 79 795 |
| Total | 179 131 | 194 416 | 107 718 | 150 157 |

Une des difficultés rencontrées est que le modèle ne peut pas résoudre des problèmes avec un grand nombre de sites de transit. Pour être en mesure d'obtenir une solution, les problèmes ont été subdivisés en fonction du territoire. Ceci a permis de résoudre des problèmes avec jusqu'à une douzaine de sites de transit dans des temps raisonnables. L'amélioration de la méthode de résolution est une voie de recherche future par le développement d'une heuristique qui permettrait de solutionner des problèmes plus grands.

Pour terminer, les scénarios analysés ainsi que les tournées obtenues sont un bon point de départ pour l'entreprise afin de réorienter sa stratégie de transport. Le transport des MDR seul n'est pas souhaitable puisque l'utilisation de la capacité du camion est très faible. La stratégie de combiner le transport des MDR avec le transport de distribution n'offre pas de réduction de coût et demande de vérifier si le temps et l'espace requis sont disponibles. Par contre, cette option permet une diminution des gaz à effet de serre émis dans l'air, une diminution de la taille de la flotte de camions ainsi qu'une diminution du nombre de camions sur la route. Ceci laisse la possibilité à l'entreprise d'opter pour un camion de plus faible capacité ou alors de combiner d'autres retours aux MDR sans affecter le niveau de service.

CHAPITRE VI - CONCLUSION

Cette thèse a traitée de l'organisation de la logistique inverse et est divisée en deux parties. Dans la première, une revue de la littérature a été réalisée dans le but de proposer un cadre conceptuel de la logistique inverse. La deuxième partie a, quant à elle, accomplie une étude de localisation et l'optimisation du transport des matières dangereuses résiduelles chez Hydro-Québec.

Partie 1

La revue de littérature de la logistique inverse n'a pas permis de retracer une méthodologie complète pour l'organisation de la logistique inverse. Le cadre conceptuel proposé dans cette recherche se veut la première ébauche d'une méthodologie. Il comporte quatre éléments : 1) la cartographie, 2) les décisions, 3) les aspects économiques et 4) les mesures de performance. Ces quatre éléments sont traités individuellement pour chacun des processus identifiés : le système de coordination globale, l'étape Barrière, l'étape Collecte, l'étape Tri, l'étape Traitement, le système d'information et le système d'expédition.

La cartographie a permis de définir les processus de la logistique inverse et de comprendre leur fonctionnement interne. Par contre, elle ne tient pas compte de tous les éléments transactionnels. Les décisions à la mise en place ou à l'amélioration d'un système de logistique inverse ont été décomposées par niveau (stratégique, tactique et opérationnel) pour être ensuite associées à des processus. Pour prendre les bonnes décisions, il faut considérer les aspects économiques de la logistique inverse en analysant les coûts et les revenus pertinents. Enfin, des mesures de performance ont été proposées pour chacun des processus afin de permettre l'évaluation de la performance du système de logistique inverse.

Les travaux futurs concernant cette première partie sont de continuer la validation du cadre conceptuel auprès d'autres entreprises, de pousser la cartographie plus loin en vue d'inclure plus de détails et ultimement de développer un outil d'aide à la décision en logistique inverse tel qu'un système expert.

Partie 2

La deuxième partie a abordée un problème de logistique inverse concret des matières dangereuses résiduelles chez Hydro-Québec suite à la fermeture de deux centres de distribution. Ce problème a été décomposé en deux volets : 1) la localisation et l'affectation des sites de transit aux CRMD et 2) les tournées de véhicules. Ainsi, quatre scénarios pour le transport des MDR sont proposés afin d'obtenir une vision stratégique sur le transport des MDR. Le premier scénario conserve les quatre CRMD et cherche à obtenir l'affectation optimale des sites de transit au CRMD pour ensuite faire des tournées de véhicules dédiées au transport des MDR. Quant au deuxième scénario, il est très similaire sauf qu'il est permis d'augmenter la capacité des CRMD c'est-à-dire le nombre d'employés mais tout en conservant le même nombre globalement. Les deux derniers scénarios regardent la possibilité d'utiliser la capacité restante des camions de distribution pour transporter les MDR. Ainsi, ils vérifient la possibilité de combiner le transport et déterminent les tournées additionnelles requises. Le scénario 3 représente le statut quo, c'est-à-dire qu'il conserve l'affectation actuelle tandis que le scénario 4 conserve les deux CRMD situés au même endroit que les centres de distribution.

Pour la localisation et l'affectation, le premier volet, un modèle de localisation a été développé en tenant compte des contraintes de fonctionnement chez Hydro-Québec. Ce problème s'adresse aux niveaux stratégiques et tactiques. Son but est de donner aux dirigeants des pistes de solutions afin de les aider avec la prise de décision et aussi de donner des directions pour le futur. Les scénarios qui font doubler la capacité de traitement entraînent une réduction des coûts fixes tandis que les scénarios qui combinent le transport n'occasionnent pas de réduction de coûts de transport. De plus, l'analyse de sensibilité a démontré que les résultats sont insensibles aux variations de la majorité des paramètres du modèle. Finalement, la plus grande contrainte est que le système actuel est limité par sa capacité de traitement.

Le deuxième volet traite de l'optimisation du transport chez Hydro-Québec. Des tournées de véhicules ont été développées à partir des quatre scénarios du premier volet. Un modèle de tournées de véhicules a été construit pour résoudre le problème. Plusieurs

contraintes ont dû être considérées par le modèle comme celle obligeant le chauffeur à revenir le même jour, la capacité du camion, etc. Ce modèle a été résolu grâce à des subdivisions en fonction de contraintes géographiques puisque le temps de solution était trop long lorsque le problème en entier était traité. Cette méthode n'est pas nécessairement optimale mais elle a donné des tournées de véhicules qui répondent aux contraintes de l'entreprise. Dans l'étude, le transport combiné est effectué à partir des tournées existantes pour la distribution. L'analyse des résultats a démontré un faible taux d'utilisation de la capacité des camions et ce pour tous les scénarios. Dans l'éventualité où une solution de transport combiné serait retenue, une vérification plus approfondie de la faisabilité des tournées combinées (temps et espace) est nécessaire. Finalement, la conception d'un réseau de logistique inverse intégré avec celui de la distribution devrait être considérée.

Les avantages et inconvénients de chacun des scénarios sont résumés au tableau 6-1. Premièrement, l'hypothèse de pouvoir doubler la capacité d'un CRMD possède un potentiel important de réduction des coûts fixes sans toutefois avoir une trop grande augmentation des coûts de transport. Par contre, il reste à vérifier la faisabilité de ces scénarios auprès des différentes parties impliquées. Deuxièmement, en combinant le transport des MDR avec le transport de distribution, il en résulte une diminution des gaz à effet de serre émis dans l'air, une réduction de la taille de la flotte de camions ainsi qu'une diminution du nombre de camions sur la route sans toutefois produire une économie au niveau des coûts de transport. Les résultats obtenus quant au taux d'utilisation des camions reflètent clairement qu'il y a un potentiel à inclure d'autres produits ou à utiliser des camions de plus faible capacité sans affecter le niveau de service de l'entreprise.

Finalement, l'étude démontre que l'affectation des sites de transit au CRMD a peu d'impact sur les coûts de transport. Cependant, la capacité de traitement des CRMD est un facteur déterminant dans l'affectation. En effet, la contrainte de capacité fait en sorte que l'affectation optimale basée sur les distances parcourues n'est pas atteinte. Des

travaux d'optimisation des méthodes de travail sont à envisager afin d'augmenter la capacité de traitement des CRMD.

Tableau 6-1 Avantages et inconvénients des scénarios

| Scénario | Avantages | Inconvénients |
|----------|---|---|
| #1 | <ul style="list-style-type: none"> - Possibilité d'utiliser la capacité restante pour d'autres retours - Grande flexibilité dans la modification des routes | <ul style="list-style-type: none"> - Camions peu utilisés - Faible utilisation de la capacité des camions |
| #2 | <ul style="list-style-type: none"> - Idem #1 - Réduction importante des coûts fixes | <ul style="list-style-type: none"> - Augmentation du coût de transport - Faible utilisation de la capacité des camions |
| #3 | <ul style="list-style-type: none"> - Moins de camions sur les routes - Possibilité d'augmenter la fréquence des visites - Diminution des gaz à effet de serre - Diminution de la taille de la flotte de camions | <ul style="list-style-type: none"> - Moins de flexibilité dans la modification des tournées - Faible utilisation de la capacité des camions - Augmentation des coûts de transport |
| #4 | <ul style="list-style-type: none"> - Moins de camions sur les routes - Diminution des gaz à effet de serre - Diminution de la taille de la flotte de camions | <ul style="list-style-type: none"> - Possibilité d'augmenter la fréquence de visites de certains sites seulement - Plusieurs sites de transit non desservis par les camions de distribution - Faible utilisation de la capacité des camions - Augmentation des coûts de transport |

Les voies de recherche future suite à cette deuxième partie des travaux sont de revoir le réseau de transport pour lui ajouter des centres de consolidation afin d'augmenter l'utilisation de la capacité des camions et de développer une méthode de résolution plus rapide du modèle tournées de véhicules.

La mondialisation des marchés, l'accroissement de la consommation et surtout les nouvelles législations laissent présager beaucoup la nécessité de recherche en logistique inverse.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALBRIGHT, B. (2005). Environmental regulations pose supply chain challenge. *Frontline Solution*, 6(4), 32-35.
- ANDEL, T. (1995). There's power in numbers. *Transportation and Distribution*, 36(8), 67.
- Anonymous (1993). Recycle or reuse. *Transportation and Distribution*, 34(12), 33.
- Anonymous (2000). Return to sender. *Modern Materials Handling*, 55(6), 64-65.
- AUTRY, C. W., DAUGHERTY, P. J. et RICHEY, R. G. (2001). The challenge of reverse logistics in catalog retailing. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 31(1), 26-37.
- BALLOU, R.H. (2004). Business logistics/supply chain management: planning, organizing, and controlling the supply chain. *Prentice-Hall*, Upper Saddle River, N.J., USA.
- BARROS, A. I., DEKKER, R. et SCHOLTEN, V. (1998). A two-level network for recycling sand: A case study. *European Journal of Operational Research*, 110(2), 199-214.
- BEAULIEU, M. (2000). Définir et maîtriser la complexité des réseaux de logistique à rebours. *Les Troisièmes Rencontres Internationales de la Recherche en Logistique*, Trois-Rivières, Canada.
- BOIRAL, O. (2000). Vers une gestion environnementale des entreprises? *Revue Française de Gestion Industrielle*, 127, 4-17.
- BOSTEL, N., DEJAX, P. et LU, Z. (2005). The design, planning and optimization of reverse logistics networks dans LANGEVIN, A, et RIOPEL, D. Logistics systems: Design and optimization. *Kluwer Academic Publishers*, Norwell, MA, USA, chapitre 6.

- BYRNE, P. M. et DEEB, A. (1993). Logistics must meet the 'green' challenge. *Transportation and Distribution*, 34(2), 33-37.
- CALDWELL, B. (1999). Reverse Logistics - Untapped opportunities exist in returned products, a side of logistics few businesses have thought about-until now. *Information Week*, 729, 48-56.
- CARTER, C. R. et ELLRAM, L. M. (1998). Reverse Logistics: A review of the literature and framework for future investigation. *Journal of Business Logistics - Council of Logistics Management*, 198(1), 85-102.
- CHOUINARD M., D'AMOURS, S. et AÏT-KADI, D. (2003). Méthodologie d'implantation et d'amélioration d'une chaîne logistique intégrant la logistique inversée. *5e Congrès international de génie industriel*, Québec, Canada, CD-ROM.
- CLEGG, A. J., WILLIAMS, D. J. et UZSOY, R. (1995). Production planning for companies with remanufacturing capability. *1995 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, Orlando, FL, USA, 186-191.
- CLIFT, R. et WRIGHT, L. (2001). Relationships between environmental impacts and added value along the supply chain. *Technological Forecasting and Social Change*, 65(3), 281-295.
- COIA, A. (2005). Smoothing the reverse flow. *Frontline solutions*, 6(5), 34-36.
- COLETO, T. (2000). When do it yourself is a waste of money. *World Trade*, 13(11), 56-58.
- COTTRILL, K. (2000). Return to sender. *Traffic World*, 262(7), 17-18.
- DAUGHERTY, P. J., AUTRY, C. W. et ELLINGER, A. E. (2001). Reverse logistics: The relationship between resource commitment and program performance. *Journal of Business Logistics*, 22(1), 107-123.

- DAWE, R. L. (1995). Reengineer your returns. *Transportation and Distribution*, 36(8), 78-80.
- DE BRITO, M. P. et DEKKER, R. (2002). Reverse Logistics - a framework. *Econometric Institute Report*, Erasmus University Rotterdam, Netherlands, EI 2002-38, 1-19.
- DE BRITO, M. P. et DEKKER, R. (2003). Modelling product returns in inventory control - Exploring the validity of general assumptions. *International Journal of Production Economics*, 81-82, 225-241.
- DEJONG, E., ELTER, J. F., SALLADE, T., BURKE, G., CALKINS, P., CRAWFORD, K. et DAVIDSON, S. (1999). Turning vision into reality. *1999 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, Danvers, MA, USA, 104-109.
- DESAUTELS, M. (2002). Mesures de performance des activités logistiques, *Projet dans le cadre du programme de Maîtrise en Génie Industriel de l'École Polytechnique de Montréal*, 86 p.
- DETHLOFF, J. (2001). Vehicle routing and reverse logistics: the vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up. *OR Spektrum*, 23(1), 79-96.
- DI MARCO, P., EUBANKS, C. F. et ISHII, K. (1994). Compatibility analysis of product design for recyclability and reuse. *Computers in Engineering*, 1, 105-112.
- DOWLATSHAH, S. (2000). Developing a theory of reverse logistics. *Interfaces*, 30(3), 143-155.
- DOWLATSHAH, S. (2005). A strategic framework for the design and implementation of remanufacturing operations in reverse logistics. *International Journal of Production Research*, 43(16), 3455-3480.
- ERDOS, G., KIS, T. et XIROUCHAKIS, P. (2001). Modelling and evaluating product end-of-life options. *International Journal of Production Research*, 39(6), 1203-1220.

- FLEISCHMANN, M. (2001). Quantitative Models for Reverse Logistics. *Springer-Verlag*, New York, NY, USA.
- FLEISCHMANN, M., BEULLENS, P., BLOEMHOF-RUWAARD, J. M. et VAN WASSENHOVE, L. N. (2001). The Impact of Product Recovery on Logistics Network Design. *Production and Operations Management*, 10(2), 156-173.
- FLEISCHMANN, M., BLOEMHOF-RUWAARD, J. M., DEKKER, R. V. D. L. E., VAN NUNEN, J. A. E. E. et VAN WASSENHOVE, L. N. (1997). Quantitative models for reverse logistics: A review. *European Journal of Operational Research*, 103(1), 1-17.
- FLEISCHMANN, M., KUIK, R. et DEKKER, R. (2002). Controlling Inventories with Stochastic Item Returns: a Basic Model. *European Journal of Operational Research*, 138(1), 63-75.
- FREESE, T. L. (2000). The dock: Your warehouse's most valuable real estate. *Material Handling Management*, 55(6), 97-101.
- GANESHAN, R., JACK, E., MAGAZINE, M.J., et STEPHENS, P. (1999). A taxonomic review of supply chain management research dans TAYUR, S., GANESHAN, R. et MAGAZINE, M.J. Quantitative models for supply chain management. *Kluwer Academic Publishers*, Norwell, MA, USA, chapitre 27.
- GENTRY, C. R. (1999). Reducing the cost of returns. *Chain Store Age*, 75(10), 124-126.
- GIUNTINI, R. et ANDEL, T. (1995a). Advance with reverse logistics - part 1. *Transportation and Distribution*, 36(2), 73-77.
- GIUNTINI, R. et ANDEL, T. (1995b). Master the six R's of reverse logistics - part 2. *Transportation and Distribution*, 36(3), 93-98.
- GIUNTINI, R. et ANDEL, T. (1995c). Reverse logistics role models - part 3. *Transportation and Distribution*, 36(4), 97-98.

- GOLDSBY, T. J. et CLOSS, D. J. (2000). Using activity-based costing to reengineer the reverse logistics channel. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 30(6), 500-514.
- GOOLEY, T. B. (1998). Reverse logistics: five steps to success. *Logistics Management and Distribution Report*, 37(6), 49-55.
- GROGAN, P. L. (1998). Designers realize that once is not enough. *BioCycle*, 39(9), 78.
- GUIDE, V. D. R. JR et VAN WASSENHOVE, L. N. (2002). The reverse supply chain. *Harvard Business Review*, 25-26.
- GUIDE, V. D. R. JR. et JAYARAMAN, V. (2000a). Product acquisition management: Current industry practice and a proposed framework. *International Journal of Production Research*, 38(16), 3779-3800.
- GUIDE, V. D. R. JR. et JAYARAMAN, V. (2000b). Supply Chain Management Incorporating Reverse Logistics. *Research paper series*, APICS, Alexandria, VA, USA.
- GUIDE, V. D. R. JR. et SRIVASTAVA, R. (1997a). An evaluation of order release strategies in a remanufacturing environment. *Computers & Operations Research*, 24(1), 37-49.
- GUIDE, V. D. R. JR. et SRIVASTAVA, R. (1997b). Repairable inventory theory: Models and applications. *European Journal of Operational Research*, 102(1), 1-20.
- GUIDE, V. D. R. JR., JAYARAMAN, V. et SRIVASTAVA, R. (1999). Production planning and control for remanufacturing: A state-of-the-art survey. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 15(3), 221-230.
- GUIDE, V. D. R. JR., KRAUS, M. E. et SRIVASTAVA, R. (1997). Scheduling policies for remanufacturing. *International Journal of Production Economics*, 48(2), 187-204.

- GUNASEKARAN, A., PATEL, C. et McGAUGHEY, R. E. (2004). A framework for supply chain performance measurement. *International Journal of Production Economics*, 87(3), 333-347.
- GUNASEKARAN, A., PATEL, C. et TIRTIROGLU, E. (2001) Performance measures and metrics in a supply chain environment. *International Journal of Operations & Production Management*, 21(1/2), 71-87.
- GUPTA, S. M. et VEERAKAMOLMAL, P. (2000). A bi-directional supply chain optimization model for reverse logistics. *2000 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, San Francisco, CA, USA, 254-259.
- HEINE, H. (1993). Reducing waste through reverse logistics. *Foundry Management and Technology*, 121(8), 28-29.
- HEISIG, G. et FLEISHMANN, M. (2001). Planning stability in a product recovery system. *OR Spektrum*, 23(1), 25-50.
- HIRSCH, B. E., KUHLMANN, T. et SCHUMACHER, J. (1998). Logistics simulation of recycling networks. *Computers in Industry*, 36(1-2), 31-38.
- HU, T.-L., SHEU, J.-B. et HUANG, K.-H. (2002). A reverse logistics cost minimization model for the treatment of hazardous wastes. *Transportation Research - Part E: Logistics and Transportation Review*, 38(6), 457-473.
- HUGHES, D. (2005). Counting the cost of customer returns. *Logistics and Transport Focus*, 7(5), 36-39.
- INDERFURTH, K., DE KOK, A. G. et FLAPPER, S. D. P. (2001). Product recovery in stochastic remanufacturing systems with multiple reuse options. *European Journal of Operational Research*, 133(1), 130-152.

- JAYARAMAN, V., GUIDE, V. D. R. JR. et SRIVASTAVA, R. (1999). A closed-loop logistics model for remanufacturing. *Journal of the Operational Research Society*, 50(5), 497-508.
- JAYARAMAN, V., PATTERSON, R. A. et ROLLAND, E. (2003). The design of reverse distribution networks: Models and solution procedures. *European Journal of Operational Research*, 150(1), 128-149.
- JOHNSON, P. F. (1998). Managing value in reverse logistics systems. *Transportation Research - Part E: Logistics and Transportation Review*, 34(3), 217-227.
- KERR, W. et RYAN, C. (2001). Eco-efficiency gains from remanufacturing: A case study of photocopier remanufacturing at Fuji Xerox Australia. *Journal of Cleaner Production*, 9(1), 75-81.
- KIESMÜLLER, G. P. (2003). Optimal control of a one product recovery system with leadtimes. *International Journal of Production Economics*, 81-82, 333-340.
- KIESMULLER, G. P. et VAN DER LAAN, E. A. (2001). An inventory model with dependent product demands and returns. *International Journal of Production Economics*, 72(1), 73-88.
- KLAUSNER, M., GRIMM, W. M., HENDRICKSON, C. et HORVATH, A. (1998). Sensor-based data recording of use conditions for product takeback. *1998 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, Oak Brook, IL, USA, 138-143.
- KLAUSNER, M., GRIMM, W. M. et HORVATH, A. (1999). Integrating product takeback and technical service. *1999 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, Danvers, MA, USA, 48-53.

