UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

STRATÉGIES LOGISTIQUES DES DONNEURS D'ORDRES OEUVRANT DANS LE DOMAINE DES MATIÈRES DANGEREUSES

MARIE-HÉLÈNE LEROUX
DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES ET DE GÉNIE INDUSTRIEL
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

THÈSE PRÉSENTÉE EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE PHILOSOPHIÆ DOCTOR (Ph.D.)
(GÉNIE INDUSTRIEL)
AVRIL 2010

© Marie-Hélène Leroux, 2010.

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Cette thèse intitulée:

STRATÉGIES LOGISTIQUES DES DONNEURS D'ORDRES OEUVRANT DANS LE DOMAINE DES MATIÈRES DANGEREUSES

Présentée par : LEROUX Marie-Hélène
en vue de l'obtention du diplôme de : philosophiæ doctor
a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. ROBERT Benoît, ing., Ph. D., président
Mme DE MARCELLIS-WARIN Nathalie, Doct., membre et directrice de recherche
M. TRÉPANIER Martin, ing., Ph.D., membre et codirecteur de recherche
M. SINCLAIR-DESGAGNÉ Bernard, Ph.D., membre
M. BIGRAS Yvon, Ph. D., membre externe

REMERCIEMENTS

J'aimerais profiter de ces quelques lignes pour remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à cette thèse de doctorat. Mes directeurs de recherche, Nathalie de Marcellis-Warin et Martin Trépanier, pour leur appui. Je leur serai toujours reconnaissante de m'avoir donné la chance de participer à un projet aussi passionnant et motivant.

Le projet GLOBAL n'aurait pu voir le jour sans le soutien de nombreuses personnes. L'INERIS et ses partenaires qui en ont eu l'initiative et qui ont su démontrer son importance. Les partenaires canadiens sans qui la participation du CIRANO et de l'École Polytechnique de Montréal au projet n'aurait pu se concrétiser: le Ministère des Transports du Québec (MTQ), la Chaire CN en Intermodalité des Transports (Université de Montréal), l'Institut de recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité au travail (IRSST), le Centre de sécurité civile de la Ville de Montréal et Santé Canada.

Je ne peux passer sous silence l'apport de tous ceux ayant contribué directement à la thèse: Bruno Debray, Brigitte Nedelec et tout le personnel de l'INERIS qui m'ont chaleureusement accueillie et patiemment enseigné les bases de l'analyse des risques industriels, les entreprises ayant pris le temps de répondre à mes questions, que ce soit lors de l'enquête par questionnaire ou lors des études de cas, et la CSST pour avoir fourni de précieuses données accidentelles. Je dois également souligner le soutien financier du FQRNT, de l'INERIS et du CIRANO sans qui le déroulement de cette thèse aurait été beaucoup plus ardu.

J'aimerais prendre le temps de remercier personnellement Ingrid Peignier, Carl St-Pierre, pour son aide inestimable lors des analyses statistiques, ainsi que Raynald Boies (MTQ) et Marc Baril (IRSST) pour leur précieux soutien et commentaires tout au long du projet.

À ma famille, à Antoine et à mes amis, un merci bien spécial, pour tout.

RÉSUMÉ

Depuis plusieurs années, les accidents de matières dangereuses (Toulouse en 2001, Saint-Basile-le-Grand en 1988 ou Mississauga-Toronto en 1979) attirent avec raison l'attention du public, des gouvernements et des chercheurs. En raison de la croissance continue de ce secteur d'activité, le nombre d'accidents est appelé à augmenter si les mesures de mitigation du risque demeurent inchangées. Par conséquent, la population s'oppose de plus en plus à la venue d'activités industrielles à risque sur le territoire de leur collectivité. De nouvelles législations sont régulièrement introduites afin de régir ce domaine industriel et des méthodologies visant la minimisation des risques sont développées.

Pendant ce temps, les entreprises font face à un univers logistique complexe (choix d'un mode de transport, choix d'un transporteur, choix d'un fournisseur, prise en compte du coût, prise en compte des réglementations, prise en compte du risque, etc.) auquel les modèles développés par les chercheurs peuvent difficilement répondre. En effet, ces modèles étudient essentiellement le trajet exact emprunté par les matières dangereuses (planification tactique) et en mettant l'accent sur la minimisation des risques, suggèrent des choix allant parfois à l'encontre des réalités des entreprises qui doivent considérer la viabilité financière de chaque option.

Également, afin d'être compétitives les entreprises ont de plus en plus recours à la sous-traitance et sont portées à aller chercher leurs matières premières de plus en plus loin afin de diminuer les coûts d'achat. Ces pratiques peuvent augmenter le niveau de risque et certaines entreprises en sont très conscientes, cependant elles affirment que le critère risque ne peut simplement pas compétitionner avec le critère coût lors de la prise de décision logistique.

Il existe donc un besoin de voir apparaître des modèles d'optimisation des choix logistiques (planification stratégique) adoptant le point de vue des entreprises et vérifiant l'interaction entre les facteurs risque et coût afin de voir si les pertes encourues suite à un accident de matières dangereuses sont suffisamment élevées pour influencer les choix logistiques. Ce sont d'ailleurs les principaux objectifs de la thèse. Le point de vue des sites fixes est avant tout examiné puisqu'ils sont plus à même d'influencer la chaine logistique que ne le sont les transporteurs. Afin d'y parvenir, la situation actuelle doit premièrement être examinée. Ce document présente donc :

un examen critique de la littérature, une enquête portant sur les choix logistiques liés aux matières dangereuses, l'influence des facteurs organisationnels sur le niveau de risque puis finalement, le modèle d'aide à la décision développé (incluant l'analyse de sensibilité).

La littérature spécifique aux matières dangereuses a été examinée: statistiques sur les accidents de MD, analyse de risque, problèmes de localisation et de transport et gestion du risque. Bien que cette littérature soit riche et variée, il existe certaines lacunes : fractionnement de la chaîne logistique, modèles mal adaptés aux réalités des entreprises, facteurs organisationnels rarement pris en compte. Dans un tel contexte, on comprend pourquoi les entreprises ont de la difficulté à faire des choix logistiques éclairés. Le modèle d'aide à la décision devra donc tenir compte de ces aspects afin de mieux répondre aux besoins des entreprises.

Dans une phase exploratoire, une enquête par questionnaire a été envoyée à 490 sites fixes œuvrant dans le domaine des MD au Québec. 106 réponses ont été recueillies, ce qui porte le taux de réponse à 22,7% en excluant les 23 questionnaires retournés à l'expéditeur. Cette enquête a permis de constater que la plupart des entreprises adoptent des mesures de gestion du risque appropriées sur le site même de l'entreprise : comités de santé sécurité au travail (91,0%), espaces dédiés pour stocker les MD (95,1%). On observe que les sites fixes semblent se soucier peu des activités de transport qu'ils génèrent : peu d'audits de sécurité réalisés chez les sous-traitants (48,4% n'en réalisent jamais), moins d'analyses de risque en transport que sur le site fixe (27,8% en réalisent souvent ou toujours contre 58,6% sur le site fixe). Par ailleurs, des tests statistiques effectués (test de Mann-Whitney à l'aide du logiciel SPSS pour Windows, version 11.0) ont démontré que les grandes entreprises et les grands utilisateurs de MD adoptent de meilleures pratiques que les petites entreprises et les petits utilisateurs de matières dangereuses.

Un facteur de qualité organisationnelle venant pondérer le niveau de risque a été introduit dans cette thèse en partant du principe que, de par leurs pratiques, certaines entreprises seront plus sujettes aux accidents que d'autres (rejoignant ainsi la notion d'« *accident incubation period* » qui précède l'évènement catastrophique). Ce facteur de qualité organisationnelle α influence à la hausse ou à la baisse un niveau de risque physique, afin d'obtenir un risque réel. Des régressions linéaires (simples et multiples) ont été utilisées afin de croiser des données organisationnelles (résultats de l'enquête par questionnaire) et accidentelles (cotisations CSST) afin d'identifier les facteurs organisationnels ayant le plus grand impact sur les taux d'accident et d'élaborer un

modèle prédictif permettant d'estimer le facteur de qualité organisationnelle α d'une entreprise. En utilisant quasi-exclusivement des données historiques, cette façon de faire se distingue des techniques proposées jusqu'ici, reposant essentiellement sur le jugement d'experts. Au final, les facteurs organisationnels ayant le plus d'influence sur les taux d'accident recensés sont: le nombre de MD reçues, la prise en compte du critère « sécurité » lors des choix liés au transport et les contrats à long terme avec les sous-traitants.

Suite à ces différents travaux, le modèle d'aide à la décision a été élaboré à l'aide des méthodes classiques de recherche opérationnelle afin de guider les sites fixes lors de leurs choix logistiques MD. Afin de tenir simultanément compte du risque et des coûts, l'ensemble des conséquences possibles d'un accident est traduit en pertes financières et la part des coûts assumée par les entreprises est évaluée. Situé en aval de la planification tactique (choix des trajets exacts, etc.), ce modèle vise plutôt la planification stratégique de certains choix logistiques: le choix d'un fournisseur, d'un mode de transport et celui d'un transporteur. Des études de cas illustrant la mise en application du modèle ont été réalisées et ont soulevé quelques réalités intéressantes susceptibles d'influencer la prise de décision : le risque est rarement pris en compte, les choix logistiques sont parfois limités, les choix logistiques ne sont pas figés dans le temps, etc.

Les analyses de sensibilité, effectuées à partir de l'exemple du transport routier (seul mode de transport où des données sont disponibles), ont démontré qu'avec un risque estimé à 0,097$/km (part des entreprises) et partagé entre les différents acteurs de la chaîne logistique, les pertes financières en cas d'accident ne sont probablement pas suffisamment élevées pour influencer la prise de décision, venant appuyer les observations précédentes.

Suite à ces travaux, plusieurs avenues de recherche futures sont envisageables. La possibilité de réaliser une enquête auprès des transporteurs de matières dangereuses et de développer un modèle prédictif, propre aux transporteurs, permettant d'estimer leur qualité organisationnelle semble particulièrement intéressante. Éventuellement, le modèle d'aide à la décision pourrait également être bonifié pour inclure, entres autres, la possibilité de consolider les opérations de transport. Les analyses de sensibilité pourraient, de plus, inclure les conséquences financières à long terme suite à un accident (résultat de la perte d'image corporative).

ABSTRACT

For several years, hazardous materials accidents (Toulouse in 2001, Saint-Basile-le-Grand in 1988 or Mississauga-Toronto in 1979) have drawn particular attention among various groups: the public, the governments and the researchers. Because of the continuous growth of this industry, the number of accidents would even increase if security measures remain unchanged. Consequently, new legislations are regularly introduced, methodologies aimed toward risks minimization are developed and new facilities generally face opposition.

Meanwhile, firms are faced with complex logistics decisions: selection of the means of transportation, carrier selection, supplier selection, taking costs into accounts, taking regulations into account, taking risk into account, etc. However, current logistics models can hardly answer these questions as most are only aimed toward hazardous materials routing (tactical planning) and primarily focus on risks minimization. Hence, to stay competitive, firms tend to subcontract hazmat-related activities and raw materials are bought further and further away to reduce purchase costs. While these practices can increase risk levels firms state that in most cases, costs are simply too important to take risks into account.

There is thus a need for new operational research models aimed at optimizing hazardous materials logistics choices (strategic planning) and adopting the firm's point of view. The way exploitation costs and risk interact should also be examined to see if accident penalties are high enough to influence the decision-making process. These are the main goals of this thesis. We mainly focus on fixed installations, rather than on carriers, as they can influence hazmat logistics the most.

However, before such an optimization model can even be developed, the current situation must be carefully examined. Hence, this document presents in turn: an analysis of the relevant literature, a survey of hazardous materials logistics, the influence of the organisational factors on the level of risk then finally, the modeling and the optimization of hazardous material logistics choices (including a sensitivity analysis).

Hazardous materials literature was first examined: general statistics on dangerous goods accidents, risk analysis, transportation and location problems and risk management. Although this

literature is rich and varied, there are certain gaps: models rarely adopt firms' point of view, organisational factors are rarely taken into account, risks related to fixed installations and risks related to transportation are considered separately. In this context, we can understand why firms struggle taking appropriate hazmat logistics decision. The optimisation model developed in this thesis will thus have to take these aspects into account, to meet the firms' needs.

In order to survey hazardous materials logistics, a questionnaire was sent to 490 firms handling hazardous materials in the province of Quebec. We received 106 answers. If we exclude the 23 questionnaires that were returned to sender (facilities had closed or moved), the response rate is 22.7%. This survey showed that firms adopt appropriate safety management programs on-site (work safety committee (91,0%), dedicated storage (95,1%)), but tend to overlook important security aspects in transportation (carriers are rarely subjected to safety audits (48,4% never use any), transportation risk analysis are relatively rare (27.8% conduct them often or always)). In addition, the statistical tests carried out (Mann-Whitney using SPSS for Windows, version 11.0.) showed that large firms and heavy hazardous materials users adopt better practices than small firms and occasional hazardous materials users.

In this thesis, we introduce an organizational quality factor α, following the hypothesis that organizational factors can significantly influence firms' accident rates. We theorize that technical risk should be weighted by the organizational quality factor α of any given firm to calculate the actual risk. Linear regressions (simple and multiple) were used to cross organizational data (survey's results) and accidental data (CSST) to identify organizational factors having the greatest influence on accident rates. A predictive model used to estimate the quality factor α of any given firm was then developed. Organizational factors used in this predictive model were: (1) the number of hazardous materials on the fixed installation, (2) taking safety into account when selecting a transport option and (3) having long-term contracts with subcontractors (carriers). By using historical data, this study departs from previous approaches that heavily relied on expert judgement.

Following this work, the optimization model could be developed using traditional operational research techniques. To simultaneously take risks and costs into account, risks are translated into financial losses and firms' share of the total costs was identified. Rather than focusing on tactical planning (routing), this model focuses on strategic planning: supplier selection, carrier selection

and selection of the means of transportation. The model was tested with two case studies that raised some interesting facts, likely to influence decision-making: risk is rarely taken into account, few logistics options are available, logistics choices are dynamic, etc. Sensitivity analysis carried out, using road transportation as an example, showed that with a risk estimated at 0,097$/km (firms' share of the total amount) and shared within the logistic chain, financial losses following an accident are probably not high enough to influence the decision-making process.

Avenues for future research include: a survey of hazmat carriers logistics and safety management programs, developing a predictive model specific to carriers and improving the optimization model to include the possibility of consolidated supply and shipping. Sensitivity analysis could also take long-term financial losses into account.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS iii

RÉSUMÉ iv

ABSTRACT vii

TABLE DES MATIÈRES x

LISTE DES TABLEAUX xiv

LISTE DES FIGURES xvi

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS xviii

LISTE DES ANNEXES xxi

CHAPITRE 1. INTRODUCTION 1

1.1. Contexte et problématique 1

1.1.1. Les matières dangereuses 1

1.1.2. Les accidents de matières dangereuses 3

1.1.3. La réponse des autorités: le cadre législatif entourant le transport et le stockage de MD au Québec 11

1.1.4. Le cadre décisionnel des entreprises 16

1.2. Cadre de la recherche 17

1.3. Objectifs de la recherche 18

1.4. Méthodologie 21

1.5. Organisation du document 22

CHAPITRE 2. REVUE DE LA LITTÉRATURE 24

2.1. Analyse de risque 25

2.1.1. Concepts et définitions 25

2.1.2. Analyse de risque spécifique aux matières dangereuses 29

2.1.3. Limites de l'analyse de risque quantitative 36

2.2. Problèmes de localisation et de transport impliquant des MD 38
2.2.1. Problèmes d'optimisation locale pour le TMD 39
2.2.2. Problèmes d'optimisation globale pour le TMD 45
2.2.3. Problèmes de localisation 49
2.2.4. Modèles combinant le transport à la localisation 50
2.2.5. Utilisation des systèmes d'information géographiques 52
2.3. Traitement du risque lié aux matières dangereuses 54
2.3.1. Acceptabilité et perception du risque 54
2.3.2. Mesures de mitigation du risque 59
2.3.3. Faisabilité économique des mesures de mitigation du risque 63
2.4. Discussion 67
2.4.1. L'ensemble de la chaîne logistique n'est pas prise en compte 67
2.4.2. Des méthodes parfois mal adaptées au contexte de l'entreprise 68
2.4.3. L'évacuation quasi-systématique des facteurs organisationnels 70
2.5. Conclusion 77

CHAPITRE 3. ENQUÊTE SUR LES CHOIX LOGISTIQUES MD 79

3.1. Méthodologie 79
3.1.1. Concepts clés 80
3.1.2. Objectifs visés 80
3.1.3. Élaboration du questionnaire 81
3.1.4. Validation du questionnaire 85
3.1.5. Échantillon des répondants 87
3.1.6. Limites de l'étude 88
3.2. Résultat 89
3.2.1. Caractéristiques des répondants 89
3.2.2. Pratiques relatives au transport de matières dangereuses 92
3.2.3. Pratiques relatives au stockage de matières dangereuses 94
3.2.4. Coûts relatifs aux matières dangereuses 95
3.2.5. Pratiques relatives à la sous-traitance 97
3.2.6. Maîtrise de risque 99
3.2.7. Réglementation 101

3.3. Analyses comparatives 101
3.3.1. Catégories d'entreprises à l'étude 102
3.3.2. Méthodologie 103
3.3.3. Comparaisons 104
3.4. Conclusion 112

CHAPITRE 4. INFLUENCE DES FACTEURS ORGANISATIONNELS 114

4.1. Disparités organisationnelles existant entre les entreprises sondées 115
4.1.1. Interaction entre les différents facteurs organisationnels 116
4.1.2. Présentation de deux cas détaillés 119
4.2. Modélisation des facteurs organisationnels 125
4.2.1. Influence des facteurs organisationnels sur le niveau de risque 126
4.2.2. Modes de résolution 129
4.3. Validation des travaux 134
4.3.1. Données 134
4.3.2. Choix du mode de résolution 142
4.3.3. Limites de l'étude 142
4.3.4. Résultats 143
4.4. Conclusion 151

CHAPITRE 5. MODÈLE D'AIDE À LA DÉCISION 154

5.1. Présentation détaillée du modèle d'aide à la décision 155
5.1.1. Entreprises visées 155
5.1.2. Choix logistiques à l'étude 156
5.1.3. Modélisation des choix logistiques 157
5.1.4. Optimisation des choix logistiques 159
5.1.5. Influence des facteurs organisationnels 162
5.1.6. Interaction avec la démarche GLOBAL 162
5.2. Études de cas 168
5.2.1. Première étude de cas : grand utilisateur de MD 168
5.2.2. Seconde étude de cas : petit utilisateur MD 173
5.2.3. Principales observations 176

5.3. Analyses de sensibilité 180
5.3.1. Données disponibles 181
5.3.2. Analyses 184
5.4. Outil informatique: prototype 191
5.4.1. Structure et fonctionnement de l'outil informatique 192
5.4.2. Utilisation de l'outil informatique 195
5.5. Conclusion 198

CHAPITRE 6. CONCLUSION 202

6.1. Retour sur les principaux résultats 203
6.1.1. Enquête sur les choix logistiques MD 203
6.1.2. Influence des facteurs organisationnels 206
6.1.3. Modèle d'aide à la décision 207
6.2. Discussion 210
6.2.1. Recommandations 210
6.2.2. Place des travaux par rapport à la littérature 212
6.2.3. Perspectives de recherche 214
6.3. Contributions 215

RÉFÉRENCES 220

ANNEXES 232

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Classes de matières dangereuses 3
Tableau 1.2 : Matières dangereuses : risques pour la santé 5
Tableau 1.3 : Accidents à déclaration obligatoire selon le SIACMD, Canada 1988-2002 9
Tableau 1.4 : Répartition des accidents par classe MD selon le SIACMD, 1988-2002 11
Tableau 1.5 : Législations en vigueur au Québec 12
Tableau 2.1 : Moyenne et déviation standard des fonctions objectifs normalisées 41
Tableau 2.2 : Évaluation de différentes routes sur la base de trois critères 43
Tableau 2.3 : Performance des différents types de réseau de TMD 48
Tableau 2.4 : Coûts d'un accident routier impliquant un produit de la classe 3 64
Tableau 3.1 : Thèmes abordés par le questionnaire 82
Tableau 3.2 : Structure finale du questionnaire 86
Tableau 3.3 : Associations professionnelles ayant accepté de transmettre l'enquête à leurs membres 87
Tableau 3.4 : Codes SCIAN des répondants de l'enquête 90
Tableau 3.5 : Éléments de réponse servant de base de comparaison 103
Tableau 3.6 : Modes de transport utilisés - petites et grandes entreprises 104
Tableau 3.7 : Modes de transport utilisés - petits et grands utilisateurs de MD 105
Tableau 3.8 : Critères de décision relatifs au transport – petites et grandes entreprises 105
Tableau 3.9 : Critères de décision relatifs au transport – petits et grands utilisateurs 106
Tableau 3.10 : Pratiques d'entreposage utilisées - petites et grandes entreprises 107
Tableau 3.11 : Pratiques d'entreposage utilisées - petits et grands utilisateurs de MD 107
Tableau 3.12 : Gestion du risque - petites et grandes entreprises 108
Tableau 3.13 : Gestion du risque - petits et grands utilisateurs de MD 109
Tableau 3.14 : Choix d'un transporteur – petites et grandes entreprises 110
Tableau 3.15 : Choix d'un transporteur – petits et grands utilisateurs 110
Tableau 3.16 : Investissement et sous-traitance - petites et grandes entreprises 111
Tableau 3.17 : Investissement et sous-traitance - petits et grands utilisateurs de MD 111
Tableau 3.18 : Type d'accident ayant le plus grand impact sur l'entreprise 113
Tableau 4.1 : Facteurs organisationnels étudiés 116

Tableau 4.2 : Facteurs organisationnels à l'étude 135
Tableau 4.3 : Unités de classifications à l'étude 139
Tableau 4.4 : Pré-tri : variables nominales.....146
Tableau 4.5 : Pré-tri : variables continues.....147
Tableau 4.6 : Pré-tri : variables nominales recodées.....147
Tableau 4.7 : Régressions linéaires simples.....149
Tableau 4.8 : Régression linéaire multiple.....149
Tableau 4.9 : Régression linéaire multiple – en retirant la taille de l'entreprise.....150
Tableau 5.1 : Coûts ($US) associés aux accidents de matières dangereuses (États-Unis, 1996).182
Tableau 5.2 : Accidents de matières dangereuses - coût par kilomètre parcouru 183
Tableau 5.3 : Gestion du risque accompagnant les situations plus risquées 200
Tableau 5.4 : Gestion du risque accompagnant les situations plus risquées (variable recodées) 201
Tableau 6.1 : Article accepté dans une revue avec comité de lecture.....216
Tableau 6.2: Article soumis dans une revue avec comité de lecture.....216
Tableau 6.3: Présentations dans des conférences avec comité de lecture 217
Tableau 6.4: Rapports de projet CIRANO (projet GLOBAL).....218
Tableau 6.5: Article publié dans une revue avec comité de lecture (projet GLOBAL).....219
Tableau 6.6: Présentations dans des conférences avec comité de lecture (projet GLOBAL).....219
Tableau 6.7: Présentations sur invitation dans une conférence (projet GLOBAL) 219

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Évolution du nombre d'accidents liés aux matières dangereuses....6
Figure 1.2 : Répartition spatiale des accidents au Canada selon le SIACMD, 1988-2002....10
Figure 1.3 : Accidents par habitant au Canada selon le SIACMD, 1988-2002....10
Figure 1.4 : Projet GLOBAL....17
Figure 2.1 : Représentation du risque à l'aide d'une courbe F-N....34
Figure 2.2 : Contribution de différents facteurs à l'impact social d'un accident....57
Figure 2.3 : Fondements de l'analyse de risque basée sur la perception....58
Figure 2.4 : Schéma MACHINE....74
Figure 2.5 : Diagramme d'influence SAM....75
Figure 3.1 : Portée du questionnaire....82
Figure 3.2 : Répartition des répondants de l'enquête....92
Figure 3.3 : Modes de transport utilisés par les répondants de l'enquête....93
Figure 3.4 : Critères de décision relatifs au transport....95
Figure 3.5 : Facteurs de coût liés aux MD....96
Figure 3.6 : Sous-traitance des activités liées aux MD....97
Figure 3.7 : Critères de décision utilisés lors de la sélection d'un transporteur....98
Figure 3.8 : Impact anticipé d'un accident impliquant des matières dangereuses....100
Figure 4.1 : Interactions entre divers facteurs organisationnels (partie 1)....117
Figure 4.2 : Interactions entre divers facteurs organisationnels (partie 2)....118
Figure 4.3 : Interaction entre divers facteurs organisationnels (partie 3)....119
Figure 4.4: Facteurs organisationnels (partie 1) - cas de l'entreprise active....121
Figure 4.5: Facteurs organisationnels (partie 1) - cas de l'entreprise semi-passive....121
Figure 4.6: Facteurs organisationnels (partie 2) - cas de l'entreprise active....122
Figure 4.7: Facteurs organisationnels (partie 2) - cas de l'entreprise semi-passive....123
Figure 4.8: Facteurs organisationnels (partie 3) - cas de l'entreprise active....124
Figure 4.9: Facteurs organisationnels (partie 3) - cas de l'entreprise semi-passive....124
Figure 4.10 : Évaluation de la performance organisationnelle (niveau de risque)....127
Figure 4.11 : Régression linéaire simple....130
Figure 4.12 : Représentation graphique d'un neurone et d'un réseau de neurones....133

Figure 4.13 : Distribution des taux des unités de classification de la CSST 137
Figure 4.14 : Distribution des taux des unités de classification des répondants 138
Figure 4.15 : Écarts en pourcentage entre les taux de cotisation et le taux de l'unité (toutes les entreprises) 140
Figure 4.16 : Écarts en pourcentage entre les taux de cotisation et le taux de l'unité (taux personnalisés) 141
Figure 4.17 : Écarts entre les taux de cotisation et le taux de l'unité (répondants) 144
Figure 5.1 : Chaîne logistique de l'entreprise S3 157
Figure 5.2 : Choix logistiques de l'entreprise S3 158
Figure 5.3 : Détails tirés d'un transport t_{ijk} 158
Figure 5.4 : Interaction entre le modèle d'aide à la décision et la démarche GLOBAL 167
Figure 5.5 : Substances en approvisionnement et en expédition de l'entreprise E 170
Figure 5.6 : Modélisation des choix logistiques pour la substance S_1 171
Figure 5.7 : Modélisation des choix logistiques pour la substance S_4 172
Figure 5.8 : Modélisation des choix logistiques pour la substance S_7 173
Figure 5.9 : Substances en approvisionnement et en expédition de l'entreprise E 174
Figure 5.10 : Choix logistiques pour la substance S_4 176
Figure 5.11 : Retour sur la deuxième étude de cas - estimation du risque 185
Figure 5.12 : Distribution des écarts normalisés 189
Figure 5.13 : Retour sur la deuxième étude de cas - influence des facteurs organisationnels 190
Figure 5.14 : Modèle relationnel de données 192
Figure 5.15 : Données relatives au risque (données fictives) 193
Figure 5.16 : Outil informatique: sélection de la matière dangereuse visée 195
Figure 5.17 : Outil informatique: identification des clients/fournisseurs 196
Figure 5.18 : Outil informatique: identification des options de transport 196
Figure 5.19 : Outil informatique: détails des segments composant l'option logistique 197
Figure 5.20 : Outil informatique: optimisation des choix logistiques 198
Figure 6.1 : Choix logistiques de l'entreprise S3 208

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

AIEM	Association industrielle de l'est de Montréal
ACFPC	Association canadienne des fabricants de produits chimiques
ADICQ	Association pour le développement de l'industrie chimique québécoise
AFQ	Association des fabricants d'engrais du Québec
ALARP	As low as reasonably practicable
BMCS	Bureau of Motor Carrier Safety
CIRANO	Centre interuniversitaire de recherche en analyse des organisations
CPEQ	Conseil patronal de l'environnement du Québec
CRAIM	Conseil pour la réduction des accidents industriels majeurs
CSST	Commission de la santé et de la sécurité du travail
EPA	United States Environmental Protection Agency
FMCSA	Federal Motor Carrier Safety Administration
FRA	Federal Railroad Administration
FQRNT	Fond québécois de la recherche sur la nature et les technologies
GIS	Geographic Information System
GPS	Global Positioning System
HMIR	Hazardous Material Incident Report
HMIS	Hazardous Materials Information System
IMDG	International Maritime Dangerous Goods

INERIS	Institut national de l'environnement industriel et des risques
INRP	Inventaire national des rejets de polluants
IRRST	l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité au travail
MACHINE	Model of Accident Causation Using Hierarchical Influence Network
MEDD	Ministère de l'écologie et du développement durable
MHIDAS	Major Hazard Incident Data Service
MD	Matière dangereuse
MDR	Matière dangereuse résiduelle
MLP	Multi-layer perceptron
MRD	Modèle relationnel de données
MTQ	Ministère des transports du Québec
NHTSA	National Highway Transportation Safety Administration
OHF	Organisations à haute fiabilité
ONU	Organisation des nations unies
ORIM	Organizational risk influence model
PIU	Plan d'Intervention d'Urgence
QRA	Quantitative Risk Assessment
RMP	Risk Management Program
SAAQ	Société de l'assurance automobile du Québec
SCIAN	Système de classification des industries de l'Amérique du Nord

SIACMD	Système d'information sur les accidents concernant les matières dangereuses
SAM	System Action Management
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
SST	Santé sécurité au travail
TMD	Transport de matières dangereuses
TRB	Transportation Research Board
VBA	Visual Basic for Applications
WPAM	Work Process Analysis Model

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 – publications : projet global 232

ANNEXE 2 – Questionnaire 236

ANNEXE 3 – Résultats de l'enquête 242

CHAPITRE 1.INTRODUCTION

Le 21 septembre 2001, à Toulouse, un des accidents industriels les plus marquants de l'histoire récente se produit. À quelques jours des attentats du 11 septembre, l'imaginaire collectif est frappé. Une explosion à l'usine AZF entraîne la mort de 30 personnes et blesse 2242 personnes. Le site industriel est soufflé, des zones commerciales sont détruites, des logements, des entreprises et des installations publiques adjacents subissent des dégâts importants. Le bâtiment où l'explosion se produit laisse place à un cratère de 65m de long, de 56m de large et de 7m de profondeur. L'élément déclencheur: le nitrate d'ammonium, une matière dangereuse (MD) connue pour ses propriétés explosives. Des enquêtes sont lancées afin de comprendre comment cela a pu se produire. On se questionne sur les pratiques de l'entreprise, on s'interroge au sujet du rôle joué par un sous-traitant dans les évènements.

Cet accident s'est produit dans une installation industrielle, un site fixe. Cependant, il aurait aussi bien pu se dérouler dans une cour de triage, dans un port maritime ou au cours d'opérations de transport (routier, ferroviaire, maritime, etc.) où la présence de matières dangereuses se fait tout autant sentir. En fait, toute la chaîne logistique des matières dangereuses pourrait être remise en cause: modes de transports utilisés, fréquence des convois, élaboration des itinéraires, gestion du risque sur le site fixe, etc. Dans un tel contexte, l'étude des stratégies logistiques adoptées par les entreprises œuvrant dans le domaine des matières dangereuses, sujet de la thèse, est essentielle. Établir une stratégie logistique est une tâche complexe, même en l'absence de MD. Comment les entreprises réagissent-elles lorsque le risque pour la population doit de plus être pris en compte?

Dans ce chapitre, afin de bien situer le lecteur, sont tour à tour présentés: le contexte et la problématique, le cadre de la recherche, les objectifs de la recherche, la méthodologie et l'organisation du document.

1.1.Contexte et problématique

1.1.1. Les matières dangereuses

Il n'existe pas de définition unique de matières dangereuses, la liste de telles substances changeant d'organisme en organisme selon les enjeux protégés. Par exemple, alors

qu'Environnement Canada garde 174 produits à l'œil (Environnement Canada, 2002), 2228 matières dangereuses sont contrôlées par Transport Canada (Transport Canada, 2008) et environ 3000 matières dangereuses sont actuellement classifiées par l'ONU (Organisation des Nations Unies, 2009). Chaque loi, chaque règlement est donc généralement accompagné d'une liste de produits considérés dangereux. C'est ainsi que selon la *Loi sur la qualité de l'environnement* on entend par matières dangereuses :

> *« Toute matière qui, en raison de ses propriétés, présente un danger pour la santé ou l'environnement et qui est, au sens des règlements pris en application de la présente loi, explosive, gazeuse, inflammable, toxique, radioactive, corrosive, comburante ou lixiviable, ainsi que toute matière ou objet assimilé à une matière dangereuses selon les règlements. »* (Ministère de l'Environnement du Québec, 1999)

Transport Canada définit une matière dangereuse simplement par:

> *« Tous produits, substances ou organismes appartenant, en raison de leur nature ou en vertu des règlements, aux classes figurant à l'annexe de la Loi. »* (Transport Canada, 2008)

Les matières dangereuses ont été regroupées en neuf grandes classes selon les dangers qu'elles représentent, comme en témoigne le tableau 1.1.

Tableau 1.1 : Classes de matières dangereuses

Classe		Division	Définition
1	Explosifs	1.1	Matières ou objets présentant un risque d'explosion de masse
		1.2	Matières ou objets présentant un risque de projection, sans risque d'explosion
		1.3	Matières présentant un risque d'incendie avec risque léger de souffle ou de projection
		1.4	Matières ou objets ne présentant pas de risque notable à l'extérieur de l'emballage en cas d'allumage
		1.5	Matières très peu sensible avec risque d'explosion en masse
		1.6	Objets extrêmement peu sensibles sans risque d'explosion de masse
2	Gaz	2.1	Gaz inflammables
		2.2	Gaz ininflammables, non toxiques
		2.3	Gaz toxiques
3	Liquides inflammables		Liquides inflammables
4	Solides inflammables	4.1	Solides inflammables
		4.2	Matières sujettes à l'inflammation spontanée
		4.3	Matières hydroréactives
5	Matières comburantes	5.1	Matières comburantes
		5.2	Peroxydes organiques
6	Matières toxiques et infectieuses	6.1	Matières toxiques
		6.2	Matières infectieuses
7	Matières radioactives		Matières radioactives
8	Matières corrosives		Matières corrosives
9	Divers		Produits, matières ou organismes divers

Source : Ministère des Transports du Québec (2003)

De nombreuses entreprises produisent, transforment, utilisent, stockent ou transportent de telles substances. De par la croissance continue de ce secteur d'activité (augmentation du nombre de convois sur les routes, des quantités produites, etc.), le nombre d'accidents (déversements, incendies, explosions) impliquant des matières dangereuses est appelé à augmenter, si la gestion du risque MD demeure telle quelle.

1.1.2. Les accidents de matières dangereuses

Les actualités locales sont déjà marquées par ce type d'évènements. Ces accidents ne sont pas toujours catastrophiques comme celui de Toulouse en 2001, mais tous entraînent des conséquences fâcheuses pour l'environnement, les personnes, les biens et l'activité économique. À titre d'exemple, rappelons :

L'accident du 23 août 1988 alors qu'un incendie d'origine criminelle embrase un entrepôt de BPC à Saint-Basile-le-Grand. Le niveau de toxicité du nuage s'échappant du brasier n'est pas bien connu. 3500 personnes sont donc évacuées et cette évacuation durera 18 jours.

L'accident du 30 décembre 1999 alors qu'un train de marchandises déraille près de Saint-Hyacinthe. Un second train de marchandises heurte les wagons obstruant la voie. On constate le décès de deux employés se trouvant à bord des trains au moment de l'accident. 2,7 millions de litres d'hydrocarbures sont déversés et prennent feu : 350 familles doivent être évacuées.

Le déversement d'avril 2003 alors que plus d'un million de litres de paraxylène se déversent d'un réservoir situé au port de Montréal. Le déversement résulte du mauvais état du réservoir. Le sol, la nappe phréatique et le fleuve Saint-Laurent pourraient avoir été contaminés. Ce déversement ne sera dévoilé au public qu'en 2008, causant une certaine controverse.

L'accident du 12 octobre 2005 alors qu'un camion citerne transportant 60 000 livres d'hydrosulfite de sodium se renverse sur la chaussée à Montréal. Une petite quantité du produit se déverse, causant un incendie. L'autoroute 40 a été fermée pendant près d'une demi-journée.

Ces quelques cas montrent bien comment les accidents impliquant des matières dangereuses peuvent impacter l'environnement (nuage toxique à Saint-Basile-le-Grand, déversement d'hydrocarbures à Saint-Hyacinthe, contamination possible au port de Montréal, etc.), les personnes (évacuations à Saint-Basile-le-Grand et à Montréal, décès à Saint-Hyacinthe), les biens (destruction de l'entrepôt de BPC de Saint-Basile, matériel roulant endommagé à Saint-Hyacinthe et à Montréal, pertes de produits dans tous les cas) et l'activité économique (évacuations à Saint-Basile-le-Grand et à Montréal, fermeture de l'autoroute 40 à Montréal). Par ailleurs, les doutes entourant le niveau de toxicité du nuage s'échappant du brasier de Saint-Basile-le-Grand soulignent les risques sans cesse présents pour la santé humaine. Ces risques varieront selon la substance et sont résumés au tableau 1.2.

Tableau 1.2 : Matières dangereuses : risques pour la santé

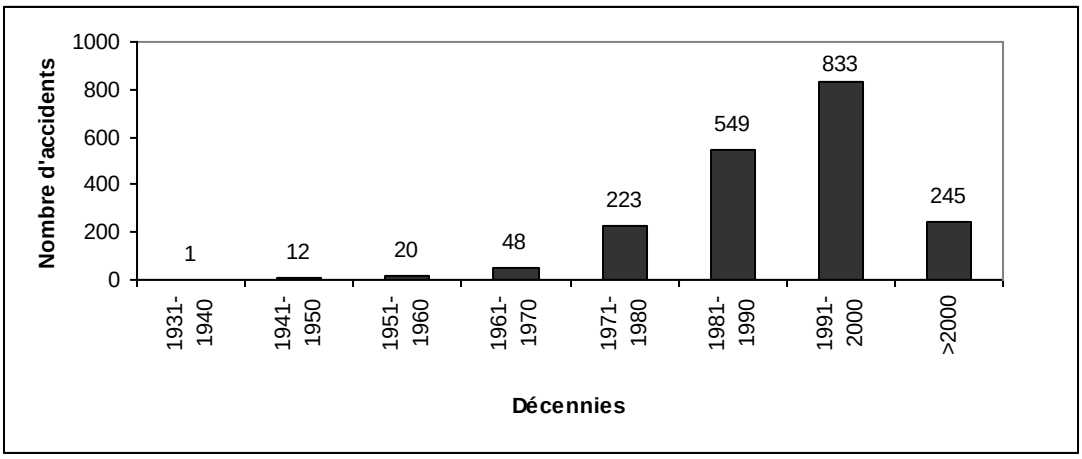
Classe	Risques pour la santé
1	- un feu produira des gaz irritants, corrosifs ou toxiques - l'inhalation peut causer des graves blessures ou la mort en fonction et concentration des gaz présents -L'onde de choc est suffisante pour causer des dommages importants a un organisme vivant
2.1	- l'inhalation peut causer des effets toxiques - un feu produira des gaz irritants, corrosifs ou toxiques
2.2	- peuvent causer de l'asphyxie - le contact avec le gaz peut causer des engelures
2.3	- peut être fatal lorsque inhalé ou absorbé - les vapeurs peuvent être irritantes - le contact avec le gaz peut causer des engelures - un feu produira des gaz irritants, corrosifs ou toxiques
2.4	- peut être fatal lorsque inhalé - les vapeurs sont extrêmement corrosives - le contact avec le gaz peut causer de graves blessures - un feu produira peut être des gaz toxiques
3	- l'inhalation peut irriter ou brûler la peau et les yeux - les vapeurs peuvent provoquer des étourdissements - un feu produira des gaz irritants, corrosifs ou toxiques - les eaux de contrôle d'incendie ou de dilution peuvent être toxiques pour les organismes aquatiques
4.1	- un feu produira des gaz irritants, corrosifs ou toxiques - les eaux de contrôle d'incendie ou de dilution peuvent être toxiques pour les organismes aquatiques
4.2	- un feu produira des gaz irritants, corrosifs ou toxiques - les eaux de contrôle d'incendie ou de dilution peuvent être toxiques pour les organismes aquatiques
4.3	- très toxique, le contact avec la peau produira des gaz toxiques, l'inhalation peut être fatal - peut produire des solutions corrosives au contact de l'eau - un feu produira des gaz irritants, corrosifs ou toxiques
5.1	- l'inhalation, l'ingestion ou le contact avec les vapeurs, les poussières ou la substance peut causer de graves blessures ou la mort - un feu produira des gaz irritants, corrosifs ou toxiques
5.2	- un feu produira des gaz irritants, corrosifs ou toxiques - l'ingestion ou le contact avec la substance peut causer des blessures graves ou des brûlures
6.1	- l'ingestion ou l'inhalation peut causer des graves blessures ou la mort - un feu produira des gaz irritants, corrosifs ou toxiques - les eaux de contrôle d'incendie ou de dilution peuvent être toxiques pour les organismes aquatiques
6.2	- l'ingestion ou l'inhalation peut causer des graves blessures ou la mort - un feu produira des gaz irritants, corrosifs ou toxiques - les eaux de contrôle d'incendie ou de dilution peuvent être toxiques pour les organismes aquatiques
7	- l'ingestion, l'inhalation ou l'exposition peuvent causer de sévères blessures internes et plusieurs types de cancer, dont celui de la glande thyroïde
8	- l'ingestion ou l'inhalation peut causer des graves blessures ou la mort - un feu produira des gaz toxiques - les eaux de contrôle d'incendie ou de dilution peuvent être toxiques pour les organismes aquatiques - éviter tout contact avec la peau - les effets liés au contact peuvent être retardés
9	- l'inhalation peut être nocive - le contact peut causer des brûlures à la peau et aux yeux - un feu produira des gaz irritants, corrosifs ou toxiques

Source : Lalonde (2004)

Les gouvernements sont conscients de cette situation et savent que de tels évènements doivent être évités. Plusieurs législations ont donc vu le jour, au fil des années. Avant de présenter ces législations, nous présentons ici un portrait plus complet de la situation avec des statistiques relatives aux accidents de matières dangereuses.

1.1.2.1. Statistiques générales

Les matières dangereuses sont au cœur d'activités industrielles en pleine expansion et le nombre d'accidents reliés à l'usage, au transport ou au stockage de matières dangereuses est donc appelé à augmenter. Oggero et al. (2006) ont étudié l'évolution du nombre d'accidents impliquant des matières dangereuses à l'échelle internationale.



Source: Oggero et al. (2006)

Figure 1.1 : Évolution du nombre d'accidents liés aux matières dangereuses

Il est important de préciser que les accidents impliquant des matières dangereuses demeurent des évènements relativement rares. L'intérêt qu'ils suscitent réside surtout dans leur potentiel catastrophique. Citons l'exemple des accidents de Toulouse en France en 2001 ou de Mississauga-Toronto au Canada en 1979. Mais qu'ils soient catastrophiques ou non, ces accidents ont nécessairement des conséquences pour l'entreprise, la communauté et les activités économiques de la région. Outre les pertes de vies humaines possibles, pensons aux coûts reliés à l'évacuation du territoire environnant, à la perte d'image pour l'entreprise impliquée, aux délais de livraisons encourus s'il y a fermeture de route, etc. Une grande partie de la recherche sur les

risques liés aux matières dangereuses est donc consacrée à dresser un état de la situation afin de bien comprendre la problématique.

Oggero et al. (2006) ont ainsi utilisé la base de données internationale MHIDAS (*Major Hazard Incident Data Service*) pour connaître la distribution géographique des accidents. Ils ont divisé les pays en trois catégories : (1) États-Unis, Canada, Australie, Japon, Nouvelle Zélande et Norvège, (2) Union Européenne et (3) le reste. Plus de la moitié des accidents sont survenus dans un des six pays de la première catégorie, 35% des accidents sont survenus dans un pays de la seconde catégorie et 9% des accidents sont survenus dans un pays de la troisième catégorie. De plus, 66% des accidents surviendraient dans des zones densément peuplées alors que 12% surviennent dans des zones faiblement peuplées et que 22% surviennent dans des régions rurales (Vilchez et al., 1995).

Oggero et al. (2006) ont également noté que dans 67% des cas, aucune indication ne permettait de conclure s'il y avait eu ou non des morts sur le lieu de l'accident. Pour les 33% d'accidents pour lesquels cette information était disponible, la majorité des évènements (61%) n'avait causé aucun mort. Lorsqu'il y avait eu des morts, dans 32% des cas, on comptait entre 1 et 10 morts, dans 5% des cas, on comptait entre 11 et 50 morts et dans 9% des cas on comptait plus de cinquante morts.

Les accidents impliquant des matières dangereuses sont généralement classifiés en deux grandes catégories : les accidents de transport et les accidents en site fixe. Les accidents en site fixe peuvent soit survenir en cours de stockage ou en cours d'utilisation. En utilisant cette logique et toujours en étudiant la base de données MHIDAS, Vilchez et al. (1995) ont déterminé que 39% des accidents surviennent en cours de transport, 24,5% au cours d'activités industrielles et 17,4% en cours de stockage.

Du côté des installations fixes, selon Khan et Abbasi (1999), 25% des accidents ont provoqué des incendies ou des explosions, 71% des accidents ont provoqué un échappement toxique alors que 4% ont provoqué l'ensemble des conséquences précédemment énumérées. De plus, Carol et al. (2002) ont souligné le fait que la sévérité des accidents en site fixe est beaucoup plus élevée dans les pays en voie de développement que dans les pays industrialisés.

Du côté du transport, la répartition des accidents entre les différents modes varie énormément selon la région à l'étude. Cependant, tel que le soulignent Khan et Abbasi (1999), de façon générale, le transport par train représente un plus fort potentiel de danger de par les fortes quantités contenues dans un même convoi, mais le transport routier présente un taux d'accident plus élevé. Le transport par pipeline présente pour sa part un taux d'accident généralement inférieur à ceux des autres modes.

Le plus fréquemment, les accidents de transport provoquent des déversements (78%). Les autres conséquences possibles incluent les incendies (28%), les explosions (14%) et les nuages toxiques (6%) (Oggero et al., 2006). La cause première de ces accidents est généralement l'erreur humaine, tel que le soulignent plusieurs chercheurs dont Harwood et al. (1989).

1.1.2.2. Accidents impliquant des matières dangereuses au Canada

Dans le cadre du projet GLOBAL (voir section 1.2), les données relatives aux accidents canadiens impliquant des matières dangereuses ont été analysées. L'étude des bases de données de Transport Canada, de la Société de l'Assurance-Automobile du Québec (SAAQ) et de la Commission de la Santé et de la Sécurité du Travail du Québec (CSST) a permis de dresser un portrait général de la situation (de Marcellis-Warin, Leroux, Peignier & Trépanier, 2006).

Tableau 1.3 : Accidents à déclaration obligatoire[1] selon le SIACMD, Canada 1988-2002

Année	**ROUTIER**	**FERROVIAIRE**	**AÉRIEN**	**MARITIME**	**DIVERS[2]**
1988	252	136	9	8	85
1989	277	165	11	8	100
1990	227	61	5	4	99
1991	206	91	14	6	122
1992	175	74	15	6	124
1993	134	44	5	1	58
1994	142	62	5	6	75
1995	171	73	14	5	73
1996	307	85	25	7	97
1997	242	45	20	6	70
1998	269	82	11	0	69
1999	312	98	22	6	41
2000	356	67	17	4	32
2001	297	89	21	9	20
2002	281	97	19	3	39
Total	3648	1269	213	79	1104

Le tableau 1.3 présente la répartition par mode de transport des accidents à déclaration obligatoire captés par la base de données SIACMD (*Système d'Information sur les Accidents Concernant les Matières Dangereuses*) de Transport Canada. On remarque que quelques centaines d'accidents sont recensés à chaque année et que la plupart de ces accidents ont lieu sur la route. Le nombre d'accidents fluctue d'année en année mais on ne remarque aucune tendance significative à la hausse ou à la baisse alors que pendant cette même période, le transport et la production des matières dangereuses ont augmenté.

[1] Accidents à déclaration obligatoire: Accident entraînant le rejet d'une quantité de matières dangereuses dépassant un seuil défini, accident causant la mort, accident causant des blessures ou accident entraînant des dommages aux contenants de matières dangereuses. (de Marcellis et al., 2006)

[2] Accidents survenus lors des opérations de chargement et de déchargement et lors du stockage temporaire.

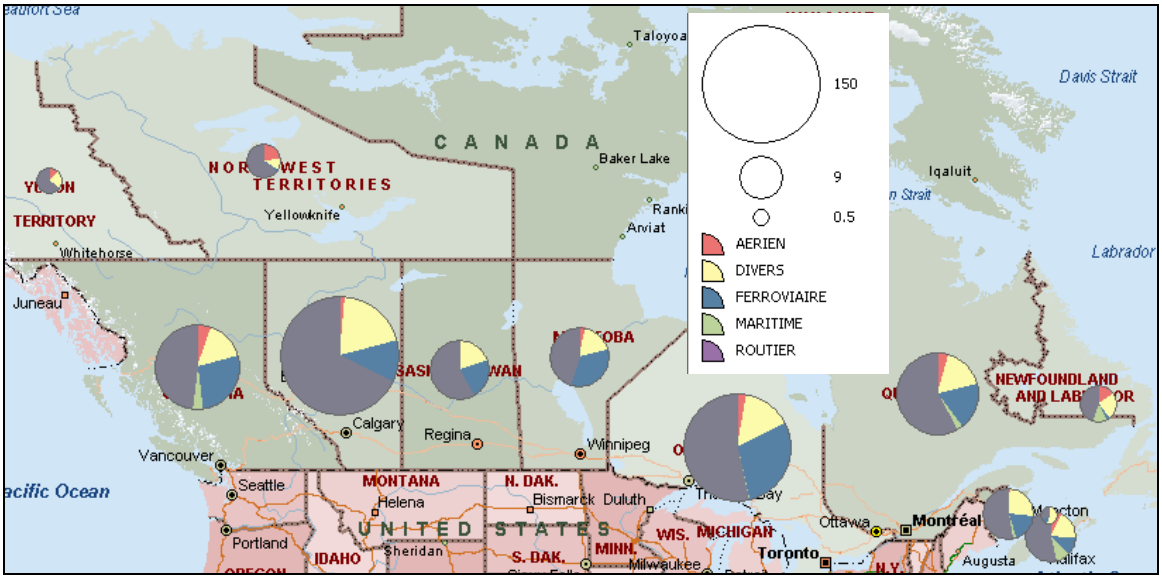


Figure 1.2 : Répartition spatiale des accidents au Canada selon le SIACMD, 1988-2002

Lorsqu'on examine la distribution géographique de ces accidents, on remarque que l'Alberta (producteur de pétrole) est la province où a lieu le plus grand nombre d'évènements suivie par l'Ontario puis le Québec. On remarque certaines différences dans la répartition modale des accidents entre les régions, les provinces côtières étant bien sûr les seules touchées par les accidents maritimes alors que les régions plus éloignées (Terre-Neuve et les territoires) sont plus fortement touchées par les accidents aériens.

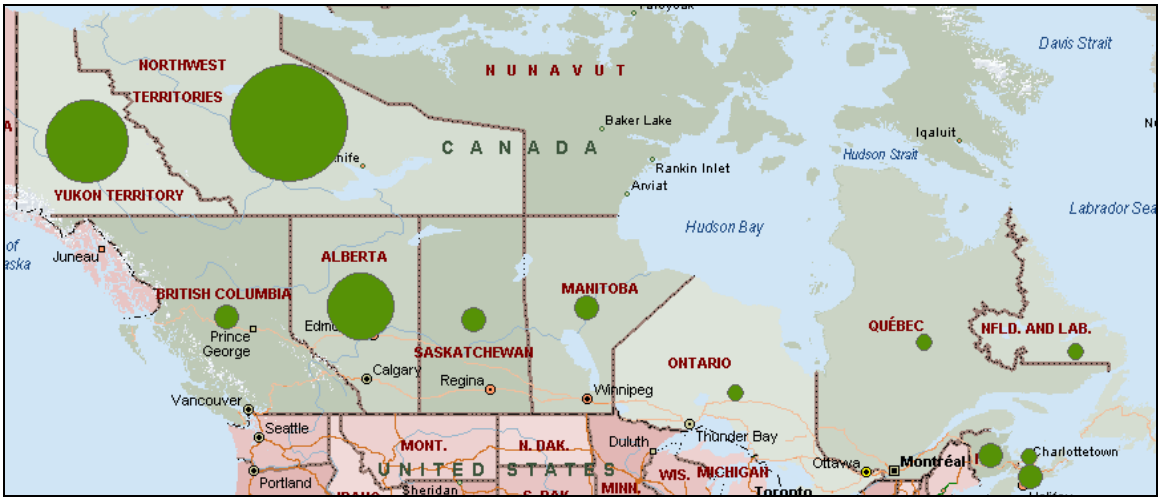


Figure 1.3 : Accidents par habitant au Canada selon le SIACMD, 1988-2002

Lorsqu'on examine le taux d'accident par habitant, on remarque que l'Alberta et les territoires sont beaucoup plus fortement touchés que les autres provinces.

Tableau 1.4 : Répartition des accidents par classe MD selon le SIACMD, 1988-2002

	CANADA		QUÉBEC	
CLASSE	NOMBRE	POURCENTAGE	NOMBRE	POURCENTAGE
0 – inconnue		0.00%		0.00%
1 – explosifs	33	0.53%	13	1,32%
2 – gaz	1588	25.47%	155	15,77%
3 – liquides inflammables	1600	25.67%	350	35,61%
4 – solides inflammables	255	4.09%	22	2,24%
5 - matières comburantes	278	4.46%	50	5,09%
6 - matières toxiques et infectieuses	383	6.14%	42	4,27%
7 - matières radioactives	138	2.21%	19	1,93%
8 - matières corrosives	1687	27.06%	287	29,20%
9 – divers	272	4.36%	45	4,58%
TOTAL	6234	100.00%	775	100.00%

Au Canada, les classes de matières dangereuses les plus souvent impliquées dans des accidents sont : les matières corrosives (27,06%), les liquides inflammables (25,67%) et les gaz comprimés (25,47%). L'ordre demeure inchangé au Québec bien que les proportions varient en raison des spécificités locales de l'industrie.

1.1.3. La réponse des autorités: le cadre législatif entourant le transport et le stockage de MD au Québec

Au Québec, de nombreuses législations internationales, fédérales et provinciales sont consacrée, en tout ou en partie, aux matières dangereuses. Certaines législations s'adressent au transport, certaines s'adressent au stockage, certaines encadrent le milieu de travail alors que d'autres sont spécifiques à certains produits. Elles sont résumées au tableau 1.5.

Tableau 1.5 : Législations en vigueur au Québec

Lois	**Internationales**	**Fédérales**	**Provinciales**
Transport	Normes et accords internationaux (OACI - *Organisation de l'aviation civile internationale*)	Loi sur le transport des marchandises dangereuses (*Ministère des transports du Canada*)	Code de la sécurité routière (*Ministère des transports du Québec)*
	The International Maritime Dangerous Goods (IMDG) (*Organisation Maritime Internationale)*	Loi sur la marine marchande du Canada (*Ministère des transports du Canada*)	Loi concernant les propriétaires et exploitants de véhicules lourds (*Ministère des transports du Québec)*
			Loi sur les chemins de fer et Loi sur la sécurité du transport terrestre guidé (*Ministère des transports du Québec)*
Stockage		Loi canadienne sur la protection de l'environnement (*Ministère de l'environnement du Canada*)	Loi sur la sécurité civile (*Ministère de la sécurité publique du Québec*)
			Loi sur la qualité de l'environnement (*Ministère de l'environnement du Québec*)
Produits		Loi sur les produits dangereux (*Ministère de la santé du Canada*)	Loi sur les produits et les équipements pétroliers (*Ministère des ressources naturelles et de la faune du Québec*)
		Loi sur les explosifs (*Ministère des ressources naturelles du Canada*)	Loi sur les explosifs (*Ministère de la Sécurité Publique du Québec*)
		Loi sur les produits antiparasitaires (*Santé Canada*)	Règlement sur le gaz et la sécurité publique (*Régie du bâtiment du Québec*)
			Loi sur les pesticides (*Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs*)
			Code municipal du Québec et loi sur les cités et villes (*Ministère des affaires municipales, du sport et du loisir*)
Travail			Loi sur la Santé et la sécurité du travail (*Ministère du travail du Québec*)

Source: de Marcellis-Warin, Favre, Peignier & Trépanier, 2006

Dans le cadre de cette thèse, examinons les principales lois relatives au stockage et au transport de matières dangereuses. Pour le transport, la *Loi sur le transport des marchandises dangereuses* de Transport Canada est certainement l'une des plus importantes. Elle définit non seulement les normes à suivre pour l'ensemble des modes de transport, mais également pour les infrastructures de transit (gares de triage, plateforme multimodale, etc.). Elle indique entre autres (de Marcellis-Warin, Favre, Peignier & Trépanier., 2006):

- la classification des MD;
- la formation;
- les documents devant accompagner le chargement de MD;
- les indications de dangers à apposer sur le véhicule ou les contenants;
- les normes relatives aux contenants;
- les plans d'interventions d'urgence (PIU) exigés pour certaines substances;
- les rapports à effectuer en case de rejet accidentel;
- la liste des exceptions et exemptions

La loi québécoise, par le biais du *code de la sécurité routière* et du *règlement sur le transport de matières dangereuses*, ajoute quelques règles supplémentaires dont l'obligation pour les véhicules de s'arrêter avant les passages à niveau et l'interdiction de circuler dans les tunnels *Louis Hippolyte-Lafontaine*, *Ville-Marie* et *Viger* à Montréal, dans le tunnel *Joseph Samson* à Québec dans les voies d'accès du tunnel de Melocheville près de la centrale de Beauharnois (de Marcellis-Warin, Favre, Peignier & Trépanier, 2006).

La *loi canadienne sur la protection de l'environnement* est au stockage ce que la *loi sur le transport des marchandises dangereuses* est au transport. Elle exige que :

> *« Toute personne qui entrepose ou utilise une substance répertoriée en quantités supérieures aux seuils spécifiés ou qui a un récipient dont la capacité est égale ou dépasse celle spécifie, devra indiquer à Environnement Canada le lieu d'entreposage de la substance, la quantité maximale prévue et la capacité du plus gros récipient pour la substance. Lorsque les deux critères sont atteints, la personne doit préparer et exécuter un plan d'urgence environnementale et aviser Environnement Canada en conséquence. »* (de Marcellis-Warin, Favre, Peignier & Trépanier, 2006)

Ce plan d'urgence environnementale doit contenir (Environnement Canada, 2002) :

- le détail des facteurs pris en compte;
- la mention des types d'urgences environnementales qui sont susceptibles de se produire;
- les mesures à prendre pour prévenir les urgences, les dispositifs d'alerte et de réparation;
- les personnes tenues d'exécuter le plan en cas d'urgence, leurs rôles et responsabilités;
- l'indication de la formation à donner aux personnes visées;
- la liste de l'équipement d'intervention d'urgence prévu dans le plan et son emplacement;
- les mesures prévues pour avertir les membres du public auxquels une urgence environnementale pourrait causer un préjudice.

De plus, en cas d'urgence environnementale, la loi spécifie que toute personne propriétaire d'une des substances répertoriée (ou qui a toute autorité sur elle) doit signaler l'urgence dans les meilleurs délais, prendre toutes les mesures d'urgence utiles et fournir un rapport écrit (de Marcellis-Warin, Favre, Peignier & Trépanier, 2006).

La loi québécoise, par le biais de la *loi sur la qualité de l'environnement*, ajoute quelques règles supplémentaires dont l'obligation de fournir au ministre tout renseignement ou document qu'il demande, l'obligation de tenir un registre contenant les informations (prescrites par le règlement) relatives aux matières dangereuses possédées et l'interdiction de posséder une matière dangereuse plus de 12 mois consécutifs.

Pour sa part, la *loi sur sécurité civile*, dont le règlement d'application est toujours en cours d'adoption, prévoit aller plus loin en obligeant les entreprises dont les activités ou les biens sont générateurs de risque de sinistre majeur :

> *« ... à déclarer à leur municipalité les risques que leurs activités génèrent et également à lutter pour réduire ces risques par des actions de prévention. Elle demande également à ces générateurs de risques de préparer les phases d'intervention et de rétablissement dans le cas où le sinistre se déclenche. »* (de Marcellis-Warin, Favre, Peignier & Tréapnier, 2006)

De plus, la loi prévoit l'établissement de schémas de sécurité civile, par le biais des autorités locales et régionales, fixant des cibles de réduction de vulnérabilité face au risque et décrivant les mesures requises pour y parvenir.