- KLEBER, R., MINNER, S. et KIESMULLER, G. (2002). A Continuous Time Inventory Model for a Product Recovery System with Multiple Options. *International Journal of Production Economics*, 79(2), 121-141.
- KNEMEYER, A. M., PONZURICK, T. G. et LOGAR, C. M. (2002). A qualitative examination of factors affecting reverse logistics systems for end-of-life computers. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 32(6), 455-479.
- KOKKINAKI, A. I., DEKKER, R., VAN NUNEN, J. et PAPPIS, C. (1999). An Exploratory Study on Electronic Commerce for Reverse Logistics. *Econometric Institute Report*, Erasmus University Rotterdam, Netherlands EI-9950/A 1-18.
- KORUGAN, A. et GUPTA, S. M. (1998). A multi-echelon inventory system with returns. *Computers & Industrial Engineering*, 35(1-2), 145-148.
- KRIKKE, H. R. (1998). Recovery strategies and reverse logistic network design. Thèse, *University of Twente*, Enschede, The Netherlands.
- KRIKKE, H. R., VAN HARTEN, A. et SCHUUR, P. C. (1999a). Business case Océ: reverse logistic network re-design for copiers. *OR Spektrum*, 21(3), 381-409.
- KROON, L. et VRIJENS, G. (1995). Returnable containers: An example of reverse logistics. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 25(2), 56-68.
- KRUMWIEDE, D. W. et SHEU, C. (2002). A model for reverse logistics entry by third-party providers. *OMEGA - International Journal of Management Science*, 30(5), 325-333.
- KRUPP, J. A. G. (1992). Core obsolescence forecasting in remanufacturing. *Production and Inventory Management Journal*, 33(2), 12-17.

- KRUPP, J. A. G. (1993). Structuring bills of material for automotive remanufacturing. *Production and Inventory Management Journal*, 34(4), 46-52.
- LAMBERT, S. et RIOPEL, D. (2003). Logistique inverse : revue de littérature. *Les Cahiers du GERAD*, G-2003-61, Montréal, Canada, 45 p.
- LAMBERT, S. et RIOPEL, D. (2005). Cas industriels de la logistique inverse. *Les Cahiers du GERAD*, G-2005-71, Montréal, Canada.
- LANDRIEU, A. (2001). Logistique inverse et collecte des produits techniques en fin de vie - Tournées de véhicules avec contraintes. Thèse, *Institut National Polytechnique de Grenoble*, Grenoble, France.
- LANGNAU, L. (2001a). A new shade of green for reverse logistics. *Material Handling Management*, 56(3), MHS2.
- LANGNAU, L. (2001b). Winning with returns. *Material Handling Management*, 56(3), MHS13-MHS14.
- LAPORTE, G. et OSMAN, I.H. (1995). Routing problems: a bibliography. *Annals of Operations Research*, 61, 227-262.
- LAU, H.C.W., Lee, C.K.M., Choy, K.L., and Ip, W.H. (2004) Implementation of logistics information system to support reverse logistics: a case study. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 1(1), 112-126.
- LEE, C.-H., CHANG, C.-T. et TSAI, S.-L. (1998). Development and implementation of producer responsibility recycling system. *Resources Conservation and Recycling*, 24(2), 121-135.
- LEE, J., MCSHANE, H. et KOZLOWSKI, W. (2002). Critical issues in establishing a viable supply chain/reverse logistic management program. *2002 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, San Francisco, CA, USA, 150-156.

- LEVY, S. (1999). Rite Aid taps company to handle unsalable goods. *Drug Topics*, 143, 31.
- LIGHT, E. (2000). Reverse logistics. *Nz Business*, 14(8), 46.
- LU, Z., BOSTEL, N. et DEJAX, P. (2001). Planification hiérarchisée des systèmes logistiques incluant la logistique inverse : Problématique et modèles stratégiques. *4e Congrès international de génie industriel*, Marseille, France, 1141-1151.
- MALONEY, D. (2002). The ultimate returns center. *Modern Materials Handling*, 57(9), 18-23.
- MARCOUX, N., RIOPEL, D. et LANGEVIN, A. (2001). Reverse logistics and electronic commerce. *5th International Conference on Engineering Design and Automation*, Las Vegas, USA, 54-59.
- MINAHAN, T. (1998). Manufacturers take aim at end of the supply chain. *Purchasing*, 124(6), 111-112.
- MINNER, S. (2001). Strategic safety stocks in reverse logistics supply chains. *International Journal of Production Economics*, 71(1-3), 417-428.
- MINNER, S. et KLEBER, R. (2001). Optimal control of production and remanufacturing in a simple recovery model with linear cost functions. *OR Spektrum*, 23(1), 3-24.
- MORRELL, A. L. (2001). The forgotten child to the supply chain. *Modern Materials Handling*, 56(6), 33-36.
- MURPHY, P. R., POIST, R. F. et BRAUNSCHWIEG, C. D. (1994). Management of environmental issues in logistics: Current status and future potential. *Transportation Journal*, 34(1), 48-56.

- MURTHY, D.N.P., SOLEM, O. et ROREN, T. (2004). Product warranty logistics: Issues and challenges. *European Journal of Operational Research*, 156(1), 110-126.
- NOLLET, J., KÉLADA, J. et DIORIO, M. O. (1994). La gestion des opérations et de la production : une approche systémique. 2^{ième} édition. *Gaëtan Morin éditeur*, Québec, Canada.
- REIJNDERS, L. (2000). A normative strategy for sustainable resource choice and recycling. *Resources Conservation and Recycling*, 28(1), 121-133.
- RICHTER, K. et GOBSCH, B. (2003). The market-oriented dynamic product recovery model in the just-in-time framework. *International Journal of Production Economics*, 81-82, 369-374.
- ROGERS, D. S. (2001). eCommerce Reverse Logistics. *University of Nevada*, Reno, Reverse Logistics Executive Council.
- ROGERS, D. S. et TIBBEN-LEMBKE, R. S. (1998). Going backwards: Reverse logistics trends and practices. *Reverse Logistics Executive Council*, Reno, NV, USA.
- ROGERS, D. S. et TIBBEN-LEMBKE, R. S. (2001). An examination of reverse logistics practices. *Journal of Business Logistics*, 22(2), 129-148.
- ROGERS, D. S., TIBBEN-LEMBKE, R. S., BANASIAK, K., BROKMANN, K. et JOHNSON, T. (2001) Reverse logistics challenges. Rapport, *Université du Nevada*, Reno, NV, USA.
- ROTH, H.P. et BORTHICK, A.F. (1991). Are you distorting costs by violating ABC assumptions? *Management Accounting*, November, 39-42.
- ROWLEY, J. (2000). The reverse supply chain: Impact of current trends. *Logistics and Transport Focus*, 2(6), 27-31.

- RUSHTON, A. et OXLEY, J. (1989). *Handbook of Logistics and Distribution Management*. *Kogan Page Ltd.*, London, UK.
- SALHI, S. et RAND, G. K. (1989). The effect of ignoring routes when locating depots. *European Journal of Operational Research*, 39(2), 150-156.
- SCHMIDT, G. et WILHELM, W. E. (2000). Strategic, tactical and operational decisions in multi-national logistics networks: a review and discussion of modelling issues. *International Journal of Production Research*, 38(7), 1501-1523.
- SCHWARTZ, B. (2000). Reverse logistics strengthens supply chains. *Transportation and Distribution*, 41(5), 95-100.
- SHEAR, H. (1997). Reverse logistics: An issue of bottom-line performance. *Chain Store Age*, 73(1), 224.
- SHIH, L.-H. (2001). Reverse logistics system planning for recycling electrical appliances and computers in Taiwan. *Resources Conservation and Recycling*, 32(1), 55-72.
- SHU, L. H. et FLOWERS, W. C. (1995). Considering remanufacture and other end-of-life options in selection of fastening and joining methods. *1995 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, Edinburgh, Scotland, 75-80.
- SODHI, M. S. et REIMER, B. (2001). Models for recycling electronics end-of-life products. *OR Spektrum*, 23(1), 97-115.
- STASIAK, D. M., GARRETT, J. H. et FENVES, S. J. (1996). A broker for tracking, delivering and using regulations over the World Wide Web. *1996 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, Dallas, TX, USA, 193-197.
- STOCK, J. R. (1998). Development and implementation of reverse logistics programs. *Council of Logistics Management*, Oak Brook, IL, USA.

- SUPPLY-CHAIN COUNCIL (2001). Supply Chain Operations Reference - model SCOR version 5.0. *Supply-Chain Council Inc*, Pittsburg, Pennsylvania, USA.
- TEUNTER, R. H. (2001a). Economic Ordering Quantities for Recoverable Item Inventory Systems. *Naval Research Logistics*, 48(6), 484-495.
- TEUNTER, R. H. (2001b). A reverse logistics valuation method for inventory control. *International Journal of Production Research*, 39(9), 2023-2035.
- TEUNTER, R. H. et VAN DER LAAN, E. (2002). On the Non-Optimality of the Average Cost Approach for Inventory Models with Remanufacturing. *International Journal of Production Economics*, 79(1), 67-73.
- TEUNTER, R. H. et VLACHOS, D. (2002). On the necessity of a disposal option for returned items that can be remanufactured. *International Journal of Production Economics*, 75(3), 257-266.
- TIBBEN-LEMBKE, R. S. (2002). Life after death: reverse logistics and the product life cycle. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 32(3), 223-244.
- TOKTAY, L.B., WEIN, L.M. et ZENIOS, S.A. (2000). Inventory Management of Remanufacturable Products. *Management Science*, 46(11), 1412-1426.
- TOTH P. et VIGO, D. (1999). A heuristic algorithm for the symmetric and asymmetric vehicle routing problems with backhauls. *European Journal of Operational Research*, 113(3), 528-543.
- TOTH, P. et VIGO, D. (2002). The Vehicle Routing Problem. *Society for Industrial and Applied Mathematics*, Philadelphie, PA, USA, 367 p.
- TRUNICK, P. A. (1996). Build for speed. *Transportation and Distribution*, 37(2), 67-70.

- TULIP, S. (2004). Through the Looking Glass: A Hard Look at Reverse Logistics. *Purchasing B2B*, 46(3), 16.
- VAN HOEK, R. I. (1999). From reversed logistics to green supply chains. *Supply Chain Management*, 4(3), 129-134.
- VLACHOS, D. et TAGARAS, G. (2001). An Inventory System with Two Supply Modes and Capacity Constraints. *International Journal of Production Economics*, 72(1), 41-58.
- WHITE, J. A. (1994). Reverse logistics moves forward. *Modern Materials Handling*, 49(1), 29.
- WILSON, R. (2005). 16th Annual State of Logistics Report. *Council of Supply chain Management Professionals*, Oak Brook, IL, USA.
- WITT, C. E. (1995a). What goes around just might come around. *Material Handling Engineering*, 50(7), 22.
- WITT, C. E. (1995b). Distribution: A differentiator in 2000. *Material Handling Engineering*, 50(11), 57-77.
- WU, H. et DUNN, S. C. (1995). Environmentally responsible logistics systems. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 25(2), 20-38.
- WU, T.H., LOW, C. et BAI, J.W. (2002). Heuristic solutions to multi-depot location-routing problems. *Computers & Operations Research*, 29(10), 1393-1415.
- YUAN, X.-M. et CHEUNG, K. L. (1998). Modeling returns of merchandise in an inventory system. *OR Spectrum*, 20(3), 147-154.
- ZOGRAFOS, K. G. et ANDROUTSOPoulos, K. N. (2004). A heuristic algorithm for solving hazardous materials distribution problems. *European Journal of Operational Research*, 152(2), 507-519.

ZUO, M. J., LIU, B. et MURTHY, D. N. P. (2000). Replacement-repair policy for multi-state deteriorating products under warranty. *European Journal of Operational Research*, 123(3), 519-530.

ANNEXE A – VALIDATION DU CADRE CONCEPTUEL À L'AIDE DE CAS INDUSTRIELS

Cette annexe montre la validation du cadre conceptuel de logistique inverse à l'aide de trois cas industriels : Hydro-Québec, Matrox et Woodflame, des entreprises œuvrant dans des secteurs d'activités différents. Pour chaque cas industriel, les portions utilisées du cadre conceptuel sont marquées par des traits gras dans les figures tandis que les portions non utilisées sont grisées.