Jusqu'ici nous avons vu que la loi est bien souvent découpée entre transport et stockage. Cependant, l'expéditeur (site fixe) conserve de nombreuses responsabilités lors du transport. L'expéditeur doit (de Marcellis-Warin, Favre, Peignier & Tréapnier, 2006) :

- élaborer un plan d'intervention d'urgence s'il y a lieu;
- s'assurer que les matières dangereuses sont conformément classifiées, emballées, identifiées et accompagnées des documents d'expédition requis;
- remettre au transporteur initial les copies du document d'expédition;
- fournir les plaques, s'il y a lieu;
- s'assurer que le véhicule a été placardé conformément au règlement;
- conserver une copie de la documentation pour une période de deux ans.

De plus, selon le *règlement sur le transport des marchandises dangereuses*, l'expéditeur demeure responsable de l'intervention d'urgence :

> *« Que le numéro de PIU d'une autre personne figure ou non sur le document d'expédition conformément au paragraphe (7), la personne qui importe ou demande le transport des marchandises dangereuses demeure responsable de l'intervention d'urgence comme l'exige la Loi. »* (Transport Canada, 2008)

Que le transport soit sous-traité ou non, l'expéditeur conserve donc de nombreuses responsabilités légales face à cette activité. Cette responsabilité sera cependant partagée avec le conducteur (respect des limites de vitesses, des interdictions de circulation, etc.) et le transporteur (conformité du certificat de formation, arrimage des matières dangereuses, etc.).

1.1.4. Le cadre décisionnel des entreprises

Pendant ce temps, afin de demeurer compétitives, les entreprises ont de plus en plus recours à la sous-traitance pour toutes sortes d'activités touchant aux matières dangereuses : transport, stockage, emballage, etc. De plus, dans un contexte industriel où la tendance est à la gestion de type juste-à-temps, les flux de matières dangereuses augmentent constamment sur les routes et l'ouverture des marchés pousse les entreprises à aller chercher leurs matières premières de plus en plus loin.

Les entreprises font face à un univers complexe lorsqu'elles doivent poser des choix logistiques pour la gestion de leurs matières dangereuses et ces choix sont nombreux : sélectionner un mode de transport, entreposer ou transporter plus fréquemment, sélectionner un transporteur, etc. De plus, elles doivent faire face à toute une série d'éléments sur lesquels elles ont plus ou moins de contrôle : fournisseurs, clients, partenaires, sous-traitants, réglementation, coûts d'opérations, etc.

De par la complexité du problème, et de par le caractère parfois catastrophique des accidents impliquant des matières dangereuses, l'étude des risques liés aux matières dangereuses a attiré l'attention des chercheurs à maintes reprises. Économistes, experts en recherche opérationnelle ou en analyse de risque, sociologues ou chimistes se sont tour à tour intéressés à la question. Il en résulte une littérature riche mais fragmentée par spécialité. De plus, la plupart des études adoptent le point de vue de la société qui désire avant tout minimiser les risques liés aux matières dangereuses, et peu se sont penchées sur la situation telle que vécue par le secteur industriel.

Certes, les entreprises sont conscientes des risques présentés par les matières dangereuses et désirent éviter les accidents les impliquant. Cependant, de leur propre aveu, cet objectif vient souvent au second rang, après les considérations économiques. Cette situation pourrait en partie être liée à la responsabilité limitée, qui peut pousser les décideurs à externaliser certains types de risque (risques liés aux matières dangereuses dans le cas présent) et à les imposer à la société. D'autre part, cette situation pourrait simplement résulter de pénalités insuffisantes imposées aux entreprises fautives en cas d'accident.

Le point de vue des entreprises doit donc être exploré afin de mieux comprendre leur position, notamment en ce qui a trait à la dualité risques/coûts. Les entreprises ont-elles toujours le choix ?

Peuvent-elles réellement modifier leurs choix logistiques reliés à la gestion des matières dangereuses ? Sont-elles avantagées de le faire ? Des modèles adaptés au point de vue des entreprises, leur permettant d'effectuer des choix logistiques cohérents (balançant les facteurs risques et coûts), se doivent d'être développés afin de leur donner les outils nécessaires lors de dialogues avec les autorités prônant avant tout la minimisation du risque.

1.2. Cadre de la recherche

Ce travail s'inscrit à l'intérieur du projet GLOBAL portant sur les risques relatifs aux matières dangereuses. Ce projet est une initiative de l'INERIS (*Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques*) situé en France et a été appuyé par de nombreux partenaires gouvernementaux et industriels dont : le Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, Le Grand Lyon, Gaz de France, SNCF, Air Liquide et Arkema. Le projet est divisé en plusieurs tâches s'intéressant à divers aspects de la problématique, tel qu'indiqué à la figure 1.4.

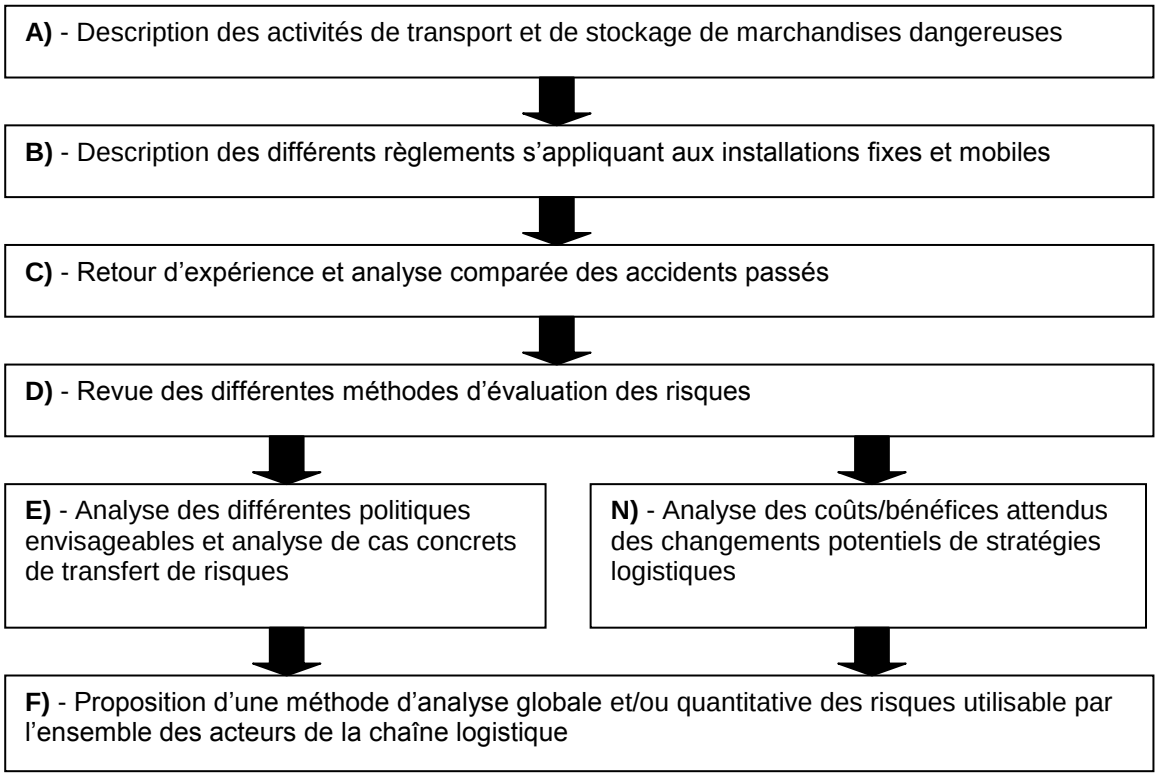


Figure 1.4 : Projet GLOBAL

Alors que les premières tâches du projet GLOBAL dressent un état des lieux (réglementations, accidents, etc.), le projet a pour objectif final le développement « *d'une méthode globale d'évaluation des risques permettant de prendre en compte l'ensemble des risques liés à la logistique (stockage, transport et transit par des infrastructures de transport des produits dangereux)* ». Ceci est accompli à l'aide d'étapes intermédiaires permettant de définir les stratégies logistiques envisageables.

Pour réaliser les travaux relatifs à la tâche *N - Analyse des coûts/bénéfices attendus des changements potentiels de stratégies logistiques* du projet, l'INERIS a fait appel au CIRANO (*Centre Interuniversitaire de Recherche en Analyse des Organisations*) basé à Montréal. Voyant l'intérêt qu'un tel projet pouvait avoir pour les décideurs, un volet canadien du projet GLOBAL a alors été créé afin de réaliser en parallèle certaines tâches préliminaires du projet GLOBAL dans le contexte nord-américain : état de la situation, revue des principales réglementations et revue des bases de données accidentelles (tâches A, B et C). Ce volet est une collaboration entre le CIRANO et l'École Polytechnique de Montréal. Il a été soutenu par le Ministère des Transports du Québec, la Chaire CN en Intermodalité des Transports (Université de Montréal), l'IRSST (l'Institut de recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité au travail) et le Centre de sécurité civile de la Ville de Montréal. À titre de référence, la liste des publications parues dans le cadre du projet GLOBAL (volet français et volet québécois) peut être consultée à l'Annexe 1.

Très tôt au cours du projet, tant du côté français que canadien, la richesse du domaine de recherche a fait apparaître la possibilité de réaliser une thèse de doctorat en lien avec le projet. Le travail de thèse s'inspire donc de réflexions et des principaux résultats obtenus dans le cadre du projet GLOBAL afin d'explorer plus en profondeur certains éléments clés.

1.3. Objectifs de la recherche

Les premières étapes du projet GLOBAL ont clairement démontré qu'il existe actuellement un fractionnement des connaissances et du savoir-faire. Les législations sont chapeautées par différents ministères, entraînant certains recoupements et confusions. Différents acteurs (organismes, ministères, etc.) maintiennent des bases de données accidentelles, trop souvent incomplètes, et le recoupement de ces diverses bases de données est souvent ardu voir impossible. Les analyses de risque site fixe et transport se font généralement de façon distincte

sans vérification des interactions et des transferts de risque existant entre ces deux sphères d'activités.

Par ailleurs, depuis quelques années, on assiste à l'émergence d'un discours, tant au sein de la communauté scientifique que de la classe politique, entourant l'importance de l'organisation des opérations liées aux matières dangereuses. On ne s'intéresse plus seulement au côté théorique du problème, mais également à sa mise en application dans un contexte réel, avec des contraintes opérationnelles et des prestataires offrant parfois des services de qualité inégale. Des concepts tels que le transport intermodal ou les risques liés à la sous-traitance sont de plus en plus souvent mentionnés.

Il existe donc un besoin d'harmonisation des connaissances et du savoir-faire pour assister à l'émergence de modèles plus englobant, les techniques actuelles n'offrant pas la vue d'ensemble requise. C'est d'ailleurs une des raisons ayant poussé l'INERIS à développer une méthode d'évaluation intégrée des risques associés aux matières dangereuses. Cette méthode étudie la chaîne logistique dans son ensemble ce qui permet d'adopter des stratégies moins risquées.

Cependant, les mesures de réduction de risque ont bien souvent un prix. L'adoption d'une stratégie logistique à risque minimum est donc généralement accompagnée de coûts d'exploitation accrus pour les entreprises concernées. Il en sera davantage question au chapitre 2. Par conséquent, un compromis est souvent nécessaire entre les facteurs risques et coûts. Ceci mérite, à notre avis, une attention particulière. La thèse étudie donc en profondeur la situation telle que vécue par les entreprises œuvrant dans le domaine des matières dangereuses notamment afin de mieux comprendre leur position. La thèse étudie avant tout le point de vue des sites fixes puisqu'ils sont plus à même d'influencer en profondeur la chaîne logistique MD (choix de fournisseurs, de clients, de modes de transport, de fréquences de transport, etc.) que le sont les transporteurs (choix de l'itinéraire).

Suite à l'étude des pratiques actuelles des entreprises œuvrant dans le domaine des matières dangereuses, un modèle d'aide à la décision aidant les sites à faire des choix logistiques MD et adoptant leur point de vue sera de plus développé. De façon plus précise, la thèse vise :

> *Le développement d'un modèle d'aide à la décision aidant les sites fixes à poser des choix logistiques MD. Ce modèle adopte le point de vue des entreprises en minimisant simultanément les coûts d'exploitation et les risques d'accidents de matières dangereuses (part assumée par les entreprises parmi les conséquences humaines, environnementales, économiques, etc.).*

Le modèle permet de prendre des décisions éclairées balançant à la fois les facteurs risques (part des entreprises) et coûts et ce, tout au long de la chaîne logistique plutôt que de fragmenter le risque entre stockage et transport. De plus, le modèle développé permet de :

> *Vérifier si les pertes encourues par les entreprises lors d'un accident de transport impliquant des matières dangereuses sont suffisantes pour les dissuader d'avoir recours aux options les plus risquées.*

Précédant la planification tactique (choix des trajets exacts, etc.), ce modèle vise plutôt la planification stratégique de certains choix logistiques: le choix d'un fournisseur, d'un mode de transport et celui d'un transporteur. L'application de ce modèle mène au tri des options logistiques, en proposant une approche simplifiée de l'analyse de risque et de la prise de décision multicritères. Cependant, il ne remplace en aucun cas une analyse de risque plus poussée permettant de définir le tracé exact qui sera emprunté par les matières dangereuses. Il est donc recommandé, suite à l'application du modèle développé dans la thèse, de poursuivre avec une évaluation détaillée des risques de la chaîne logistique, tel que proposé par la démarche GLOBAL. Les résultats obtenus lors de l'application du modèle de la thèse, peuvent servir d'outil de négociation pour l'entreprise lors de la prise de décision multi-acteurs suggérée par la démarche GLOBAL.

Par ailleurs, mentionnons que le modèle laisse une place prépondérante aux facteurs organisationnels, causes d'accidents industriels, puisque nous supposons qu'ils modulent le niveau de risque soit à la hausse ou à la baisse :

$$R^{TOT} = \alpha R^{PHY} \tag{1.1}$$

Nous introduisons ici un facteur de qualité organisationnelle α associé à chaque entreprise impliquée dans la chaîne logistique. Nous proposons que le risque physique R^{PHY}, tel que calculé par les analyses de risque actuelles (évaluation des aspects techniques du problème, sans tenir compte des facteurs organisationnel) soit pondéré par le facteur α afin d'obtenir le risque réel R^{TOT}. Le modèle d'aide à la décision utilise ce risque total modulé par le facteur de qualité organisationnelle lors de la prise de décision.

1.4.Méthodologie

Le développement du modèle d'aide à la décision passe avant tout par une meilleure connaissance de la situation et des pratiques des entreprises œuvrant dans le domaine des matières dangereuses. Malheureusement, peu d'informations sont disponibles sur le sujet à l'heure actuelle. Critères de décision utilisés lors de la sélection d'un transporteur, mesures de sécurité, raisons sous-tendant le choix d'un mode de transport sont autant d'éléments inconnus. En fait, à notre connaissance, il n'existe aucune étude à grande échelle sur la question.

Pour combler cette lacune, une étude exploratoire mettant en relief les stratégies logistiques adoptées par les sites fixes (décideurs premiers) œuvrant dans le domaine des matières dangereuses a été effectuée. Les résultats de cette étude serviront au développement du modèle d'aide à la décision et au développement du facteur de qualité organisationnelle.

Un questionnaire d'enquête a donc été développé. La version finale de ce questionnaire comprend 55 questions (84 en comptant les sous-questions) portant sur divers aspects de la logistique entourant les matières dangereuses : approvisionnement et expédition, stockage, coûts, sous-traitance et la maîtrise des risques (procédures, formations, programmes de prévention, etc.). Le questionnaire a été transmis à grande échelle aux sites fixes utilisant des matières dangereuses au Québec (490 entreprises). Le questionnaire a été envoyé à différents types d'entreprises (grands utilisateurs de MD, petits utilisateurs de MD, grandes entreprises et petites entreprises) de divers secteurs d'activités, ce qui facilite les comparaisons entre les catégories d'utilisateurs.

La définition (modélisation, calcul, etc.) du facteur de qualité organisationnelle constitue un des éléments principaux de la thèse. Pour déterminer les éléments devant être inclus dans le facteur de qualité organisationnelle, nous croiserons les résultats de l'enquête exploratoire avec des données accidentelles. Des régressions linéaires (simples et multiples) permettront notamment d'identifier les facteurs ayant le plus grand impact sur les taux d'accident et d'élaborer un modèle prédictif permettant de déterminer le facteur α d'une entreprise.

Les accidents impliquant des matières dangereuses à déclaration obligatoire étant relativement rares, les bases de données accidentelles relatives aux matières dangereuses n'ont pu être utilisées. Nous avons plutôt utilisé les données relatives aux accidents de travail en posant l'hypothèse que les taux d'accidents du travail et d'accidents impliquant des matières dangereuses vont de pair au sein de la même entreprise.

Toutes ces informations ont permis d'élaborer le modèle d'aide à la décision des choix logistiques, cœur même de la thèse, à l'aide des méthodes classiques de recherche opérationnelle. Afin de mettre les critères coûts et risques (part assumée par les entreprises parmi les conséquences humaines, environnementales, économiques, etc.) sur un pied d'égalité, nous suggérons de traduire le risque en pertes financières potentielles lors de la résolution du modèle. Des données économiques sont donc requises.

Le modèle a été validé à l'aide de deux études de cas en entreprise permettant de rejoindre différents types d'utilisateurs de matières dangereuses. Finalement, une analyse de sensibilité a également été effectuée à l'aide de données économiques afin de vérifier si les risques subis par l'entreprise peuvent compétitionner avec les coûts. Tout ceci permettra de comprendre le point de vue des entreprises, de les guider lors de la prise de décision et de vérifier si les pertes encourues sont suffisantes.

1.5. Organisation du document

Ce document est séparé en plusieurs chapitres se voulant le reflet des grands volets de la thèse : (chapitre 2) revue de la littérature, (chapitre 3) enquête sur les choix logistiques des utilisateurs de matières dangereuses, (chapitre 4) influence des facteurs organisationnels et (chapitre 5) modélisation et optimisation des choix logistiques (incluant l'analyse de sensibilité).

Suite au chapitre introductif, le deuxième chapitre est consacré à un examen critique de la littérature servant de support à la thèse. Nous avons étudié la littérature spécifique aux matières dangereuses en nous concentrant sur l'examen des quatre sujets les plus pertinents dans le cadre de ce projet : les statistiques générales concernant les accidents de matières dangereuses, l'analyse de risque, les problèmes de localisation et de transport ainsi que la gestion du risque. Suite à quelques réflexions entourant cette littérature, des compléments tirés de sujets connexes sont présentés.

Pour sa part, le troisième chapitre est consacré à l'étude exploratoire servant de base aux travaux entrepris dans la thèse. Une phase méthodologique présente les objectifs poursuivis, l'élaboration et la validation du questionnaire, l'échantillon et les limites de l'étude avant de présenter les résultats détaillés. En plus des statistiques descriptives, les analyses comparatives effectuées entre les diverses catégories d'utilisateurs (grands utilisateurs de MD, petits utilisateurs de MD, grandes entreprises et petites entreprises) sont présentées.

Le quatrième chapitre porte sur l'influence des facteurs organisationnels sur les taux d'accident recensés, travaux développés en partie à l'aide des résultats de l'étude exploratoire (chapitre 3). Le cas de quelques entreprises est premièrement étudié pour voir comment les pratiques varient d'un milieu de travail à l'autre. La modélisation proposée afin d'intégrer les facteurs organisationnels à l'analyse de risque est ensuite présentée en détails. Par la suite, les tests effectués afin de valider les travaux sont présentés, accompagnées d'une description détaillée des données accidentelles utilisées dans le cadre des régressions linéaires simples et multiples.

Finalement, le cinquième chapitre présente le modèle d'aide à la décision, élaboré à l'aide des observations tirées de l'étude exploratoire par questionnaire (chapitre 3) et de la modélisation proposée pour les facteurs organisationnels (chapitre 4). Deux études de cas valident ce modèle. Un prototype d'outil informatique basé sur le modèle d'aide à la décision est présenté avant d'aborder les analyses de sensibilité permettant de vérifier la façon dont les facteurs risques et coûts interagissent et de déterminer si les pertes encourues par l'entreprise en cas d'accident sont suffisantes pour influencer le processus décisionnel des entreprises.

CHAPITRE 2.REVUE DE LA LITTÉRATURE

La littérature portant sur les risques liés aux matières dangereuses est particulièrement riche. Depuis les années 1980, on assiste à un essor de ce type de recherche avec la publication annuelle d'éditions sur la question dans le *Transportation Research Record* de 1984 à 1991. Dans les années 1990, deux ouvrages d'importance recueillant des articles de conférences sur le sujet ont été publiés : *Transportation of dangerous goods: assessing the risks* édité par Saccomanno et Cassidy ainsi que *Transportation of hazardous materials: issues in law, social science, and engineering* édité par Moses et Lindstrom. De nombreuses revues scientifiques se sont également intéressées à la question avec la publication d'éditions spéciales:

- Transportation Science en 1991 (volume 25, numéro 2);
- Journal of Transportation Engineering en 1993 (volume 119, numéro 2);
- INFOR en 1995 (volume 33, numéro 1 et 2);
- Location Science en 1995 (volume 3, numéro 3);
- Transportation Science en 1997 (volume 31, numéro 3);
- Transportation Research Record en 1997 (numéro 1602);
- Studies in Locational Analysis en 1999 (numéro 12).

Depuis, de nouveaux articles viennent se greffer à cette base théorique, par le biais des revues spécialisées (*Journal of Loss Prevention in the Process Industries* et *Journal of Hazardous Materials*) ou par le biais de revues traitant de logistique en général. *Computer & Operations Research* publie même une édition spéciale sur le sujet en 2007 (volume 34, numéro 5).

Les domaines abordés dans ces articles touchent plusieurs aspects du génie industriel : tournées de véhicules, problèmes de localisation, analyse du risque, outils d'aide à la décision, sécurité et environnement, etc. Nous nous concentrerons ici à l'examen des quatre sujets les plus pertinents dans le cadre de ce projet : l'analyse de risque, les problèmes de localisation et de transport et le traitement du risque.

2.1.Analyse de risque

Au fil des années, de nombreuses méthodes d'analyse de risque ont été appliquées au domaine des matières dangereuses. Il existe un grand savoir faire pour les analyses de risque en site fixe (i.e sur le site d'une entreprise). Dans de nombreux pays, la législation exige même des entreprises qu'elles effectuent périodiquement ce type d'étude. À l'opposé, le domaine du transport des matières dangereuses est souvent absent des analyses de risque effectuées de par sa complexité inhérente. Les déplacements de matières dangereuses sont souvent difficiles à identifier, mal documentés et le déplacement continuel du chargement sur le réseau donne une toute nouvelle dimension au problème. C'est probablement en raison de cette complexité que les équipes de chercheurs, contrairement aux législateurs, se sont surtout intéressées au transport des matières dangereuses au cours des dernières années.

Au-delà des législations en vigueur, pour une entreprise, le but d'une analyse de risque technologique peut être : (1) de démontrer sa conformité, (2) de servir de base pour effectuer la communication du risque ou (3) de servir lors de la prise de décision (Hoj et Kröger, 2002). Cette troisième fonction est particulièrement intéressante dans le cadre du projet proposé.

La section qui suit permet de se familiariser avec les différentes études portant sur l'analyse de risque entourant l'usage des matières dangereuses dans la littérature. La section est divisée en quatre parties. La première partie présente quelques concepts et définitions-clés nécessaires à la compréhension de l'analyse de risque. La seconde partie explore la littérature entourant l'analyse des risques relatifs aux matières dangereuses alors que la troisième partie discute des limites de ces études.

2.1.1. Concepts et définitions

Afin de mieux comprendre les termes utilisés tout au long du document, quelques définitions sont ici présentées. Elles sont pour la plupart tirées des documents publiés par le Conseil pour la Réduction des Accident Industriels Majeurs (CRAIM) et par le Ministère de la sécurité civile du Québec qui ont pris le soin de clairement définir chaque concept, en français.

Il faut premièrement préciser que cette recherche s'intéresse au risque accidentel et non au risque chronique, c'est-à-dire aux conséquences à long terme de faibles, mais constantes, émissions de polluants. Les risques accidentels font plutôt référence à des évènements non planifiés (déversements, explosions, etc.) de matières dangereuses soit sur un site fixe ou lors d'un transport. On parlera de risque de déversement, de risque d'explosion, de risque d'incendie, etc. De façon plus précise, ce risque est défini comme étant :

> *« Combinaison de la probabilité d'occurrence d'un aléa et des conséquences pouvant en résulter sur les éléments vulnérables d'un milieu donné. »* (Ministère de la sécurité civile, 2008)

On comprend donc que le risque est fonction de la probabilité de l'évènement redouté (aléa) et de ses conséquences anticipées. Mais quel est cet aléa? Quelles sont ces conséquences?

> *« L'aléa se définit comme un phénomène, une manifestation physique ou une activité humaine susceptible d'occasionner des pertes en vies humaines ou des blessures, des dommages aux biens, des perturbations sociales et économiques ou une dégradation de l'environnement. »* (Ministère de la sécurité civile, 2008)
>
> *« [L'aléa] désigne la probabilité qu'un phénomène dangereux produise, en un point donné du territoire, des effets d'une intensité physique définie. L'aléa technologique ne prend pas compte de la présence ou non d'enjeux et leur vulnérabilité. Il ne préjuge donc pas de la gravité potentielle d'un accident. »* (CRAIM, 2007)

Pour référer à l'aléa, on peut aussi parler de danger, de potentiel de danger ou de situation de danger. Cet aléa réfère souvent à l'accident (industriel ou routier) proprement dit. Ces évènements peuvent être qualifiés d'accidents, d'incidents ou de presque accidents selon l'ampleur des conséquences en résultant. Il existe un flou entre les trois catégories, les experts ne s'entendant pas sur la façon de classifier les évènements. Cependant, de façon générale, on reconnaît qu'un accident majeur est :

> *« Un événement inattendu et soudain, impliquant des matières dangereuses (relâchement de matières toxiques, explosion, radiation thermique) et entraînant des conséquences pour la population, l'environnement et/ou les biens, à l'extérieur du site de l'établissement. »* (CRAIM, 2007)

Bien que cette définition réfère spécifiquement au cas des sites fixes, on comprendra que, quel que soit le cas (site fixe ou transport), l'accident majeur est celui qui aura des conséquences excédant le cadre des activités industrielles.

L'aléa peut être plus ou moins important selon la matière dangereuse impliquée, la quantité impliquée, etc. La probabilité que cet aléa survienne est à la fois dépendante de la compagnie exploitante (formation du personnel, maintenance de l'équipement, etc.) et indépendante (conditions météorologiques, état de la chaussée, etc.). Dans les faits, des taux d'accident historiques sont souvent utilisés.

Pour déterminer les conséquences possibles d'un accident, on identifiera les différents enjeux exposés à l'aléa. De façon générale, on reconnaît trois grandes catégories d'enjeux :

- Enjeux humains : populations exposées à l'aléa. Dans le cas des sites fixes, il s'agit des personnes situées à proximité de l'entreprise, qu'elles soient à domicile, sur leur lieu de travail ou dans un lieu public. Dans le cas du transport routier, il s'agit des personnes situées en bordure de la route empruntée par les convois de matières dangereuses, qu'elles soient à domicile, sur leur lieu de travail ou dans un lieu public. Certaines études prendront les autres usagers de la route (automobilistes, passagers) en considération.
- Enjeux environnementaux : faune et flore exposées à l'aléa. Un déversement de matières dangereuses pourrait entraîner une contamination de l'écosystème. Cette contamination pourrait être particulièrement problématique dans les situations où la nappe phréatique serait touchée.

- Enjeux économiques : activités humaines exposées à l'aléa. Parmi les enjeux économiques, on pourrait distinguer les cibles matérielles (bâtiments privés ou publics, infrastructures, matériel roulant, etc.) des impacts possibles sur l'activité économique (effets de la congestion routière résultante, ralentissement de la production, etc.). Alors que les cibles matérielles sont situées près du site fixe ou le long du tracé emprunté par les matières dangereuses, les impacts possibles sur l'activité économique peuvent affecter un territoire beaucoup plus vaste.

Pour évaluer les conséquences anticipées de l'accident, on utilisera aussi souvent le concept de vulnérabilité.

> *« Quant à la vulnérabilité, elle représente une condition résultant de facteurs physiques, sociaux, économiques ou environnementaux, qui prédispose les éléments exposés à la manifestation d'un aléa à subir des préjudices ou des dommages. » (Ministère de la sécurité civile, 2008)*

Une fois que la probabilité d'occurrence et les conséquences attendues de l'évènement redouté ont été évaluées, le risque (probabilité x conséquences) peut être estimé à l'aide d'une analyse de risque. Ces analyses de risques peuvent être quantitatives, semi-quantitatives ou qualitatives. Dans le cadre de cette thèse, nous nous intéresserons surtout à l'analyse quantitative (*QRA* ou *Quantitative Risk Assessment*) afin de pouvoir intégrer les résultats aux modèles de recherche opérationnelle. Concrètement, le QRA demande de chiffrer précisément la probabilité d'occurrence de l'évènement redouté ainsi que ses conséquences. Ce processus sera décrit plus en détails dans les sections qui suivent.

Mais quel est le but d'une analyse de risque? En fait, toute analyse de risque s'inscrit dans un processus beaucoup plus large de gestion des risques. Bien qu'il n'existe pas de processus unique de gestion des risques, de tels programmes visent généralement la prévention des accidents industriels et la réduction de leurs conséquences. Les résultats de l'analyse de risque pourront donc être utilisés afin d'évaluer la situation (actuelle ou future). En cas de besoin, des mesures de réduction du risque peuvent être mises en place par les entreprises ou les gouvernements. Les différentes mesures de réduction du risque se classent en deux catégories distinctes : prévention

(réduction de la probabilité d'accident) ou atténuation (mesures visant à limiter les conséquences d'un accident). (CRAIM, 2007).

Il est donc possible de réduire le niveau de risque, mais on peut difficilement l'éliminer totalement sans cesser toute activité industrielle. On parle donc de risque acceptable et de risque tolérable.

> *« Risque acceptable : situation où les parties intéressées jugent que le risque n'est pas significatif et qu'aucune autre action n'est nécessaire pour le réduire ou l'éliminer. » (CRAIM, 2007).*
>
> *« Risque tolérable : une situation qui se justifie au moment de l'analyse avec les moyens technologiques du moment mais qui devra être améliorée dès que cela sera possible. Tolérable ne signifie pas acceptable. » (CRAIM, 2007).*

L'acceptabilité et la tolérabilité du risque dépendra des valeurs des décideurs (industriels, autorités, population). Ce qui est acceptable pour une personne ne l'est pas nécessairement pour tous et c'est pourquoi ce type de décisions fait souvent l'objet de débats publics.

2.1.2. Analyse de risque spécifique aux matières dangereuses

Cette section présente la littérature portant sur l'analyse de risque entourant l'utilisation de matières dangereuses. L'accent est surtout mis sur le transport routier puisqu'il s'agit du domaine ayant capté le plus l'intérêt des chercheurs. Cependant, en fin de section, le lien est fait avec les autres modes de transport ainsi qu'avec les installations fixes afin de comprendre comment la théorie présentée peut être appliquée dans de tels cas.

2.1.2.1. Risque d'accident pour le transport routier de MD

Tel que mentionné à la section précédente, le risque est généralement défini comme étant le produit d'une probabilité d'occurrence d'un aléa et de ses conséquences attendues. Pour le transport des matières dangereuses, il faut donc déterminer la fréquence des accidents ainsi que

leur sévérité. Comme le notent Hwang et al. (2001), plusieurs facteurs peuvent influencer le taux d'accident et les conséquences attendues:

- Taux d'accident :
  - le nombre de déplacements;
  - le type de route empruntée;
  - le type de véhicule utilisé.
- Conséquences :
  - la taille du convoi;
  - les caractéristiques chimiques du produit;
  - la météorologie;
  - la densité de la population.

Cette liste n'est probablement pas exhaustive, mais elle permet de constater que l'analyse de risque d'un transport de matières dangereuses nécessite le recours à de nombreuses données. Pour cette raison, plusieurs méthodes d'analyse de risque simplifient la situation en ne considérant que le nombre de personnes vivant le long d'un corridor routier afin de déterminer les conséquences ou n'utilisent que le taux d'accident observé le long de l'axe pour déterminer la probabilité (Leonelli et al., 1999). En opposition, certains chercheurs se sont penchés davantage sur la problématique afin de développer des méthodes d'évaluation appropriées, bien qu'il soit difficile d'y arriver avec précision (voir section 2.1.3).

De manière générale, les chercheurs s'intéressent surtout aux accidents ayant causé la mort ou des blessures. Afin de déterminer la fréquence d'occurrence associée à cette sous-classe d'évènements, les probabilités conditionnelles sont utilisées.

Utilisons la notation proposée par Erkut et al. (2005) et supposons un accident (*A*) dont peut découler un déversement (*M*) pouvant résulter en un incident (*I*). Sachant que $p(E)$ représente la probabilité qu'un évènement E survienne $p(E|F)$ représente la probabilité qu'un évènement *F* survienne sachant que l'évènement *E* a eu lieu, on peut utiliser le théorème de Bayes pour calculer la probabilité d'une blessure (*D*) découlant d'un accident de TMD :

$$p\,(A, M, I, D) = p\,(D|A, M, I)p(A, M, I) \quad (2.1)$$

$$p\,(A, M, I, D) = p(D|A, M, I)p(I|A, M)p(A,M) \quad (2.2)$$

$$p\,(A, M, I, D) = p(D|\,A, M, I)p(I|A, M)p(M|A)p(A) \quad (2.3)$$

En utilisant cette équation, il est donc possible de calculer le risque lié à un convoi donné de matières dangereuses. Saccomanno et Chan (1985), ainsi que Harwood et al. (1990), ont notamment utilisé une variante de cette technique pour déterminer les taux d'accident dès les débuts de la recherche dans le domaine. Notons cependant qu'un certain nombre de chercheurs utilisent des méthodes abrégées pour le calcul des taux d'accident. C'est ainsi que Glickman (1988) obtient des taux en divisant le nombre d'accidents de matières dangereuses par le kilométrage moyen effectué par les véhicules.

Pour passer d'un taux d'accident à une mesure du risque individuel liée au passage de convois d'une matière dangereuse (m), il suffit de multiplier l'expression ci-dessus par le nombre de convois (s_{lm}) empruntant le segment routier (l) en une année (Erkut et al., 2005) :

$$s_{lm}p_l(A, M_m, I, D). \quad (2.4)$$

Bien que le risque individuel soit une mesure intéressante, le risque sociétal est plutôt utilisé lors de la prise de décision puisqu'il tient mieux compte des caractéristiques du territoire. Pour obtenir le risque sociétal, il suffit de multiplier le risque individuel calculé précédemment par la densité de population (POP_l) entourant le segment routier (l) (Erkut et al., 2005).

$$R_{lm} = s_{lm}p_l.(A, M_m, I, D)\ POP_l \quad (2.5)$$

Évidemment les expressions présentées plus haut peuvent être jugées limitatives puisqu'elles ne tiennent compte que de la mortalité et des blessures (densité de population). C'est pourquoi il est parfois suggéré de traduire chaque conséquence possible ($CONS_c$) en pertes financières (coût associé à la perte de production, coût associé aux pertes de vies humaines, coût associés aux

blessés, coût de l'évacuation, coût de la décontamination, …). Le risque associé à un segment routier *l* est alors représenté par (Erkut et al., 2005):

$$R_l = \sum_{a\in A}\sum_{m\in M}\sum_{i\in I}\sum_{c\in C} s_{lm}\, p_l(A_a, M_m, I_i, C_c) CONS_c \qquad (2.6)$$

La valeur de $CONS_c$ dépendra grandement de la zone d'impact retenue. Il existe plusieurs façons de modéliser cette zone. Parmi les plus simples, notons : un cercle autour de la localisation de l'accident, une largeur prédéfinie autour de l'ensemble du segment routier à l'étude ou un rectangle encadrant la zone où a lieu l'accident. (Erkut et al., 2005) Certains chercheurs utilisent plutôt une forme elliptique représentant la dispersion des contaminants dans l'atmosphère. Cette dernière option est généralement jugée beaucoup plus représentative que les précédentes, mais la forme de l'ellipse est appelée à varier grandement en fonction de la vitesse et de la direction des vents, du taux d'humidité et de la quantité de contaminants relâchée. Ainsi, même les estimés obtenus à l'aide de ce modèle correspondent rarement à la réalité (Chakraborty et Armstrong, 1996).

Nous avons jusqu'ici étudié le risque lié à un segment routier donné. Cependant, une livraison implique nécessairement un ensemble de segments routiers. Le risque associé à un convoi de matières dangereuses est alors représenté par la somme du risque (produit de la probabilité (p_i) d'accident et des conséquences attendues (c_i)) sur l'ensemble des segments routiers *(i)*.

$$R'(P) = \sum_{i=1}^{n} p_i c_i \qquad (2.7)$$

Lors de ce calcul de risque, il est important de conserver des segments relativement courts puisque le taux d'accident est appelé à changer en fonction de la géométrie du tracé (côtes, courbes, tunnels, ponts, revêtement de gravier, etc.) ainsi que les conséquences attendues (zones plus peuplées, etc.)

Dans la pratique, on ne peut continuer sa route sur le segment i + 1 que si aucun accident n'est survenu sur le segment précédent. Le risque associé à une route donnée serait donc mieux représenté par :

$$R'(P) = pc + (1-p)pc + (1-p)^2 pc + ... + (1-p)^{n-1} pc \quad (2.8)$$

Cependant, l'expression simplifiée présentée plus haut est souvent préférée puisque la probabilité qu'un accident survienne sur un segment routier est tellement faible qu'elle est négligeable.

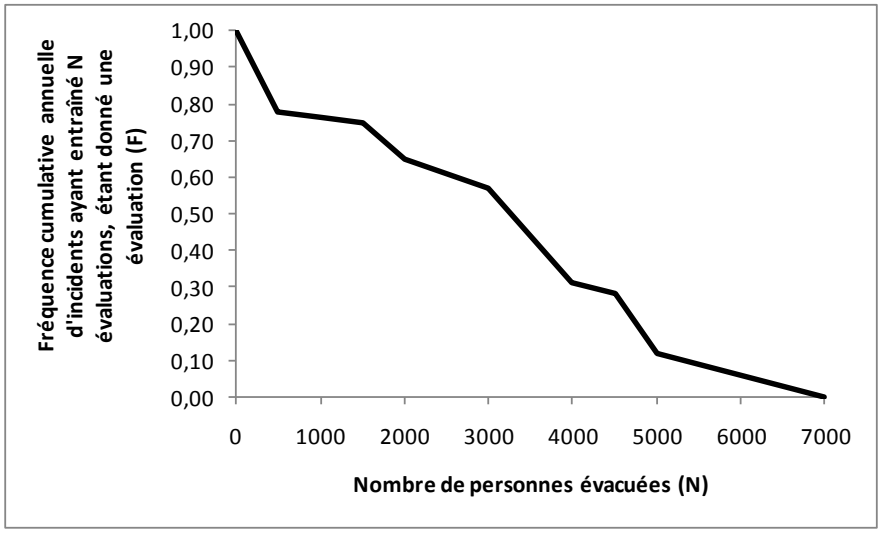
Outre l'expression traditionnelle du risque sur un chemin, nombre d'autres modèles de calculs de risque ont été élaborés au fil des années. Parmi ceux-ci citons entres autres (Erkut et al., 2005) :

- Exposition de la population : $\sum_{i=1}^{n} c_i$ (2.9)
- Probabilité d'incident : $\sum_{i=1}^{n} p_i$ (2.10)
- Exposition maximale : $\underset{e_i \in P}{\text{Max}}\, c_i$ (2.11)
- Risque perçu : $\sum_{i=1}^{n} p_i c_i^{\alpha}, \alpha > 0$ (2.12)

où c_i réfère aux conséquences attendues de l'accident, p_i réfère à la probabilité d'accident, P à un territoire donné et α réfère à la façon dont la population perçoit le risque. Alors que les modèles axés vers l'exposition de la population visent la minimisation des conséquences d'un accident, les modèles axés vers la probabilité d'accident visent la minimisation de la probabilité d'accident. Ces deux types de modèles amènent des avantages différents. En minimisant la probabilité d'accident entre les points A et B, on obtient des routes beaucoup plus courtes, l'accumulation de kilomètres parcourus augmentant la probabilité qu'un accident survienne au cours du trajet. On ne tient cependant pas compte des zones sensibles traversées. En minimisant les conséquences attendues, on évitera les zones de population mais en conséquence, on obtiendra des routes plus longues. Pour leur part, les modèles axés vers l'exposition maximale visent la minimisation de l'exposition maximale de la population afin de garantir d'éviter les zones très densément peuplées. Cependant, les routes seront, encore une fois, probablement plus longues. Finalement, les modèles axés vers la perception du risque viennent amplifier les conséquences d'un accident lorsque la population est réticente partant du principe que plus un accident entraîne des pertes de vie, plus il a un caractère effroyable et plus la réaction du public est forte.

Le résultat de l'analyse de risque est donc appelé à varier selon le modèle retenu et chaque modèle a ses adeptes et ses détracteurs.

L'évaluation purement quantitative du risque est très utile pour les applications en recherche opérationnelle. Cependant, certains chercheurs préfèrent, à cette étape du processus, représenter le risque par des courbes F-N, telle que celle illustrée à la figure 2.1 tirée de Erkut et al. (2005).



Source : Erkut et al. (2005).

Figure 2.1 : Représentation du risque à l'aide d'une courbe F-N

Ce type de représentation graphique donne la probabilité d'observer, au cours de l'année, un accident entraînant un certain niveau de conséquences. Par exemple, sur la figure 2.4, on remarque que la probabilité d'observer un évènement entraînant une évacuation de plus de 5000 personnes est inférieure à 10% au cours de l'année.

2.1.2.2. Risque d'accident lié aux autres opérations logistiques

Bien que la plupart des études se soient penchées sur le cas du transport routier, quelques études se sont penchées sur le cas du transport ferroviaire, du transport maritime et du transport par canalisations. Les techniques présentées plus haut pour le transport routier (section précédente) ont donc été adaptées pour répondre aux exigences de ces modes de transport. Cependant, à notre

connaissance, l'analyse des risques liés au transport aérien de matières dangereuses n'a pas vraiment fait l'objet d'études particulières.

Par ailleurs, notons que les techniques d'analyse du risque technologique entourant les matières dangereuses ont premièrement été développées pour les sites fixes, puis peu à peu adaptées pour le transport. Des principes similaires à ceux présentés pour le transport routier existent donc pour les installations industrielles.

Dans le cas des sites fixes, le calcul est en partie allégé puisque le potentiel de danger n'est pas en mouvement. Cependant, la complexité des installations industrielles constitue un défi additionnel. Au Québec, le guide développé par le *CRAIM (Conseil Pour la Réduction des Accidents Industriels Majeurs)* sert de référence lors de l'analyse de risque dédiée aux installations industrielles. Ce guide est en partie basé sur la méthode *RMP (Risk Management Program*) de *l'EPA (United States Environmental Protection Agency*). Nous en résumons ici les grandes lignes.

Dans cette méthode, les établissements présentant un risque industriel majeur sont priés de procéder à une analyse de risque. Cette analyse de risque implique premièrement l'utilisation de l'analyse des conséquences des scénarios normalisés d'accidents (Worst-Case Release Scenarios) :

> *Scénarios normalisés : « émission de la plus grande quantité d'une substance dangereuse, détenue dans le plus gros contenant, dont la distance d'impact est la plus grande. »* (CRAIM, 2007)

Cette méthode est avant tout utilisée afin de déterminer si un accident de MD pourrait avoir des conséquences au-delà des limites du site de l'entreprise. Chaque entreprise doit présenter un scénario normalisé pour évaluer l'impact d'un accident impliquant une substance toxique et un scénario normalisé pour évaluer l'impact d'un accident impliquant une substance inflammable, si ces deux substances sont présentes sur le site en quantités suffisantes. Le CRAIM réfère aux documents de l'EPA pour les détails du calcul.

Par la suite, un relevé des accidents survenus au cours des cinq dernières années doit être établi. De plus, si suite à l'analyse des conséquences des scénarios normalisés d'accidents on détermine que des conséquences pourraient se faire sentir à l'extérieur des limites du site de l'entreprise, une analyse des conséquences des scénarios alternatifs d'accidents (Alternative Scenarios) doit être effectuée :

> *Scénarios alternatifs : « l'accident le plus important qui peut se produire pour une matière dangereuse de la liste, détenue en quantité supérieure à la quantité seuil. Ce scénario tient compte de la proximité ou de l'interconnexion des contenants de la substance concernée. Toutefois, il tient aussi compte des mesures d'atténuation passives et actives. » (CRAIM, 2007)*

Cette méthode est utilisée afin de déterminer le nombre de personnes approximatif (ainsi que la liste des édifices) pouvant être touchées par un accident en permettant de représenter la zone d'impact de façon géographique (cercles centrée sur la source d'accident). Les entreprises visées doivent présenter un scénario alternatif pour évaluer l'impact d'un accident impliquant chacune des substances toxiques présentes sur le site en quantités suffisantes. Le CRAIM réfère encore une fois aux documents de l'EPA pour les détails du calcul.

2.1.3. Limites de l'analyse de risque quantitative

Les accidents impliquant des matières dangereuses sont des évènements rares mais pouvant avoir des conséquences catastrophiques. Ces caractéristiques en font un sujet d'étude de prédilection mais se transforment rapidement en limites que les chercheurs tentent de surmonter. En effet, de par leur rareté, il est difficile d'obtenir des données précises sur le taux d'occurrence de ces évènements. De par leurs conséquences catastrophiques et souvent insoupçonnées avant l'évènement, il est difficile d'évaluer l'impact de ces accidents. Ces sources d'erreurs ont parfois un impact considérable puisqu'elles peuvent notamment influencer les décisions relatives au mode de transport ou au choix du trajet emprunté (Button et Reilly, 2000). Additionné au choix d'un modèle d'analyse de risque pouvant influencer les résultats, on note des inconsistances et des contradictions entre certaines études (Saccomanno et al., 1993).

Malgré ces quelques constats, l'analyse de risque demeure une étape essentielle de tout processus de gestion du risque. Il faut surtout apprendre à travailler à l'intérieur de ces limites, en être conscient et apprendre à poser les choix méthodologiques appropriés. De plus, en reconnaissant les limites liées aux données relatives à la probabilité d'occurrence et aux données relatives aux conséquences d'accidents MD, les actions permettant de combler ces lacunes peuvent être enclenchées.

La littérature a surtout étudié l'incertitude liée à la probabilité d'occurrence. De façon générale, pour calculer la probabilité d'occurrence, on fait appel aux bases de données internationales, nationales ou régionales recensant les accidents impliquant des matières dangereuses. Parmi les études ayant utilisé une telle technique, citons entre autres : Harwoodet al. (1990), Harwood et al. (1993) ainsi que Glickman (1988). Cependant, tel que le mentionnent Erkut et Verter (1995a):

> *« We prefer not to quote any benchmark estimates of release accident rates here due to the significant differences between the figures published in the papers referenced above. Furthermore, there exists considerable criticism regarding the statistical reliability of the source databases due to the under-reporting of release events, and thus the quality as well as quantity of available data. »*

En effet, les résultats obtenus dépendent grandement de la qualité des données disponibles. Les taux d'accident varient donc selon la base de données utilisée, ce qui pose évidemment problème lors d'une analyse quantitative de risque. Cette situation a maintes fois été rapportée dans la littérature. Citons notamment les travaux de Abkowitz et List (1987) mais surtout ceux de Hobeika et Kim (1993) qui ont comparé certaines bases de données américaines régionales et fédérales.

Il faut noter que selon la réglementation américaine, les accidents répondant à certains critères (morts, blessés, dommages matériels importants, etc.) doivent obligatoirement être rapportés dans les bases de données HMIR et BMCS étudiées par les auteurs. Voici les conclusions obtenues à la suite d'une étude couvrant le territoire de la Pennsylvanie :

- 28 accidents contenus dans HMIR correspondent également aux critères de BMCS. Pour ces 28 accidents, HMIR recense 1 mort et aucun blessé.
- 28 accidents contenus dans BMCS correspondent également aux critères de HMIR. Pour ces 28 accidents, BMCS recense 7 morts et 24 blessés.
- On pourrait penser qu'il s'agit des 28 mêmes accidents, cependant, les deux bases de données n'ont que 10 accidents en commun.
- Pour ces 10 accidents, HMIR ne recense aucun mort et aucun blessé alors que BMCS recense aucun mort et 7 blessés.
- De plus, la Pennsylvanie possède une base de données propre qui recense 570 accidents routiers impliquant des matières dangereuses alors que BMCS en recense 168.

On pourrait croire, puisque l'étude a été effectuée en 1993, que la situation se serait améliorée depuis cette époque. Cependant, toujours dans le cadre du projet GLOBAL, des conclusions similaires ont récemment été tirées pour les bases de données canadiennes, souvent incomplètes (Trépanier et al., 2009).

Ces constats mettent en évidence, avec des bases de données accidentelles très souvent incomplètes, les difficultés liées à l'estimation du nombre exact d'accidents de matières dangereuses et des probabilités d'accident. De plus, même lorsqu'il existe des bases de données d'accident relativement fiables, les chercheurs se heurtent à une autre problématique : l'absence de données sur les mouvements de matières dangereuses, ce qui rend impraticable le calcul d'un taux d'exposition (Abkowitz et Cheng, 1989). Cette situation a été soulevée très tôt par List et Abkowitz (1986) et n'a toujours pas été corrigée dans de nombreuses régions.

2.2.Problèmes de localisation et de transport impliquant des MD

Les problèmes de transport ou de localisation impliquant des matières dangereuses se distinguent des modèles traditionnels par l'introduction du facteur « risque ». On ne désire plus seulement trouver une solution minimisant les coûts ou la distance : on doit prendre une décision en balançant le facteur coût et le facteur risque. Pour cette raison, les problèmes de recherche opérationnelle s'intéressant aux matières dangereuses sont étroitement liés aux études d'analyses de risque présentées à la section précédente.

Cette section est divisée en quatre parties : l'étude des problèmes d'optimisation locale pour le transport des matières dangereuses, l'étude des problèmes d'optimisation globale pour le transport des matières dangereuses, l'étude des problèmes de localisation et finalement, l'étude des problèmes combinant le transport à la localisation. Encore une fois, l'accent est surtout mis sur le transport routier. La littérature s'est surtout concentrée sur ce mode de transport en raison du peu d'alternatives offertes par le transport ferroviaire, maritime, aérien ou par pipelines.

2.2.1. Problèmes d'optimisation locale pour le TMD

Les problèmes d'optimisation locale font référence au choix d'une route reliant une origine A à une destination B. Dans la littérature traditionnelle du transport de marchandises, on résout ce type de problème par un algorithme de plus-court chemin et on s'intéresse surtout aux tournées plus complexes de véhicules. Cependant, l'inclusion du facteur risque dans le cas du transport des matières dangereuses, transforme le problème de plus-court chemin en un problème aux objectifs multiples et souvent contradictoires. C'est pourquoi la communauté scientifique s'est intéressée à cette problématique.

Bien que les problèmes de TMD soient à objectifs multiples (risque et considérations économiques), plusieurs auteurs se concentrent sur un seul objectif. Erkut et Verter (1995a) notent:

> *« In fact, many authors suggest that minimization of risk is the highest priority objective in the transportation of dangerous goods. This is perhaps an explanation of why the majority of the local routing models appearing in the literature are single objective formulations focusing on risk minimization. »*

Cette section étudie donc premièrement les modèles de TMD à objectif unique axés sur la minimisation du risque, puis introduit les modèles à objectifs multiples.

2.2.1.1. Modèles de TMD à objectif unique

Le but n'est pas ici d'entrer dans le détail des modèles utilisés. En fait, la plupart des modèles évaluent simplement différentes routes entre l'origine et la destination sur la base du critère de

risque retenu. Typiquement, si le critère utilisé est la définition traditionnelle du risque, on sélectionnera les segments routiers x_j qui permettront de minimiser le risque (combinaison de la probabilité d'occurrence p_j et des conséquences C_j) sur l'ensemble du trajet. Le problème de TMD sera représenté par l'objectif suivant (Erkut et Verter, 1998) :

$$\min \sum_{j=1}^{n} (p_j C_j) x_j \tag{2.13}$$

Tel que le notent Kara et al. (2003), la plupart des articles transforment le problème de TMD en un problème de plus court chemin. En effet, en observant la formule présentée ci-dessus, on remarque que la formulation des deux problèmes est relativement identique : au lieu de choisir les segments routiers x minimisant le coût de transport, on choisit les segments routiers minimisant le risque.

Tous les auteurs n'utilisent cependant pas la définition traditionnelle du risque (probabilité*conséquences) lors de la sélection d'une route pour le transport des matières dangereuses puisqu'il existe, tel que le notent Erkut et Ingolfsson (2000), de nombreuses écoles de pensée lors du choix d'une route à risque minimal. Ces écoles sont le reflet des différentes techniques d'analyse de risque présentées à la section 2.1.2.

Les études utilisant uniquement la probabilité d'occurrence permettent certainement de réduire le nombre d'accidents (voir section 2.1.2.1). De plus, en se dirigeant le plus rapidement possible du point A au point B, une telle tactique permet de réduire les frais de transport. Cependant, certains critiquent ce modèle puisqu'il ne permet pas nécessairement d'éviter les zones à forte densité de population, ce qui pourrait résulter en des accidents catastrophiques (Erkut et Ingolfsson, 2000).

En réponse à ces critiques, les modèles minimisant les conséquences sont souvent proposés. Ces modèles ne considèrent généralement que les conséquences sur les vies humaines et évacuent les autres impacts possibles (financiers, environnementaux, etc.). On se retrouve donc souvent avec des routes beaucoup plus longues afin d'éviter tous les centres de population. On minimise donc peut être les risques pour les humains mais on augmente les autres types d'impacts.

Certains affirment plutôt que ce sont surtout les accidents catastrophiques qui sont indésirables. Par exemple, Erkut et Ingolfsson (2000) postulent qu'un accident affectant 1000 personnes sera beaucoup plus coûteux qu'un accident affectant 10 personnes. Ils affirment donc :

> *« Consequently, a carrier may prefer a route involving a one-in-a-thousand chance of an incident impacting 10 people to a one-in-a-hundred-thousand chance of a 1000-people incident. Hence, catastrophe avoidance may be as relevant as the minimization of societal risk in hazmat routing. »*

Voilà pourquoi Erkut et Ingolfsson (2000) ainsi que Sherali et al. (1997) proposent l'utilisation d'un modèle basé sur la minimisation de l'exposition maximale. Ils prétendent qu'un tel modèle est nécessaire puisque même un modèle minimisant l'exposition de la population, en minimisant la somme de la population sur l'ensemble du trajet, ne peut garantir qu'il n'y aura pas un point du trajet où la densité de la population sera très élevée.

Erkut et Verter (1998) ont étudié la performance relative d'algorithmes de transport basés sur différentes définitions du risque afin de déterminer quelle option est préférable :

1. Plus court chemin traditionnel
2. Exposition de la population
3. Risque traditionnel
4. Probabilité d'accident
5. Probabilité d'accident avec déversement

Ils ont étudié chacun des 5 objectifs pour toutes les paires possibles parmi les huit villes suivantes : Chicago, Détroit, Boston, Nashville, Atlanta, Houston, Nouvelle Orléans et Jacksonville. Ils ont par la suite comparé les différents résultats obtenus :

Tableau 2.1 : Moyenne et déviation standard des fonctions objectifs normalisées

Objectifs	1	2	3	4	5
1	1.00 (0.00)	3.77 (2.19)	4.65 (3.51)	1.71 (0.37)	1.84 (0.45)

2	1.72 (0.24)	1.00 (0.00)	1.49 (0.43)	3.99 (0.50)	5.04 (0.66)
3	1.71 (0.31)	1.21 (0.09)	1.00 (0.00)	2.84 (0.62)	3.48 (0.81)
4	1.10 (0.06)	2.71 (0.58)	1.84 (0.21)	1.00 (0.00)	1.00 (0.00)
5	1.09 (0.06)	2.82 (0.55)	1.94 (0.25)	1.00 (0.01)	1.00 (0.00)

Source: Erkut et Verter (1998)

On voit, par les résultats présentés au tableau 2.1, qu'utiliser la définition traditionnelle du risque entraîne une augmentation de 71% de la longueur des trajets. De plus, la définition du risque traditionnelle performe nettement moins bien qu'un plus court chemin traditionnel lorsqu'on ne parle que de la probabilité d'accident ou d'accident avec déversement. Il en va de même pour l'objectif de minimiser l'exposition de la population. Bref, on remarque que chaque objectif apporte son lot d'avantages et d'inconvénients et qu'il est difficile de déterminer si une méthode est préférable aux autres. Il faut de plus rappeler que les résultats obtenus sont influencés par l'exactitude des données utilisées lors du calcul (voir section 2.1.3).

2.2.1.2. Modèles de TMD à objectifs multiples

Pour pallier le problème énoncé précédemment, certains chercheurs ont développé des modèles à objectifs multiples. En tenant compte à la fois de divers facteurs (coût de transport, risques d'accident, etc.), la solution pourra tenir compte des demandes parfois contradictoires des différents acteurs. Cependant, la détermination de cette solution optimale n'est pas une tâche simple puisqu'en général, aucune solution ne permet d'optimiser simultanément l'ensemble des objectifs. En fait, on obtient plutôt un ensemble de solutions difficilement différentiables (certaines solutions performent très bien sur la base de certains critères, mais moins bien sur la base d'autres critères où des solutions alternatives excellent), aussi nommées optimum de Pareto (Erkut et al., 2005).

Prenons l'exemple proposé par Nozick et al. (1997) qui ont tenu compte des trois critères suivant : la minimisation du taux d'accident résultant en un déversement, la minimisation de l'exposition de la population et la minimisation de la distance parcourue. Ils ont analysé l'ensemble des routes possibles entre Wilmington au Delaware et Portland au Maine sur la base de ces trois critères. Ils ont obtenu un ensemble de 20 solutions formant un optimum de Pareto. Le tableau 2.2 présente six de ces solutions :

Tableau 2.2 : Évaluation de différentes routes sur la base de trois critères

Route	**Distance (km)**	**Taux d'accident (par 1000 trajets)**	**Exposition (véhicules min)**
A	700	0.0427	13077
B	1159	0.0461	9859
C	919	0.0412	10211
D	811	0.0412	11025
E	731	0.0417	12243
F	774	0.0416	11658

On voit bien, à la lumière du tableau 2.4, comment il peut être difficile de déterminer la solution optimale, puisqu'il n'y en a pas. Ici, la route A offre la distance la plus courte, mais présente la plus grande exposition. Par opposition, la route B présente le meilleur résultat en termes d'exposition, mais le pire résultat côté distance et taux d'accident.

Certains ont tenté de contourner ce problème en modifiant la modélisation du problème. Par exemple, Erkut et Glickman (1997) ont minimisé le temps de transport et l'exposition maximale de la population. La façon traditionnelle de modéliser ce problème serait :

$$
\begin{aligned}
&\min\ f_1 = \sum_{i,j} t_{ij} x_{ij} \\
&\min\ f_2 = \max\left\{ p_{ij} x_{ij} : (i,j) \in E \right\} \\
&\text{subject to} \\
&\sum_{i \in N} x_{ij} - \sum_{k \in N} x_{jk} = \begin{cases} -1 \; for j = 1 \\ 0, \text{for all } j \in N,\ j \neq 1, n \\ 1 \text{ for } j = n \end{cases} \\
&x_{ij} = 0 \text{ or } 1
\end{aligned}
\tag{2.14}
$$

où t_{ij} représente le temps de transport sur le lien *i,j*, p_{ij} représente la population entourant le lien *i,j et* x_{ij} est la variable de décision. Cependant, ils ont transformé le deuxième objectif en une contrainte. La formulation devient alors :

$$
\begin{aligned}
&P(B) : \min\ f_1 \\
&f_2 \leq B \\
&\text{subject to Constraints 1 and 2}
\end{aligned}
\tag{2.15}
$$

Il suffit alors de fixer le paramètre *B* en fonction d'une exposition maximale qui semble réaliste et la résolution du problème ne retournera alors qu'une seule solution. Cependant, il faut faire très attention lors du choix de *B* puisque les routes deviendront de plus en plus longues au fur et à mesure que la valeur de *B* diminue (Erkut et Glickman, 1997).