A.1 Hydro-Québec

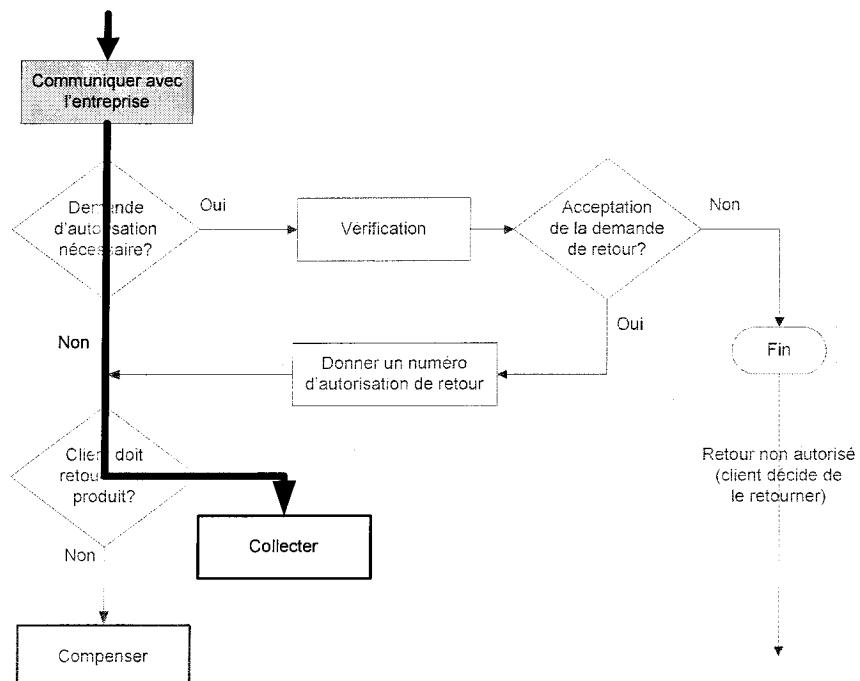


Figure A-1 Étape Barrière chez Hydro-Québec

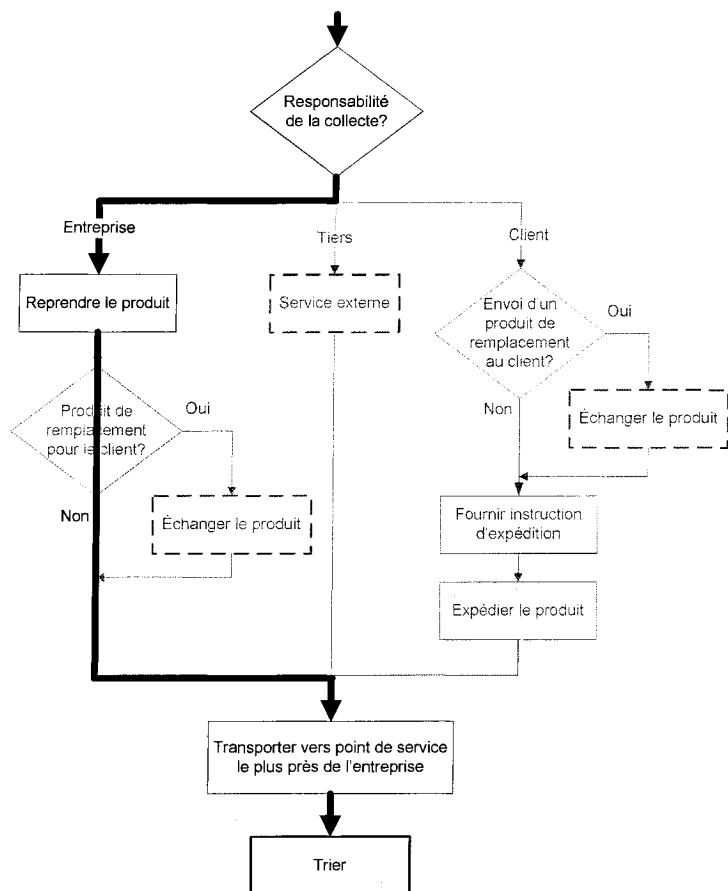


Figure A-2 Étape Collecte chez Hydro-Québec

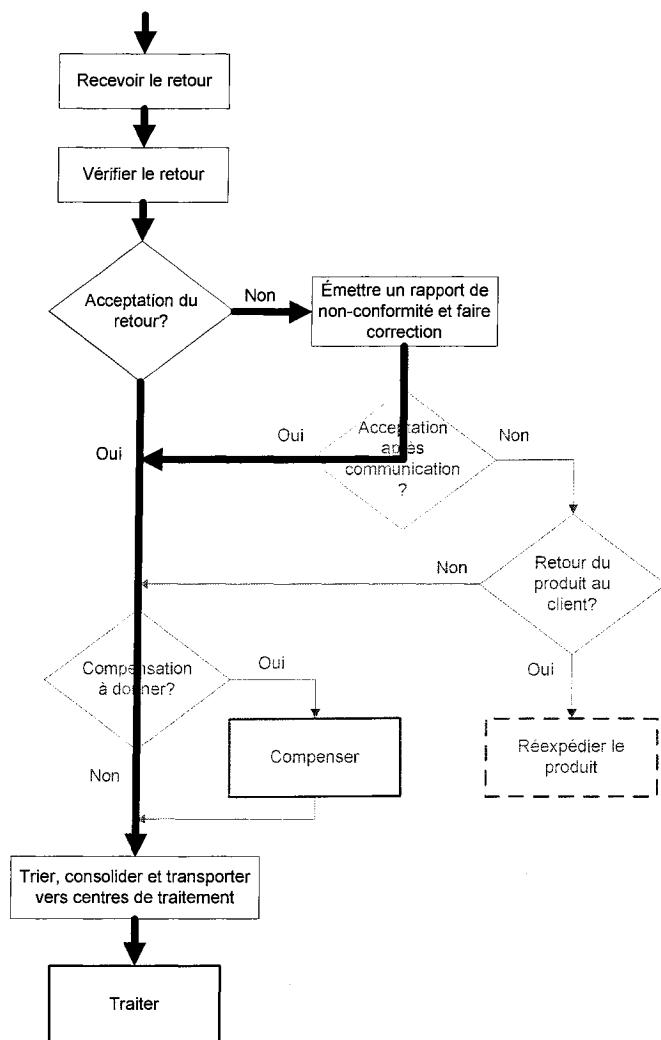


Figure A-3 Étape Tri chez Hydro-Québec



Figure A-4 Étape Traitement chez Hydro-Québec

A.2 Matrox

A.2.1 Client particulier

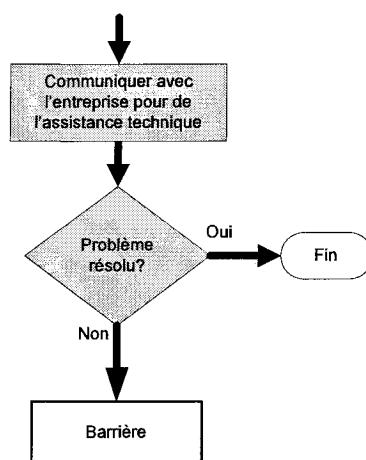


Figure A-5 Support technique Matrox

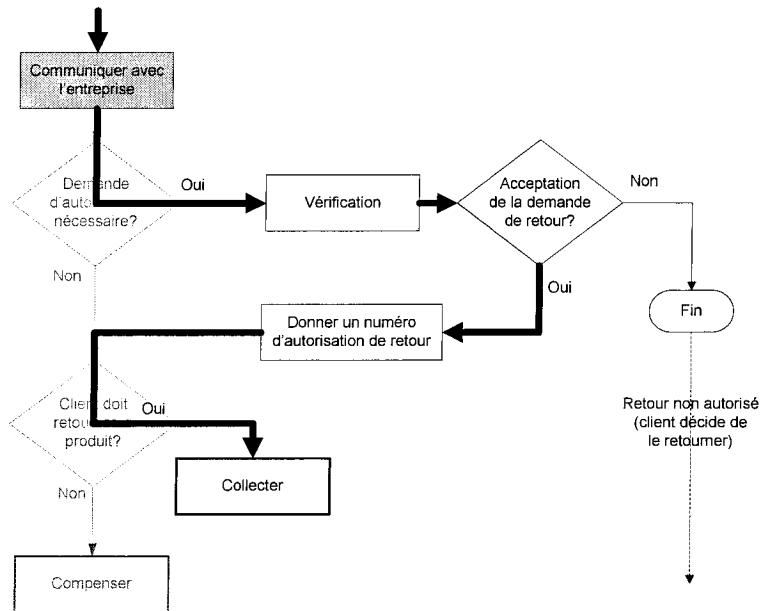


Figure A-6 Étape Barrière chez Matrox pour les clients particuliers

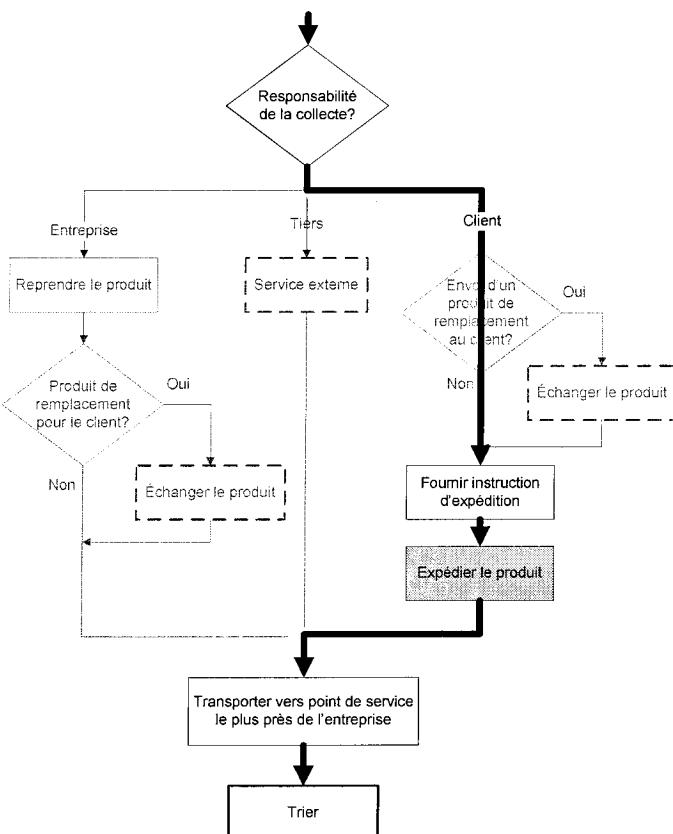


Figure A-7 Étape Collecte chez Matrox pour les clients particuliers

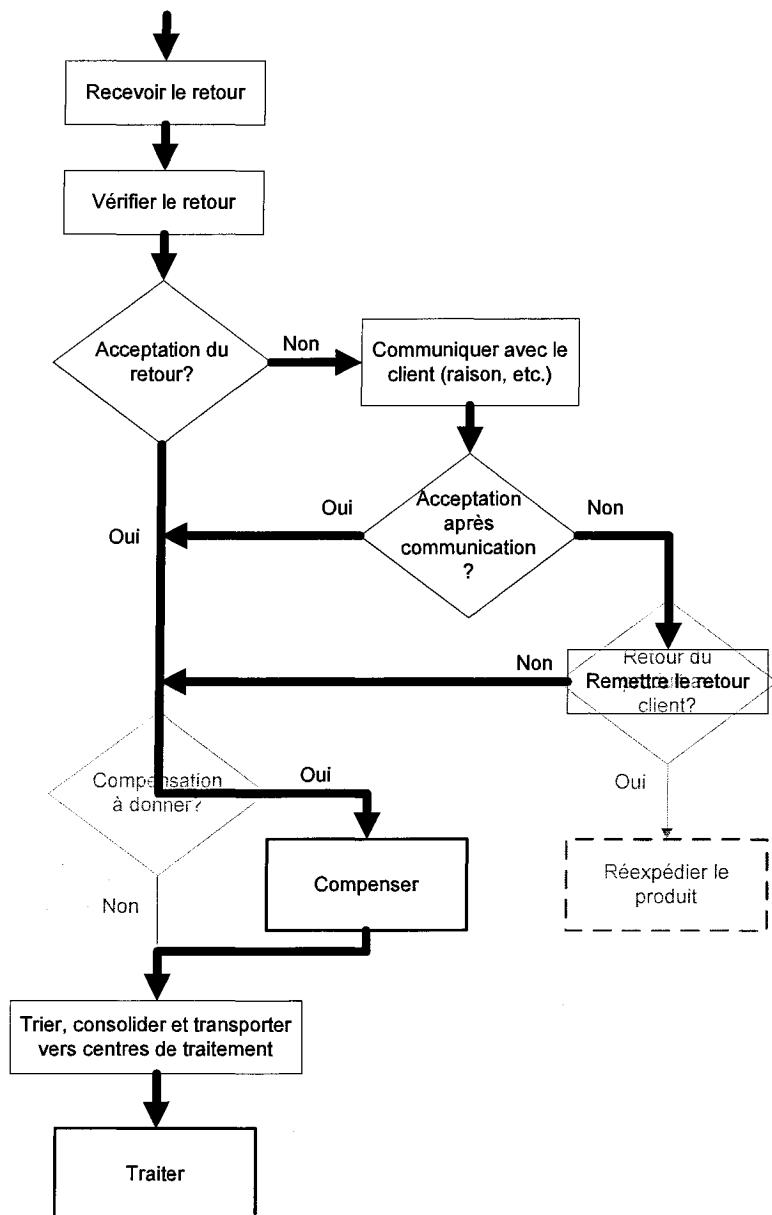


Figure A-8 Étape Tri chez Matrox pour les clients particuliers



Figure A-9 Étape Traitement chez Matrox pour les clients particuliers

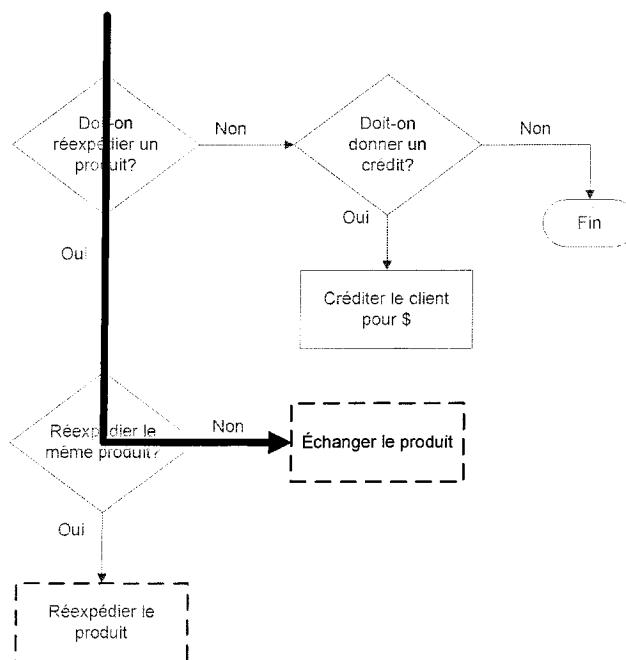


Figure A-10 Système d'expédition chez Matrox pour les clients particuliers

A.2.2 Client OEM

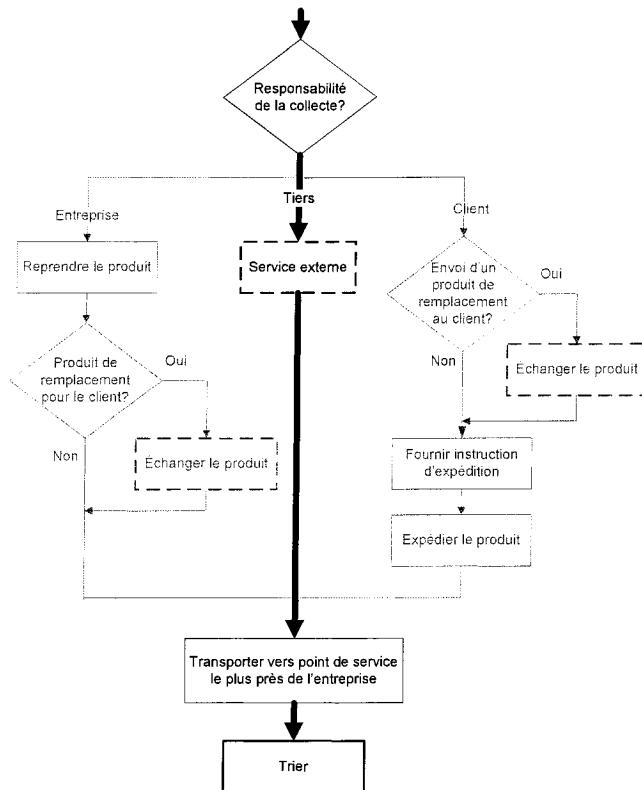


Figure A-11 Étape Collecte chez Matrox pour les clients OEM

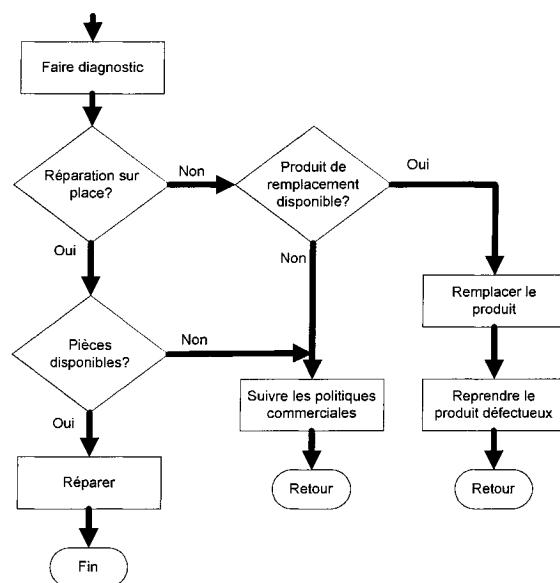


Figure A-12 Sous processus de service externe chez Matrox pour les clients OEM

A.3 Woodflame

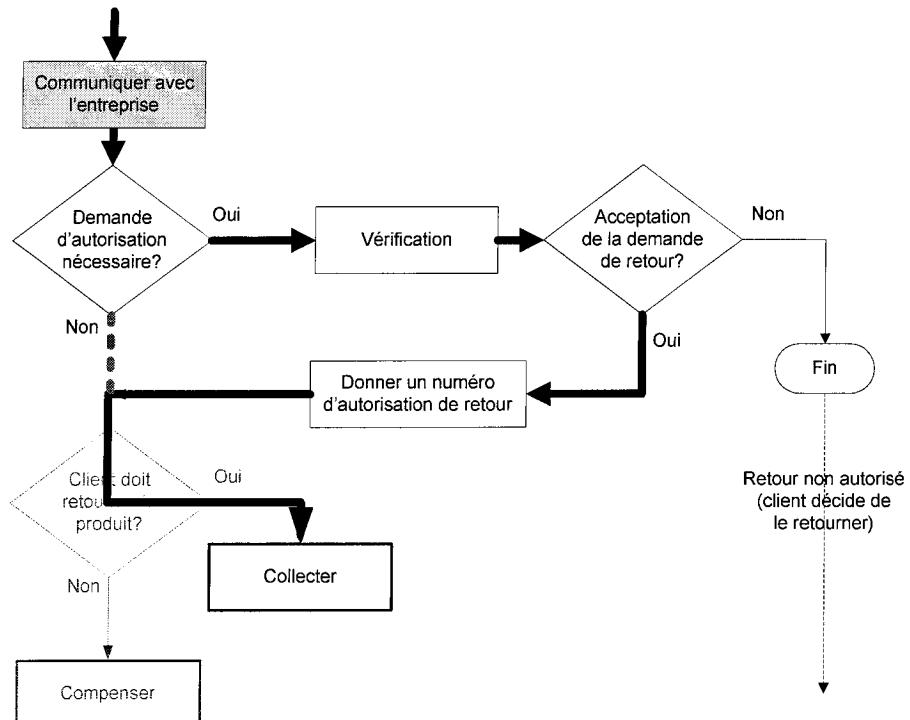


Figure A-13 Étape Barrière chez Woodflame

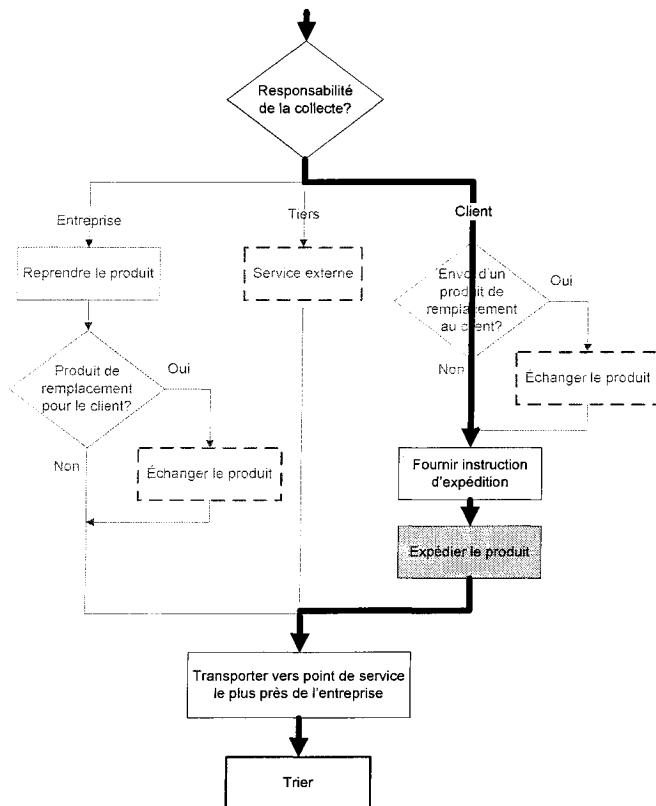


Figure A-14 Étape Collecte chez Woodflame

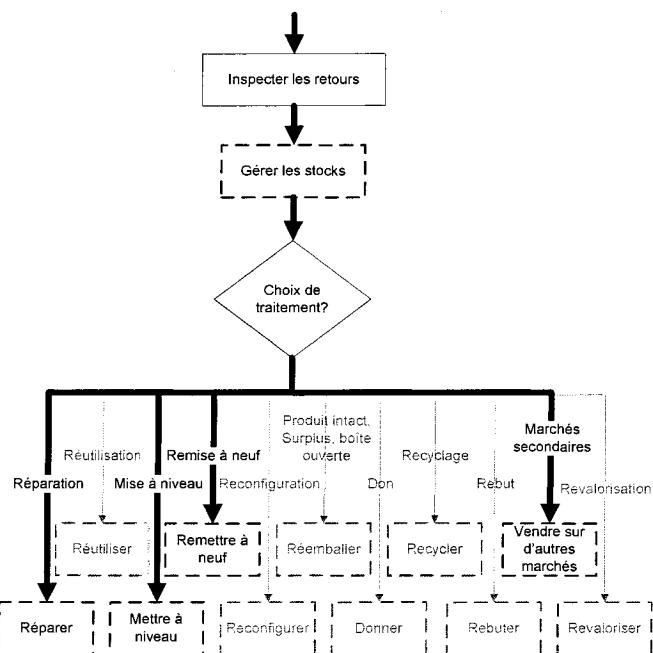


Figure A-15 Étape Traitement chez Woodflame

ANNEXE B – ANALYSES DE VARIANCES

a) Anova entre les mois

Anova: Single facteur

SOMMAIRE

| <i>Mois</i> | <i>Nombre</i> | <i>Somme</i> | <i>Moyenne</i> | <i>Variance</i> |
|-------------|---------------|--------------|----------------|-----------------|
| 1 | 45 | 713 | 15,8 | 347,18 |
| 2 | 45 | 850 | 18,9 | 388,69 |
| 3 | 45 | 773 | 17,2 | 320,51 |
| 4 | 45 | 998 | 22,2 | 561,24 |
| 5 | 45 | 805 | 17,9 | 233,15 |
| 6 | 45 | 1032 | 22,9 | 544,47 |
| 7 | 45 | 1111 | 24,7 | 566,22 |
| 8 | 45 | 749 | 16,6 | 226,60 |
| 9 | 45 | 1008 | 22,4 | 441,88 |
| 10 | 45 | 1157 | 25,7 | 599,44 |
| 11 | 45 | 1002 | 22,3 | 431,11 |
| 12 | 45 | 848 | 18,8 | 326,00 |

ANOVA

| <i>Source de la variation</i> | <i>SS</i> | <i>df</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>P-value</i> | <i>F crit</i> |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|---------------|
| Inter-Groupes | 5394,47 | 11 | 490,41 | 1,18 | 0,29768 | 2,28 |
| Intra-Groupes | 219405,47 | 528 | 415,54 | | | |
| Total | 224799,93 | 539 | | | | |

Conclusion : Il n'y a pas de différence significative entre les mois.

b) Anova entre les sites de transit

Anova: Single facteur

SOMMAIRE

| <i>Sites de transit</i> | <i>Nombre</i> | <i>Somme</i> | <i>Moyenne</i> | <i>Variance</i> |
|-------------------------|---------------|--------------|----------------|-----------------|
| 0140 | 12 | 738 | 61,5 | 399,36 |
| 0150 | 12 | 458 | 38,2 | 375,42 |
| 0250 | 12 | 250 | 20,8 | 106,33 |
| 0260 | 12 | 91 | 7,6 | 23,90 |
| 0270 | 12 | 135 | 11,3 | 31,48 |
| 0330 | 12 | 285 | 23,8 | 122,02 |
| 0340 | 12 | 161 | 13,4 | 110,45 |
| 0350 | 12 | 119 | 9,9 | 26,81 |
| 0370 | 12 | 107 | 8,9 | 26,45 |
| 0380 | 12 | 137 | 11,4 | 181,36 |
| 0390 | 12 | 544 | 45,3 | 267,70 |
| 0400 | 12 | 243 | 20,3 | 122,75 |
| 0410 | 12 | 130 | 10,8 | 69,06 |
| 0460 | 12 | 900 | 75,0 | 984,36 |
| 0480 | 12 | 192 | 16,0 | 29,64 |
| 0500 | 12 | 245 | 20,4 | 98,08 |
| 0510 | 12 | 246 | 20,5 | 66,82 |
| 0550 | 12 | 146 | 12,2 | 344,70 |
| 0570 | 12 | 370 | 30,8 | 272,15 |
| 0600 | 12 | 157 | 13,1 | 24,08 |
| 0610 | 12 | 21 | 1,8 | 4,02 |
| 0630 | 12 | 92 | 7,7 | 111,33 |
| 0640 | 12 | 568 | 47,3 | 820,42 |
| 0660 | 12 | 140 | 11,7 | 59,15 |
| 0690 | 12 | 157 | 13,1 | 98,99 |
| 0720 | 12 | 160 | 13,3 | 21,15 |
| 0740 | 12 | 615 | 51,3 | 281,11 |
| 0780 | 12 | 43 | 3,6 | 3,72 |
| 0800 | 12 | 209 | 17,4 | 21,90 |
| 0820 | 12 | 87 | 7,3 | 9,11 |
| 0840 | 12 | 172 | 14,3 | 76,61 |
| 0860 | 12 | 30 | 2,5 | 5,18 |
| 0890 | 12 | 288 | 24,0 | 106,00 |
| 0910 | 12 | 296 | 24,7 | 49,70 |
| 0940 | 12 | 74 | 6,2 | 193,61 |
| 0950 | 12 | 217 | 18,1 | 54,27 |
| 0970 | 12 | 48 | 4,0 | 29,82 |
| 1010 | 12 | 87 | 7,3 | 118,57 |
| 1060 | 12 | 442 | 36,8 | 221,06 |
| 1070 | 12 | 127 | 10,6 | 41,36 |
| 1080 | 12 | 106 | 8,8 | 39,42 |

| | | | | |
|------|----|-----|------|--------|
| 1090 | 12 | 196 | 16,3 | 246,24 |
| 1120 | 12 | 225 | 18,8 | 257,48 |
| 1620 | 12 | 638 | 53,2 | 459,06 |
| 1630 | 12 | 354 | 29,5 | 197,00 |

ANOVA

| <i>Source de la variation</i> | <i>SS</i> | <i>df</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>P-value</i> | <i>F crit</i> |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|---------------|
| Inter-Groupes | 145498,6 | 44 | 3306,79 | 20,641 | 1,013E-85 | 1,60363 |
| Intra-Groupes | 79301,33 | 495 | 160,20 | | | |
| Total | 224799,9 | 539 | | | | |

Conclusion : Il y a une différence significative entre les sites de transit.