Certains chercheurs ont développé d'autres options pour contourner le problème des objectifs conflictuels. C'est ainsi que Nembhard et White (1997) accordent un poids à chacun des objectifs :

$$\min(u) = w_1 u_1 + w_2 u_2 \tag{2.16}$$

Ici, w_1 et w_2 représentent les poids accordés à chacun des objectifs u_1 et u_2. De plus u_1 et u_2 sont ramenés à une échelle similaire afin de faciliter la comparaison. Nembhard et White laissent le soin aux décideurs de déterminer les valeurs de w_1 et w_2 afin que la solution retenue reflète l'importance réelle accordée à chaque objectif.

Leonelli et al. (2000) ont cependant des réserves face aux deux approches mentionnées ci-haut. Puisque la détermination des poids et des paramètres est laissée à la discrétion du décideur, ils affirment que la solution obtenue est très subjective. Ils proposent donc plutôt une approche axée sur la minimisation des coûts totaux (transport et accidents). En fait, pour eux, le coût *TAC(i,j)* associé à un arc *(i,j)* de longueur *L(i,j)* est représenté par la somme : (1) des coûts de transport *TOC L(i,j)* et (2) du produit de la valeur de la vie humaine *HLV* et du nombre de fatalités annuelles attendu *E(i,j)* :

$$\underset{(i,j)\in A}{TAC}(i,j) = TOC\, L(i,j) + HLV\, E(i,j) \tag{2.17}$$

Les auteurs retiennent une valeur de 0,86 dollars canadiens par kilomètre et une valeur de 617 190 dollars canadiens par vie perdue. La formulation du problème de TMD devient alors simplement :

$$\min \sum_{(i,j)\in A} x_{ij} TAC(i,j) \tag{2.18}$$

Cette formulation correspond à un problème de flot à coût minimal (Leonelli et al., 2000). Cependant, notons que seuls les coûts liés aux pertes de vies humaines sont ici considérés alors qu'un accident entraîne généralement plusieurs autres types de frais (pertes de production, perte de produit, dommage au véhicule, décontamination, évacuations, etc.).

2.2.2. Problèmes d'optimisation globale pour le TMD

Tous les modèles présentés précédemment traitaient du choix d'une route pour le transport de matières dangereuses entre une origine O et une destination D. Cependant, en réalité, nombre de déplacements de matières dangereuses surviennent simultanément sur un territoire donné. Certains chercheurs ont donc voulu analyser l'effet de l'ensemble des déplacements de matières dangereuses sur ce territoire afin de proposer des mesures de réduction du risque. C'est ce qu'on appelle le problème d'optimisation globale pour le TMD. Tel que le notent Erkut et al. (2005), ce problème a nettement moins retenu l'attention des chercheurs que les problèmes d'optimisation locale.

Les problèmes d'optimisation globale pour le TMD intéressent surtout, de par leur nature, les gouvernements lors d'une possible législation. En étudiant la littérature, on note qu'il existe trois grands types de problèmes d'optimisation globale pouvant intéresser les législateurs : l'étude du niveau de risque d'un territoire, le design d'un réseau de TMD et les problèmes d'équité.

2.2.2.1. Étude du niveau de risque d'un territoire donné

Tel que le rapportent Spadoni et al. (2000), l'analyse du risque sur l'ensemble d'un territoire exige le recours à plusieurs sources de données. Parmi celles-ci, notons :

- les sources fixes d'accident (lieu de stockage, usines de transformation);
- les sources mobiles d'accident (route, rail, pipeline, bateau);
- le réseau de transport (taux d'accident observé, caractéristiques géographiques, etc.);
- les éléments vulnérables (hôpitaux, écoles, etc.);
- la distribution de la population (citoyens, travailleurs, etc.);
- les caractéristiques chimiques des différentes matières dangereuses (dangerosité);
- les conditions météorologiques pouvant contribuer à la propagation des matières dangereuses en cas d'explosion, d'incendie, etc.

La mise en commun de toutes ces données permet d'évaluer le niveau de risque individuel et sociétal (voir section 2.1.1). Les résultats obtenus permettent de cartographier le risque, c'est-à-dire de représenter géographiquement les zones les plus vulnérables. Les résultats permettent également d'identifier les potentiels de danger contribuant le plus fortement au risque global sur le territoire. La plupart de ces données étant de nature géographique, le recours à des GIS (voir section 2.2.5) est généralement nécessaire.

L'étude du niveau de risque sur un territoire facilite l'implantation de mesures de réduction de risque (planification du territoire, routes interdites aux matières dangereuses, localisation des équipes d'intervention d'urgence, etc.) mieux adaptées aux particularités territoriales (Spadoni et al., 2000).

2.2.2.2. Notion d'équité

On entend généralement par « équité », une distribution géographique juste et uniforme des risques. Cette répartition fait en sorte qu'aucun secteur du territoire ou qu'aucune classe de la société ne subisse seule la majeure partie des risques. La notion d'équité est peu présente dans les problèmes d'optimisation locale de TMD puisqu'on ne considère qu'un convoi à la fois. Cependant, comme on considère l'ensemble des déplacements sur le territoire dans le cas des problèmes d'optimisation globale de TMD, il devient possible d'y inclure les notions d'équité.

Afin d'obtenir l'équité, on utilise généralement un coefficient de variation de forme générale (Erkut et al., 2005) :

$$\text{Coefficient de variation} = \frac{\sqrt{\sum_i (t_i - t)^2}}{nt} \tag{2.19}$$

Dans cette formule, t_i représente le risque individuel dans la zone i, t représente le risque individuel moyen et n le nombre de zones à l'étude. En minimisant la valeur du coefficient de variation, on évite d'avoir de trop forts écarts du niveau de risque individuel et on obtient l'équité. Il existe évidemment des variantes à cette formule. Par exemple, au lieu de minimiser l'écart entre le risque individuel et le risque moyen, on peut minimiser l'écart existant entre l'ensemble des risques individuels (Erkut et al., 2005).

Évidemment, obtenir l'équité a un coût. Dans leur modèle d'optimisation globale de TMD, Zografos et Davis (1989) ont tenté à la fois de : minimiser le risque global, minimiser le risque imposé sur certaines classes de la société, minimiser le temps de transport et minimiser les dommages à la propriété. Ils ont découvert qu'en tentant de forcer l'équité, le risque global augmentait de 35%. Gopalan et al. (1990) ont également montré que moins le focus est mis sur l'équité, moins le niveau de risque global est élevé.

2.2.2.3. Design d'un réseau pour le TMD

Réaliser le design d'un réseau de transport de matières dangereuses consiste à introduire une réglementation interdisant l'utilisation de routes où le niveau de risque est jugé trop élevé en raison de la géographie ou de la présence de nombreux éléments vulnérables le long de l'axe. Le design d'un réseau de TMD relève donc avant tout du gouvernement et vise la minimisation du risque global sur le territoire en suggérant l'utilisation de routes moins vulnérables (Erkut et al., 2005). Jusqu'ici, dans la plupart des pays, les interdictions de circulation se sont généralement limitées aux tunnels.

L'élaboration du design d'un réseau de transport de matières dangereuses demeure un sujet peu étudié dans la littérature. C'est un problème relativement complexe, la fermeture d'arcs du réseau

de transport poussant les transporteurs à sélectionner la route à coût minimal parmi les arcs restants. Avec l'accroissement de la longueur moyenne d'un trajet en raison des fermetures, tout ceci pourrait résulter en un niveau de risque supérieur à celui que le gouvernement anticipait (Erkut et al., 2005). Tel que le mentionnent Kara et Verter (2004), il n'est pas toujours réaliste d'imposer de tels frais aux entreprises transportant des matières dangereuses et les gouvernements peuvent envisager des types de réglementations moins coûteuses. Il en sera question dans la section 2.3.

Malgré la complexité du problème, certains auteurs ont étudié la problématique en détails. C'est ainsi que Kara et Verter (2004) ont développé un tel réseau autoroutier pour la grande région de Toronto. Ils ont comparé quatre types de réseaux possibles, chaque réseau étant plus contraignant que le précédent :

1. Aucune limitation
2. Réseau de TMD sans distinction entre les types de substances dangereuses
3. Un réseau de TMD par matière dangereuse afin de tenir compte des effets des différentes substances
4. Un réseau de TMD par type de convoi de matières dangereuses

Ils ont analysé les réseaux obtenus sur la base de cinq critères. Le tableau 2.3 présente les résultats.

Tableau 2.3 : Performance des différents types de réseau de TMD

	1	2	3	4
Exposition de la population (10^6)	6 557.8	491.7	481.6	481.2
Exposition individuelle (camions)	906.8	68	66.6	66.4
Exposition à un convoi (personnes)	82 412	6 179	6 053	6 048
Distance totale parcourue (10^6 km)	12.7	28.2	27.9	27.8
Longueur d'un trajet (km)	160	354.6	351.5	349.6

On remarque premièrement qu'il existe peu de différence entre les trois types de réseaux conçus pour le TMD. Ces trois scénarios offrent certains avantages par rapport à la situation actuelle (scénario 1) : réduction de l'exposition de la population, réduction de l'exposition individuelle, réduction du nombre de personnes exposées à un convoi. En raison de l'effort additionnel qu'ils

requièrent, les scénarios 3 et 4 ont probablement avantage à être abandonnés au profit du scénario 2. Cependant, tel que mentionné plus haut, l'implantation d'un tel réseau augmenterait la distance totale parcourue, la longueur moyenne d'un trajet et par conséquent le coût de transport.

Pour leur part, Bianco et al. (2009) ont introduit un modèle permettant le design de réseaux TMD et représentant les vues des différentes autorités impliquées. Le principe est simple : alors que les autorités nationales (ou provinciales) désirent diminuer le niveau global de risque, les autorités locales (ou municipales) fonctionnent avant tout avec le principe du « pas dans ma cour » même si accepter la présence de matières dangereuses sur leur territoire permettrait de réduire les risques liés aux matières dangereuses à l'échelle provinciale ou nationale. Il s'agit donc d'un modèle bi-niveaux permettant à la fois de minimiser le niveau global de risque (point de vue des autorités nationales ou provinciales) et d'assurer l'équité (point de vue des autorités locale).

2.2.3. Problèmes de localisation

Dans les problèmes classiques de localisation, on cherche généralement un site permettant la minimisation des coûts. Cependant, lors de la localisation d'une entreprise pouvant menacer la sécurité de la population, on voudra non seulement minimiser les coûts, mais on voudra également éloigner cette nouvelle installation des aires résidentielles afin de minimiser le risque encouru. On fait donc, encore une fois, face à un problème aux objectifs multiples et potentiellement contradictoires.

Une très grande partie de la littérature traitant des problèmes de localisation des sites fixes utilisant, produisant ou stockant des matières dangereuses se consacre spécifiquement au cas des centrales nucléaires ou des centres de traitement de déchets dangereux. Certains articles traitent du problème de localisation d'entreprises utilisant des matières dangereuses de façon plus générale. Cependant, quel que soit le type d'installation, les problèmes de localisation impliquant des installations dangereuses sont typiquement résolus en deux étapes (List et al., 1991) :

1. l'identification des sites possibles;
2. la comparaison des différents sites retenus sur la base des critères de sélection définis.

Bien que le problème de localisation d'installations dangereuses ait été identifié comme étant à objectifs multiples, la plupart des études le réduisent à un problème à objectif unique, en ne tenant compte que de la distance entre l'installation et les populations environnantes (Erkut et Neuman, 1992). Cependant, évacuer ainsi les considérations économiques enlève du réalisme au problème et peut résulter en une solution peu satisfaisante ou même impraticable (Erkut et Neuman, 1989) puisqu'en éloignant trop le site fixe des populations, on augmente le coût et les risques liés au transport.

Certains vont cependant plus loin en suggérant d'ajouter à ces deux objectifs les notions d'équité lorsqu'on effectue la localisation simultanée de plusieurs sites. En fait, plusieurs prônent le développement de modèles plus englobant, considérant à la fois la notion d'équité, de risque, de compensation, de coût d'implantation et d'opération afin d'obtenir des solutions plus réalistes (White et Ratick, 1989).

2.2.4. Modèles combinant le transport à la localisation

Tel que le notaient Erkut et Neuman (1989):

> *« Location of an undesirable facility is almost always connected with the establishment of an undesirable network […]. As well, the probability of a transport accident is related to the distance travelled. Hence, the selected objective for the location of an undesirable facility may conflict with an objective geared towards minimizing transport accident probability. A realistic model would incorporate the location and transportation objectives. »*

Un certain nombre d'études se sont depuis penchées sur l'analyse combinée des problèmes de localisation et de transport. Cette analyse, qui s'effectue lors du choix d'un site fixe, complexifie le problème de localisation décrit plus haut. En fait, la plupart des études analysant à la fois le transport et la localisation poursuivent trois objectifs simultanément : la minimisation des coûts (implantation et transport), la minimisation des risques (site fixe et transport) et la distribution équitable du risque. Erkut et al. (2005) présentent la manière classique de représenter chacun de ces objectifs.

La minimisation du risque exige de tenir compte simultanément du risque de transport R^T et du risque associé au site fixe R^F. Le risque qu'un individu situé au point x soit sujet à un accident routier sur le segment routier l du trajet P d'un véhicule transportant un volume v_p de matières dangereuses est donc représenté par :

$$R_{Pl}^{T}(v_p, x) \tag{2.20}$$

Le risque qu'un individu situé au point x soit touché par un accident au site fixe j ayant la capacité u_j est représenté par :

$$R_{j}^{F}(u_j, x) \tag{2.21}$$

Par conséquent, le risque total sur la région A peut être calculé à l'aide de :

$$R(A) = \int_{x \in A} \left(\sum_{O \in O, D \in D} \sum_{P \in P_{OD}} \sum_{I \in P} R_{Pl}^{T}(v_p, x) + \sum_{D \in D} R_{D}^{F}(u_D, x) y_D \right) POP(x) dx \tag{2.22}$$

où *POP(x)* représente la densité de population au point x. De la même façon, la minimisation du coût exige de tenir compte simultanément du coût de transport ${C_P}^T$ par unité de volume sur le trajet P, du coût annualisé d'implantation ${C_D}^F$, et du coût d'opération ${C^O}_D$ au site D. Le coût total TC peut alors être calculé par :

$$TC = \sum_{O \in O, D \in D} \sum_{P \in P_{OD}} C_P^T v_p + \sum_{D \in D} (C_D^F y_D + C_D^O \sum_{O \in O} \sum_{P \in P_{OD}} v_p) \tag{2.23}$$

Finalement, l'équité peut être obtenue en minimisant le risque individuel maximal dans la région A :

$$\overline{R}(A) = \underset{x \in A}{Max}\, R(x) \tag{2.24}$$

Le triple objectif du problème combiné de transport et de localisation s'écrit alors :

$$Min \begin{matrix} R(A) \\ TC \\ \overline{R}(A) \end{matrix} \tag{2.25}$$

La résolution de ce problème pose relativement les mêmes problèmes que la résolution du problème de TMD à objectifs multiples. En effet, les objectifs étant parfois conflictuels, il est rare de trouver une solution satisfaisant simultanément l'ensemble des objectifs énoncés (Coutinho-Rodrigues et al., 1997). En fait, pour contourner ce problème, un poids est parfois alloué à chaque objectif afin de tenir compte des préférences des décideurs. C'est la tactique qu'ont utilisé Zografos et Samara (1989) ainsi que List et Mirchandani (1991). La fonction objectif prend alors la forme :

$$Min \quad P_1 R(A) + P_2 TC + P_3 \overline{R}(A) \tag{2.26}$$

Dans cette formule, P_1, P_2 et P_3 représentent les poids accordés à chaque objectif.

2.2.5. Utilisation des systèmes d'information géographiques

Depuis quelques années, les systèmes d'information géographiques (GIS) sont de plus en plus utilisés dans les problèmes de transport de matières dangereuses (optimisation locale et globale) ainsi que dans les problèmes de localisation. Les GIS sont définis comme étant :

> *« A computer-based technology and methodology for collecting, managing, analyzing, modeling, and presenting geographic data for a wide range of applications. »*. (Davis, 2001)

Les problèmes étudiés jusqu'ici comportant une forte composante géographique (trajets utilisés par les convois de matières dangereuses, distribution de la population par rapport aux

installations fixes ou aux axes empruntés), on comprendra le rôle que les GIS peuvent jouer au cours de leur résolution. L'arrivée des GIS a été particulièrement bienfaitrice à la recherche sur les risques liés aux matières dangereuses, les citoyens étant souvent simplement représentés par un centre de population unique dans les premières études sur la question (Erkut et Verter, 1995b).

En fait, très tôt au cours de la recherche sur le TMD, certains auteurs notent déjà leur potentiel :

> *« With GIS, one can develop (or obtain) detailed transportation networks that incorporate both physical and operational characteristics, and overlay these networks on other spatially referenced data, such as population demographics or meteorological data. »* (Lepofsky et al., 1993)

Dans le cas des problèmes de TMD, les GIS permettent notamment de modéliser : la distribution exacte de la population sur le territoire, le réseau routier ainsi que l'origine et la destination des convois de matières dangereuses (Verter et Kara, 2001). À chaque objet est en fait associé des coordonnées géographiques précises, facilitant l'application de modèles de TMD (Bubbico et al., 2004). Des logiciels ont donc rapidement été développés afin d'aider les décideurs à choisir la route à risque minimum, le logiciel idéal combinant les GIS au QRA aux modèles de recherche opérationnelle vus précédemment et à l'analyse multicritères (Erkut et al., 2005).

Tel que brièvement mentionné à la section 2.2.2.1, les GIS sont particulièrement utiles lorsque vient le temps de représenter la distribution des risques sur un territoire donné (optimisation globale ou problèmes de localisation) puisqu'ils permettant d'associer des coordonnées géographiques à divers éléments (lieu de stockage, usines, routes, rails, pipelines, les éléments vulnérables, la distribution de la population, etc.).

> *« GIS combines spatial data (maps, aerial photographs, and satellite images) with quantitative, qualitative, and descriptive information databases, which can support a wide range of spatial queries. All of these factors have made GIS an indispensable tool for location studies. [...] Processing such data with conventional drawing and calculation tools is generally time-consuming. GIS, however, converts georeferenced data into computerized maps. »* (Zamorano et al., 2008)

Les GIS permettent de cartographier aisément le risque, un pratique de plus en plus courante. Les cartes ainsi obtenues sont souvent appelées *« Risk-maps »* et permettent de visualiser rapidement les zones les plus à risque sur un territoire donné. Elles ont de plus l'avantage de pouvoir être facilement interprétées par des non-initiés (Basta, 2007).

2.3. Traitement du risque lié aux matières dangereuses

Suite à une analyse de risque, une entreprise ou un gouvernement proposera généralement des mesures de mitigation permettant de ramener le risque à un niveau acceptable, s'il a été jugé trop élevé. On ne peut totalement éliminer les risques liés aux matières dangereuses sans cesser toute activité industrielle. En fait, tel que le rapportent Shortreed et al. (1993), le but est plutôt de trouver le juste milieu entre le risque, les coûts et les retombées de l'activité industrielle, de façon à optimiser les bénéfices pour l'ensemble de la société.

On tentera donc de ramener le risque à un niveau dit ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*). En suivant ce principe, on investit dans les mesures de mitigation du risque afin de diminuer le risque, sans toutefois menacer la viabilité économique de l'entreprise. En fait, toujours selon Shortreed et al. (1993), l'attention particulière accordée à l'industrie des matières dangereuses pourrait parfois résulter en un trop grand contrôle qui ne servirait finalement pas les intérêts du public. On dépasserait alors les limites de ce qui est raisonnable.

Cette section aborde les questions reliées aux mesures pouvant être mises en place afin de gérer le risque. En première partie, le principe d'acceptabilité du risque est présenté afin de comprendre la position de la population face à ces risques. En deuxième partie, les différentes mesures de mitigations suggérées dans la littérature sont présentées. Finalement, la viabilité économique de certaines mesures est étudiée.

2.3.1. Acceptabilité et perception du risque

L'acceptation du risque dépend grandement des valeurs de la société. Ce qui est acceptable pour un pays, pour une communauté, ne le sera pas nécessairement pour ses voisins. Ces valeurs sont appelées à se modifier au fil des évènements : après un accident catastrophique, ce qui était

auparavant acceptable ne l'est soudainement plus (Vrijling et al., 1995). En fait, Denis (1998) rapporte qu'un risque n'est acceptable que :

- s'il est pris volontairement;
- s'il est connu de la science;
- s'il est connu de ceux qui y sont exposés;
- s'il est maîtrisable;
- s'il est associé à un décor familier;
- s'il est à faible potentiel catastrophique;
- s'il donne lieu à peu de mortalité;
- s'il est peu effroyable.

On remarque, à la lecture de ces critères, que les risques liés aux matières dangereuses sont rarement acceptables. En fait, tous les risques ne correspondant pas aux critères cités plus haut (nucléaires, matières dangereuses, etc.) ont tendance à être surestimés par le public alors que les risques plus familiers et moins effroyables (accidents routiers, outils et appareils ménagers, etc.) ont tendance à être sous-estimés (Kasperson et al., 1988). Ce phénomène, nommé l'amplification sociale du risque, qui va de pair avec l'atténuation du risque, a premièrement été identifié par Kasperson et al. (1988).

Certains experts diront que ces perceptions sont irrationnelles et dénuées de fondement. Ils seront alors tentés de simplement les ignorer pour ne se fier qu'à l'analyse formelle du risque dans l'évaluation d'un projet (incluant la mise en place de mesures de mitigation du risque). Cependant, comme le soulignent Clarke et Freudenburg (1993), la prise en considération de l'opinion publique permet d'améliorer les relations publiques de l'entreprise ainsi que le niveau de sécurité globale. Certains, comme Renn (2004), vont même plus loin en affirmant:

> *"Any attempt to combat political paralysis by rejecting risk perception as irrational and relying solely on expert assessment would be misguided. [...] Science-based risk assessment is a beneficial and necessary instrument of pragmatic technology and risk policy. […] However, it cannot and should not be used as a general guide for public action. The price for its universality is abstraction from context and the overshadowing of other rational and meaningful perception characteristics. Without taking context and situation-specific supporting circumstances into account, decisions will not, in a given situation, meet the requirement of achieving collective objectives in a rational, purposeful and value-optimizing manner."*

D'autres, tels que Slovic (1993), démontrent que la perception et le comportement du public peuvent avoir des conséquences qu'il ne faut pas négliger :

> *« The impacts of such events, however, sometimes extend far beyond these direct harms, and may include significant indirect costs (both monetary and nonmonetary) to the responsible government agency or private company that far exceed direct costs. In some cases, all companies in an industry are affected, regardless of which company was responsible for the mishap. In extreme cases, the indirect costs of a mishap may extend past industry boundaries, affecting companies, industries, and agencies whose business is minimally related to the initial event. […] This proliferation of impacts is an important element of the phenomenon that has been termed "the social amplification of risk". »*

Lors de la mise en place d'une stratégie visant la réduction du risque (voir section suivante), l'acceptabilité et l'amplification du risque devrait donc être considérée.

Selon Kasperson et al. (1988), l'amplification sociale du risque vient de l'expérience personnelle, qu'elle soit directe ou indirecte (faits rapportés par un tiers). Plus les évènements associés à un potentiel de danger sont importants, plus la mémoire et l'imagination des gens est marquée, et plus le niveau de risque associé à un potentiel de danger est amplifié. Pour sa part, Slovic (1993) identifie trois facteurs influençant directement le phénomène d'amplification sociale du risque :

la couverture médiatique, l'implication de groupes de pression et le fait qu'un accident est généralement perçu comme traduisant une incompétence de la part de l'entreprise et que cette incompétence risque d'entraîner d'autres accidents.

Le diagramme d'influence de la figure 2.2, tiré de Burns et Clemen (1993), illustre mieux le propos des auteurs sur la façon dont diverses facettes d'un accident peuvent contribuer à son impact social.

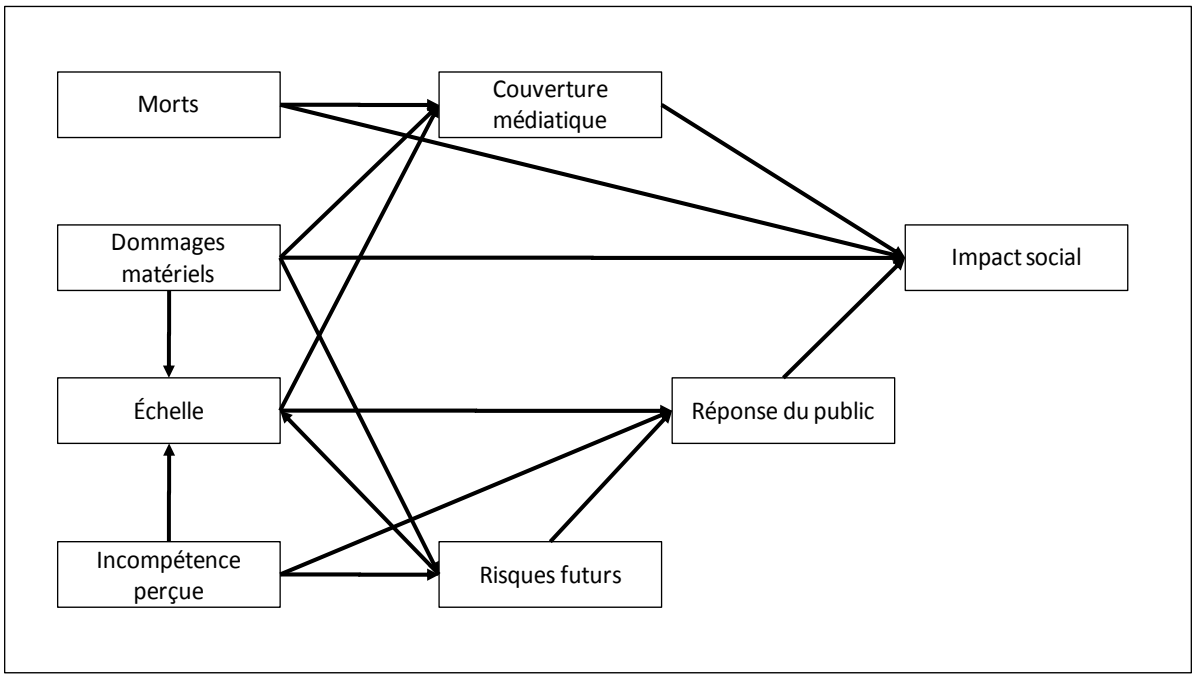
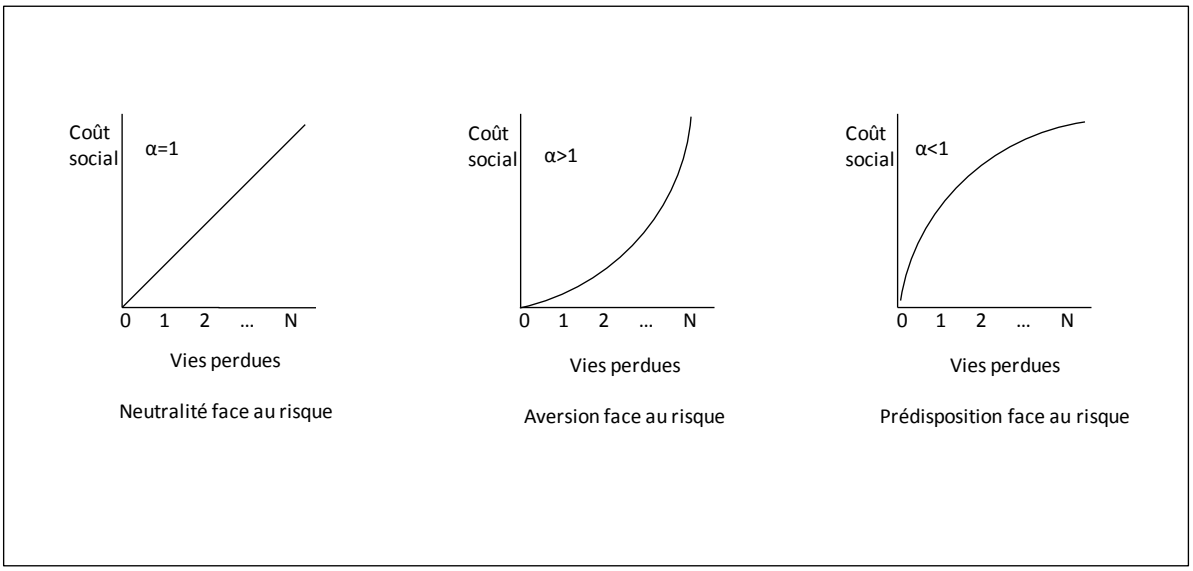


Figure 2.2 : Contribution de différents facteurs à l'impact social d'un accident

Burns et al. (1993) soulignent donc qu'une sous-estimation systématique des impacts d'un accident survient lorsqu'on ignore l'effet des médias, la perception des compétences, etc. Certains chercheurs ont donc développé, dès les années 1970 des modèles d'évaluation du risque tenant compte de la perception du risque (Slovic, 1984). Supposons que le coût social d'un accident entraînant N pertes de vie puisse être représenté par N^{α}. Lorsque $\alpha=1$, la population est neutre face au risque, lorsque $\alpha>1$, la population est réticente face au risque et lorsque $\alpha<1$, la population est prête à prendre des risques. Cette situation est représentée sur la figure 2.3 tirée de Slovic (1984).



Source: Slovic (1984)

Figure 2.3 : Fondements de l'analyse de risque basée sur la perception

Pour calculer les risques liés aux matières dangereuses, les chercheurs utilisent le cas où α>1. Ce modèle repose sur une hypothèse relativement simple : plus un accident entraîne des pertes de vie, plus il a un caractère effroyable et plus la réaction du public est forte. Ce modèle est généralement traduit dans l'évaluation quantitative du risque par l'équation suivante présentée par Erkut et al. (2005), où p_i représente la probabilité d'accident et c_i les conséquences attendues :

$$\sum_{i=1}^{n} p_i c_i^{\alpha}, \alpha > 0 \tag{2.27}$$

Ainsi, en introduisant le paramètre α, cette définition du risque amplifie les conséquences estimées d'un scénario catastrophique pour s'assurer que cette option ne sera pas retenue.

Quoiqu'intéressant, ce type de modèles a été réfuté par un certain nombre de chercheurs. Slovic (1984) présente quelques exemples illustrant le manque de robustesse du modèle :

- Selon les modèles d'analyse du risque basés sur la perception, la réaction de la population augmente de façon exponentielle en fonction du nombre N de vies perdues. Cependant, la

réaction du public est relativement similaire que l'accident fasse 90 000 ou 100 000 morts. En fait, passé un certain seuil, l'accident est déjà jugé inadmissible et des morts additionnels n'entraîneront pas de réactions plus vives que celles déjà en place.

- Selon les modèles d'analyse du risque basés sur la perception, la réaction de la population face à la catastrophe de Three Miles Island aurait été quasiment nulle puisqu'elle n'a entraîné aucune perte de vie. Cependant, cet accident a résulté en une forte mobilisation visant l'amélioration de la sécurité des centrales nucléaires.

Selon Slovic (1984), la perception du risque n'est pas uniquement fonction de pertes de vies humaines. Le public réagit surtout lorsqu'un accident est perçu comme un signal d'alarme, un signe clair que d'autres évènements similaires ou plus graves pourraient se produire si rien n'est fait.

2.3.2. Mesures de mitigation du risque

Jusqu'ici, nous avons surtout abordé les modèles de transport et de localisation en tant que mesure de mitigation du risque. Cependant, il existe plusieurs autres mesures possibles. Gheorghe et al. (2005) en citent quelques-unes :

- se plier aux demandes réglementaires;
- choisir une route à risque minimal;
- choisir un mode de transport;
- choisir les quantités transportées;
- minimiser les dangers pour l'environnement;
- améliorer le matériel roulant;
- contribuer au développement du réseau routier.

Certaines mesures peuvent être prises par le gouvernement, par exemple le design d'un réseau de transport dédié aux matières dangereuses, alors que d'autres mesures de mitigation peuvent être prises par les compagnies. Cette section explore les différentes mesures suggérées dans la

littérature. Il faut cependant mentionner que la littérature n'est pas exhaustive et qu'il existe plusieurs autres mesures possibles.

2.3.2.1. Mesures prises par les gouvernements

Les gouvernements ont le pouvoir d'intervenir afin de réduire le niveau de risque. En fait, Erkut et Verter (1995a) soulignent que les gouvernements n'ont pas seulement le pouvoir d'intervenir, mais qu'ils en ont aussi le devoir. Selon eux, comme le risque est une préoccupation avant tout sociale, on ne peut pas compter que sur les compagnies pour l'inclure dans leurs choix logistiques. En fait, l'implication du gouvernement est souvent nécessaire pour s'assurer de la sécurité du public et de l'environnement.

Segerson (1992) présente cinq façons traditionnelles dont le gouvernement peut intervenir :

- *La privatisation des risques*. Les risques sont gérés par les entreprises, le gouvernement a surtout un rôle passif, ne faisant que fournir de l'information sur les différents risques.
- *Les incitatifs économiques*. Des taxes peuvent généralement être introduites pour limiter les taux de polluants atmosphériques émis par une entreprise, mais il est difficile d'utiliser cette alternative pour réduire les risques accidentels difficilement prévisibles.
- *La réglementation*. Elle permet de réduire les risques dans certains secteurs ciblés.
- *La responsabilité légale*. L'entreprise devient responsable des accidents qui peuvent survenir lors de ses activités, ceci devient un incitatif à la réduction de son niveau de risque. Cependant, il est souvent difficile de tenir une firme responsable de l'ensemble des dommages encourus. De plus, l'entreprise n'est pas toujours en mesure de payer pour l'ensemble des dommages et elle doit alors déclarer faillite.
- *La création de fonds destinés aux victimes*. Ces fonds représentent une forme d'assurance.

En pratique, et dans la littérature, l'accent est surtout mis sur les mesures réglementaires. L'examen des réglementations actuellement en vigueur au Québec, indique certains types de réglementation possibles :

- Définir des normes pour les véhicules et contenants utilisés;
- Définir les critères de formation;
- Interdire la circulation sur certaines routes (ex.: tunnels);
- Interdire le transport de certaines substances;
- Exiger l'élaboration de plans d'intervention en cas d'urgence;
- Etc.

Cependant, comme le mentionnent Erkut et Verter (1995b), le gouvernement doit considérer l'impact économique de telles mesures sur les entreprises. En effet, si la charge financière associée aux différentes réglementations devient trop élevée, il existe un risque de voir apparaître nombre de pratiques illégales. Ainsi, dès 1990, le ministère des transports de l'Ontario désirait minimiser son degré d'implication dans l'industrie des matières dangereuses (Gorys, 1990). Même aujourd'hui, alors que les chercheurs se penchent depuis plusieurs années sur le desing de réseaux pour le TMD (Kara et Verter, 2004)(Bianco et al., 2009), les interdictions de circulations visent bien souvent uniquement les tunnels. Mentionnons cependant, du côté européen, l'initiative de la ville de Lyon qui s'est doté d'un plan de circulation pour le TMD : établissement de créneaux horaire, axes recommandés, interdiction de circulation près des lieux de rassemblement, agglomération interdite au transit, etc.

Évidemment, les réglementations imposées par le gouvernement ne sont efficaces que si un suivi est fait et que des mesures sont prises contre les compagnies ne respectant pas la loi. Évidemment ce suivi demande des ressources à la fois financières et humaines.

Kleindorfer et Orts (1998) suggèrent, pour pallier le problème, l'utilisation d'une approche plus informelle où les entreprises ont l'obligation de divulguer les informations relatives à leur niveau de risque. Ainsi, le public et les diverses parties intéressées auraient suffisamment d'informations pour déterminer si le risque généré est acceptable, et sinon, exercer des pressions pour que l'entreprise réduise son niveau de risque.

2.3.2.2. Mesures prises par les entreprises

Les entreprises, à l'instar des gouvernements, peuvent prendre des mesures afin de réduire leur niveau de risque puisqu'un accident impliquant des matières dangereuses peut impacter leurs activités : coût financier immédiat, perte d'image, perte de production, perte de clientèle, augmentation des primes d'assurance, etc.

Il existe deux principaux moyens par lesquels une entreprise peut diminuer son niveau de risque : l'assurance (transfert de risque) et les mesures de mitigation du risque. De plus, les mesures de mitigation peuvent soit diminuer les probabilités d'accident, soit diminuer les conséquences d'un accident ou agir sur les deux plans simultanément. Paté-Cornell (1996) explique donc que l'élaboration d'une politique de réduction du risque exige de choisir entre plusieurs options, ce qui demande de la réflexion puisque les sommes allouées à une mesure auraient parfois pu être investies de façon plus efficace dans une autre mesure. Par exemple, les sommes investies en assurance, auraient peut-être avantage à être investies dans les mesures de réduction du risque.

Parmi les mesures de mitigation du risque possibles, celles qui sont le plus souvent envisagées dans la littérature sont sans conteste le choix d'un itinéraire à risque minimal ainsi que les problèmes de localisation. Il existe évidemment d'autres mesures de mitigation (maintenance, formation, etc.) mais l'impact de telles mesures n'est pas, ou peu, étudié dans la littérature.

Par contre, un certain nombre d'études comparent les risques associés à divers modes de transport afin de faire un choix logistique avisé. Actuellement, il n'existe pas de consensus sur le mode de transport le plus sécuritaire (Saccomanno et al., 1989). Le taux d'accident pour le transport routier est supérieur à celui du transport ferroviaire, mais les conséquences sont potentiellement plus grandes pour le rail en raison des quantités importantes transportées. De plus, tel que le rapporte Mazzarotta (2002), l'utilisation du rail direct n'est possible que si les deux entreprises concernées sont directement reliées au réseau ferroviaire. Par conséquent, la plupart du temps, l'alternative réelle au transport routier est le transport multimodal route/rail. Les activités de chargement/déchargement induites par le changement de mode entraînent un risque supplémentaire et selon les hypothèses posées par Mazzarotta, le transport intermodal est considéré plus sécuritaire que si la distance parcouru par train excède de 60 à 240 kilomètres la longueur de la route alternative additionnée à la portion routière du transport intermodal.

Un autre choix logistique pouvant influencer le niveau de risque est le choix d'un transporteur. Cette problématique n'a été formellement étudiée qu'à une seule occasion dans la littérature, à notre connaissance. En fait, Watabe (1991) rapporte que l'expéditeur, lors du choix d'un transporteur, fera un compromis entre la cote de sécurité du transporteur et les frais de transport exigés par ce transporteur. La nature exacte de ce compromis sera dictée par le régime de responsabilité en place.

2.3.3. Faisabilité économique des mesures de mitigation du risque

Selon Wright (1993), au Canada, les accidents impliquant des matières dangereuses ont un coût approchant le milliard de dollars annuellement. Ce coût est partagé entre les entreprises, le public et les gouvernements. Malgré le fait que ces accidents entrainent des répercussions financières sur elles, très peu de compagnies réalisent l'impact économique qu'un tel accident pourrait avoir sur leurs activités.

De plus, tel que vu précédemment, les considérations économiques sont souvent évacuées des différents modèles développés pour le transport ou le stockage des matières dangereuses. Cependant, les chercheurs reconnaissent de plus en plus qu'une saine gestion des risques entourant les matières dangereuses implique la prise en compte des coûts.

> *« […] safety must compete with other objectives of an organization, and safety decisions that demonstrate economic sense have definite advantages over those that do not. […]* » (Wright, 1993)

C'est ainsi qu'a été développé, au fil des années, une série d'études tentant de chiffrer l'impact économique des accidents et des mesures préventives entourant la gestion des matières dangereuses.

2.3.3.1. Estimation du coût d'un accident

Wright (1993) a analysé 70 accidents impliquant des matières dangereuses survenus au Canada afin de déterminer les coûts associés à ce type d'évènements. Chaque accident a entraîné, en moyenne, des pertes financières de 594 300$. La majeure partie de cette somme (54%) était

attribuable à la présence de matières dangereuses. En raison de l'échantillon utilisé, les pertes financières estimées par Wright sont en fait une surestimation. Mais les statistiques recueillies permettent quand même de dresser quelques conclusions intéressantes.

Wright a identifié cinq catégories de coûts (ou pertes financières) : pour le public, pour l'industrie, pour les municipalités, pour les provinces et pour le gouvernement fédéral. Les pertes les plus importantes se trouvaient du côté des entreprises, avec un coût estimé à 300 000$ par accident. Les pertes du public (évacuations, etc) venaient au second rang avec un coût estimé à 269 000$.

Abkowitz et al. (2001) ont également tenté de chiffrer l'impact économique d'un accident de transport impliquant des matières dangereuses. Ils ont analysé plusieurs sources de données afin de déterminer des coûts unitaires significatifs. Selon leur modèle, un accident avec déversement a nécessairement un coût plus élevé qu'un incident similaire, mais sans déversement. Le tableau 2.4 présente les coûts unitaires qu'ils ont trouvés pour les accidents ayant eu lieu en 1996.

Tableau 2.4 : Coûts d'un accident routier impliquant un produit de la classe 3

Impact	**Accident avec déversement**	**Accident sans déversement**
Décontamination	34 000$	-
Perte de produits	3 800$	-
Dommage matériel (camion)	36 000$	36 000$
Dommage matériel (propriété)	5 900$	5 900$
Dommage environnemental	1 800$	-
Blessés	200 000$ par personne	200 000$ par personne
Morts	2 000 000$ par personne	2 000 000$ par personne
Évacuations	1 000$ par personne	-
Délais encourus	15$ par personne/heure	15$ par personne/heure

Source: Abkowitz et al. (2001)

Encore une fois, ces différents coûts seront répartis entre le public, l'industrie et les gouvernements. Ces données montrent l'importance que peut prendre, financièrement, un accident impliquant des matières dangereuses pour l'entreprise impliquée. Dans certains cas, on pourrait même penser que les accidents ont également d'autres types de répercussions financières sur l'entreprise : recours judiciaires, perte de clientèle, etc.

2.3.3.2. Faisabilité économique

La section précédente permettait de démontrer rapidement pourquoi une entreprise a avantage à investir dans les mesures de mitigation du risque. Cependant, passé un certain seuil d'investissement, on peut croire que l'impact des mesures supplémentaires ne sera pas aussi marqué. Une question se pose donc : jusqu'à quel point les mesures de mitigation proposées peuvent-elles être rentables?

Ulen et Kolstad (1993) affirment que les entreprises prennent en considération deux types de coûts lorsqu'il est question d'accidents relatifs aux matières dangereuses : les coûts associés à la prévention et les coûts associés à l'accident lui-même. Une entreprise tente donc de minimiser la somme de ces deux types de coûts.

Calculer le retour sur investissement d'une mesure de réduction de risque demeure tout de même complexe. La mesure pour laquelle ce type d'étude a été le plus souvent réalisé est sans conteste les problèmes de transport visant la réduction du risque. Nous avons vu précédemment que le choix d'une route à risque minimal pour les vies humaines entraîne une augmentation du kilométrage et une augmentation du nombre d'accidents. Par exemple, Abkowitz, et al. (1991) rapportent que les routes à risque minimal sont deux fois plus longues que le chemin le plus court. Glickman (1983) rapporte que pour le transport ferroviaire, une diminution de l'exposition de la population de 25% à 50% entraîne une augmentation de 15% à 30% dans la longueur des trajets. Par conséquent, pour une entreprise, il peut être intéressant de bien balancer les avantages et les inconvénients liés à une telle mesure.

Quelques chercheurs ont donc tenté de déterminer si adopter une stratégie de transport visant la minimisation du risque permettait d'atteindre un tel optimum. Saccomanno et Chan (1985) ont évalué trois stratégies que des entreprises pourraient vouloir utiliser : la minimisation des risques, la minimisation de la probabilité d'avoir un accident et la minimisation des coûts de transport. Leur conclusion principale est que les trajets visant la minimisation du risque ont un coût plus élevé, mais que ce coût peut être en partie compensé par la réduction du taux d'accident qui en découle et, par conséquent, la diminution des coûts liés aux accidents. Cependant, pour un décideur, cet avantage est souvent négligé puisque la fréquence des accidents est si faible que leur impact est évacué des décisions quotidiennes. Pour leur part, Verter et Erkut (1997) ont fait

l'hypothèse que suite à un accident, les frais d'assurance qu'une compagnie doit défrayer augmentent nécessairement et que cette compagnie aurait donc avantage à choisir une route plus coûteuse, mais moins risquée, afin d'éviter cette hausse de frais. Cependant, comme la probabilité d'un accident catastrophique est faible, les chiffres qu'ils ont obtenus ne montrent pas d'avantages significatifs à adopter une telle approche.

Glickman et Sontag (1995) ont analysé la situation plus en détails. Leur but était de déterminer de façon précise les avantages et inconvénients de deux approches : minimisation du risque et minimisation du coût. Ils ont choisi 100 paires d'origine/destination et ont déterminé, pour chaque paire, quelle était la route la plus économique et la route la moins risquée. Ils ont par la suite comparé les résultats obtenus. Ils ont ainsi déterminé que pour chaque personne soustraite à un éventuel déversement, il faudrait en moyenne augmenter le trajet routier de 670 heures supplémentaires. Connaissant les tarifs de transport et sachant qu'une personne impactée par un déversement de matières dangereuses a entre 1% et 5% de chance d'en mourir, il est possible de convertir ce nombre d'heures en coût par vie sauvée. Selon la paire origine/destination choisie, on obtient un coût variant entre 0.6$ million et 3,1$ millions. Plus l'origine et la destination sont proches, plus la minimisation du risque devient coûteuse. Mais, comme l'augmentation en distance augmente également la chance de collision routière, le coût d'une vie sauvée varierait plutôt entre 0,7$ million et 3.4$ millions.

Il s'agit d'un coût important pour une entreprise et à moins d'incitatifs formels, il serait surprenant qu'elle décide d'investir dans de telles mesures. En effet, il s'agit de dépenses fixes relativement élevées liées à un évènement pouvant ne jamais survenir. On pourrait argumenter que comme le coût d'un accident de transport sur une entreprise a été évalué à 300 000$ par Wright (1993) et qu'il peut survenir plusieurs accidents avant d'en observer un mortel, qu'à long terme l'investissement est peut-être rentable. Cependant, les études de faisabilité sont loin d'être complètes et ne permettent pas, pour le moment, de tirer une telle conclusion. De plus, rappelons que l'étude de Wright surestimait, de son propre aveu, les coûts liés à un accident de par l'échantillonnage retenu.

2.4.Discussion

Les trois premières sections de ce chapitre étaient consacrées à la revue de la littérature spécifique aux matières dangereuses. Un lecteur attentif aura pu remarquer plusieurs similitudes entre cette littérature et celle dédiée plus spécifiquement aux marées noires : analyse d'accidents, analyse de risque (Eide et al., 2007), prévention, analyse coûts/bénéfices de la prévention (Vanem et al., 2008) et responsabilité des différents acteurs impliqués (Celik et Topcu, 2009). En fait toute littérature liée à la prévention de catastrophes abordera les grands thèmes de la gestion des risques.

Plusieurs points intéressants ressortent cependant de la revue de la littérature spécifique aux matières dangereuses : la difficulté liée à la prise de décision dans un contexte multicritères, les distorsions qui peuvent découler du choix d'une définition du risque, le recours de plus en plus fréquent au GIS, etc. Cependant, certaines lacunes de la littérature ont été notées : (1) le fait que l'ensemble de la chaîne logistique ne soit pas simultanément prise en compte, (2) le fait que les méthodes soient souvent mal adaptées au contexte de l'entreprise et (3) l'évacuation quasi-systématique des facteurs organisationnels.

Ces lacunes viennent appuyer l'objectif principal de la thèse qui visait le développement d'un modèle d'aide à la décision aidant les entreprises à faire leurs choix logistiques MD. Ce modèle doit adopter le point de vue des entreprises en minimisant simultanément les coûts d'exploitation et les risques d'accidents de matières dangereuses (part assumée par les entreprises parmi les conséquences humaines, environnementales, économiques, etc.). De plus, ce modèle doit laisser une place prépondérante aux facteurs organisationnels.

2.4.1. L'ensemble de la chaîne logistique n'est pas prise en compte

Tel que mentionné en introduction, les connaissances et le savoir faire en matières d'analyse de risque lié aux matières dangereuses sont extrêmement fractionnés. Par conséquent, à l'exception des problèmes combinés de localisation/transport présentés à la section 2.2.4., les analyses de risque site fixe et transport se font généralement de façon distincte. Toutes les opérations de la chaîne logistique sont donc rarement considérées de manière intégrée.

Depuis quelques années, les chercheurs travaillant sur le concept de chaîne logistique verte (*green supply chain*) ont pourtant compris l'importance qu'une entreprise doit accorder à l'ensemble de sa chaîne logistique si elle veut améliorer sa performance et sa réputation écologique, la plupart des clients et actionnaires ne faisant par exemple pas nécessairement la différence entre la compagnie et ses fournisseurs/sous-traitants (Sarkis, J., 2006). La recherche portant les chaînes vertes logistiques touche donc à plusieurs sujets à portée environnementale : développement de produits, matériaux utilisés, procédés de fabrication, entreposage, recherche de fournisseurs, activités de transport, utilisation des produits, gestion des déchet et la logistique inverse (Zhu et Sarkis, 2004). Le but est d'améliorer la performance écologique de l'entreprise et de ses partenaires sur plusieurs facettes. Alors, pourquoi n'assistons-nous pas au même type de réflexion dans le cas des matières dangereuses? Les risques accidentels impliquant des MD ne sont pourtant pas moins importants, et une chaîne logistique sécuritaire permettrait probablement de réduire les risques imposés à la population. La recherche entourant les risques liés aux matières dangereuses accuse clairement un retard en ce domaine.

En étudiant, de façon séparée, les risques associés aux sites fixes et ceux associés au transport, on perd de vue le portrait global de la situation. De plus, les interactions existant entre les activités de production, de stockage et de transport peuvent entraîner des transferts de risque tout au long de la chaîne logistique. Prenons l'exemple d'une entreprise décidant d'augmenter la fréquence des convois de matières dangereuses afin de se soustraire à certaines réglementations en site fixe, uniquement applicables à partir de certaines quantités stockées (National Institute for Chemical Studies, 2001). Dans de telles situations, les choix logistiques faits par l'entreprise induisent un transfert de risque du stockage vers le transport. Pour évaluer le niveau de risque réel dégagé par les activités de l'entreprise, il devient intéressant de regarder l'ensemble de ses activités et cesser de se pencher uniquement sur le transport ou sur le stockage.

Il existe donc un besoin de voir apparaître des méthodes d'analyse de risque adaptées, permettant de juger de l'impact réel des choix logistiques effectués par les entreprises.

2.4.2. Des méthodes parfois mal adaptées au contexte de l'entreprise

Nous avons vu à la section 2.3.2 que les mesures de réduction de risque ont un prix. Abkowitz et al. (1991) rapportent que les routes à risque minimal sont deux fois plus longues que le chemin le

plus court. Glickman (1983) rapporte que pour le transport ferroviaire, une diminution de l'exposition de la population de 25% à 50% entraîne une augmentation de 15% à 30% dans la longueur des trajets. Glickman et Sontag (1995) estiment que l'entreprise doit investir, par vie sauvée, entre 0.7$ million et 3.4$ millions en termes de distance supplémentaire à parcourir.

Ces quelques chiffres montrent bien que les modèles utilisés en analyse de risque suggèrent des choix logistiques allant parfois à l'encontre des réalités des entreprises. En fait, les techniques de risque traditionnelles examinent surtout la problématique du point de vue de la société. Voilà pourquoi ces modèles visent avant tout :

- la réduction des pertes de vies humaines à tout prix, ou presque;
- l'équité entre les différentes classes de la société et les différents secteurs géographiques.

Par opposition, l'industrie s'intéresse surtout :

- à l'exploitation à coût minimum de leur entreprise;
- à diminuer le taux d'accident si celui-ci a un impact financier significatif.

Comme nous avons vu, la plupart des méthodes d'évaluation du risque et des modèles de transport dédiés aux matières dangereuses ne tiennent compte que des conséquences sur les vies humaines. Ces modèles semblent donc peu avantageux pour les entreprises qui doivent débourser seules les coûts supplémentaires sans en retirer les bénéfices. Par conséquent, nous avançons qu'il est primordial de démontrer qu'il peut exister des avantages à investir dans les mesures de réduction du risque.

Il existe donc un besoin de voir apparaître des modèles mieux adaptés au contexte des entreprises, adoptant leur point de vue, afin qu'elles puissent faire des choix logistiques cohérents sans pour autant totalement aller à l'encontre des souhaits de la société.

Pour se faire, le point de vue de l'entreprise pourrait être adopté en utilisant le langage financier lors de l'analyse de risque. Tel que vu précédemment, traduire le risque en coûts a été proposée à quelques reprises dans la littérature (Leonelli et al., 2000) (Erkut et al., 2005) ce qui facilite la résolution des problèmes multicritères, l'ensemble des éléments à considérer (coûts et risques) se

trouvant maintenant sur le même pied d'égalité. Cependant, au lieu de considérer uniquement les pertes de vies humaines comme le proposaient Leonelli et al. (2000), il serait possible de calculer le coût de l'ensemble des conséquences possibles de l'accident MD et d'évaluer la part assumée par les entreprises (pertes financières). Par exemple, les pertes financières immédiates, les pertes d'image, les pertes de clientèle, les pertes de production, l'augmentation des primes d'assurances, etc., seront autant de facteurs amenant l'entreprise à adopter des stratégies logistiques moins risquées si les montants sont suffisamment élevés. Nous y reviendrons au chapitre 5.

2.4.3. L'évacuation quasi-systématique des facteurs organisationnels

Les études mentionnées jusqu'ici considèrent avant tout le risque purement « physique » ou « technique », c'est-à-dire le risque associé à l'activité même, sur la base des composantes techniques formant le système. Quelle est la quantité de matières dangereuses dans le camion? Quelle est fréquence des trajets? Combien de matières dangereuses peut-il y avoir au maximum sur le site? Les aspects techniques du problème forment certes un indice précieux mais ils ne peuvent à eux seuls tout expliquer. On peut facilement imaginer, par exemple, que le risque associé au transport de matières dangereuses sera plus élevé si un transporteur sans expérience effectue l'opération que si le transport est réalisé par une firme spécialisée ayant la sécurité à cœur. Force est d'admettre que le risque a une forte composante humaine et organisationnelle. Selon Drogaris (1993), 90% des accidents industriels ont une défaillance organisationnelle comme cause première.

Bien que l'impact des facteurs organisationnels sur les accidents industriels soit absente de la littérature spécifique aux MD, une branche de la recherche scientifique s'y est intéressée de près. Cette littérature couvre un large territoire : de l'étude des accidents passés jusqu'aux théories relatives à la culture de sécurité et jusqu'aux modèles tentant de lier la culture organisationnelle à la performance de l'entreprise. Puisque nous croyons que cette littérature aurait avantage à être mieux amarrée à celle spécifique aux matières dangereuses, nous en présentons ici les grands points.

2.4.3.1. Contribution des facteurs organisationnels sur le niveau de risque

Selon Denis (1998), il existerait cinq grandes sources de risques industriels : la technologie, l'environnement, l'humain, l'organisation ou même la culture. Pendant longtemps, le focus a été mis sur l'interaction entre l'humain et la technologie. On parlait d'erreurs humaines, de facteurs humains et l'homme était nommé grand responsable de la plupart des accidents industriels. La faute était mise sur l'opérateur et son inaptitude à faire face à la situation.

Peu à peu, le focus a cependant changé et l'attention s'est portée vers les défaillances organisationnelles (Dien et al., 2004). Au cours des années 1980, une série d'accidents (Tchernobyl, Challenger, Kings Cross,…) a en effet démontré que les erreurs humaines jusqu'ici tant décriées trouvaient bien souvent leur source dans des lacunes organisationnelles beaucoup plus profondes. Ces lacunes organisationnelles peuvent inclure l'absence de procédures, de mesures de sécurité, de formation ou le manque d'engagement de la direction envers le management de la sécurité (Fernández-Muñiz et al., 2007) et peuvent entraîner et même encourager les comportements déviants ou dangereux (Jacobs et Haber, 1994). Faisant office de précurseur, Turner (1978) a défini l'« *accident incubation period* » qui précède l'évènement catastrophique et au cours de laquelle on voit clairement apparaître l'influence du laisser-aller organisationnel sur les comportements en entreprise.

Ces nouvelles théories ont amené les chercheurs à se pencher sur l'organisation et la culture organisationnelle. La culture organisationnelle peut être définie comme étant l'ensemble des valeurs, des attitudes et des comportements partagés par les travailleurs et les dirigeants de la firme. De manière informelle, on réfère souvent à la culture organisationnelle par « *the way we do things around here* » (Hopkins, 2006). La culture organisationnelle d'une entreprise n'est pas facile à saisir en raison de son évolution à travers le temps et de ses ramifications à tous les niveaux de l'entreprise. Par conséquent, les chercheurs tenteront plutôt de mesurer le climat organisationnel qui est une manifestation de la culture organisationnelle à un instant précis (Guldenmund, 2000). Le climat organisationnel est généralement mesuré à l'aide de questionnaires, d'observations ou d'entrevues réalisées au sein de l'entreprise.

La culture de sécurité s'inscrit à l'intérieur de la culture organisationnelle. La culture de sécurité fait spécifiquement référence à la façon dont les questions de sécurité sont traitées à l'intérieur de

l'entreprise. L'établissement d'une forte culture de sécurité est particulièrement important dans les organisations à haut risque (nucléaire, aéronautique, etc.). Tout comme dans le cas de la culture organisationnelle et du climat organisationnel, les chercheurs mesureront généralement le climat de sécurité (au lieu de la culture de sécurité) à l'aide de questionnaires, d'observations ou d'entrevues. Ceci permettra de définir l'état exact des trois dimensions de la culture de sécurité, tel que défini par Choudhry et al. (2007) : situationnelle (les procédures existantes), comportementale (la façon dont le travail est réellement fait) et psychologique (la perception que les travailleurs et dirigeant ont de la sécurité).

On utilise généralement l'expression « management de la sécurité » afin de référer à la dimension situationnelle de la culture de sécurité. Les systèmes de management de la sécurité peuvent inclure : des politiques, des procédures, des formations, des programmes d'information, des mécanismes de suivi, etc. Le management de la sécurité est décrit par Harms-Ringdahl (2004) par les mesures mises en place par l'entreprise pour gérer le risque. Cependant, tel que mentionné précédemment, les pratiques des travailleurs peuvent dévier de ce qui est prescrit (Kennedy et Kirwan, 1998). Selon Fernández-Muñiz et al. (2007), un fort système de management de la sécurité est donc très important puisqu'il témoigne de l'engagement de la haute direction et peut influencer positivement le comportement des employés. On retrouve ce type de management de la sécurité dans les organisations à haute fiabilité (OHF).

La culture de sécurité et le management de la sécurité constituent des nouveaux domaines de recherche. Plusieurs travaux restent à accomplir, notamment lorsqu'il est question de l'effet exact des différentes mesures de sécurité sur les taux d'accident enregistrés. Malgré tout, l'existence d'un lien entre les facteurs organisationnels et les taux d'accident ne peut être niée et il existe un besoin de voir apparaître des modèles étudiant non seulement le risque physique, mais examinant également l'impact des facteurs organisationnel sur ce risque.

2.4.3.2. Intégration des facteurs organisationnels à l'analyse de risque

Le lien entre accidents industriels et facteurs organisationnels est donc reconnu depuis plusieurs années. Pourtant, tel que mentionnée plus haut, l'influence des facteurs organisationnels, de la culture organisationnelle ou de la culture de sécurité sur les taux d'accidents reste absente de la littérature spécifique aux MD. Cette situation devrait être corrigée et pourrait être corrigée

puisqu'il existe maintenant plusieurs modèles visant l'intégration de tels facteurs à l'analyse de risque.