ANNEXE C – DONNÉES MENSUELLES DE MDR PAR SITE DE TRANSIT

| Site de transit | Code | Janv | Fév | Mars | Avr | Mai | Juin | JUIL | Août | Sept | Oct | Nov | Déc |
|----------------------|------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| Bout-de-L'Ile | 140 | 65 | 95 | 96 | 71 | 57 | 33 | 40 | 45 | 71 | 63 | 58 | 44 |
| Jarry | 150 | 0 | 15 | 36 | 77 | 23 | 49 | 45 | 40 | 39 | 44 | 38 | 52 |
| St-Hyacinthe | 250 | 37 | 5 | 13 | 21 | 28 | 38 | 24 | 11 | 14 | 25 | 22 | 12 |
| Sorel | 260 | 10 | 16 | 7 | 9 | 12 | 8 | 4 | 3 | 0 | 13 | 8 | 1 |
| Drummondville | 270 | 15 | 15 | 11 | 14 | 6 | 14 | 5 | 11 | 16 | 8 | 0 | 20 |
| St-Bruno | 330 | 19 | 22 | 9 | 20 | 35 | 14 | 22 | 34 | 16 | 46 | 34 | 14 |
| Victoriaville | 340 | 18 | 16 | 7 | 11 | 13 | 5 | 5 | 40 | 14 | 9 | 0 | 23 |
| Valleyfield | 350 | 14 | 8 | 11 | 5 | 7 | 3 | 14 | 10 | 15 | 20 | 9 | 3 |
| Granby | 370 | 9 | 9 | 7 | 5 | 13 | 6 | 12 | 5 | 13 | 4 | 3 | 21 |
| St-Jean | 380 | 3 | 7 | 1 | 7 | 39 | 10 | 12 | 6 | 5 | 40 | 3 | 4 |
| Châteauguay | 390 | 44 | 38 | 43 | 77 | 23 | 55 | 55 | 58 | 30 | 60 | 39 | 22 |
| Vaudreuil | 400 | 26 | 28 | 33 | 6 | 34 | 20 | 11 | 28 | 5 | 4 | 20 | 28 |
| Sherbrooke | 410 | 17 | 13 | 17 | 7 | 14 | 0 | 6 | 7 | 15 | 5 | 0 | 29 |
| Trois-Rivières | 460 | 86 | 73 | 57 | 84 | 52 | 138 | 28 | 52 | 91 | 116 | 81 | 42 |
| Beauport | 480 | 6 | 22 | 11 | 16 | 25 | 19 | 16 | 18 | 18 | 13 | 19 | 9 |
| Thetford-Mines | 500 | 15 | 23 | 11 | 18 | 12 | 14 | 36 | 20 | 38 | 33 | 13 | 12 |
| Lévis | 510 | 8 | 32 | 28 | 26 | 21 | 26 | 18 | 16 | 29 | 22 | 8 | 12 |
| Îles-de-la-Madeleine | 550 | 0 | 0 | 23 | 0 | 1 | 20 | 27 | 0 | 5 | 2 | 62 | 6 |
| Rimouski | 570 | 5 | 23 | 18 | 35 | 35 | 51 | 54 | 7 | 28 | 32 | 54 | 28 |
| Rivière-du-Loup | 600 | 4 | 15 | 11 | 11 | 11 | 18 | 16 | 11 | 15 | 14 | 8 | 23 |
| Gaspé | 610 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 4 | 5 | 2 | 0 |
| Carleton | 630 | 0 | 1 | 9 | 3 | 0 | 0 | 36 | 6 | 0 | 13 | 7 | 17 |
| Baie-Comeau | 640 | 27 | 21 | 24 | 45 | 52 | 20 | 125 | 32 | 55 | 51 | 54 | 62 |
| Sept-Îles | 660 | 6 | 6 | 1 | 12 | 10 | 9 | 26 | 4 | 11 | 23 | 20 | 12 |
| Forestville | 690 | 0 | 2 | 22 | 24 | 15 | 16 | 34 | 5 | 8 | 11 | 14 | 6 |
| Blainville | 720 | 7 | 19 | 12 | 12 | 10 | 9 | 13 | 10 | 16 | 12 | 23 | 17 |
| Hull | 740 | 40 | 68 | 33 | 86 | 43 | 53 | 63 | 25 | 52 | 61 | 39 | 52 |
| Papineauville | 780 | 2 | 4 | 1 | 6 | 2 | 5 | 6 | 0 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| Joliette | 800 | 9 | 20 | 22 | 20 | 12 | 20 | 22 | 11 | 18 | 17 | 23 | 15 |
| Rawdon | 820 | 2 | 8 | 6 | 7 | 6 | 9 | 12 | 10 | 4 | 4 | 11 | 8 |
| St-Jovite | 840 | 10 | 17 | 9 | 12 | 12 | 28 | 34 | 4 | 13 | 16 | 5 | 12 |
| Mont-Laurier | 860 | 0 | 0 | 4 | 0 | 1 | 2 | 6 | 0 | 5 | 4 | 3 | 5 |
| Laval | 890 | 23 | 24 | 15 | 32 | 6 | 27 | 30 | 11 | 42 | 35 | 25 | 18 |
| Chicoutimi | 910 | 29 | 31 | 28 | 24 | 22 | 24 | 32 | 7 | 27 | 32 | 20 | 20 |
| Chibougamau | 940 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 6 | 5 | 11 | 1 | 49 | 0 |
| Rouyn-Noranda | 950 | 13 | 15 | 7 | 19 | 13 | 30 | 23 | 29 | 15 | 26 | 11 | 16 |
| Amos | 970 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 9 | 1 | 13 | 0 | 0 | 15 | 6 |
| Val d'Or | 1010 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 7 | 0 | 34 | 24 | 10 | 4 | 6 |
| LG-2 | 1060 | 28 | 31 | 20 | 23 | 36 | 48 | 45 | 37 | 64 | 60 | 32 | 18 |
| Némiscau | 1070 | 7 | 0 | 10 | 12 | 20 | 18 | 12 | 5 | 6 | 21 | 6 | 10 |
| LG-3 | 1080 | 5 | 12 | 1 | 1 | 12 | 14 | 7 | 6 | 9 | 9 | 24 | 6 |
| LG-4 | 1090 | 13 | 5 | 4 | 34 | 4 | 36 | 3 | 17 | 50 | 12 | 1 | 17 |
| CERV/IREQ | 1120 | 53 | 16 | 21 | 18 | 13 | 42 | 3 | 9 | 3 | 30 | 17 | 0 |
| Québec | 1620 | 32 | 31 | 47 | 47 | 36 | 36 | 76 | 35 | 55 | 85 | 68 | 90 |
| St-Jérôme | 1630 | 3 | 40 | 23 | 40 | 18 | 24 | 46 | 12 | 34 | 42 | 46 | 26 |
| Total | | 713 | 850 | 773 | 998 | 805 | 1032 | 1111 | 749 | 1008 | 1157 | 1002 | 848 |

**ANNEXE D – MATRICE DE TEMPS DE TRANSPORT ENTRE LES
SITES DE TRANSIT (MINUTES)**

| Code | 140 | 150 | 250 | 260 | 270 | 330 | 340 | 350 | 370 | 380 | 390 | 400 |
|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 140 | 0 | 24 | 70 | 85 | 101 | 45 | 127 | 63 | 74 | 51 | 43 | 45 |
| 150 | 24 | 0 | 60 | 74 | 90 | 34 | 123 | 48 | 63 | 40 | 29 | 31 |
| 250 | 70 | 60 | 0 | 45 | 38 | 32 | 72 | 90 | 37 | 45 | 57 | 74 |
| 260 | 85 | 74 | 45 | 0 | 50 | 46 | 84 | 104 | 77 | 68 | 72 | 89 |
| 270 | 101 | 90 | 38 | 50 | 0 | 62 | 45 | 120 | 64 | 75 | 87 | 104 |
| 330 | 45 | 34 | 32 | 46 | 62 | 0 | 96 | 64 | 51 | 28 | 32 | 49 |
| 340 | 127 | 123 | 72 | 84 | 45 | 96 | 0 | 156 | 98 | 109 | 121 | 138 |
| 350 | 63 | 48 | 90 | 104 | 120 | 64 | 156 | 0 | 94 | 71 | 37 | 26 |
| 370 | 74 | 63 | 37 | 77 | 64 | 51 | 98 | 94 | 0 | 41 | 62 | 78 |
| 380 | 51 | 40 | 45 | 68 | 75 | 28 | 109 | 71 | 41 | 0 | 39 | 55 |
| 390 | 43 | 29 | 57 | 72 | 87 | 32 | 121 | 37 | 62 | 39 | 0 | 40 |
| 400 | 45 | 31 | 74 | 89 | 104 | 49 | 138 | 26 | 78 | 55 | 40 | 0 |
| 410 | 112 | 101 | 76 | 88 | 50 | 90 | 65 | 134 | 51 | 80 | 100 | 116 |
| 460 | 81 | 84 | 82 | 65 | 56 | 106 | 55 | 123 | 108 | 114 | 103 | 105 |
| 480 | 166 | 169 | 130 | 142 | 104 | 154 | 85 | 208 | 156 | 168 | 207 | 190 |
| 500 | 179 | 173 | 121 | 133 | 95 | 146 | 58 | 205 | 133 | 159 | 199 | 188 |
| 510 | 169 | 172 | 124 | 136 | 98 | 148 | 79 | 210 | 150 | 162 | 201 | 193 |
| 550 | 821 | 824 | 775 | 832 | 750 | 799 | 730 | 859 | 801 | 813 | 852 | 841 |
| 570 | 352 | 355 | 306 | 363 | 281 | 330 | 261 | 390 | 333 | 344 | 384 | 373 |
| 600 | 276 | 279 | 231 | 287 | 205 | 255 | 185 | 315 | 257 | 269 | 308 | 297 |
| 610 | 641 | 644 | 595 | 652 | 570 | 619 | 550 | 679 | 621 | 633 | 673 | 662 |
| 630 | 544 | 547 | 498 | 555 | 473 | 522 | 453 | 582 | 524 | 536 | 575 | 564 |
| 640 | 467 | 470 | 429 | 478 | 403 | 453 | 383 | 509 | 455 | 467 | 506 | 491 |
| 660 | 641 | 644 | 603 | 652 | 577 | 627 | 558 | 683 | 629 | 641 | 680 | 665 |
| 690 | 392 | 395 | 354 | 403 | 328 | 378 | 309 | 434 | 380 | 392 | 431 | 416 |
| 720 | 47 | 31 | 80 | 94 | 110 | 54 | 143 | 65 | 83 | 60 | 47 | 47 |
| 740 | 155 | 139 | 188 | 202 | 218 | 162 | 251 | 135 | 191 | 168 | 156 | 124 |
| 780 | 107 | 91 | 139 | 154 | 170 | 114 | 203 | 86 | 143 | 120 | 107 | 76 |
| 800 | 45 | 48 | 95 | 110 | 104 | 71 | 103 | 86 | 99 | 78 | 67 | 68 |
| 820 | 52 | 54 | 103 | 117 | 124 | 78 | 123 | 93 | 107 | 85 | 74 | 76 |
| 840 | 100 | 84 | 132 | 147 | 162 | 107 | 196 | 116 | 136 | 113 | 100 | 97 |
| 860 | 181 | 165 | 213 | 228 | 243 | 188 | 277 | 194 | 217 | 194 | 196 | 178 |
| 890 | 33 | 19 | 67 | 82 | 97 | 42 | 131 | 56 | 71 | 48 | 38 | 38 |
| 910 | 312 | 315 | 275 | 323 | 250 | 299 | 230 | 353 | 301 | 313 | 353 | 336 |
| 940 | 497 | 500 | 495 | 500 | 469 | 519 | 459 | 538 | 520 | 530 | 519 | 520 |
| 950 | 480 | 464 | 513 | 528 | 543 | 488 | 577 | 497 | 517 | 494 | 495 | 478 |
| 970 | 452 | 436 | 485 | 499 | 515 | 459 | 548 | 469 | 488 | 465 | 467 | 449 |
| 1010 | 402 | 386 | 434 | 449 | 464 | 409 | 498 | 418 | 438 | 415 | 417 | 399 |
| 1060 | 1059 | 1048 | 1094 | 1108 | 1125 | 1068 | 1158 | 1079 | 1097 | 1075 | 1062 | 1061 |
| 1070 | 1037 | 1026 | 1072 | 1086 | 1102 | 1046 | 1135 | 1057 | 1075 | 1053 | 1039 | 1039 |
| 1080 | 1099 | 1088 | 1134 | 1148 | 1164 | 1108 | 1197 | 1119 | 1137 | 1115 | 1101 | 1101 |
| 1090 | 1240 | 1229 | 1275 | 1289 | 1305 | 1249 | 1338 | 1260 | 1278 | 1256 | 1242 | 1242 |
| 1120 | 58 | 47 | 37 | 41 | 67 | 20 | 100 | 78 | 64 | 41 | 45 | 62 |
| 1620 | 160 | 163 | 124 | 136 | 98 | 148 | 79 | 202 | 150 | 162 | 201 | 184 |
| 1630 | 55 | 39 | 87 | 102 | 118 | 62 | 151 | 74 | 91 | 68 | 55 | 56 |

| Code | 410 | 460 | 480 | 500 | 510 | 550 | 570 | 600 | 610 | 630 | 640 | 660 |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 140 | 112 | 81 | 166 | 179 | 169 | 821 | 352 | 276 | 641 | 544 | 467 | 641 |
| 150 | 101 | 84 | 169 | 173 | 172 | 824 | 355 | 279 | 644 | 547 | 470 | 644 |
| 250 | 76 | 82 | 130 | 121 | 124 | 775 | 306 | 231 | 595 | 498 | 429 | 603 |
| 260 | 88 | 65 | 142 | 133 | 136 | 832 | 363 | 287 | 652 | 555 | 478 | 652 |
| 270 | 50 | 56 | 104 | 95 | 98 | 750 | 281 | 205 | 570 | 473 | 403 | 577 |
| 330 | 90 | 106 | 154 | 146 | 148 | 799 | 330 | 255 | 619 | 522 | 453 | 627 |
| 340 | 65 | 55 | 85 | 58 | 79 | 730 | 261 | 185 | 550 | 453 | 383 | 558 |
| 350 | 134 | 123 | 208 | 205 | 210 | 859 | 390 | 315 | 679 | 582 | 509 | 683 |
| 370 | 51 | 108 | 156 | 133 | 150 | 801 | 333 | 257 | 621 | 524 | 455 | 629 |
| 380 | 80 | 114 | 168 | 159 | 162 | 813 | 344 | 269 | 633 | 536 | 467 | 641 |
| 390 | 100 | 103 | 207 | 199 | 201 | 852 | 384 | 308 | 673 | 575 | 506 | 680 |
| 400 | 116 | 105 | 190 | 188 | 193 | 841 | 373 | 297 | 662 | 564 | 491 | 665 |
| 410 | 0 | 98 | 147 | 84 | 141 | 792 | 324 | 248 | 613 | 515 | 446 | 620 |
| 460 | 98 | 0 | 87 | 105 | 90 | 742 | 273 | 197 | 562 | 464 | 388 | 562 |
| 480 | 147 | 87 | 0 | 84 | 27 | 679 | 210 | 134 | 499 | 401 | 306 | 480 |
| 500 | 84 | 105 | 84 | 0 | 78 | 727 | 258 | 182 | 547 | 450 | 382 | 557 |
| 510 | 141 | 90 | 27 | 78 | 0 | 657 | 188 | 112 | 477 | 379 | 325 | 500 |
| 550 | 792 | 742 | 679 | 727 | 657 | 0 | 542 | 554 | 655 | 459 | 978 | 1154 |
| 570 | 324 | 273 | 210 | 258 | 188 | 542 | 0 | 79 | 290 | 193 | 509 | 683 |
| 600 | 248 | 197 | 134 | 182 | 112 | 554 | 79 | 0 | 368 | 270 | 433 | 608 |
| 610 | 613 | 562 | 499 | 547 | 477 | 655 | 290 | 368 | 0 | 202 | 798 | 974 |
| 630 | 515 | 464 | 401 | 450 | 379 | 459 | 193 | 270 | 202 | 0 | 701 | 875 |
| 640 | 446 | 388 | 306 | 382 | 325 | 978 | 509 | 433 | 798 | 701 | 0 | 174 |
| 660 | 620 | 562 | 480 | 557 | 500 | 1154 | 683 | 608 | 974 | 875 | 174 | 0 |
| 690 | 371 | 313 | 231 | 308 | 251 | 904 | 435 | 358 | 724 | 626 | 75 | 250 |
| 720 | 121 | 97 | 182 | 194 | 185 | 837 | 368 | 292 | 657 | 559 | 483 | 657 |
| 740 | 230 | 205 | 290 | 301 | 293 | 945 | 476 | 400 | 765 | 668 | 591 | 765 |
| 780 | 181 | 157 | 242 | 253 | 244 | 896 | 428 | 352 | 717 | 619 | 543 | 717 |
| 800 | 137 | 56 | 142 | 154 | 144 | 796 | 327 | 252 | 616 | 519 | 442 | 617 |
| 820 | 145 | 77 | 162 | 174 | 164 | 816 | 348 | 272 | 637 | 539 | 463 | 637 |
| 840 | 174 | 149 | 235 | 246 | 237 | 889 | 420 | 345 | 709 | 612 | 535 | 710 |
| 860 | 255 | 230 | 316 | 327 | 318 | 970 | 502 | 426 | 791 | 693 | 616 | 791 |
| 890 | 109 | 90 | 176 | 181 | 178 | 830 | 362 | 286 | 651 | 553 | 476 | 651 |
| 910 | 293 | 233 | 157 | 229 | 173 | 825 | 356 | 281 | 645 | 548 | 242 | 416 |
| 940 | 511 | 423 | 387 | 458 | 402 | 1054 | 585 | 509 | 874 | 776 | 501 | 676 |
| 950 | 555 | 530 | 615 | 627 | 618 | 1270 | 801 | 725 | 1090 | 993 | 854 | 1028 |
| 970 | 526 | 502 | 587 | 598 | 590 | 1242 | 773 | 697 | 1062 | 964 | 777 | 951 |
| 1010 | 476 | 451 | 537 | 548 | 539 | 1191 | 723 | 647 | 1012 | 914 | 791 | 966 |
| 1060 | 1136 | 1110 | 1195 | 1207 | 1199 | 1851 | 1382 | 1307 | 1672 | 1574 | 1340 | 1516 |
| 1070 | 1113 | 1089 | 1174 | 1185 | 1176 | 1828 | 1360 | 1284 | 1649 | 1551 | 1319 | 1493 |
| 1080 | 1175 | 1150 | 1235 | 1247 | 1238 | 1891 | 1422 | 1346 | 1712 | 1614 | 1380 | 1556 |
| 1090 | 1316 | 1291 | 1376 | 1388 | 1379 | 2032 | 1563 | 1487 | 1853 | 1755 | 1521 | 1697 |
| 1120 | 102 | 102 | 158 | 150 | 152 | 804 | 335 | 259 | 624 | 527 | 457 | 631 |
| 1620 | 141 | 81 | 11 | 78 | 22 | 673 | 204 | 128 | 493 | 396 | 311 | 486 |
| 1630 | 129 | 105 | 193 | 205 | 195 | 847 | 379 | 303 | 668 | 570 | 493 | 668 |