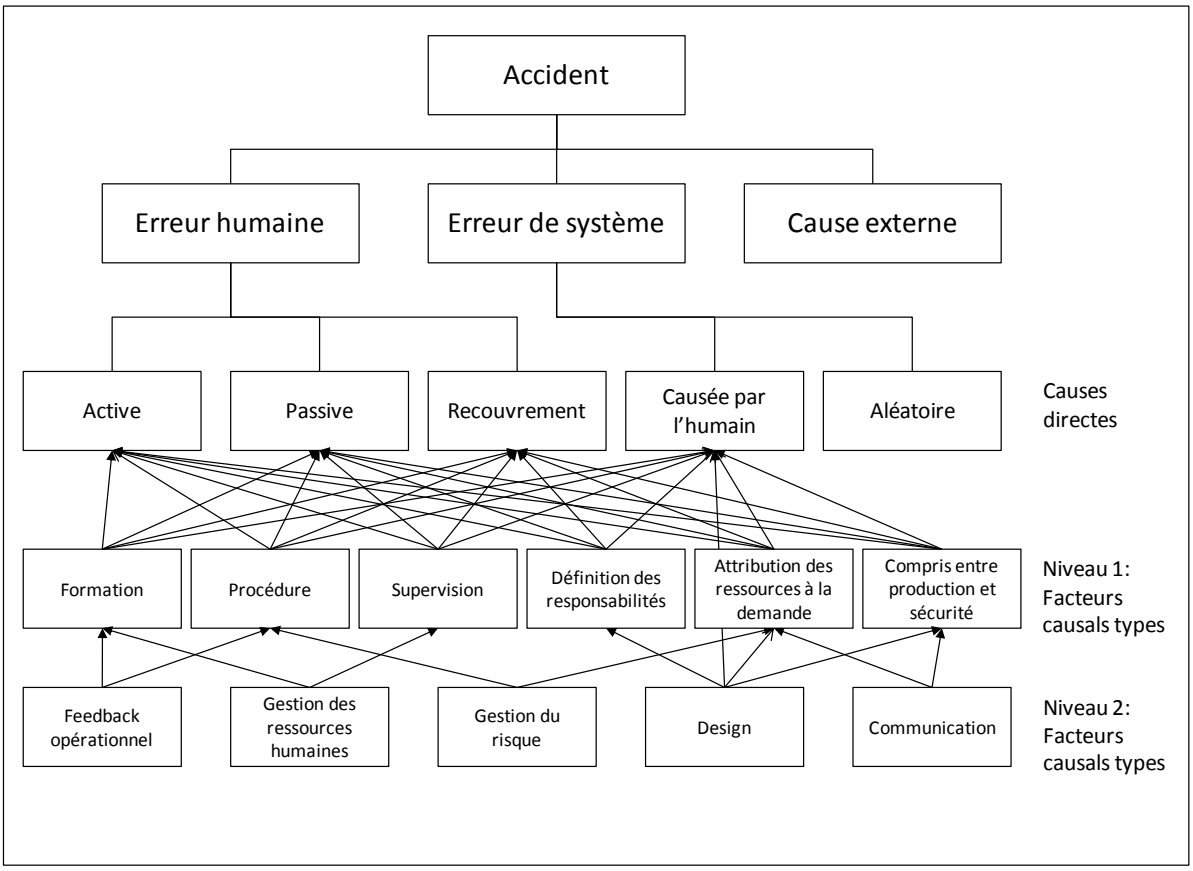
Par exemple, du côté de la littérature technique, chercheurs et praticiens étudient maintenant l'effet des barrières humaines de sécurité et des barrières organisationnelles de sécurité afin d'évaluer la façon dont elles peuvent réduire la probabilité d'occurrence ou les conséquences d'un accident (INERIS, 2006). Il s'agit d'une tâche méthodique, chaque aspect du travail devant être examiné et évalué avec soin. Par ailleurs, du côté de la littérature scientifique, un certain nombre de modèles plus formels ont été développés par les chercheurs au fil des années. Citons quelques modèles, définis plus loin :

- MACHINE (Embrey, 1992)
- WPAM (Davoudian et al., 1994)
- SAM (Murphy et Paté-Cornell, 1996)
- ω-factor (Mosleh et al., 1997)
- ORIM (Oien, 2001)

Ces modèles possèdent une trame commune, pouvant se résumer ainsi :

1. Modéliser les liens existant entre certains facteurs organisationnels et les taux d'accident
2. Développer une technique permettant de qualifier chaque facteur organisationnel identifié
3. Pondérer l'impact de chaque facteur organisationnel identifié sur les taux d'accident

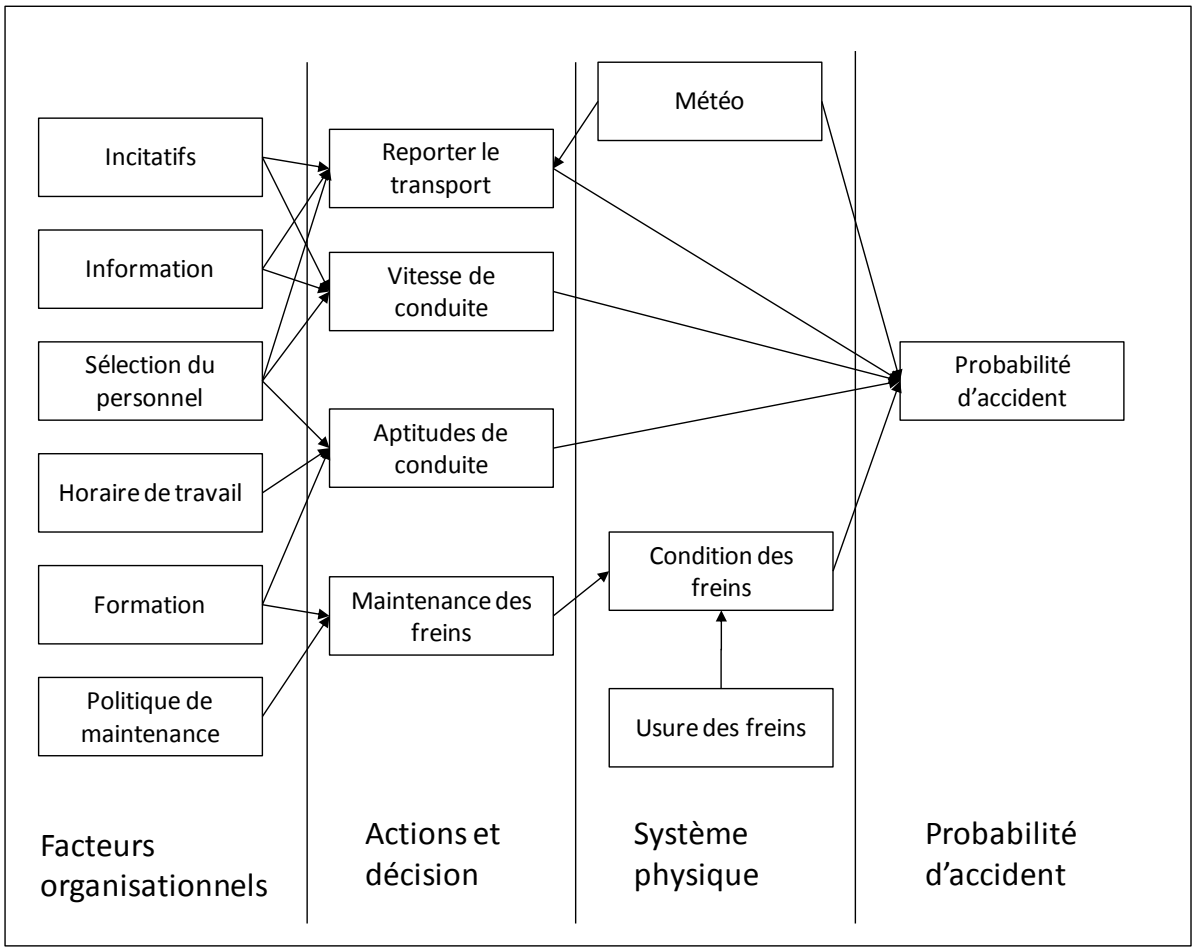
La plupart des modèles tentent de modéliser les liens existant entre certains facteurs organisationnels et les taux d'accident de façon relativement exhaustive. Par exemple, MACHINE (Embrey, 1992) est un modèle universel pouvant être appliqué à toute analyse de risque en milieu industriel. Ce modèle décompose l'accident afin d'identifier les catégories de failles organisationnelles sous-jacentes à l'évènement, un peu à la manière d'un arbre de causes et effets. Les interactions possibles entre les différents éléments sont clairement notées. La figure 2.4 illustre ce modèle.



Source : adapté de Embrey, 1992

Figure 2.4 : Schéma MACHINE

Alors que le diagramme d'influence utilisé par MACHINE est applicable à toute situation, en ayant recours à SAM, on doit développer un diagramme d'influence spécifique à la tâche étudiée. Le développement de ce modèle s'effectue à l'aide des techniques classiques. À la fin du processus, l'accident se décompose en trois grands types de défaillances (physiques, opérationnelles et organisationnelles). Selon SAM, les défaillances organisationnelles sont à l'origine des défaillances opérationnelles qui sont à leur tour source des défaillances physiques. La figure 2.5 illustre le diagramme d'influence développé par SAM pour une analyse de risque liée au transport de matières dangereuses.



Source : adapté de Murphy et Paté-Cornell (1996)

Figure 2.5 : Diagramme d'influence SAM

Une fois que les liens existant entre certains facteurs organisationnels et les taux d'accident ont été modélisés, la performance de l'entreprise soumise à l'examen doit être évaluée. De façon générale, une note reflétant le niveau d'implication de l'entreprise sera attribuée à chaque facteur organisationnel identifié à l'étape précédente. Cette note est souvent attribuée sur une échelle 1 à 5, à la manière du modèle WPAM, où 1 représente la pire situation et 5 la situation idéale. Les différents facteurs organisationnels identifiés à l'étape précédente, font donc office d'indicateurs de risque qui sont soumis à un processus d'évaluation similaire à celui qu'on retrouve dans les audits de qualité.

Pondérer l'influence que chaque facteur organisationnel identifié a sur le taux d'accident (i.e. mesurer la relation de cause à effet) est sans conteste la partie la plus critique de la mise en

application de ces différents modèles. En effet, comment affirmer hors de tout doute que les procédures ont, par exemple, un plus grand impact que la formation sur le niveau de risque observé ? Clairement, les facteurs organisationnels n'ont pas tous la même importance mais comment peut-on arriver à clairement les distinguer ? Plusieurs modèles ont en fait recours au jugement d'expert pour y parvenir (Embrey, 1992) (Murphy et Paté-Cornell, 1996).

Les modèles plus récents (Mosleh et al., 1997) (Oien, 2001) font une plus grande place à l'utilisation de données historiques afin d'évaluer certains éléments sans pour autant réussir à s'affranchir totalement du jugement d'expert.

Selon Mosleh et al. (1997), le taux d'accident λ_{Total} d'une entreprise peut être décomposé en deux parties distinctes : le taux d'accident inhérent au processus λ_I et le taux d'accident résultant du climat organisationnel λ_O.

$$\lambda_{Total} = \lambda_I + \lambda_O \tag{2.28}$$

Mosleh et al. (1997) ont donc définit un paramètre organisationnel ω propre à chaque entreprise:

$$\omega = \frac{\lambda_O}{\lambda_I} \tag{2.29}$$

$$\lambda_{Total} = \lambda_I + \omega\lambda_I \tag{2.30}$$

Ce paramètre peut donc être utilisé afin de prédire le taux d'accident d'une entreprise donnée, lorsque sont contexte organisationnel est connu. Deux modes de résolution sont identifiés afin de prédire la valeur du paramètre organisationnel ω d'une entreprise donnée : l'utilisation de données historiques ou l'utilisation de diagrammes d'influence. Mosleh et al. (1997) ont opté pour les diagrammes d'influence, un peu à la manière des modèles MACHINE, SAM et WPAM.

De son côté, Oien (2001) a développé le modèle ORIM afin de modéliser l'influence de facteurs organisationnels sur des taux de fuites. Pour y parvenir cinq facteurs organisationnels réputés pour avoir une influence sur ce type d'incident on été identifiés. Pour chaque entreprise, l'état de

chaque facteur organisationnel a été évalué (échelle 1 = "très mauvais" à 5 = "très bon") à l'aide d'une série d'indicateurs définis par l'auteur. Les fuites passées ont alors été analysées à l'aide d'un modèle organisationnel afin de déterminer les facteurs ayant contribué à chacun de ces incidents (l'état organisationnel au moment de la fuite a été estimé à l'aide d'un modèle de Markov). Les réseaux bayesiens ont alors été utilisés afin de définir l'impact exact de chaque facteur organisationnel sur le taux de fuite enregistré dans l'entreprise, au cours d'une période donnée.

Tel qu'on peut le constater à la lecture de cette section, il existe maintenant des modèles modélisant l'influence des facteurs organisationnels sur les accidents industriels. En quelques années, nous sommes passés de modèle reposant uniquement sur le jugement d'experts (MACHINE, SAM, WPAM) à des modèles suggérant le recours à des données historiques (ω-factor) puis utilisant des données historiques (ORIM). Cependant, même le modèle ORIM ne s'affranchit pas totalement du jugement d'experts, puisqu'on juge à priori que les facteurs organisationnels définis ont une influence sur le taux d'incident. De plus, le modèle organisationnel utilisé et l'estimation de l'état organisationnel au moment de l'incident sont susceptibles d'influencer les résultats.

Des travaux restent donc à accomplir afin de non seulement intégrer certains des modèles présentés à l'analyse de risque MD, mais également de pousser la démarche entreprise par ces autres plus loin afin de développer des modèles transparents, exempts du jugement d'experts. Il en sera davantage question au chapitre 4.

2.5. Conclusion

Bien que la littérature entourant les matières dangereuses soit riche et variée, il existe certaines lacunes : fractionnement de la chaîne logistique, modèles mal adaptés aux réalités des entreprises, facteurs organisationnels rarement pris en compte. On voit bien, dans ce contexte, pourquoi une entreprise a de la difficulté à faire des choix logistiques éclairés. Faut-il faire appel à la sous-traitance ou non? Faut-il continuer de diminuer les stocks et transporter davantage ou non? Voilà autant de questions auxquelles les modèles traditionnels proposés dans la littérature peuvent difficilement répondre.

Le recensement de ces quelques lacunes, couplé aux observations résultant du projet GLOBAL, a permis de cerner le projet de recherche et de mieux définir le modèle d'aide à la décision à envisager. Le modèle, que nous allons développer, intégrera donc les leçons tirées de la revue de la littérature :

- *Prise en compte de l'ensemble de la chaîne logistique MD;*
- *Prise en compte du point de vue de l'entreprise;*
- *Prise en compte des facteurs organisationnels afin de moduler le niveau de risque MD.*

Au cours des prochains chapitres, le modèle d'aide à la décision sera peu à peu élaboré : enquête exploratoire afin de comprendre les choix logistiques MD (chapitre 3), modélisation de l'influence des facteurs organisationnels (chapitre 4) et développement du modèle d'aide à la décision (chapitre 5).

CHAPITRE 3.ENQUÊTE SUR LES CHOIX LOGISTIQUES MD

Bien que les dangers liés à l'utilisation des matières dangereuses attirent de plus en plus l'attention, très peu d'informations relatives aux pratiques des utilisateurs de MD sont actuellement disponibles. Il existe bien sûr des registres gouvernementaux d'utilisateurs de MD ou encore, des estimations relatives aux déplacements de produits classés, mais un flou entoure toujours les pratiques MD des établissements (choix d'un mode de transport, sous-traitance, programmes de prévention des accidents, analyses de risques, formation, audit de sécurité, etc.). À notre connaissance, il n'existe présentement aucune étude à grande échelle sur la question.

En raison de cette absence d'information, il devenait essentiel d'investiguer la question avant de pouvoir modéliser ou d'optimiser les choix logistiques des entreprises œuvrant dans le domaine des matières dangereuses. Une étude exploratoire mettant en relief les stratégies logistiques adoptées par les entreprises œuvrant dans le domaine des matières dangereuses a donc été effectuée. Tel que mentionné en introduction, la thèse étudie avant tout le point de vue des sites fixes puisqu'ils sont plus à même d'influencer en profondeur la chaîne logistique MD (choix de fournisseurs, de clients, de modes de transport, de fréquences de transport, etc.) que le sont les transporteurs (choix de l'itinéraire). L'étude exploratoire vise donc avant tout les sites fixes.

Une enquête par questionnaire a été conçue avant d'être transmise aux sites fixes œuvrant dans le domaine des matières dangereuses au Québec afin de sonder leurs pratiques en transport et sur le site de leur entreprise. Pour les questions relatives à la gestion du risque, l'accent est surtout mis sur le management de la sécurité qui est la partie la plus visible de la culture de sécurité des entreprises (voir section 2.4.3.1) et qui peut donc être intégrée plus facilement à une enquête à grande échelle.

Ce chapitre présente la méthodologie utilisée au cours de l'enquête, les résultats obtenus ainsi que les analyses comparatives effectuées sur différents groupes de répondants.

3.1.Méthodologie

Cette section présente la méthodologie utilisée lors de l'enquête. Les concepts clés utilisés, les objectifs visés par l'enquête, l'élaboration du questionnaire, la validation du questionnaire et

l'échantillonnage seront tour à tour abordés. Finalement, les limites de l'enquête seront présentées.

3.1.1. Concepts clés

Pour fins de clarification, prenons les temps de définir certains concepts clés utilisés dans ce chapitre, et dans l'ensemble de ce document. Nous utiliserons donc les termes suivants, pour référer à :

- Chaîne logistique : Réseau formé par une entreprise, ses fournisseurs et ses clients
- Choix logistiques : Décisions prises par l'entreprise face à différentes facettes de la logistique des matières dangereuses. Dans le texte, le terme "pratiques logistiques" est parfois utilisé de manière équivalente.
- Stratégie logistique : Stratégie formée par l'ensemble des choix logistiques de l'entreprise.

Par ailleurs, notons qu'au cours de l'enquête par questionnaire, le terme matières dangereuses est utilisé sans référence à une loi précise, afin de ne pas exclure de substances.

3.1.2. Objectifs visés

L'enquête par questionnaire a été conçue dans le but de dresser un portrait des pratiques industrielles entourant la gestion des matières dangereuses (opérationnelles et organisationnelles). Afin d'élaborer le questionnaire, cet objectif général a été découpé en dix sous objectifs jugés prioritaires suite au projet GLOBAL. Ces sous objectifs sont :

- *Objectif 1* : Connaître les modalités d'approvisionnement et d'expédition MD des entreprises (mode de transport, fréquence, type de contenant utilisé) ainsi que les raisons sous-tendant ces choix;
- *Objectif 2* : Connaître le partage des tâches lors des opérations de chargement et de déchargement des MD (ex : expéditeur vs. transporteur);
- *Objectif 3* : Déterminer les différents lieux de stockage utilisés par les entreprises (hors-site vs. sur le site);

- *Objectif 4* : Déterminer quels sont les éléments liés aux MD représentant les frais les plus importants pour les entreprises;
- *Objectif 5* : Tester la capacité et la volonté des entreprises à investir dans les mesures de réduction de risque entourant les MD;
- *Objectif 6* : Identifier les secteurs où des sous-traitants sont employés pour les opérations reliées aux MD et déterminer les facteurs sous-tendant ces choix;
- *Objectif 7* : Vérifier l'intérêt/l'implication porté par les entreprises aux activités de leurs sous-traitants;
- *Objectif 8* : Connaître les différentes mesures de réduction du risque utilisées par les entreprises;
- *Objectif 9* : Déterminer l'impact d'un accident impliquant des MD sur l'entreprise;
- *Objectif 10* : Vérifier si, selon les entreprises, la réglementation actuelle contrôle les risques MD de façon efficace et sans contraindre excessivement les activités industrielles.

La poursuite de ces sous-objectifs permettra de comprendre la façon dont les entreprises gèrent les opérations liées aux matières dangereuses, dans différentes sphères d'activités. Dans une phase ultérieure du projet, les informations recueillies permettront de modéliser, de façon réaliste et adéquate, les choix logistiques des entreprises œuvrant dans le domaine des matières dangereuses.

3.1.3. Élaboration du questionnaire

Tel que mentionné précédemment, le questionnaire a été élaboré dans la perspective de mettre en relief les stratégies logistiques et les mesures de sécurité adoptées par les entreprises utilisant des matières dangereuses. Le questionnaire vise uniquement les sites fixes et exclut les transporteurs. Ce choix a été fait dans l'optique où : (1) les préoccupations et activités des deux groupes divergent et pourraient donc difficilement être sondées par une enquête unique et (2) les sites fixes sont les décideurs de première ligne et sont plus à même d'influencer le réseau logistique des matières dangereuses (choix du fournisseur, du client, du mode de transport, de la fréquence de transport et du transporteur) que les transporteurs. Notons toutefois que le transporteur pose

également quelques choix : itinéraire exact, formation des chauffeurs, entretien de la flotte de véhicules, etc.

Pour élaborer le questionnaire, les sites fixes ont donc été considérés comme étant au cœur de la chaîne logistique avec en amont, les pratiques entourant l'approvisionnement en matières dangereuses et en aval, les pratiques entourant les expéditions en matières dangereuses. Bien que le transport même soit très souvent confié à des transporteurs, les sites fixes sont tout de même questionnés à ce sujet. La figure 3.1 résume cette situation.

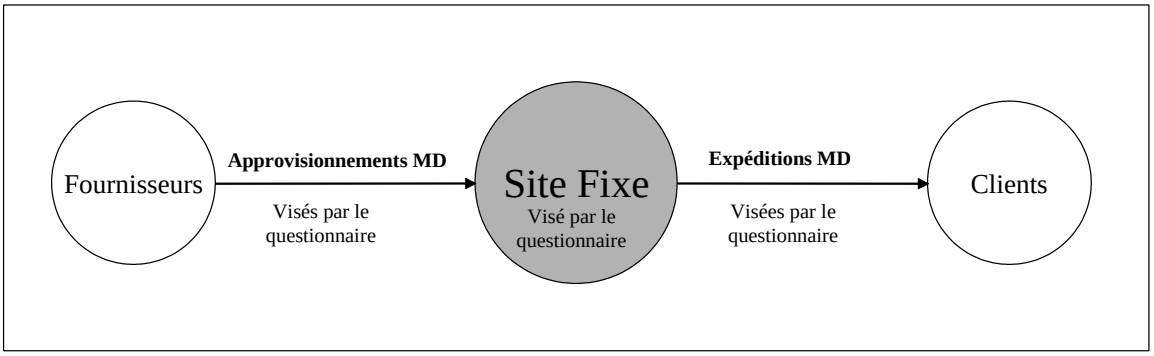


Figure 3.1 : Portée du questionnaire

Les thèmes abordés par le questionnaire ont été sélectionnés de manière à répondre aux objectifs précédemment définis. De plus, ces thèmes correspondent aux neuf sections retrouvées dans le questionnaire. Le tableau 3.1 résume la situation.

Tableau 3.1 : Thèmes abordés par le questionnaire

Section	**Titre**	**Objectifs associés**
A	Identification de l'entreprise	-
B	Identification d'un site où il y a des MD	-
C	Approvisionnement en matières dangereuses	1, 2
D	Expédition des matières dangereuses	1, 2
E	Matières dangereuses sur le site fixe identifié	3
F	Coûts liés aux approvisionnements et expéditions de MD	4, 5
G	Sous-traitants avec activités reliées aux MD	6, 7
H	Maîtrise du risque	8, 9
I	Réglementation MD	10

L'ordre dans lequel ces sections ont été présentées correspond à l'ordre dans lequel elles sont abordées dans le questionnaire. La suite du document offre un aperçu de leur contenu.

3.1.3.1. Identification de l'entreprise

Cette partie du questionnaire recueille des informations générales concernant l'entreprise (nom de l'entreprise, secteur d'activité, nombre d'employés, etc.). Ces informations permettent de qualifier l'entreprise et de la positionner par rapport aux autres répondants. Ces informations seront particulièrement utiles lors d'analyses comparatives qui détermineront s'il existe des différences significatives entre divers groupes d'utilisateurs de matières dangereuses.

3.1.3.2. Identification d'un site où il y a des MD

Cette partie du questionnaire demande premièrement au répondant d'identifier, parmi les différentes installations appartenant à l'entreprise, un site fixe où des matières dangereuses sont présentes. Ce choix a été fait par souci de cohérence dans les réponses, la nature et l'intensité des pratiques pouvant grandement varier d'un site industriel à l'autre. Une fois le site identifié, des informations générales relatives à ce site sont recueillies (nombre d'employés sur le site, couverture géographique des activités, part des activités liées aux MD, classes TMD, etc.). Ces informations complètent le portrait de l'entreprise amorcé à la section précédente et seront également utilisées lors des analyses comparatives.

3.1.3.3. Approvisionnement en matières dangereuses

Cette partie du questionnaire recueille des informations relatives aux pratiques liées aux approvisionnements en matières dangereuses. Les questions relatives à l'approvisionnement portent sur : le nombre de matières dangereuses reçues sur le site, la fréquence des réceptions, le mode de transport utilisé, les types d'emballage utilisé, les modalités entourant le déchargement et le recours à la sous-traitance. Ces informations permettent d'illustrer les stratégies logistiques utilisées par les entreprises.

3.1.3.4. Expédition des matières dangereuses

Cette partie du questionnaire recueille des informations relatives aux pratiques entourant les expéditions de matières dangereuses. Cette partie peut être considérée comme un miroir de la section sur les approvisionnements, les mêmes questions étant demandées. Les questions relatives à l'approvisionnement ont été séparées des questions relatives à l'expédition car les pratiques peuvent varier entre ces deux fonctions de l'entreprise. Notamment, certaines entreprises s'approvisionnent en MD mais n'en expédient que très peu.

3.1.3.5. Matières dangereuses sur le site fixe identifié

Cette partie du questionnaire recueille des informations relatives aux différents lieux de stockage utilisés par l'entreprise. Entres autres, les questions posées permettent de déterminer si l'entreprise a recours au stockage temporaire, soit à l'intérieur ou à l'extérieur de son site. Bien que parfois nécessaire, le stockage temporaire à l'extérieur du site de l'entreprise pourrait constituer une voie de contournement aux réglementations relatives au stockage qui n'entrent en vigueur que lorsque les matières dangereuses séjournent plus de trois jours au même endroit.

De plus, cette section contient une question vérifiant si l'entreprise fait transporter ses MD plus souvent afin de diminuer les quantités sur le site et ainsi se soustraire à certaines réglementations relatives au stockage. Cette pratique a en effet été mentionnée à de nombreuses reprises à l'équipe de projet durant les premières phases du projet GLOBAL. Cette manière de faire pourrait déplacer le risque du site fixe vers les infrastructures de transport puisque le nombre de déplacements augmente, bien que les quantités transportées demeurent les mêmes.

3.1.3.6. Coûts liés aux MD

Cette partie du questionnaire recueille des informations relatives aux coûts liés aux matières dangereuses. Les questions posées portent entre autres sur : les critères retenus par l'entreprise lors de ses choix d'approvisionnement (coût vs. autres critères) et le pourcentage maximal d'augmentation des coûts d'exploitation que l'entreprise pourrait tolérer pour investir dans les mesures de sécurité. Tout ceci permet de mesurer le niveau d'implication de l'entreprise face aux mesures de réduction des risques.

3.1.3.7. Sous-traitants avec activités reliées aux MD

Cette partie du questionnaire recueille des informations relatives au recours à la sous-traitance, pratique répandue. Les questions posées portent entre autres sur : les secteurs de l'entreprises touchés par la sous-traitance, les raisons pour lesquelles l'entreprise a recours à la sous-traitance, les critères utilisés lors de la sélection d'un sous-traitant, le type de contrat liant l'entreprise à ses sous-traitants et les mesures mises en place pour effectuer le suivi des activités des sous-traitants. Tout ceci permet de vérifier si le recours à la sous-traitance peut avoir des répercussions sur le niveau de sécurité.

3.1.3.8. Maîtrise du risque

Cette partie du questionnaire recueille des informations relatives aux mesures de gestion de risque mises en place par les entreprises. Les questions portent entre autres sur : les mesures de gestion de risque (procédures, analyse de risque, etc.) mises en place par l'entreprise, la politique de communication des risques utilisée et les impacts possibles (coût direct immédiat, perte de production, perte d'image, etc.) d'un accident de matières dangereuses sur l'entreprise. Cette section approfondit les connaissances déjà recueillies sur le niveau d'implication de l'entreprise face aux mesures de réduction des risques.

3.1.3.9. Réglementations MD

Cette partie du questionnaire recueille des informations relatives à la manière dont les entreprises cohabitent avec les réglementations MD actuelles. Entre autres, les questions vérifient si les différentes réglementations (stockage, transport, SST) contraignent les activités de l'entreprise et si les entreprises ont dû modifier leurs stratégies logistiques en conséquence. Tout ceci permet de vérifier si des facteurs externes peuvent pousser les entreprises à modifier leurs façons de faire.

3.1.4. Validation du questionnaire

Le questionnaire a été validé en deux étapes. La première version du questionnaire a été présentée aux partenaires/participants québécois du projet GLOBAL afin de reformuler les questions pouvant sembler ambiguës et d'ajouter, au besoin, des questions relatives à certains points qui auraient été omis.

Dans un deuxième temps, la version revue du questionnaire, a été validée de manière itérative au cours d'une série d'entrevues en entreprise, principalement auprès de responsables logistiques. Au cours de ces entrevues, le questionnaire servait de trame de fond à la discussion, ce qui permettait de vérifier la réaction des entreprises face aux questions et leur niveau de compréhension. Après chaque entrevue, le questionnaire était modifié afin d'éliminer les lacunes constatées. En tout, 7 entreprises d'horizons variés ont participé au processus de validation. Tout ceci a permis d'alléger le questionnaire de façon notable.

La version finale du questionnaire contient 55 questions (84 avec les sous-questions) réparties en neuf sections, tel que mentionné. Le tableau 3.2 résume la situation.

Tableau 3.2 : Structure finale du questionnaire

Section	**Titre**	**Questions**	**En tenant compte des sous-questions**
A	Identification de l'entreprise	5	8
B	Identification d'un site où il y a des MD	6	7
C	Approvisionnement en matières dangereuses	9	11
D	Expédition des matières dangereuses	9	11
E	Matières dangereuses sur le site fixe identifié	4	9
F	Coûts liés aux approvisionnements et expéditions de MD	6	6
G	Sous-traitants avec activités reliées aux MD	7	8
H	Maîtrise du risque	8	18
I	Réglementation MD	1	6

Tel que mentionné plus haut, le questionnaire combine des questions relatives aux stratégies logistiques (mode de transport utilisé, fréquence d'approvisionnement, etc.) à des questions relatives à la maîtrise du risque (programmes de prévention, personnel dédié à la gestion des risques, etc.). Voici quelques exemples de questions posées :

- Combien de MD et de matières dangereuses résiduelles (MDR) différentes recevez-vous sur votre site? (Une, Deux, Trois, Quatre, Cinq et plus)
- Certaines MD sont stockées de façon temporaire sur le site (Jamais, Rarement, Parfois, Souvent, Toujours)
- Quel pourcentage maximal d'augmentation de vos coûts d'exploitation actuels pourriez-vous tolérer pour investir davantage dans les mesures de sécurité? (Aucun, Moins de 5%, Entre 5% et 10%, Entre 10% et 20%, Plus de 20%)

- Pratiquez-vous des audits de sécurité chez vos sous-traitants? (Jamais, Parfois, Souvent, Toujours)
- Vous utilisez des procédures spécifiques lors du chargement et du déchargement des MD. (Jamais, Rarement, Parfois, Souvent, Toujours)
- Avez-vous du personnel ou un département dédié à la gestion des risques? (Oui, Non)

La version finale du questionnaire peut être consultée en annexe 2.