| Code | 690 | 720 | 740 | 780 | 800 | 820 | 840 | 860 | 890 | 910 | 940 | 950 |
|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 140 | 392 | 47 | 155 | 107 | 45 | 52 | 100 | 181 | 33 | 312 | 497 | 480 |
| 150 | 395 | 31 | 139 | 91 | 48 | 54 | 84 | 165 | 19 | 315 | 500 | 464 |
| 250 | 354 | 80 | 188 | 139 | 95 | 103 | 132 | 213 | 67 | 275 | 495 | 513 |
| 260 | 403 | 94 | 202 | 154 | 110 | 117 | 147 | 228 | 82 | 323 | 500 | 528 |
| 270 | 328 | 110 | 218 | 170 | 104 | 124 | 162 | 243 | 97 | 250 | 469 | 543 |
| 330 | 378 | 54 | 162 | 114 | 71 | 78 | 107 | 188 | 42 | 299 | 519 | 488 |
| 340 | 309 | 143 | 251 | 203 | 103 | 123 | 196 | 277 | 131 | 230 | 459 | 577 |
| 350 | 434 | 65 | 135 | 86 | 86 | 93 | 116 | 194 | 56 | 353 | 538 | 497 |
| 370 | 380 | 83 | 191 | 143 | 99 | 107 | 136 | 217 | 71 | 301 | 520 | 517 |
| 380 | 392 | 60 | 168 | 120 | 78 | 85 | 113 | 194 | 48 | 313 | 530 | 494 |
| 390 | 431 | 47 | 156 | 107 | 67 | 74 | 100 | 196 | 38 | 353 | 519 | 495 |
| 400 | 416 | 47 | 124 | 76 | 68 | 76 | 97 | 178 | 38 | 336 | 520 | 478 |
| 410 | 371 | 121 | 230 | 181 | 137 | 145 | 174 | 255 | 109 | 293 | 511 | 555 |
| 460 | 313 | 97 | 205 | 157 | 56 | 77 | 149 | 230 | 90 | 233 | 423 | 530 |
| 480 | 231 | 182 | 290 | 242 | 142 | 162 | 235 | 316 | 176 | 157 | 387 | 615 |
| 500 | 308 | 194 | 301 | 253 | 154 | 174 | 246 | 327 | 181 | 229 | 458 | 627 |
| 510 | 251 | 185 | 293 | 244 | 144 | 164 | 237 | 318 | 178 | 173 | 402 | 618 |
| 550 | 904 | 837 | 945 | 896 | 796 | 816 | 889 | 970 | 830 | 825 | 1054 | 1270 |
| 570 | 435 | 368 | 476 | 428 | 327 | 348 | 420 | 502 | 362 | 356 | 585 | 801 |
| 600 | 358 | 292 | 400 | 352 | 252 | 272 | 345 | 426 | 286 | 281 | 509 | 725 |
| 610 | 724 | 657 | 765 | 717 | 616 | 637 | 709 | 791 | 651 | 645 | 874 | 1090 |
| 630 | 626 | 559 | 668 | 619 | 519 | 539 | 612 | 693 | 553 | 548 | 776 | 993 |
| 640 | 75 | 483 | 591 | 543 | 442 | 463 | 535 | 616 | 476 | 242 | 501 | 854 |
| 660 | 250 | 657 | 765 | 717 | 617 | 637 | 710 | 791 | 651 | 416 | 676 | 1028 |
| 690 | 0 | 408 | 516 | 468 | 367 | 388 | 460 | 542 | 402 | 167 | 427 | 779 |
| 720 | 408 | 0 | 125 | 77 | 61 | 53 | 70 | 151 | 26 | 328 | 513 | 451 |
| 740 | 516 | 125 | 0 | 51 | 161 | 151 | 113 | 125 | 134 | 436 | 574 | 393 |
| 780 | 468 | 77 | 51 | 0 | 113 | 103 | 67 | 137 | 85 | 388 | 572 | 433 |
| 800 | 367 | 61 | 161 | 113 | 0 | 26 | 100 | 181 | 54 | 287 | 472 | 481 |
| 820 | 388 | 53 | 151 | 103 | 26 | 0 | 79 | 160 | 48 | 308 | 483 | 460 |
| 840 | 460 | 70 | 113 | 67 | 100 | 79 | 0 | 87 | 78 | 380 | 562 | 386 |
| 860 | 542 | 151 | 125 | 137 | 181 | 160 | 87 | 0 | 159 | 461 | 485 | 304 |
| 890 | 402 | 26 | 134 | 85 | 54 | 48 | 78 | 159 | 0 | 321 | 506 | 459 |
| 910 | 167 | 328 | 436 | 388 | 287 | 308 | 380 | 461 | 321 | 0 | 269 | 621 |
| 940 | 427 | 513 | 574 | 572 | 472 | 483 | 562 | 485 | 506 | 269 | 0 | 371 |
| 950 | 779 | 451 | 393 | 433 | 481 | 460 | 386 | 304 | 459 | 621 | 371 | 0 |
| 970 | 702 | 422 | 365 | 404 | 453 | 431 | 357 | 276 | 431 | 544 | 294 | 77 |
| 1010 | 717 | 372 | 314 | 354 | 402 | 381 | 307 | 226 | 380 | 559 | 309 | 84 |
| 1060 | 1266 | 1030 | 973 | 1013 | 1060 | 1040 | 966 | 884 | 1037 | 1108 | 858 | 689 |
| 1070 | 1244 | 1008 | 951 | 991 | 1038 | 1018 | 944 | 862 | 1015 | 1086 | 835 | 667 |
| 1080 | 1306 | 1069 | 1013 | 1052 | 1100 | 1080 | 1006 | 924 | 1077 | 1147 | 897 | 728 |
| 1090 | 1447 | 1210 | 1154 | 1193 | 1241 | 1221 | 1147 | 1065 | 1218 | 1288 | 1038 | 869 |
| 1120 | 382 | 68 | 176 | 127 | 83 | 90 | 120 | 201 | 55 | 304 | 518 | 501 |
| 1620 | 236 | 176 | 284 | 236 | 136 | 156 | 229 | 310 | 170 | 156 | 384 | 609 |
| 1630 | 419 | 24 | 122 | 74 | 56 | 45 | 55 | 136 | 33 | 338 | 523 | 436 |

| Code | 970 | 1010 | 1060 | 1070 | 1080 | 1090 | 1120 | 1620 | 1630 |
|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 140 | 452 | 402 | 1059 | 1037 | 1099 | 1240 | 58 | 160 | 55 |
| 150 | 436 | 386 | 1048 | 1026 | 1088 | 1229 | 47 | 163 | 39 |
| 250 | 485 | 434 | 1094 | 1072 | 1134 | 1275 | 37 | 124 | 87 |
| 260 | 499 | 449 | 1108 | 1086 | 1148 | 1289 | 41 | 136 | 102 |
| 270 | 515 | 464 | 1125 | 1102 | 1164 | 1305 | 67 | 98 | 118 |
| 330 | 459 | 409 | 1068 | 1046 | 1108 | 1249 | 20 | 148 | 62 |
| 340 | 548 | 498 | 1158 | 1135 | 1197 | 1338 | 100 | 79 | 151 |
| 350 | 469 | 418 | 1079 | 1057 | 1119 | 1260 | 78 | 202 | 74 |
| 370 | 488 | 438 | 1097 | 1075 | 1137 | 1278 | 64 | 150 | 91 |
| 380 | 465 | 415 | 1075 | 1053 | 1115 | 1256 | 41 | 162 | 68 |
| 390 | 467 | 417 | 1062 | 1039 | 1101 | 1242 | 45 | 201 | 55 |
| 400 | 449 | 399 | 1061 | 1039 | 1101 | 1242 | 62 | 184 | 56 |
| 410 | 526 | 476 | 1136 | 1113 | 1175 | 1316 | 102 | 141 | 129 |
| 460 | 502 | 451 | 1110 | 1089 | 1150 | 1291 | 102 | 81 | 105 |
| 480 | 587 | 537 | 1195 | 1174 | 1235 | 1376 | 158 | 11 | 193 |
| 500 | 598 | 548 | 1207 | 1185 | 1247 | 1388 | 150 | 78 | 205 |
| 510 | 590 | 539 | 1199 | 1176 | 1238 | 1379 | 152 | 22 | 195 |
| 550 | 1242 | 1191 | 1851 | 1828 | 1891 | 2032 | 804 | 673 | 847 |
| 570 | 773 | 723 | 1382 | 1360 | 1422 | 1563 | 335 | 204 | 379 |
| 600 | 697 | 647 | 1307 | 1284 | 1346 | 1487 | 259 | 128 | 303 |
| 610 | 1062 | 1012 | 1672 | 1649 | 1712 | 1853 | 624 | 493 | 668 |
| 630 | 964 | 914 | 1574 | 1551 | 1614 | 1755 | 527 | 396 | 570 |
| 640 | 777 | 791 | 1340 | 1319 | 1380 | 1521 | 457 | 311 | 493 |
| 660 | 951 | 966 | 1516 | 1493 | 1556 | 1697 | 631 | 486 | 668 |
| 690 | 702 | 717 | 1266 | 1244 | 1306 | 1447 | 382 | 236 | 419 |
| 720 | 422 | 372 | 1030 | 1008 | 1069 | 1210 | 68 | 176 | 24 |
| 740 | 365 | 314 | 973 | 951 | 1013 | 1154 | 176 | 284 | 122 |
| 780 | 404 | 354 | 1013 | 991 | 1052 | 1193 | 127 | 236 | 74 |
| 800 | 453 | 402 | 1060 | 1038 | 1100 | 1241 | 83 | 136 | 56 |
| 820 | 431 | 381 | 1040 | 1018 | 1080 | 1221 | 90 | 156 | 45 |
| 840 | 357 | 307 | 966 | 944 | 1006 | 1147 | 120 | 229 | 55 |
| 860 | 276 | 226 | 884 | 862 | 924 | 1065 | 201 | 310 | 136 |
| 890 | 431 | 380 | 1037 | 1015 | 1077 | 1218 | 55 | 170 | 33 |
| 910 | 544 | 559 | 1108 | 1086 | 1147 | 1288 | 304 | 156 | 338 |
| 940 | 294 | 309 | 858 | 835 | 897 | 1038 | 518 | 384 | 523 |
| 950 | 77 | 84 | 689 | 667 | 728 | 869 | 501 | 609 | 436 |
| 970 | 0 | 54 | 612 | 590 | 651 | 792 | 473 | 581 | 408 |
| 1010 | 54 | 0 | 662 | 640 | 702 | 843 | 422 | 531 | 357 |
| 1060 | 612 | 662 | 0 | 22 | 40 | 181 | 1081 | 1191 | 1017 |
| 1070 | 590 | 640 | 22 | 0 | 62 | 203 | 1059 | 1168 | 995 |
| 1080 | 651 | 702 | 40 | 62 | 0 | 141 | 1121 | 1230 | 1057 |
| 1090 | 792 | 843 | 181 | 203 | 141 | 0 | 1262 | 1371 | 1198 |
| 1120 | 473 | 422 | 1081 | 1059 | 1121 | 1262 | 0 | 152 | 75 |
| 1620 | 581 | 531 | 1191 | 1168 | 1230 | 1371 | 152 | 0 | 187 |
| 1630 | 408 | 357 | 1017 | 995 | 1057 | 1198 | 75 | 187 | 0 |

ANNEXE E – MODÈLE DE LOCALISATION EN LANGAGE OPL

```

int nbTransits = ...;
int nbTraitements = ...;

range Transits 0..nbTransits-1;           //i
range Traitements 0..nbTraitements-1;     //j

int CF[Traitements] = ...;                //Coût fixe d'ouvrir un CRMD
int FA = ...;                            //Facteur de capacité
int p[Traitements] = ...;                //Nombre d'employés au CRMD
int f[Transits] = ...;                  //Fréquence de voyage au transit par mois
float CT = ...;                          //Coût de transport (par minutes)
float D[Transits,Traitements] = ...;    //Temps de transport entre le transit et
                                         // le CRMD
float S[Transits] = ...;                //Qté de retour par transit par produit
int MAXT= ...;                          //Capacité maximum de traitement par personne
var int T[Traitements] in 0..1;          //Ouverture/fermeture d'un CRMD
var int U[Transits,Traitements] in 0..1; //Utilisation d'un CRMD par un transit
var int a[Traitements] in 0..20;         //Ajout d'un employé au CRMD
var int r[Traitements] in 0..20;         //Retrait d'un employé au CRMD

minimize
    //Coût de transport
    sum(i in Transits, j in Traitements) CT * 2 * f[i] * D[i,j] * U[i,j]
    //Coût fixe
    + sum(j in Traitements) CF[j] * T[j]

subject to {
    //Contrainte de capacité pour le traitement
    forall(j in Traitements)
        sum(i in Transits) U[i,j] * S[i] <= MAXT * (p[j]+a[j]-r[j]);

    //Contrôle de l'ajout et du retrait des employés
    forall(j in Traitements)
        p[j] + a[j] - r[j] <= T[j] * FA * p[j];

    //Nombre maximun (1) de site de traitement alloué à un point de transit
    forall(i in Transits)
        sum(j in Traitements) U[i,j] = 1;

    //Équilibre du nombre d'employés
    sum(j in Traitements) a[j] = sum(j in Traitements) r[j];
};


```

ANNEXE F – JEUX DE DONNÉES POUR LE MODÈLE DE LOCALISATION EN LANGAGE OPL

Scénario 1

```

FA = 1;
nbTransits = 45;           //j
nbTraitements = 4;         //k
MAXT = 1740;
CT = 17;
CF = [71600,87800,127000,117600];
p = [2, 1, 2, 2];

S = [738, 458, 250, 91, 135, 285, 161, 119, 107, 137, 544, 243, 130, 900,
192, 245, 246, 146, 370, 157, 21, 92, 568, 140, 157, 160, 615, 43, 209,
87, 172, 30, 288, 296, 74, 217, 48, 87, 442, 127, 106, 196, 225, 638, 354];

f = [4, 3, 2, 1, 1, 2, 2, 1, 1, 2, 3, 2, 1, 5,
1, 2, 2, 3, 2, 1, 1, 2, 5, 1, 2, 1, 3, 1, 1,
1, 2, 1, 2, 2, 1, 1, 2, 3, 1, 1, 2, 2, 3, 2];

D = [[53,0,70,163],
[42,22,58,168],
[89,72,0,127],
[105,82,44,138],
[121,98,39,99],
[64,41,31,152],
[153,127,74,80],
[74,62,88,207],
[93,75,35,152],
[71,53,44,165],
[56,42,57,206],
[56,43,74,189],
[134,116,78,143],
[106,80,82,82],
[193,167,133,8],
[203,177,123,77],
[197,171,128,21],
[1058,1032,989,882],
[384,358,314,208],
[308,282,239,132],
[671,645,601,504],
[574,548,505,398],
[496,470,433,310],
[671,644,608,485],
[422,396,359,237],
[22,44,78,179],
[122,155,189,290],
[40,72,102,208],
[53,40,96,139],
[43,49,104,159],
[54,99,133,234],
[136,181,215,316],
[30,30,67,174],
[339,312,279,153],
[519,493,494,381],
[434,478,513,613],

```

```
[405,450,484,585],  

[355,400,434,535],  

[1182,1227,1261,1362],  

[988,1033,1067,1168],  

[1227,1272,1306,1407],  

[1388,1433,1467,1568],  

[76,58,35,156],  

[188,162,128,0],  

[0,54,88,189]];
```

Scénario 2

Identique au précédent sauf que FA = 2 dans ce scénario.

Scénario 3

Ajout des contraintes d'affectation suivantes pour ce scénario avec FA = 1 et

| | |
|--------------|--------------|
| U[0,1] = 1; | U[23,3] = 1; |
| U[1,1] = 1; | U[24,3] = 1; |
| U[2,2] = 1; | U[25,0] = 1; |
| U[3,2] = 1; | U[26,0] = 1; |
| U[4,2] = 1; | U[27,0] = 1; |
| U[5,2] = 1; | U[28,0] = 1; |
| U[6,2] = 1; | U[29,0] = 1; |
| U[7,2] = 1; | U[30,0] = 1; |
| U[8,2] = 1; | U[31,0] = 1; |
| U[9,2] = 1; | U[32,0] = 1; |
| U[10,2] = 1; | U[33,3] = 1; |
| U[11,2] = 1; | U[34,3] = 1; |
| U[12,2] = 1; | U[35,0] = 1; |
| U[13,2] = 1; | U[36,0] = 1; |
| U[14,3] = 1; | U[37,0] = 1; |
| U[15,3] = 1; | U[38,0] = 1; |
| U[16,3] = 1; | U[39,0] = 1; |
| U[17,3] = 1; | U[40,0] = 1; |
| U[18,3] = 1; | U[41,0] = 1; |
| U[19,3] = 1; | U[42,2] = 1; |
| U[20,3] = 1; | U[43,3] = 1; |
| U[21,3] = 1; | U[44,0] = 1; |
| U[22,3] = 1; | |

Scénario 4

Ajout des contraintes de fermeture suivantes pour ce scénario avec FA = 2 avec $T[0] = 0$ et $T[1] = 0$

ANNEXE G – CALENDRIER DE LIVRAISON DES CENTRES DE DISTRIBUTION

a) À partir de St-Jérôme

| Chauffeurs | destinations | | | | |
|-----------------|--------------|----------------|----------------------------|--------------|-----------|
| Lundi | | | | | |
| 1A | St-Jérôme | Rawdon | Ste-Émilie-de-l'Énergie | | St-Jérôme |
| 1B | St-Jérôme | Mont Laurier | Maniwaki | | St-Jérôme |
| 1C | St-Jérôme | St-Jérôme | Val-Morin | St-Hyacinthe | St-Jérôme |
| Mardi | | | | | |
| 1A | St-Jérôme | Hull | | | St-Jérôme |
| 1B | St-Jérôme | Papineauville | Notre-Dame-de-la-Salette | | St-Jérôme |
| 1C | St-Jérôme | Val-d'Or | Rouyn-Noranda | | St-Jérôme |
| Mercredi | | | | | |
| 1A | St-Jérôme | Lachute | Carillon | Laval | St-Jérôme |
| 1B | St-Jérôme | Blainville | | St-Hyacinthe | St-Jérôme |
| 1C | St-Jérôme | n/d | n/d | | St-Jérôme |
| Jeudi | | | | | |
| 1C | St-Jérôme | Mont-Tremblant | L'Annonciation ou St-Donat | | St-Jérôme |
| 1A | St-Jérôme | Hull | Campbell's Bay | | St-Jérôme |
| 1B | St-Jérôme | Joliette | L'Assomption | | St-Jérôme |
| Vendredi | | | | | |
| 1A | St-Jérôme | Blainville | Laval | St-Hyacinthe | St-Jérôme |

b) À partir de Bout-de-l'Île

| Chauffeurs | destinations | | | | |
|--------------------------|---------------|-------|--|--|---------------|
| Lundi au vendredi | | | | | |
| dédié | Bout-de-l'Île | Jarry | | | Bout-de-l'Île |

c) À partir de St-Hyacinthe

| Chauffeurs | destinations | | | | |
|-----------------|--------------|---------------|-------------|-------------|--------------|
| Lundi | | | | | |
| 3 | St-Hyacinthe | St-Jean | Vaudreuil | | St-Hyacinthe |
| Mardi | | | | | |
| dédié | St-Hyacinthe | St-Bruno | Sorel | | St-Hyacinthe |
| | St-Hyacinthe | Châteauguay | Valleyfield | Beauharnois | St-Hyacinthe |
| Mercredi | | | | | |
| dédié | St-Hyacinthe | St-Jean | Vaudreuil | | St-Hyacinthe |
| | St-Hyacinthe | Drummondville | Sherbrooke | Granby | St-Hyacinthe |
| Jeudi | | | | | |
| dédié | St-Hyacinthe | St-Bruno | Sorel | | St-Hyacinthe |
| | St-Hyacinthe | Châteauguay | Valleyfield | Beauharnois | St-Hyacinthe |
| externe | St-Hyacinthe | Les Cèdres | St-Hubert | Gentilly II | St-Hyacinthe |
| externe | St-Hyacinthe | Tracy | | | |
| Vendredi | | | | | |
| dédié | St-Hyacinthe | Drummondville | Sherbrooke | Granby | St-Hyacinthe |
| externe | St-Hyacinthe | IREQ | CERV | | |

d) À partir de Québec

| Chauffeurs | destinations | | | | |
|-----------------|--------------|--------------------|-------------------------|------------------------------|--------|
| Lundi | | | | | |
| 4A | Québec | Beauport | Donnacona ou La Malbaie | | Québec |
| 4B | Québec | Rimouski | | | Québec |
| 4C | Québec | Trois-Rivières | Shawinigan | | Québec |
| Mardi | | | | | |
| 4A | Québec | Chicoutimi | | | Québec |
| 4B | Québec | Thetford Mines | St-Agapit | | Québec |
| 4C | Québec | Victoriaville | St-Hyacinthe | | Québec |
| Mercredi | | | | | |
| 4A | Québec | Baie-Comeau | | | Québec |
| 4B | Québec | Lévis | Rivière-du-Loup | | Québec |
| 4C | Québec | Trois-Rivières CEE | Trois-Rivières | Shawinigan | Québec |
| Jeudi | | | | | |
| 4A | Québec | St-Georges | St-Joseph-de-Beauce | Lac-Etchemin ou Lac-Mégantic | Québec |
| 4B | Québec | Victoriaville | St-Hyacinthe | | Québec |
| 4C | Québec | Montmagny | Tourville | (1 semaine sur 2) | Québec |

ANNEXE H – MODÈLE DE TOURNÉES DE VÉHICULES EN LANGAGE OPL

```

int nbTransits = ...;
int nbCamions = ...;

range Transits 1..nbTransits;                                //i et j
range Camions 1..nbCamions;                                //k

//Parametres
float CT = ...;                                            //Coût de transport (à l'heure)
int D[Transits, Transits] = ...;                            //Temps entre transit et traitement
float S[Transits] = ...;                                    //Qté de retour par transit
int MAXC[Camions] = ...;                                   //Capacité maximum pour un camion
float TCD = ...;                                           //Temps de chargement et déchargement
int LJ = ...;                                              //Durée de la journée (min.)
int PEN = ...;                                            //Coût de coucher à l'extérieur

//Variables
var int X[Transits,Transits,Camions] in 0..1; //Passe de transit i à transit j
                                                // par Camion k
var int T[Camions] in 0..1;                           //Utilisation du camion k
var float C[Camions] in 0..100;                      //Capacité utilisé du Camion k
var int P[Camions] in 1..4;                           //Nombre de jours de la tournée k

minimize
    //Coût de transport
    sum(i in Transits, j in Transits, k in Camions) CT * D[i,j] * X[i,j,k]
    // Pénalité pour longueur de journée
    + sum(k in Camions) PEN * (P[k] - 1)

subject to {

    //Visiter chaque site par un seul camion
    forall(j in Transits : j > 1)
        sum(i in Transits : i <> j, k in Camions) X[i,j,k] = 1;

    forall(p in Transits, k in Camions)
        sum(i in Transits) X[i,p,k] - sum(j in Transits) X[p,j,k] = 0;

    //Capacité du camion
    forall(k in Camions)
        sum(i in Transits: i > 1, j in Transits) X[i,j,k] * S[i] = C[k];
    forall(k in Camions)
        C[k] <= MAXC[k] * T[k];

    //Longueur d'une tournée
    forall(k in Camions)
        sum(i in Transits, j in Transits) X[i,j,k] * D[i,j] + C[k] * TCD
        + sum(i in Transits, j in Transits) X[i,j,k] * 15 <= LJ * P[k];

    //Temps de la tournée
    forall(k in Camions)
        sum(i in Transits, j in Transits) X[i,j,k] * D[i,j] = TT[k];
}

```

```
//Départ et retour au CRMD
forall(k in Camions)
    sum(j in Transits : j > 1) X[1,j,k] = T[k];

//Contraintes de connectivite (élimination de sous tours de longueur 1 à 4)
```

ANNEXE I – JEUX DE DONNÉES POUR LE MODÈLE DE TOURNÉES DE VÉHICULES EN LANGAGE OPL

Scénario 1

CRMD #1

```

LJ = 450;
TCD = 2.5;
PEN = 200;
CT = 1.417;

//NORD
nbTransits = 8;
nbCamions = 6;
S=[15, 8, 8, 3, 18, 4, 4, 4];
MAXC = [88, 88, 88, 88, 88, 88];
D = [[0,55,55,136,436,408,357,357],
[55,0,0,87,386,357,307,307],
[55,0,0,87,386,357,307,307],
[136,87,87,0,304,276,226,226],
[436,386,386,304,0,77,84,84],
[408,357,357,276,77,0,54,54],
[357,307,307,226,84,54,0,0],
[357,307,307,226,84,54,0,0]];

//Autres sites
nbTransits = 10;
nbCamions = 6;
S=[15, 10, 14, 18, 18, 18, 4, 8, 12, 12];
MAXC = [88, 88, 88, 88, 88, 88];
D = [[0,73,24,122,122,122,40,45,33,33],
[73,0,64,134,134,134,86,93,56,56],
[24,64,0,125,125,125,44,53,26,26],
[122,134,125,0,0,0,95,151,134,134],
[122,134,125,0,0,0,95,151,134,134],
[122,134,125,0,0,0,95,151,134,134],
[40,86,44,95,95,95,0,69,52,52],
[45,93,53,151,151,151,69,0,48,48],
[33,56,26,134,134,134,52,48,0,0],
[33,56,26,134,134,134,52,48,0,0]];

```

CRMD #2

```

LJ = 450;
TCD = 2.5;
PEN = 200;
CT = 1.417;

```

```

//Aucune
nbTransits = 7;
nbCamions = 6;
S=[16, 13, 13, 13, 11, 11, 17];
MAXC = [88, 88, 88, 88, 88, 88];
D = [[0,24,24,24,45,45,45],
[24,0,0,0,31,31,48],
[24,0,0,0,31,31,48],
[24,0,0,0,31,31,48],

```

```
[45,31,31,31,0,0,68],
[45,31,31,31,0,0,68],
[45,48,48,48,68,68,0]];
```

CRMD #3

```
LJ = 450;
TCD = 2.5;
PEN = 200;
CT = 1.417;

//Ouest
nbTransits = 10;
nbCamions = 6;
S=[11, 12, 12, 6, 6, 16, 16, 16, 10, 10];
MAXC = [88, 88, 88, 88, 88, 88];
D = [[0,32,32,45,45,57,57,57,37,37],
[32,0,0,28,28,31,31,31,20,20],
[32,0,0,28,28,31,31,31,20,20],
[45,28,28,0,0,38,38,38,41,41],
[45,28,28,0,0,38,38,38,41,41],
[57,31,31,38,38,0,0,0,45,45],
[57,31,31,38,38,0,0,0,45,45],
[57,31,31,38,38,0,0,0,45,45],
[37,20,20,41,41,45,45,45,0,0],
[37,20,20,41,41,45,45,45,0,0]];

//Est
nbTransits = 11;
nbCamions = 6;
S=[11, 8, 12, 7, 7, 9, 11, 19, 19, 19, 19];
MAXC = [88, 88, 88, 88, 88, 88];
D = [[0,45,38,72,72,37,76,81,81,81,81],
[45,0,50,84,84,77,88,64,64,64,64],
[38,50,0,45,45,64,50,55,55,55,55],
[72,84,45,0,0,98,65,54,54,54,54],
[72,84,45,0,0,98,65,54,54,54,54],
[37,77,64,98,98,0,51,106,106,106,106],
[76,88,50,65,65,51,0,98,98,98,98],
[81,64,55,54,54,106,98,0,0,0,0],
[81,64,55,54,54,106,98,0,0,0,0],
[81,64,55,54,54,106,98,0,0,0,0],
[81,64,55,54,54,106,98,0,0,0,0]];
```

CRMD #4

```
LJ = 450;
TCD = 2.5;
PEN = 200;
CT = 1.417;

//NORD-OUEST
nbTransits = 5;
nbCamions = 6;
S=[18, 13, 13, 4, 4];
MAXC = [88, 88, 88, 88, 88, 88];
D = [[0,156,156,384,384],
[156,0,0,269,269],
[156,0,0,269,269],
[384,269,269,0,0],
```

```

[384,269,269,0,0]];

//NORD-EST
nbTransits = 9;
nbCamions = 6;
S=[18, 16, 12, 12, 12, 12, 12, 7, 7];
MAXC = [88, 88, 88, 88, 88, 88];
D = [[0,11,311,311,311,486,236,236],
[11,0,306,306,306,480,231,231],
[311,306,0,0,0,0,174,75,75],
[311,306,0,0,0,0,174,75,75],
[311,306,0,0,0,0,174,75,75],
[311,306,0,0,0,0,174,75,75],
[486,480,174,174,174,174,0,250,250],
[236,231,75,75,75,75,250,0,0],
[236,231,75,75,75,75,250,0,0]];

//SUD-EST
nbTransits = 11;
nbCamions = 6;
S=[18, 11, 11, 11, 11, 16, 16, 14, 2, 4, 4];
MAXC = [88, 88, 88, 88, 88, 88];
D = [[0,78,78,22,22,204,204,128,493,396,396],
[78,0,0,78,78,258,258,182,547,450,450],
[78,0,0,78,78,258,258,182,547,450,450],
[22,78,78,0,0,188,188,112,477,379,379],
[22,78,78,0,0,188,188,112,477,379,379],
[204,258,258,188,188,0,0,79,290,193,193],
[204,258,258,188,188,0,0,79,290,193,193],
[128,182,182,112,112,79,79,0,368,270,270],
[493,547,547,477,477,290,290,368,0,202,202],
[396,450,450,379,379,193,193,270,202,0,0],
[396,450,450,379,379,193,193,270,202,0,0]];

```

Scénario 2

CRMD #1

```

LJ = 450;
TCD = 2.5;
PEN = 200;
CT = 1.417;

```

```

//OUEST
nbTransits = 5;
nbCamions = 6;
S=[15, 18, 18, 18, 4];
MAXC = [88, 88, 88, 88, 88, 88];
D = [[0,122,122,122,40],
[122,0,0,0,95],
[122,0,0,0,95],
[122,0,0,0,95],
[40,95,95,95,0]];

//LANAUDIÈRE
nbTransits = 6;
nbCamions = 6;
S=[15, 14, 18, 8, 24, 24];
MAXC = [88, 88, 88, 88, 88, 88];
D = [[0,24,56,45,33,33],

```

```

[24,0,61,53,26,26],
[56,61,0,26,54,54],
[45,53,26,0,48,48],
[33,26,54,48,0,0],
[33,26,54,48,0,0]];

//CENTRE OUEST
nbTransits = 7;
nbCamions = 6;
S=[15, 10, 16, 16, 16, 11, 11];
MAXC = [88, 88, 88, 88, 88, 88];
D = [[0,74,55,55,55,56,56],
[74,0,37,37,37,26,26],
[55,37,0,0,0,40,40],
[55,37,0,0,0,40,40],
[55,37,0,0,0,40,40],
[56,26,40,40,40,0,0],
[56,26,40,40,40,0,0]];

//GRAND NORD
nbTransits = 8;
nbCamions = 6;
S=[15, 15, 15, 3, 19, 4, 4, 4];
MAXC = [88, 88, 88, 88, 88, 88];
D = [[0,55,55,136,436,408,357,357],
[55,0,0,87,386,357,307,307],
[55,0,0,87,386,357,307,307],
[136,87,87,0,304,276,226,226],
[436,386,386,304,0,77,84,84],
[408,357,357,276,77,0,54,54],
[357,307,307,226,84,54,0,0],
[357,307,307,226,84,54,0,0]];

//CENTRE
nbTransits = 8;
nbCamions = 6;
S=[15, 16, 16, 16, 16, 13, 13, 13];
MAXC = [88, 88, 88, 88, 88, 88];
D = [[0,55,55,55,55,39,39,39],
[55,0,0,0,24,24,24],
[55,0,0,0,24,24,24],
[55,0,0,0,24,24,24],
[55,0,0,0,24,24,24],
[39,24,24,24,24,0,0,0],
[39,24,24,24,24,0,0,0],
[39,24,24,24,24,0,0,0]];

//SUD-EST
nbTransits = 12;
nbCamions = 3;
S=[15, 11, 11, 8, 12, 12, 9, 6, 6, 11, 10, 10];
MAXC = [88, 88, 88];
D = [[0,87,87,102,62,62,91,68,68,130,75,75],
[87,0,0,45,32,0,37,45,45,77,37,37],
[87,0,0,45,32,32,37,45,45,77,37,37],
[102,45,45,0,46,46,77,68,68,89,41,41],
[62,32,32,46,0,0,51,28,28,88,20,20],
[62,0,32,46,0,0,51,28,28,88,20,20],

```

```
[91,37,37,77,51,51,0,41,41,51,64,64],
[68,45,45,68,28,28,41,0,0,79,41,41],
[68,45,45,68,28,28,41,0,0,79,41,41],
[130,77,77,89,88,88,51,79,79,0,101,101],
[75,37,37,41,20,20,64,41,41,101,0,0],
[75,37,37,41,20,20,64,41,41,101,0,0]];
```

CRMD #4

```
LJ = 450;
TCD = 2.5;
PEN = 200;
CT = 1.417;

//SUD-EST
nbTransits = 9;
nbCamions = 2;
S=[18, 11, 11, 16, 16, 13, 2, 4, 4];
MAXC = [88, 88];
D = [[0,22,22,204,204,128,493,396,396],
[22,0,9999,188,188,112,477,379,379],
[22,9999,0,188,188,112,477,379,379],
[204,188,188,0,9999,79,290,193,193],
[204,188,188,9999,0,79,290,193,193],
[128,112,112,79,79,0,368,270,270],
[493,477,477,290,290,368,0,202,202],
[396,379,379,193,193,270,202,0,9999],
[396,379,379,193,193,270,202,9999,0]];

//SUD-OUEST
nbTransits = 6;
nbCamions = 3;
S=[18, 12, 7, 7, 11, 11];
MAXC = [88, 88, 88];
D = [[0,98,78,78,77,77],
[98,0,45,45,95,95],
[78,45,0,0,58,58],
[78,45,0,0,58,58],
[77,95,58,58,0,0],
[77,95,58,58,0,0]];

//Nord-Est
nbTransits = 8;
nbCamions = 6;
S=[18, 12, 12, 12, 12, 12, 7, 7];
MAXC = [88, 88, 88, 88, 88, 88];
D = [[0,311,311,311,311,486,236,236],
[311,0,0,0,0,174,75,75],
[311,0,0,0,0,174,75,75],
[311,0,0,0,0,174,75,75],
[311,0,0,0,0,174,75,75],
[486,174,174,174,174,0,251,251],
[236,75,75,75,75,251,0,0],
[236,75,75,75,75,251,0,0]];

//NORD-OUEST
nbTransits = 6;
nbCamions = 6;
S=[18, 19, 19, 19, 19, 19, 16];
```

```

MAXC = [88, 88, 88, 88, 88, 88];
D = [[0,81,81,81,81,11],
[81,0,0,0,0,87],
[81,0,0,0,0,87],
[81,0,0,0,0,87],
[81,0,0,0,0,87],
[81,0,0,87,87,87,0]];

//NORD-NORD
nbTransits = 5;
nbCamions = 6;
S=[18, 13, 13, 4, 4];
MAXC = [88, 88, 88, 88, 88, 88];
D = [[0,156,156,385,385],
[156,0,0,269,269],
[156,0,0,269,269],
[385,269,269,0,0],
[385,269,269,0,0]];

```

Scénario 3

CRMD #1

```

LJ = 450;
TCD = 2.5;
PEN = 200;
CT = 1.417;

```

```

//Aucune
nbTransits = 4;
nbCamions = 2;
S=[15, 8, 8, 4];
MAXC = [88, 88];
D = [[0,55,55,408],
[55,0,0,357],
[55,0,0,357],
[408,357,357,0]];

```

CRMD #3

```

LJ = 450;
TCD = 2.5;
PEN = 200;
CT = 1.417;

```

```

//Aucune
nbTransits = 7;
nbCamions = 6;
S=[11, 7, 7, 19, 19, 19, 19];
MAXC = [88, 88, 88, 88, 88, 88];
D = [[0,72,72,81,81,81,81],
[72,0,0,54,54,54,54],
[72,0,0,54,54,54,54],
[81,54,54,0,0,0,0],
[81,54,54,0,0,0,0],
[81,54,54,0,0,0,0],
[81,54,54,0,0,0,0]];

```

CRMD #4

```

LJ = 450;
TCD = 2.5;
PEN = 200;
CT = 1.417;

//NORD OUEST
nbTransits = 3;
nbCamions = 2;
S=[18, 4, 4];
MAXC = [88, 88];
D = [[0,384,384],
[384,0,0],
[384,0,0]];

//NORD EST
nbTransits = 4;
nbCamions = 2;
S=[18, 12, 7, 7];
MAXC = [88, 88];
D = [[0,486,236,236],
[486,0,250,250],
[236,250,0,0],
[236,250,0,0]];

//Sud Est
nbTransits = 4;
nbCamions = 2;
S=[18, 2, 4, 4];
MAXC = [88, 88];
D = [[0,493,396,396],
[493,0,202,202],
[396,202,0,0],
[396,202,0,0]];

```

Scénario 4**CRMD #3**

```

LJ = 450;
TCD = 2.5;
PEN = 200;
CT = 1.417;

//Grand Nord
nbTransits = 8;
nbCamions = 2;
S=[11, 8, 8, 3, 18, 4, 4, 4];
MAXC = [88, 88];
D = [[0,132,132,213,513,485,434,434],
[132,0,0,87,386,357,307,307],
[132,0,0,87,386,357,307,307],
[213,87,87,0,304,276,226,226],
[513,386,386,304,0,77,84,84],
[485,357,357,276,77,0,54,54],
[434,307,307,226,84,54,0,0],
[434,307,307,226,84,54,0,0]];

//Basses Laurentides
nbTransits = 8;

```

```
nbCamions = 3;
S=[11, 14, 17, 8, 12, 12, 15, 15];
MAXC = [88, 88, 88];
D = [[0,80,95,103,67,67,87,87],
[80,0,61,53,26,26,24,24],
[95,61,0,26,54,54,56,56],
[103,53,26,0,48,48,45,45],
[67,26,54,48,0,0,33,33],
[67,26,54,48,0,0,33,33],
[87,24,56,45,33,33,0,0],
[87,24,56,45,33,33,0,0]];

//Montréal
nbTransits = 8;
nbCamions = 4;
S=[11, 16, 16, 16, 16, 13, 13, 13];
MAXC = [88, 88, 88, 88];
D = [[0,70,70,70,70,60,60,60],
[70,0,0,0,0,24,24,24],
[70,0,0,0,0,24,24,24],
[70,0,0,0,0,24,24,24],
[70,0,0,0,0,24,24,24],
[60,24,24,24,24,0,0,0],
[60,24,24,24,24,0,0,0],
[60,24,24,24,24,0,0,0]];

//Outaouais
nbTransits = 5;
nbCamions = 3;
S=[11, 18, 18, 18, 4];
MAXC = [88, 88, 88];
D = [[0,188,188,188,101],
[188,0,0,0,95],
[188,0,0,0,95],
[188,0,0,0,95],
[101,95,95,95,0]];
```

**ANNEXE J – CARACTÉRISTIQUES DE CALCUL DES TOURNÉES
DE VÉHICULES**

| Scéna- rio | CRMD | Sub-division | Nombre de | | | | | | Temps (sec.) |
|---------------|------|--------------------|---------------------|---------|---------|-----------|-------------|------------|-----------------|
| | | | sites de transit | visites | camions | variables | contraintes | itérations | |
| 1 | 1 | Autres sites | 7 | 10 | 6 | 618 | 2 368 | 7 654 223 | 2507,27 |
| | | Grand Nord | 6 | 8 | 6 | 402 | 868 | 308 096 | 52,94 |
| | 2 | Aucune | 4 | 7 | 6 | 312 | 499 | 10 612 | 1,34 |
| | 3 | Est | 7 | 11 | 6 | 744 | 3 655 | 6 868 134 | 2 824,53 |
| | | Ouest | 5 | 10 | 6 | 618 | 2 380 | 362 465 | 93,88 |
| | 4 | Sud Est | 7 | 11 | 6 | 744 | 3 667 | 9 456 797 | 4 575,76 |
| | | Nord Est | 5 | 9 | 6 | 504 | 1 465 | 10 652 900 | 2 582,86 |
| | | Nord Ouest | 3 | 5 | 6 | 168 | 163 | 525 | 0,11 |
| 2 | 1 | Grand Nord | 6 | 8 | 6 | 402 | 862 | 17 544 | 12,39 |
| | | Ouest | 3 | 5 | 6 | 168 | 145 | 116 | 0,02 |
| | | Sud Est | 8 | 12 | 3 | 441 | 2 740 | 781 161 | 310,55 |
| | | Centre Ouest | 4 | 7 | 6 | 312 | 487 | 18 154 | 2,31 |
| | | Centre | 3 | 8 | 6 | 402 | 862 | 192 | 0,12 |
| | | Lanaudière | 5 | 6 | 6 | 234 | 262 | 4 950 | 0,67 |
| | 4 | Sud Est | 6 | 9 | 2 | 168 | 507 | 7 675 | 1,14 |
| | | Sud Ouest | 4 | 6 | 3 | 117 | 148 | 102 | 0,05 |
| | | Nord Est | 4 | 8 | 6 | 402 | 874 | 27 639 | 3,77 |
| | | Nord Ouest | 3 | 6 | 6 | 234 | 274 | 132 | 0,06 |
| | | Nord Nord | 3 | 5 | 6 | 168 | 174 | 1 052 | 0,17 |
| 3 | 1 | Aucune | 3 | 4 | 2 | 38 | 40 | 48 | 0,00 |
| | 3 | Aucune | 3 | 7 | 6 | 312 | 499 | 231 | 0,08 |
| | 4 | Sud Est | 3 | 4 | 2 | 38 | 40 | 43 | 0,00 |
| | | Nord Ouest | 2 | 3 | 2 | 24 | 27 | 13 | 0,00 |
| | | Nord Est | 3 | 4 | 2 | 38 | 40 | 51 | 0,00 |
| 4 | 3 | Grand Nord | 6 | 8 | 2 | 134 | 306 | 1 913 | 0,34 |
| | | Basses Laurentides | 6 | 8 | 3 | 201 | 454 | 129 353 | 13,20 |
| | | Montréal | 3 | 8 | 4 | 268 | 598 | 130 | 0,09 |
| | | Outaouais | 3 | 5 | 3 | 84 | 85 | 71 | 0,03 |

**ANNEXE K – EXEMPLE DU CHIFFRIER DE VALIDATION DES
TOURNÉES DE VÉHICULES**

| S e m | Arrivé des MDR | | | Stock MDR | | | Charges transportées | | | | Tournée 1-2-1 | | | | |
|-------------|----------------|--------|--------|-----------|----|----|----------------------|----|----|----|---------------|--------|-------|---------|-------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | # | 1 | 2 | 3 | Total | Transp | Fixes | Ch/Dech | Total |
| | Site 1 | Site 2 | Site 3 | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | 1 | | | | | | | | |
| 2 | | 18 | | 0 | 18 | 0 | 2 | 0 | | | 0 | 48 | 30 | 0 | 78 |
| 3 | | | 5 | 0 | 18 | 5 | 3 | 0 | 18 | | 18 | | | | |
| 4 | | | 4 | 0 | 0 | 9 | 4 | 0 | 0 | 9 | 9 | | | | |
| 5 | | 8 | | 0 | 8 | 0 | 1 | | | | | | | | |
| 6 | | | 9 | 0 | 8 | 9 | 2 | 0 | | | 0 | 48 | 30 | 0 | 78 |
| 7 | 15 | 3 | 2 | 15 | 11 | 11 | 3 | 15 | 11 | | 26 | | | | |
| 8 | | 25 | 4 | 0 | 25 | 15 | 4 | 0 | 25 | 15 | 40 | | | | |
| 9 | | | 5 | 0 | 0 | 5 | 1 | | | | | | | | |
| 10 | | | 6 | 0 | 0 | 11 | 2 | 0 | | | 0 | 48 | 30 | 0 | 78 |
| 11 | | 5 | | 0 | 5 | 11 | 3 | 0 | 5 | | 5 | | | | |
| 12 | | | 8 | 0 | 0 | 19 | 4 | 0 | 0 | 19 | 19 | | | | |
| 13 | 33 | 28 | 1 | 33 | 28 | 1 | 1 | | | | | | | | |
| 14 | 4 | 4 | 7 | 37 | 32 | 8 | 2 | 37 | | | 37 | 48 | 30 | 92.5 | 171 |
| 15 | 12 | | 6 | 12 | 32 | 14 | 3 | 12 | 32 | | 44 | | | | |
| 16 | 42 | 2 | | 42 | 2 | 14 | 4 | 42 | 2 | 14 | 58 | | | | |
| 17 | 20 | | 12 | 20 | 0 | 12 | 1 | | | | | | | | |
| 18 | 2 | | 2 | 22 | 0 | 14 | 2 | 22 | | | 22 | 48 | 30 | 55 | 133 |
| 19 | 7 | 1 | 4 | 7 | 1 | 18 | 3 | 7 | 1 | | 8 | | | | |
| 20 | | 23 | | 0 | 23 | 18 | 4 | 0 | 23 | 18 | 41 | | | | |
| 21 | 11 | | 3 | 11 | 0 | 3 | 1 | | | | | | | | |
| 22 | 5 | 10 | 5 | 16 | 10 | 8 | 2 | 16 | | | 16 | 48 | 30 | 40 | 118 |
| 23 | 13 | | 4 | 13 | 10 | 12 | 3 | 13 | 10 | | 23 | | | | |
| 24 | 19 | 16 | 4 | 19 | 16 | 16 | 4 | 19 | 16 | 16 | 51 | | | | |
| 25 | 15 | 4 | 2 | 15 | 4 | 2 | 1 | | | | | | | | |
| 26 | 2 | | 5 | 17 | 4 | 7 | 2 | 17 | | | 17 | 48 | 30 | 42.5 | 121 |
| 27 | 17 | | 5 | 17 | 4 | 12 | 3 | 17 | 4 | | 21 | | | | |
| 28 | 1 | 2 | 4 | 1 | 2 | 16 | 4 | 1 | 2 | 16 | 19 | | | | |
| 29 | 10 | | 5 | 10 | 0 | 5 | 1 | | | | | | | | |
| 30 | | 9 | 5 | 10 | 9 | 10 | 2 | 10 | | | 10 | 48 | 30 | 25 | 103 |
| 31 | 17 | 3 | 8 | 17 | 12 | 18 | 3 | 17 | 12 | | 29 | | | | |
| 32 | 7 | | 2 | 7 | 0 | 20 | 4 | 7 | 0 | 20 | 27 | | | | |
| 33 | 14 | | 3 | 14 | 0 | 3 | 1 | | | | | | | | |
| 34 | | 25 | 3 | 14 | 25 | 6 | 2 | 14 | | | 14 | 48 | 30 | 35 | 113 |
| 35 | 19 | | 3 | 19 | 25 | 9 | 3 | 19 | 25 | | 44 | | | | |
| 36 | | | 4 | 0 | 0 | 13 | 4 | 0 | 0 | 13 | 13 | | | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|-----|------|-----|------|----|----|----|----|------|------|
| 37 | | 7 | 0 | 0 | 7 | 1 | | | | | | |
| 38 | 23 | 4 | 23 | 0 | 11 | 2 | 23 | | 23 | 48 | 30 | 57.5 |
| 39 | 12 | 2 | 3 | 12 | 2 | 14 | 3 | 12 | 2 | 14 | | |
| 40 | 4 | 3 | | 4 | 3 | 14 | 4 | 4 | 3 | 14 | 21 | |
| 41 | 20 | | 4 | 20 | 0 | 4 | 1 | | | | | |
| 42 | 5 | | 3 | 25 | 0 | 7 | 2 | 25 | | 25 | 48 | 30 |
| 43 | 15 | 4 | 2 | 15 | 4 | 9 | 3 | 15 | 4 | 19 | | 62.5 |
| 44 | 4 | | 8 | 4 | 0 | 17 | 4 | 4 | 0 | 17 | 21 | 141 |
| 45 | 13 | 20 | 2 | 13 | 20 | 2 | 1 | | | | | |
| 46 | 3 | | 7 | 16 | 20 | 9 | 2 | 16 | | 16 | 48 | 30 |
| 47 | 7 | | 9 | 7 | 20 | 18 | 3 | 7 | 20 | | 27 | |
| 48 | 15 | | 5 | 15 | 0 | 23 | 4 | 15 | 0 | 23 | 38 | |
| 49 | 8 | 28 | 2 | 8 | 28 | 2 | 1 | | | | | |
| 50 | 31 | | 4 | 39 | 28 | 6 | 2 | 39 | | 39 | 48 | 30 |
| 51 | 13 | | 6 | 13 | 28 | 12 | 3 | 13 | 28 | | 41 | |
| 52 | | | 3 | 0 | 0 | 15 | 4 | 0 | 0 | 15 | 15 | |
| | | | Moy | 11.8 | 9.5 | 10.3 | | | | | 16.8 | 120 |
| | | | Min | 0 | 0 | 0 | | | | | 0 | 78 |
| | | | Max | 42 | 32 | 23 | | | | | 39 | 176 |

ANNEXE L- ANALYSE DÉTAILLÉE DES TOURNÉES DE VÉHICULES

a) Scénario 1

Le tableau L-1 présente le nombre de charges entreposées de MDR pour chaque site de transit du scénario 1. Les sites de transit de Hull et Val-d'Or ont une valeur maximum d'entreposage qui dépasse le maximum de 30 charges qui était spécifié dans les hypothèses pour les tournées de véhicules. Après vérification des données, le maximum de capacité d'entreposage est dépassé une seule fois pour le site de transit de Val-d'Or puisqu'il y a une semaine où 37 charges sont reçues. Par contre, la situation est plus fréquente, 7 fois, pour le site de transit de Hull. Il y a trois semaines où la réception de MDR est plus grande que la capacité d'entreposage. Il est possible d'augmenter la fréquence de visite du site de façon à y aller à chaque semaine. La quantité entreposée au site de transit de Jarry est supérieure à quatre reprises à la capacité d'entreposage. En augmentant la fréquence de visites au site, il est possible d'éliminer seulement une des situations puisque les trois autres sont dues à un nombre de charges plus élevé que 30. À une occasion, la quantité de charges reçues au site de transit de Vaudreuil dans une semaine est supérieure à la capacité d'entreposage aussi. Pour ce qui est du CRMD #3, les sites de transit de St-Bruno, St-Jean, Châteauguay, CERV/IREQ et Trois-Rivières dépassent la capacité d'entreposage à plusieurs reprises. La capacité d'entreposage des sites de transit de Rimouski, Carleton, Baie-Comeau et Chibougamau excède celle permise. Toutefois, la moyenne de charges entreposées d'aucun des sites ne dépasse la capacité de 30 charges. Ceci démontre que les tournées sont suffisamment fréquentes pour ne pas engorger les sites de transit. Souvent, la capacité est dépassée parce qu'il arrive beaucoup plus de charges en une semaine que ne le permet la capacité du site de transit.

Tableau L-1 Nombre de charges entreposées de MDR du scénario 1

| Subdivision | Site de transit | Nombre de charges entreposées | | |
|--------------|------------------|-------------------------------|---------|---------|
| | | Moyenne | Minimum | Maximum |
| CRMD #1 | | | | |
| Autres sites | Valleyfield | 7,1 | 0 | 28 |
| | Blainville | 7,5 | 0 | 20 |
| | Hull | 14,8 | 0 | 50 |
| | Papineauville | 1,9 | 0 | 6 |
| | Rawdon | 4,1 | 0 | 11 |
| | Laval | 7,6 | 0 | 23 |
| Grand Nord | St-Jovite | 5,1 | 0 | 27 |
| | Mont-Laurier | 1,3 | 0 | 5 |
| | Rouyn-Noranda | 9,6 | 0 | 30 |
| | Amos | 2,3 | 0 | 15 |
| | Val d'Or | 2,8 | 0 | 37 |
| CRMD #2 | | | | |
| Aucune | Jarry | 11,8 | 0 | 42 |
| | Vaudreuil | 9,5 | 0 | 32 |
| | Joliette | 10,3 | 0 | 23 |
| CRMD #3 | | | | |
| Est | St-Bruno | 8,7 | 0 | 34 |
| | St-Jean | 3,5 | 0 | 39 |
| | Châteauguay | 12,4 | 0 | 56 |
| | CERV/IREQ | 6,9 | 0 | 53 |
| Ouest | Sorel | 4,7 | 0 | 16 |
| | Drummondville | 6,5 | 0 | 25 |
| | Victoriaville | 5,8 | 0 | 28 |
| | Granby | 5,2 | 0 | 21 |
| | Sherbrooke | 6,7 | 0 | 29 |
| | Trois-Rivières | 17,6 | 0 | 60 |
| CRMD #4 | | | | |
| Sud Est | Thetford-Mines | 7,5 | 0 | 27 |
| | Lévis | 5,5 | 0 | 21 |
| | Rimouski | 10,0 | 0 | 42 |
| | Rivières du Loup | 6,3 | 0 | 27 |
| | Gaspé | 0,8 | 0 | 5 |
| | Carleton | 2,3 | 0 | 36 |
| Nord Est | Beauport | 8,8 | 0 | 25 |
| | Baie-Comeau | 11,1 | 0 | 68 |
| | Sept-Îles | 6,1 | 0 | 32 |
| | Forestville | 4,8 | 0 | 21 |

Tableau L-1 Nombre de charges entreposées de MDR du scénario 1 (suite)

| Subdivision | Site de transit | Nombre de charges entreposées | | |
|-------------|-----------------|-------------------------------|---------|---------|
| | | Moyenne | Minimum | Maximum |
| CRMD #4 | | | | |
| Nord Ouest | Chicoutimi | 8,2 | 0 | 27 |
| | Chibougamau | 1,7 | 0 | 41 |

Le tableau L-2 donne de l'information concernant l'utilisation du camion pour les tournées du scénario 1. Une première constatation à faire est que la capacité du camion n'est jamais dépassée sauf à une seule occasion sur les 325. La capacité du camion est excédée lors de la tournée 1-3-1 de la subdivision Est du CRMD #3. La quantité excédentaire dans ce cas peut être laissée sur place et ramassée la semaine suivante sans que cela ne cause de problème. Cette situation survient suite à l'arrivée d'une grande quantité de MDR au site de transit de Châteauguay. Dans les autres cas, aucune charge n'est laissée à un site de transit faute de place dans le camion. La moyenne du nombre de charges est légèrement inférieure à celle obtenue en prenant des données mensuelles. De plus, il y a une plus grande variation entre le minimum et maximum. Il est à noter que plusieurs fois aucune charge n'est transportée puisque la valeur minimum est de zéro.

La durée des tournées en minutes pour le scénario 1 est donnée au tableau L-3. L'analyse montre qu'il y a plusieurs tournées qui durent beaucoup moins d'une journée en moyenne (1-1-1, 1-1-4, 1-2-1, 1-2-2, 1-3-2, 1-4-2, 1-4-4). Ces tournées peuvent être intégrées avec d'autres tournées s'il reste suffisamment de temps dans la journée.

Plusieurs tournées ont une durée moyenne de près de une journée. Cependant, lorsque les quantités maximales rencontrées sont transportées sur ces tournées, la durée de celle-ci excède la durée d'une journée. Puisque les tournées ont été faites avec des longueurs de journées réduites (450 minutes), le nombre de fois qu'une tournée ne peut pas être faite à l'intérieur du temps prévu est faible. La tournée 1-1-3 est un exemple de cette situation. La variation entre la durée minimum et maximum est rarement de plus de 150

minutes sauf pour la tournée 1-3-1. Ces écarts s'expliquent par les variations du nombre de charges à prendre.

Tableau L-2 Nombre de charges transportées de MDR du scénario 1

| Tour | Nombre prévu de charges | Nombre de charges transportées | | |
|-----------------|-------------------------|--------------------------------|---------|---------|
| | | Moyenne | Minimum | Maximum |
| CRMD #1 | | | | |
| 1-1-1 | 34 | 27 | 0 | 47 |
| 1-1-2 | 34 | 30 | 9 | 54 |
| 1-1-3 | 28 | 36 | 4 | 65 |
| 1-1-4 | 18 | 8 | 0 | 19 |
| 1-1-5 | 37 | 32 | 7 | 52 |
| 1-1-6 | 12 | 11 | 4 | 42 |
| CRMD #2 | | | | |
| 1-2-1 | 13 | 17 | 0 | 39 |
| 1-2-2 | 24 | 25 | 5 | 44 |
| 1-2-3 | 41 | 29 | 9 | 58 |
| CRMD #3 | | | | |
| 1-3-1 | 34 | 38 | 7 | 97 |
| 1-3-2 | 38 | 21 | 0 | 52 |
| 1-3-3 | 32 | 34 | 1 | 69 |
| 1-3-4 | 27 | 26 | 0 | 54 |
| 1-3-5 | 38 | 29 | 0 | 63 |
| 1-3-6 | 26 | 20 | 0 | 53 |
| 1-3-7 | 29 | 44 | 12 | 76 |
| CRMD #4 | | | | |
| 1-4-1 | 47 | 45 | 0 | 86 |
| 1-4-2 | 11 | 12 | 0 | 27 |
| 1-4-3 | 20 | 19 | 0 | 40 |
| 1-4-4 | 22 | 13 | 3 | 25 |
| 1-4-5 | 40 | 34 | 0 | 65 |
| 1-4-6 et 1-4-7 | 19 | 15 | 0 | 54 |
| 1-4-8 | 12 | 18 | 0 | 68 |
| 1-4-9 et 1-4-10 | 17 | 15 | 0 | 41 |

b) Scénario 2

Le nombre de charges entreposées de MDR du scénario 2 est donné au tableau L-4.

Aucun site de transit ne se retrouve en moyenne avec plus de charges entreposées que sa

capacité. Toutefois, encore une fois la capacité d'entreposage de nombreux sites de transit est dépassée et ce à plusieurs reprises.

Tableau L-3 Durée des tournées du scénario 1

| Tour | Durée prévue (jour) | Durée (minutes) | | |
|-----------------|------------------------|-----------------|---------|---------|
| | | Moyenne | Minimum | Maximum |
| CRMD #1 | | | | |
| 1-1-1 | 1 | 270 | 203 | 321 |
| 1-1-2 | 1 | 435 | 385 | 497 |
| 1-1-3 | 1 | 462 | 384 | 537 |
| 1-1-4 | 1 | 293 | 274 | 322 |
| 1-1-5 | 2 | 887 | 827 | 939 |
| 1-1-6 | 3 | 1 005 | 988 | 1 083 |
| CRMD #2 | | | | |
| 1-2-1 | 1 | 120 | 78 | 176 |
| 1-2-2 | 1 | 206 | 158 | 255 |
| 1-2-3 | 1 | 300 | 251 | 373 |
| CRMD #3 | | | | |
| 1-3-1 | 1 | 299 | 224 | 449 |
| 1-3-2 | 1 | 257 | 205 | 335 |
| 1-3-3 | 1 | 309 | 228 | 398 |
| 1-3-4 | 1 | 299 | 235 | 370 |
| 1-3-5 | 1 | 349 | 288 | 436 |
| 1-3-6 | 1 | 301 | 252 | 385 |
| 1-3-7 | 1 | 446 | 366 | 526 |
| CRMD #4 | | | | |
| 1-4-1 | 3 | 1 303 | 1 190 | 1 405 |
| 1-4-2 | 1 | 214 | 186 | 254 |
| 1-4-3 | 2 | 899 | 853 | 953 |
| 1-4-4 | 1 | 253 | 231 | 286 |
| 1-4-5 | 3 | 1 120 | 1 036 | 1 199 |
| 1-4-6 et 1-4-7 | 2 | 703 | 667 | 802 |
| 1-4-8 | 2 | 697 | 652 | 822 |
| 1-4-9 et 1-4-10 | 2 | 890 | 854 | 957 |

L'information en ce qui a trait à l'utilisation du camion pour les tournées des CRMD du scénario 2 est donnée au tableau L-5. La capacité du camion n'est jamais excédée lors les tournées. Les constats sont très similaires au scénario 1 quant à la moyenne et la

variation. Dans ce scénario aussi, à plusieurs reprises aucune charge n'est transportée pour plus de la moitié des tournées.

Tableau L-4 Nombre de charges entreposées de MDR du scénario 2

| Subdivision | Site de transit | Nombre de charges entreposées | | |
|--------------|------------------|-------------------------------|---------|---------|
| | | Moyenne | Minimum | Maximum |
| CRMD #1 | | | | |
| Grand Nord | St-Jovite | 5,1 | 0 | 27 |
| | Mont-Laurier | 1,3 | 0 | 5 |
| | Rouyn-Noranda | 9,6 | 0 | 30 |
| | Amos | 2,3 | 0 | 15 |
| | Val d'Or | 2,8 | 0 | 37 |
| Ouest | Hull | 14,8 | 0 | 50 |
| | Papineauville | 1,9 | 0 | 6 |
| Sud | St-Hyacinthe | 7,7 | 0 | 25 |
| | Sorel | 3,8 | 0 | 23 |
| | St-Bruno | 8,7 | 0 | 34 |
| | Granby | 5,1 | 0 | 21 |
| | St-Jean | 5,1 | 0 | 39 |
| | Sherbrooke | 5,8 | 0 | 29 |
| | CERV/IREQ | 7,1 | 0 | 53 |
| Centre Ouest | Valleyfield | 5,7 | 0 | 22 |
| | Châteauguay | 12,9 | 0 | 51 |
| | Vaudreuil | 9,5 | 0 | 32 |
| Centre | Bout-de-l'Île | 14,5 | 0 | 70 |
| | Jarry | 11,9 | 0 | 54 |
| Lanaudière | Blainville | 8,1 | 0 | 23 |
| | Joliette | 9,8 | 0 | 20 |
| | Rawdon | 3,8 | 0 | 15 |
| | Laval | 9,2 | 0 | 26 |
| CRMD #4 | | | | |
| Sud Est | Lévis | 6,7 | 0 | 23 |
| | Rimouski | 10,0 | 0 | 42 |
| | Rivières du Loup | 7,9 | 0 | 24 |
| | Gaspé | 1,2 | 0 | 7 |
| | Carleton | 2,3 | 0 | 36 |
| Sud Ouest | Thetford-Mines | 8,5 | 0 | 32 |
| | Drummondville | 7,1 | 0 | 20 |
| | Victoriaville | 3,7 | 0 | 28 |
| Nord Ouest | Trois-Rivières | 17,6 | 0 | 60 |
| | Beauport | 8,8 | 0 | 25 |

Tableau L-4 Nombre de charges entreposées de MDR du scénario 2 (suite)

| Subdivision | Site de transit | Nombre de charges entreposées | | |
|-------------|-----------------|-------------------------------|---------|---------|
| | | Moyenne | Minimum | Maximum |
| CRMD #4 | | | | |
| Nord Est | Baie-Comeau | 11,1 | 0 | 68 |
| | Sept-Îles | 6,1 | 0 | 32 |
| | Forestville | 4,8 | 0 | 21 |
| Nord Nord | Chicoutimi | 8,2 | 0 | 27 |
| | Chibougamau | 1,7 | 0 | 41 |

Tableau L-5 Nombre de charges transportées de MDR du scénario 2

| Tour | Nombre prévu de charges | Nombre de charges transportées | | |
|--------------------------|-------------------------|--------------------------------|---------|---------|
| | | Moyenne | Minimum | Maximum |
| CRMD #1 | | | | |
| 2-1-1 | 45 | 32 | 7 | 52 |
| 2-1-2 | 19 | 11 | 4 | 42 |
| 2-1-3 et 2-1-5 | 18 | 17 | 0 | 50 |
| 2-1-4 | 22 | 17 | 2 | 34 |
| 2-1-6 | 39 | 39 | 0 | 88 |
| 2-1-7 | 26 | 20 | 5 | 54 |
| 2-1-8 | 41 | 37 | 10 | 65 |
| 2-1-9 | 16 | 16 | 0 | 34 |
| 2-1-10 | 37 | 37 | 8 | 78 |
| 2-1-11 | 27 | 18 | 0 | 42 |
| 2-1-12, 2-1-13 et 2-1-14 | 29 | 24 | 0 | 84 |
| 2-1-15 | 16 | 21 | 4 | 70 |
| 2-1-16 | 38 | 32 | 0 | 48 |
| 2-1-17 | 26 | 25 | 9 | 39 |
| CRMD #4 | | | | |
| 2-4-1 | 31 | 37 | 0 | 68 |
| 2-4-2 | 46 | 32 | 4 | 54 |
| 2-4-3 | 11 | 16 | 0 | 32 |
| 2-4-4 | 30 | 20 | 0 | 38 |
| CRMD #4 | | | | |
| 2-4-5 | 7 | 7 | 0 | 28 |
| 2-4-6 et 2-4-9 | 19 | 15 | 0 | 54 |
| 2-4-7 | 24 | 20 | 0 | 47 |
| 2-4-8 | 12 | 18 | 0 | 68 |
| 2-4-10 | 35 | 33 | 0 | 65 |
| 2-4-11, 2-4-12 et 2-4-13 | 19 | 17 | 0 | 60 |
| 2-4-14 et 2-4-15 | 17 | 15 | 0 | 41 |

Les durées des tournées du scénario 2 sont présentées au tableau L-6. Les tournées suivantes ont une durée d'environ une demi-journée : 2-1-9, 2-1-11, 2-1-12, 2-1-13 et 2-1-14, 2-1-152-1-17, 2-4-3, 2-4-5, 2-4-11, 2-4-12 et 2-4-13. Les tournées 2-1-1 et 2-4-7 ont des durées prévues de trois jours bien que la troisième journée comporte moins de trois heures de travail. Pour la tournée 2-4-1, la durée prévue est de deux jours mais en moyenne la tournée demande un peu plus de deux jours. La variation des durées est similaire au scénario 1.

Tableau L-6 Durée des tournées du scénario 2

| Tour | Durée prévue (jour) | Durée (minutes) | | |
|--------------------------|------------------------|-----------------|---------|---------|
| | | Moyenne | Minimum | Maximum |
| CRMD #1 | | | | |
| 2-1-1 | 3 | 1 101 | 1 041 | 1 153 |
| 2-1-2 | 2 | 791 | 774 | 869 |
| 2-1-3 et 2-1-5 | 1 | 316 | 274 | 399 |
| 2-1-4 | 1 | 344 | 307 | 387 |
| 2-1-6 | 1 | 403 | 307 | 527 |
| 2-1-7 | 1 | 398 | 362 | 484 |
| 2-1-8 | 1 | 389 | 323 | 461 |
| 2-1-9 | 1 | 179 | 140 | 225 |
| 2-1-10 | 1 | 325 | 254 | 429 |
| 2-1-11 | 1 | 240 | 196 | 301 |
| 2-1-12, 2-1-13 et 2-1-14 | 1 | 222 | 163 | 373 |
| 2-1-15 | 1 | 192 | 150 | 315 |
| 2-1-16 | 1 | 297 | 218 | 338 |
| 2-1-17 | 1 | 189 | 151 | 226 |
| CRMD #4 | | | | |
| 2-4-1 | 2 | 949 | 858 | 1 028 |
| 2-4-2 | 3 | 1 270 | 1 200 | 1 325 |
| 2-4-3 | 1 | 222 | 184 | 264 |
| 2-4-4 | 1 | 402 | 353 | 448 |
| 2-4-5 | 1 | 203 | 186 | 256 |
| 2-4-6 et 2-4-9 | 2 | 703 | 667 | 802 |
| 2-4-7 | 3 | 1 065 | 1 016 | 1 134 |
| 2-4-8 | 2 | 697 | 652 | 822 |
| 2-4-10 | 1 | 305 | 224 | 387 |
| 2-4-11, 2-4-12 et 2-4-13 | 1 | 234 | 192 | 342 |
| 2-4-14 et 2-4-15 | 2 | 891 | 855 | 958 |

c) *Scénario 3*

Le tableau L-7 montre le nombre de charges entreposées de MDR du scénario 3. La capacité d'entreposage de plusieurs sites de transit est dépassée à plusieurs reprises. Toutefois, le nombre moyen de charges entreposées n'est pas plus grand que la capacité d'entreposage pour chaque site de transit.

Tableau L-7 Nombre de charges entreposées de MDR du scénario 3

| Subdivision | Site de transit | Nombre de charges entreposées | | |
|----------------|-----------------|-------------------------------|---------|---------|
| | | Moyenne | Minimum | Maximum |
| CRMD #1 | | | | |
| Combiné | Blainville | 7,5 | 0 | 20 |
| | Hull | 14,8 | 0 | 50 |
| | Papineauville | 2,1 | 0 | 6 |
| | Joliette | 10,3 | 0 | 23 |
| | Rawdon | 4,1 | 0 | 11 |
| | Laval | 7,6 | 0 | 23 |
| | Mont-Laurier | 1,4 | 0 | 6 |
| | Rouyn-Noranda | 6,5 | 0 | 23 |
| | Val d'Or | 2,8 | 0 | 37 |
| | St-Jovite | 5,1 | 0 | 27 |
| Additionnel | Amos | 2,3 | 0 | 15 |
| | CRMD #2 | | | |
| Combiné | Jarry | 11,8 | 0 | 42 |
| CRMD #3 | | | | |
| Combinées | St-Bruno | 8,0 | 0 | 38 |
| | St-Jean | 3,2 | 0 | 39 |
| | Vaudreuil | 6,8 | 0 | 32 |
| | Valleyfield | 2,6 | 0 | 15 |
| | Châteauguay | 12,9 | 0 | 51 |
| | CERV/IREQ | 6,1 | 0 | 53 |
| | Sorel | 2,9 | 0 | 16 |
| | Drummondville | 6,5 | 0 | 23 |
| | Granby | 5,7 | 0 | 21 |
| | Sherbrooke | 7,5 | 0 | 29 |
| Additionnelles | Trois-Rivières | 17,6 | 0 | 60 |
| | Victoriaville | 5,8 | 0 | 28 |

Tableau L-7 Nombre de charges entreposées de MDR du scénario 3 (suite)

| Subdivision | Site de transit | Nombre de charges entreposées | | |
|----------------|------------------|-------------------------------|---------|---------|
| | | Moyenne | Minimum | Maximum |
| CRMD #4 | | | | |
| Combinées | Thetford-Mines | 7,5 | 0 | 27 |
| | Lévis | 6,7 | 0 | 23 |
| | Rimouski | 10,0 | 0 | 42 |
| | Rivières du Loup | 4,1 | 0 | 20 |
| | Beauport | 10,9 | 0 | 37 |
| | Baie-Comeau | 11,1 | 0 | 68 |
| | Chicoutimi | 8,2 | 0 | 27 |
| Additionnelles | Gaspé | 0,8 | 0 | 5 |
| | Carleton | 2,3 | 0 | 36 |
| | Sept-Îles | 6,1 | 0 | 32 |
| | Forestville | 4,4 | 0 | 22 |
| | Chibougamau | 1,7 | 0 | 41 |

Le tableau L-8 présente l'information concernant l'utilisation des camions pour les tournées du scénario 3. La grande différence avec les deux premiers scénarios, c'est que l'utilisation des camions pour les tournées combinées est très faible. Ceci est attribuable au fait que souvent un seul site de transit est visité.

Le tableau L-9 donne le temps requis pour faire la collecte des MDR pour les tournées combinées du scénario 3. La majorité des tournées peuvent être combinées si le temps disponible sur ces tournées est de 90 minutes ou moins. La seule tournée qui demande plus de temps est la tournée 3-3-8 avec 132 minutes en moyenne parce que trois sites de transit sont visités. La durée des tournées additionnelles du scénario 3 est donnée au tableau L-10. La tournée 3-1-14 est de moins de trois heures tandis que la dernière journée des tournées 3-4-14, 3-4-18 et 3-4-19 comporte moins de trois heures de travail.

d) Scénario 4

Les tournées combinées pour le scénario 4 sont les mêmes que celles des CRMD #3 et #4 du scénario 3. Le tableau L-11 montre le nombre de charges entreposées de MDR du scénario 4 pour les sites de transit dont les tournées sont différentes du scénario 3. Le tableau L-12 donne de l'information sur l'utilisation du camion pour les tournées

additionnelles du scénario 4 par rapport au scénario 3. Les constatations sont les mêmes que celles du scénario 3. Le tableau L-13 présente le temps requis pour faire la collecte des MDR pour les tournées combinées du scénario 4. La majorité des tournées peuvent être combinées si le temps disponible sur ces tournées est de 120 minutes ou moins. Le tableau L-14 donne la durée des tournées additionnelles du scénario 4. La tournée 4-3-11 a une durée prévue de trois jours sauf que la troisième journée comporte moins d'une heure de travail en moyenne. Les tournées 4-3-20, 4-3-21 et 4-3-21 ont une durée prévue de deux jours demandant à peine quelques minutes de plus qu'une journée.

Tableau L-8 Nombre de charges transportées de MDR du scénario 3

| Tour | Nombre prévu de charges | Nombre de charges transportées | | |
|-----------------------|-------------------------|--------------------------------|---------|---------|
| | | Moyenne | Minimum | Maximum |
| CRMD #1 | | | | |
| 3-1-1 | 8 | 7 | 0 | 11 |
| 3-1-2 | 3 | 2 | 0 | 6 |
| 3-1-3, 3-1-4 et 3-1-5 | 18 | 16 | 0 | 50 |
| 3-1-6 | 4 | 4 | 0 | 6 |
| 3-1-7 et 3-1-8 | 20 | 12 | 0 | 45 |
| 3-1-9 et 3-1-10 | 12 | 11 | 0 | 23 |
| 3-1-11 | 14 | 11 | 0 | 20 |
| 3-1-12 | 17 | 17 | 9 | 23 |
| 3-1-13 | 12 | 11 | 2 | 27 |
| 3-1-14 | 8 | 7 | 4 | 15 |
| CRMD #2 | | | | |
| 3-2-1, 3-2-2 et 3-2-3 | 13 | 12 | 0 | 42 |
| CRMD #3 | | | | |
| 3-3-1 et 3-3-2 | 17 | 15 | 0 | 63 |
| 3-3-3 et 3-3-4 | 16 | 15 | 0 | 38 |
| 3-3-5, 3-3-6 et 3-3-7 | 20 | 17 | 0 | 51 |
| 3-3-8 | 32 | 29 | 3 | 70 |
| 3-3-9 et 3-3-10 | 10 | 9 | 0 | 53 |
| 3-3-11 et 3-3-12 | 26 | 23 | 0 | 60 |
| 3-3-13 et 3-3-14 | 19 | 19 | 0 | 53 |
| CRMD #4 | | | | |
| 3-4-1 | 16 | 19 | 0 | 37 |
| 3-4-2 et 3-4-3 | 16 | 15 | 0 | 42 |
| 3-4-4 et 3-4-5 | 13 | 12 | 0 | 27 |
| 3-4-6 et 3-4-7 | 11 | 10 | 0 | 27 |
| 3-4-8 à 3-4-11 | 12 | 11 | 0 | 68 |

Tableau L-8 Nombre de charges transportées de MDR du scénario 3 (suite)

| Tour | Nombre prévu de charges | Nombre de charges transportées | | |
|------------------|----------------------------|--------------------------------|---------|---------|
| | | Moyenne | Minimum | Maximum |
| CRMD #4 | | | | |
| 3-4-12 et 3-4-13 | 18 | 16 | 0 | 36 |
| 3-4-14 | 6 | 7 | 0 | 36 |
| 3-4-15 | 4 | 3 | 0 | 17 |
| 3-4-16 et 3-4-17 | 4 | 3 | 0 | 41 |
| 3-4-18 | 19 | 16 | 0 | 43 |
| 3-4-19 | 7 | 7 | 0 | 22 |

Tableau L-9 Temps requis supplémentaires des tournées combinées du scénario 3

| Tour | Temps requis (minutes) | | |
|-----------------------|------------------------|---------|---------|
| | Moyenne | Minimum | Maximum |
| CRMD #1 | | | |
| 3-1-1 | 46 | 30 | 58 |
| 3-1-2 | 35 | 30 | 45 |
| 3-1-3, 3-1-4 et 3-1-5 | 70 | 30 | 155 |
| 3-1-6 | 39 | 30 | 45 |
| 3-1-7 et 3-1-8 | 75 | 45 | 158 |
| 3-1-9 et 3-1-10 | 57 | 30 | 88 |
| 3-1-11 | 58 | 30 | 80 |
| 3-1-12 | 71 | 53 | 88 |
| CRMD #2 | | | |
| 3-2-1, 3-2-2 et 3-2-3 | 60 | 30 | 135 |
| CRMD #3 | | | |
| 3-3-1 et 3-3-2 | 82 | 45 | 203 |
| 3-3-3 et 3-3-4 | 82 | 45 | 140 |
| 3-3-5, 3-3-6 et 3-3-7 | 88 | 45 | 173 |
| 3-3-8 | 132 | 68 | 235 |
| 3-3-9 et 3-3-10 | 52 | 30 | 163 |
| CRMD #4 | | | |
| 3-4-1 | 76 | 30 | 123 |
| 3-4-2 et 3-4-3 | 66 | 30 | 135 |
| 3-4-4 et 3-4-5 | 59 | 30 | 98 |
| 3-4-6 et 3-4-7 | 54 | 30 | 98 |
| 3-4-8 à 3-4-11 | 58 | 30 | 200 |
| 3-4-12 et 3-4-13 | 84 | 45 | 135 |

Tableau L-10 Durée des tournées additionnelles du scénario 3

| Tour | Durée prévue (jour) | Temps requis (minutes) | | |
|------------------|------------------------|------------------------|---------|---------|
| | | Moyenne | Minimum | Maximum |
| CRMD #1 | | | | |
| 3-1-13 | 2 | 892 | 871 | 934 |
| 3-1-14 | 1 | 157 | 151 | 179 |
| CRMD #3 | | | | |
| 3-3-11 et 3-3-12 | 1 | 299 | 252 | 385 |
| 3-3-13 et 3-3-14 | 1 | 249 | 192 | 342 |
| CRMD #4 | | | | |
| 3-4-14 | 3 | 1 151 | 1 136 | 1 226 |
| 3-4-15 | 2 | 828 | 822 | 865 |
| 3-4-16 et 3-4-17 | 2 | 805 | 798 | 901 |
| 3-4-18 | 3 | 1 057 | 1 017 | 1 125 |
| 3-4-19 | 2 | 519 | 502 | 557 |

Tableau L-11 Nombre de charges entreposées de MDR du scénario 4

| Subdivision | Site de transit | Nombre de charges entreposées | | |
|---------------------------|-----------------|-------------------------------|---------|---------|
| | | Moyenne | Minimum | Maximum |
| CRMD #3 | | | | |
| Additionnelles | St-Jovite | 5,1 | 0 | 27 |
| | Mont-Laurier | 1,3 | 0 | 6 |
| | Rouyn-Noranda | 9,6 | 0 | 30 |
| | Amos | 2,3 | 0 | 15 |
| | Val-d'Or | 2,8 | 0 | 37 |
| | Rawdon | 3,8 | 0 | 15 |
| | Blainville | 8,1 | 0 | 23 |
| | Laval | 9,6 | 0 | 34 |
| | Joliette | 9,8 | 0 | 20 |
| | St-Jérôme | 10,8 | 0 | 30 |
| | Bout-de-l'Île | 14,5 | 0 | 70 |
| | Jarry | 10,8 | 0 | 62 |
| Combinées supplémentaires | Hull | 14,8 | 0 | 50 |
| | Papineauville | 2,1 | 0 | 6 |
| CRMD #4 | | | | |
| Combinées supplémentaires | Trois-Rivières | 17,6 | 0 | 60 |
| | Victoriaville | 5,8 | 0 | 28 |

Tableau L-12 Nombre de charges transportées de MDR du scénario 4

| Tour | Nombre prévu de charges | Nombre de charges transportées | | |
|------------------|-------------------------|--------------------------------|---------|---------|
| | | Moyenne | Minimum | Maximum |
| CRMD #3 | | | | |
| 4-3-11 | 12 | 11 | 4 | 42 |
| 4-3-12 | 37 | 32 | 7 | 51 |
| 4-3-13 | 40 | 37 | 0 | 48 |
| 4-3-14 | 12 | 18 | 2 | 34 |
| 4-3-15 | 41 | 30 | 9 | 67 |
| 4-3-16 à 4-3-18 | 29 | 26 | 0 | 70 |
| 4-3-19 | 16 | 15 | 0 | 41 |
| 4-3-20 | 22 | 20 | 1 | 50 |
| 4-3-21 et 4-3-22 | 18 | 11 | 5 | 23 |
| CRMD #4 | | | | |
| 4-4-20 à 4-4-23 | 19 | 18 | 0 | 60 |
| 4-4-24 et 4-4-25 | 11 | 7 | 0 | 28 |

Tableau L-13 Temps requis supplémentaires des tournées combinées du scénario 4

| Tour | Temps requis (minutes) | | |
|------------------|------------------------|---------|---------|
| | Moyenne | Minimum | Maximum |
| CRMD #4 | | | |
| 4-4-20 à 4-4-23 | 75 | 30 | 180 |
| 4-4-24 et 4-4-25 | 46 | 30 | 100 |

Tableau L-14 Durée des tournées additionnelles du scénario 4

| Tour | Durée prévue (jour) | Temps requis (minutes) | | |
|------------------|---------------------|------------------------|---------|---------|
| | | Moyenne | Minimum | Maximum |
| CRMD #3 | | | | |
| 4-3-11 | 3 | 945 | 928 | 1 023 |
| 4-3-12 | 2 | 1 255 | 1 195 | 1 305 |
| 4-3-13 | 1 | 404 | 313 | 433 |
| 4-3-14 | 1 | 209 | 169 | 249 |
| 4-3-15 | 1 | 337 | 287 | 432 |
| 4-3-16 à 4-3-18 | 1 | 263 | 199 | 374 |
| 4-3-19 | 1 | 207 | 170 | 273 |
| 4-3-20 | 2 | 464 | 417 | 539 |
| 4-3-21 et 4-3-22 | 2 | 449 | 434 | 479 |