3.1.5. Échantillon des répondants

Le questionnaire a été transmis aux entreprises utilisant des matières dangereuses au Québec. Le questionnaire a été envoyé à différents types d'entreprises (grands utilisateurs de MD, petits utilisateurs de MD, grandes entreprises et petites entreprises) de divers secteurs d'activités ce qui a facilité les comparaisons entre catégories d'utilisateurs. Les questionnaires ont été adressés soit aux responsables logistiques ou aux responsables environnement des entreprises. En effet, les entrevues effectuées en entreprises ont démontré que ces personnes étaient les mieux placées pour répondre au questionnaire.

Les questionnaires ont été transmis, dans un premier temps, par le biais d'associations professionnelles acceptant d'apporter leur collaboration. Toutes les associations contactées (tableau suivant) ont accepté de transmettre par courriel le questionnaire à leurs membres. Malheureusement, le taux de réponse de ces envois électroniques est resté relativement faible.

Tableau 3.3 : Associations professionnelles ayant accepté de transmettre l'enquête à leurs membres

Association professionnels	**Membres au Québec**
AIEM	13
Association canadienne de l'industrie des plastiques	160
Association canadienne des fabricants de produits chimiques (ACFPC)	30
Association des fabricants d'engrais du Québec (AFQ)	10-15
Association pour le développement de l'industrie chimique québécoise (ADICQ)	450
Association québécoise de l'industrie de la peinture	40
Conseil patronal de l'environnement du Québec (CPEQ)	170 membres corporatifs
CRAIM	Non divulgué

Afin d'augmenter le nombre de répondants, un envoi postal, suivi d'un rappel, a été effectué directement sans passer à nouveau par les associations professionnelles. Les entreprises contactées proviennent des listes de membres des associations citées plus haut, du site Internet de l'INRP[3] et du registre tenu par Environnement Canada[4]. Les envois postaux contenaient : la lettre de présentation de l'enquête, une lettre d'appui du Ministère des Transports du Québec (MTQ) et une copie du questionnaire. Ces documents sont disponibles à l'Annexe 2. Suite à ces envois postaux, le taux de réponse a été jugé satisfaisant, surtout lorsque la longueur du questionnaire et la présence de sujets sensibles sont pris en considération.

En tout, le questionnaire a été transmis à 490 entreprises œuvrant dans le domaine des matières dangereuses au Québec alors qu'il y en aurait eu 759 au Québec en 2007 (certains établissements ont été exclus de l'enquête, notamment les établissements agricoles) selon le registre d'Environnement Canada.

3.1.6. Limites de l'étude

Bien que le respect de la confidentialité ait été assuré, l'enquête comprend plusieurs questions qu'une entreprise moins performante pourrait vouloir éviter. Alors que certains éléments de réponse pourraient simplement faire apparaître l'entreprise sous un jour défavorable (ne jamais pratiquer d'analyses de risque, ne pas avoir de personnel dédié à la gestion des risques, etc.) d'autres éléments de réponse souligneraient carrément le fait que l'entreprise ne suit pas la réglementation entourant les matières dangereuses (ne pas tenir de registre d'accidents/incidents MD, ne pas avoir de lieu dédié au stockage des MD, ne pas offrir de formation aux employés, etc.). Il est donc possible que des entreprises moins performantes aient choisi de ne pas répondre

---

[3] Le site de l'INRP recensant les entreprises émettant des polluants dans l'atmosphère (905 établissements au Québec). Un seul site industriel par entreprise (émettant des rejets toxiques) a été ciblé.

[4] En vertu du *règlement sur les urgences environnementales* d'Environnement Canada, les sites possédant des MD en quantité suffisante doivent remplir une déclaration (759 au Québec, dont 193 établissements agricoles identifiés exclus de l'étude). Un seul site industriel par entreprise a été ciblé.

au questionnaire, de ne pas répondre à certaines questions ou même d'embellir la réalité. Les résultats obtenus doivent donc être jugés prudemment.

3.2.Résultat

Suite aux envois postaux, 106 questionnaires ont été complétés. En excluant les 23 questionnaires qui ont été retournés à l'expéditeur (l'entreprise avait fermé ou déménagé), le taux de réponse est donc de 22,7%. Tel que mentionné, ce taux est satisfaisant, compte tenu de la longueur du questionnaire, de la complexité de certaines questions et de la présence de plusieurs sujets sensibles que certaines entreprises ne désirent pas aborder.

Les sections qui suivent présentent les faits saillants des résultats obtenus. Le détail de ces résultats peut être consulté à l'annexe 3.

3.2.1. Caractéristiques des répondants

Puisque le questionnaire a été envoyé à grande échelle au Québec, à des entreprises de divers milieux, le groupe de répondants est composé d'entreprises relativement différentes les unes des autres. En effet, l'échantillon est à la fois composé de petites entreprises (28,5% ont moins de 50 employés), de moyennes entreprises (38,2% ont entre 50 et 250 employés) et de grandes entreprises (33,3% ont 250 employés et plus). Environ la moitié des répondants (44,1%) disent provenir directement de l'industrie des produits chimiques ou de la pétrochimie alors que l'autre moitié (65,9%) provient de secteurs connexes (pâtes et papiers, plastiques et composites, etc.).

Les codes SCIAN[5] des 99 répondants s'étant formellement identifiés ont pu être retracés. Cette information nous a permis de mieux caractériser le champ d'activité des entreprises participantes. On apprend donc que la très grande majorité des répondants font partie du secteur de la fabrication. De plus, selon cette classification, 39 entreprises proviendraient directement de l'industrie des matières dangereuses (fabrication du pétrole et du charbon, fabrication de produits chimiques, grossistes/distributeurs de produits pétroliers).

[5] Système de classification des industries de l'Amérique du Nord

Tableau 3.4 : Codes SCIAN des répondants de l'enquête

SCIAN	Description	Répondants
11	Agriculture, foresterie, pêche et chasse	0
21	Extraction minière, exploitation en carrière, et extraction de pétrole et de gaz	2
211	*Extraction de pétrole et de gaz*	*0*
212	*Extraction minière et exploitation en carrière (sauf l'extraction de pétrole et de gaz)*	*2*
213	*Activités de soutien à l'extraction minière et à l'extraction de pétrole et de gaz*	*0*
31-33	Fabrication	87
311	*Fabrication d'aliments*	*2*
312	*Fabrication de boissons et de produits du tabac*	*1*
313	*Usines de textiles*	*1*
314	*Usines de produits textiles*	*0*
315	*Fabrication de vêtements*	*0*
316	*Fabrication de produits en cuir et de produits analogues*	*0*
321	*Fabrication de produits en bois*	*1*
322	*Fabrication du papier*	*4*
323	*Impression et activités connexes de soutien*	*0*
324	*Fabrication de produits du pétrole et du charbon*	*3*
325	*Fabrication de produits chimiques*	*34*
326	*Fabrication de produits en plastique et en caoutchouc*	*14*
327	*Fabrication de produits minéraux non métalliques*	*3*
331	*Première transformation des métaux*	*9*
332	*Fabrication de produits métalliques*	*5*
333	*Fabrication de machines*	*0*
334	*Fabrication de produits informatiques et électroniques*	*1*
335	*Fabrication de matériel, d'appareils et de composants électriques*	*4*
336	*Fabrication de matériel de transport*	*4*
337	*Fabrication de meubles et de produits connexes*	*1*
339	*Activités diverses de fabrication*	*0*
41	Commerce de gros	7
411	*Grossistes-distributeurs de produits agricoles*	*0*
412	*Grossistes-distributeurs de produits pétroliers*	*2*
413	*Grossistes-distributeurs de produits alimentaires, de boissons et de tabac*	*0*
414	*Grossistes-distributeurs d'articles personnels et ménagers*	*1*
415	*Grossistes-distributeurs de véhicules automobiles et de leurs pièces*	*0*
416	*Grossistes-distributeurs de matériaux et fournitures de construction*	*0*
417	*Grossistes-distributeurs de machines, de matériel et de fournitures*	*0*
418	*Grossistes-distributeurs de produits divers*	*4*
44-45	Commerce de détail	0

SCIAN	Description	Répondants
48-49	Transport et entreposage	2
481	*Transport aérien*	*0*
482	*Transport ferroviaire*	*0*
483	*Transport par eau*	*0*
484	*Transport par camion*	*0*
485	*Transport en commun et transport terrestre de voyageurs*	*0*
486	*Transport par pipeline*	*0*
487	*Transport de tourisme et d'agrément*	*0*
488	*Activités de soutien au transport*	*0*
491	*Services postaux*	*0*
492	*Messageries et services de messagers*	*0*
493	*Entreposage*	*2*
51	Industrie de l'information et industrie culturelle	0
52	Finance et assurances	0
53	Services immobiliers et services de location et de location à bail	0
54	Services professionnels, scientifiques et techniques	0
55	Gestion de sociétés et d'entreprises	0
56	Services administratifs, services de soutien, services de gestion des déchets et services d'assainissement	1
561	*Services administratifs et services de soutien*	*0*
562	*Services de gestion des déchets et d'assainissement*	*1*
61	Services d'enseignement	0
62	Soins de santé et assistance sociale	0
71	Arts, spectacles et loisirs	0
72	Hébergement et services de restauration	0
81	Autres services (sauf les administrations publiques)	0
91	Administrations publiques	0

34,6% des répondants se définissent comme de grands utilisateurs de matières dangereuses (une majorité ou la totalité de leurs activités est liée aux matières dangereuses), 65,4% se définissent plutôt comme de petits utilisateurs de matières dangereuses (une minorité ou la moitié de leurs activités est liée aux matières dangereuses). La figure 3.2 résume la situation.

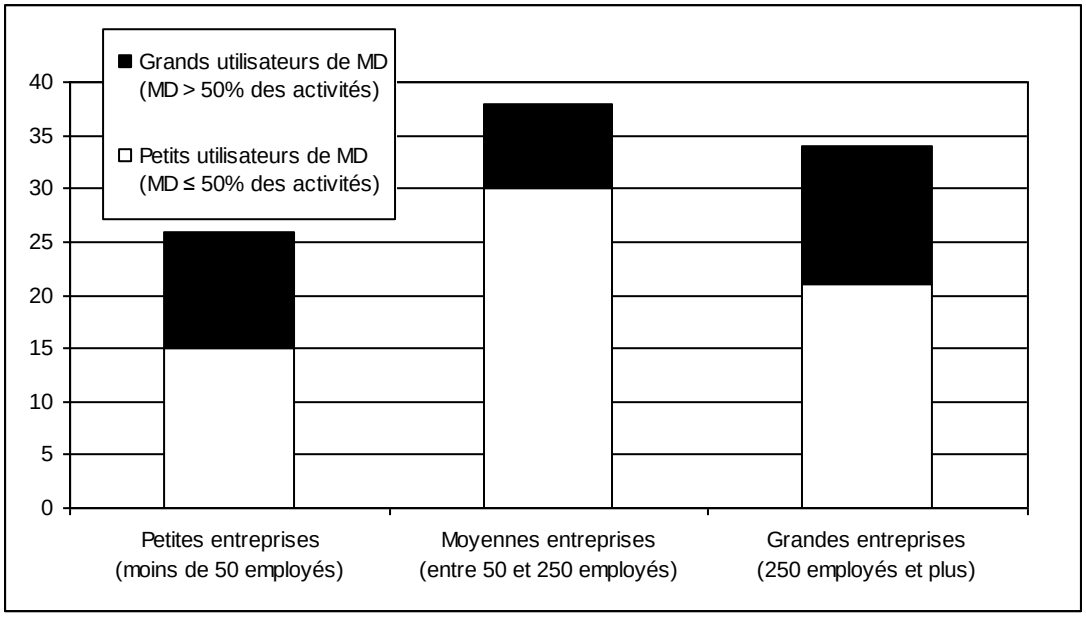


Figure 3.2 : Répartition des répondants de l'enquête

La proportion de grands utilisateurs varie selon la catégorie d'entreprise (petite, moyenne ou grande), mais elle demeure toujours inférieure à la proportion de petits utilisateurs de matières dangereuses.

3.2.2. Pratiques relatives au transport de matières dangereuses

Alors que la majorité des répondants (90,6%) reçoivent des matières dangereuses sur le site fixe identifié, seulement les deux tiers en expédient (64,8%). Cette situation peut être expliquée par la présence de nombreux utilisateurs de matières dangereuses (non nécessairement producteurs) dans l'échantillon. Par opposition, une majorité de répondants (76,2%) expédient des matières dangereuses résiduelles (sous-produit des processus industriels utilisés) tandis qu'une faible minorité (14,6%) en reçoit.

La plupart des répondants manipulent cinq matières dangereuses différentes ou plus que ce soit en approvisionnement (76,2%) ou en expédition (63,0%). De plus, la fréquence de réception et d'expédition de matières dangereuses est relativement élevée. Une majorité de répondants en reçoivent (79,8%) ou en expédient (61,9%) au moins à la semaine.

Le camion est le mode de transport privilégié des entreprises. Pour leurs expéditions de matières dangereuses, 98,9% des répondants disent utiliser le camion, alors que 22,5% utilisent le train, 20,2% utilisent le transport maritime, 6,7% les canalisations et 9% l'avion. Pour l'approvisionnement, le portrait est sensiblement le même, bien que les proportions varient légèrement. Rappelons que ces chiffres font référence à l'utilisation (ou non) d'un mode de transport et ne reflètent pas nécessairement les volumes transigés. La figure 3.3 résume la situation.

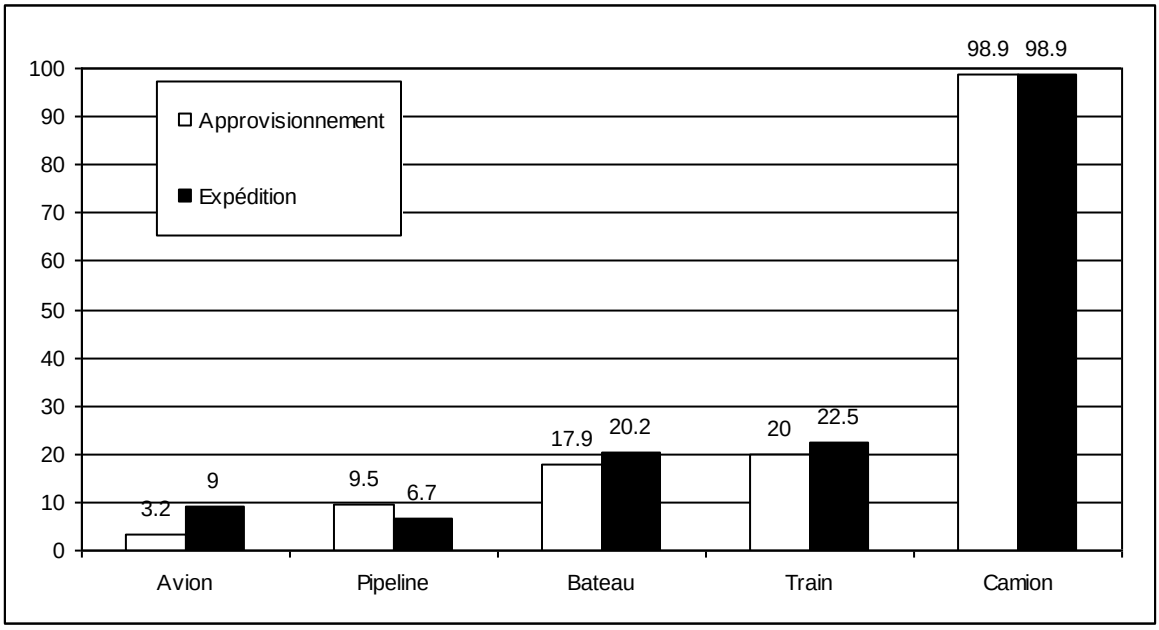


Figure 3.3 : Modes de transport utilisés par les répondants de l'enquête

Il est important de mentionner que le choix d'un mode de transport dépend grandement de la distance à couvrir, du volume de matières à transporter et de la facilité d'accès (présence de voies ferrées, de port, de canalisation, etc.). D'ailleurs 86,2% des répondants affirment ne pas pouvoir changer de mode de transport en approvisionnement, alors que 83,9% des répondants affirment ne pas pouvoir changer de mode de transport en expédition.

Très peu d'entreprises effectuent le transport en compte propre, que ce soit en approvisionnement (5,3%) ou en expédition (14,9%). La plupart du temps, cette tâche est sous-traitée. Cependant, la plupart des entreprises supervisent tout de même les opérations de chargement/déchargement

effectuées sur leur site (65,3% supervisent le déchargement alors que 46,9% supervisent le chargement). De plus, un bon nombre d'entreprises effectuent ces opérations elles-mêmes puisque 57,9% des entreprises effectuent le déchargement alors que 57,3% des entreprises effectuent le chargement.

La formation offerte aux employés travaillant aux quais de chargement/déchargement est souvent sous-traitée (49,5%), bien que plusieurs firmes y participent également (57,3%). Cette formation est souvent offerte dès l'embauche (42,2%), à chaque année (11,8%) ou aux trois ans (56,9%) tel que prescrit par la loi. Un certain nombre d'entreprises offrent cette formation au besoin (18,6%).

3.2.3. Pratiques relatives au stockage de matières dangereuses

La très grande majorité des entreprises (95,1%) utilisent des espaces dédiés pour stocker leurs matières dangereuses, bien que certaines firmes n'en utilisent jamais (1%) ou rarement (3,9%). Résultat des importants volumes transigés, un certain nombre d'entreprises doivent tout de même avoir recours au stockage temporaire sur le site puisque 26,4% des répondants disent avoir recours souvent ou toujours à cette pratique. Le stockage temporaire à l'extérieur du site de l'entreprise est peu répandu, puisque 18,8% des répondants effectuent (de rarement à toujours) du stockage temporaire sur d'autres sites appartenant à l'entreprise alors que 12% des répondants effectuent (de rarement à toujours) du stockage temporaire sur des sites n'appartenant pas à l'entreprise.

Augmenter la fréquence des convois de matières dangereuses afin d'éviter d'avoir trop de MD sur le site est une pratique relativement répandue puisque 50,0% des répondants disent y recourir souvent ou toujours alors que 25,5% des répondants ne l'utilisent jamais. Cette pratique, qui vise à soustraire l'entreprise à certaines réglementations relatives au stockage, augmente le nombre de convois de matières dangereuses sur les routes bien que les quantités transportées demeurent les mêmes.

3.2.4. Coûts relatifs aux matières dangereuses

La plupart des entreprises (65,6%) se disent prêtes à investir davantage en sécurité si cela s'avérait nécessaire, du moment que l'augmentation demeure en deçà d'un certain niveau (5% d'augmentation pour 45,6% des entreprises, 10% d'augmentation pour 11,1% des entreprises). Cependant, un certain nombre d'entreprises (31,5%) disent ne pas pouvoir se permettre d'augmenter les sommes investies en sécurité. Lorsque questionnées au sujet des critères utilisés pour effectuer leurs choix de transport de MD, les entreprises mentionnent presque aussi souvent la maîtrise des risques (78,7%) que la minimisation des coûts de transport (88,3%). Les autres critères mentionnés sont dans l'ordre : la minimisation des délais (83,0%), la fréquence du transport (45,7%), la minimisation des coûts de stockage (45,7%) et la distance à parcourir (42,6%). La figure 3.4 résume la situation.

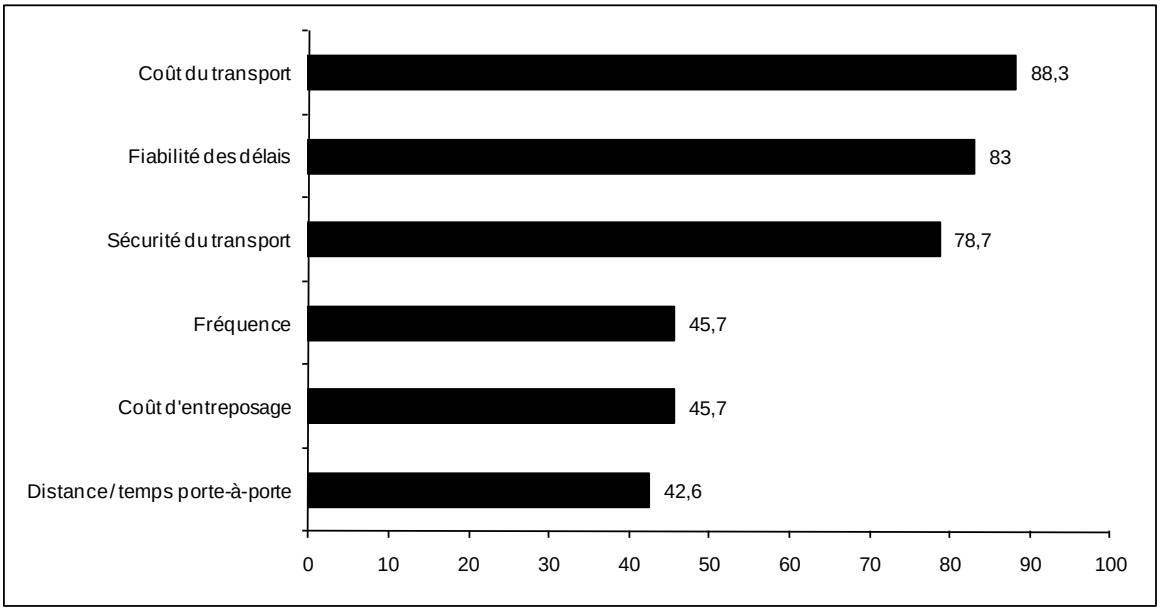


Figure 3.4 : Critères de décision relatifs au transport

Le risque lié aux matières dangereuses pourrait augmenter les frais d'exploitation des entreprises en raison des précautions devant être prises. Plusieurs types de coûts directement liés aux matières dangereuses ont été identifiés afin d'être ordonnancés par les répondants. Les résultats obtenus montrent que les éléments liés aux matières dangereuses nommés le plus souvent

lorsqu'on parle de coûts sont, dans l'ordre : les équipements sur le site (63,6%), la formation des employés (60,6%), les mesures réglementaires (56,6%), les primes d'assurances (54,5%) et les véhicules spécialisés/procédures (47,5%). L'embauche d'un responsable sécurité (31,3%), les accidents/incidents MD (27,3%), les audits de sécurité (27,3%) et les primes CSST (18,2%) sont moins souvent mentionnés. La figure 3.5 résume la situation.

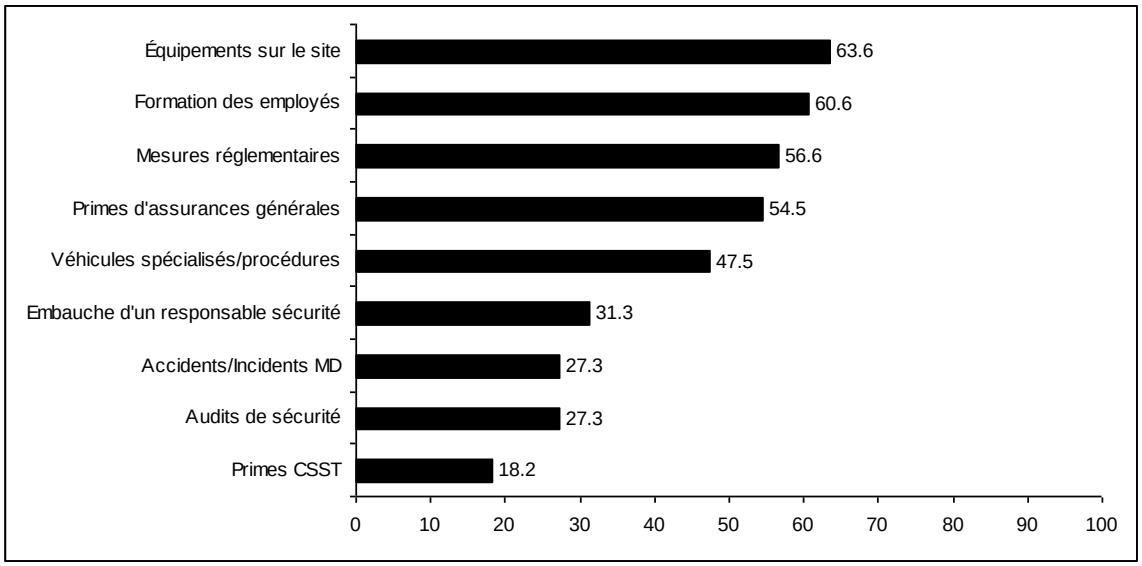


Figure 3.5 : Facteurs de coût liés aux MD

Les coûts liés à un accident de transport peuvent être relativement élevés. Wright (1993) a même estimé qu'un accident de transport pouvait coûter jusqu'à 300 000$ CAD à l'entreprise. Cependant, les résultats de la figure précédente indiquent que les entreprises ne se sentent pas particulièrement concernées par ce type de coût. Cette question sera examinée plus en détails au chapitre 5.

Les répondants ont dû évaluer l'impact financier, sur leur entreprise, de trois types d'accidents (avec déversement, ayant un impact sur les employés, ayant un impact sur le public) par rapport à un accident isolé sans déversement. Sans surprise, plus le scénario devenait catastrophique, plus les répondants ont estimé que l'impact financier sur leur entreprise serait important. 29,9% des répondants ont estimé que l'impact financier d'un accident avec déversement serait beaucoup plus important que dans le cas d'un accident sans déversement, 38,1% des répondants ont estimé

que l'impact financier d'un accident impliquant des employés serait beaucoup plus important que dans le cas d'un accident n'impliquant aucun employé et 51,5% des répondants ont estimé que l'impact financier d'un accident impliquant le public serait beaucoup plus important que dans le cas d'un accident n'impliquant pas le public. Cependant, certaines entreprises ne pensent pas qu'un accident impliquant des employés (5,2%) ou le public (3,1%) aurait un plus grand impact sur elles.

3.2.5. Pratiques relatives à la sous-traitance

Tous les répondants sous-traitent certaines activités liées aux matières dangereuses. Les activités les plus souvent sous-traitées sont, dans l'ordre : le transport (85,0% en expédition et 84,0% en approvisionnement), le chargement (33,0%), le déchargement (31,0%), la manutention (18,0%), l'emballage (14,0%), les activités de stockage (14,0%) ou même certaines activités de production (9,0%). La figure 3.6 résume la situation.

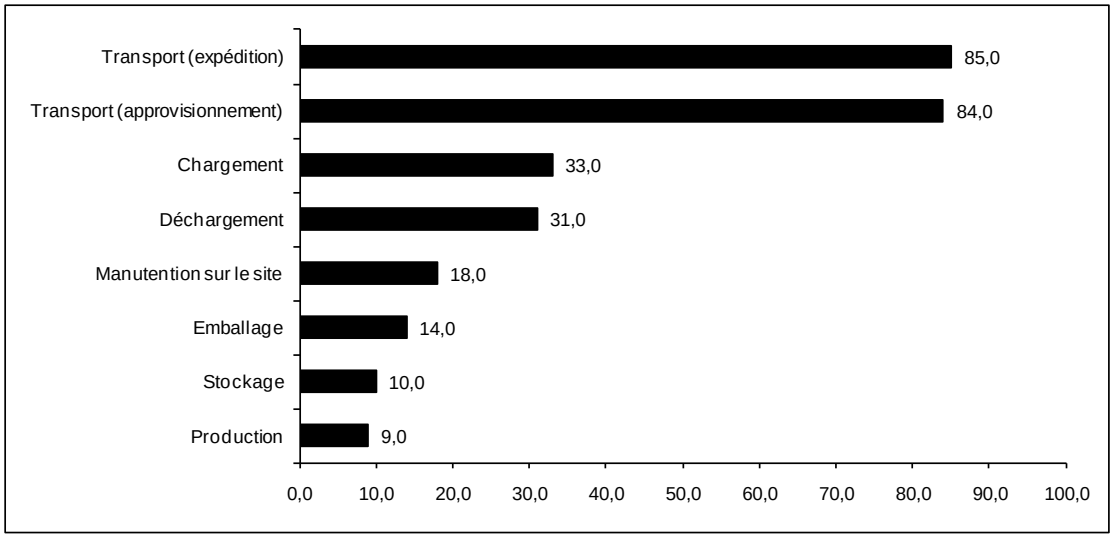


Figure 3.6 : Sous-traitance des activités liées aux MD

Lorsqu'on leur demande pourquoi elles sous-traitent leurs activités de transport de matières dangereuses, les entreprises répondent que c'est: parce qu'elles ne possèdent pas leur propre flotte de véhicules (55,4%), parce que c'est moins coûteux (25%) ou parce qu'elles n'ont tout

simplement pas l'expertise requise (33,7%). De plus, quelques entreprises (19,6%) admettent sous-traiter le transport de matières dangereuses puisque le transporteur partage alors le risque.

Plusieurs éléments de réponse soulèvent bien des questions. Des audits de sécurité sont rarement réalisés chez les sous-traitants (48,4% n'en réalisent jamais) et bien souvent, il n'y a pas de contrat à long terme entre les parties (33,7% n'en ont jamais alors que 23,9% en ont rarement). On assiste de plus à l'émergence du phénomène de sous-traitance en cascade. En effet, 40,2% des répondants savent parfaitement que leurs sous-traitants sous-traitent à leur tour une partie des activités qu'ils leurs confient (9,8% en ont vaguement conscience et que 16,1% ignorent tout simplement si c'est le cas). Finalement, soulignons le fait que plusieurs entreprises (16,1%) ne croient pas qu'un accident de matières dangereuses impliquant leur transporteur (avec leurs propres matières) aurait un impact sur leurs activités (37,9% croient qu'il y aurait un impact, mais qu'il serait beaucoup moindre que si elles avaient eu l'accident elles-mêmes).

Lorsqu'elles sélectionnent un transporteur, les entreprises se préoccupent surtout : de la qualité/fiabilité du service (89,9%), des coûts (82%), de la maîtrise des risques (65,2%), de la réputation du transporteur (53,9%) et de la possibilité de partenariat à long terme (52,8%). Les accidents passés (30,0%), les certifications (27,0%) et la possibilité de suivre le transport (21,3%) sont moins souvent mentionnés. La figure 3.7 résume la situation.

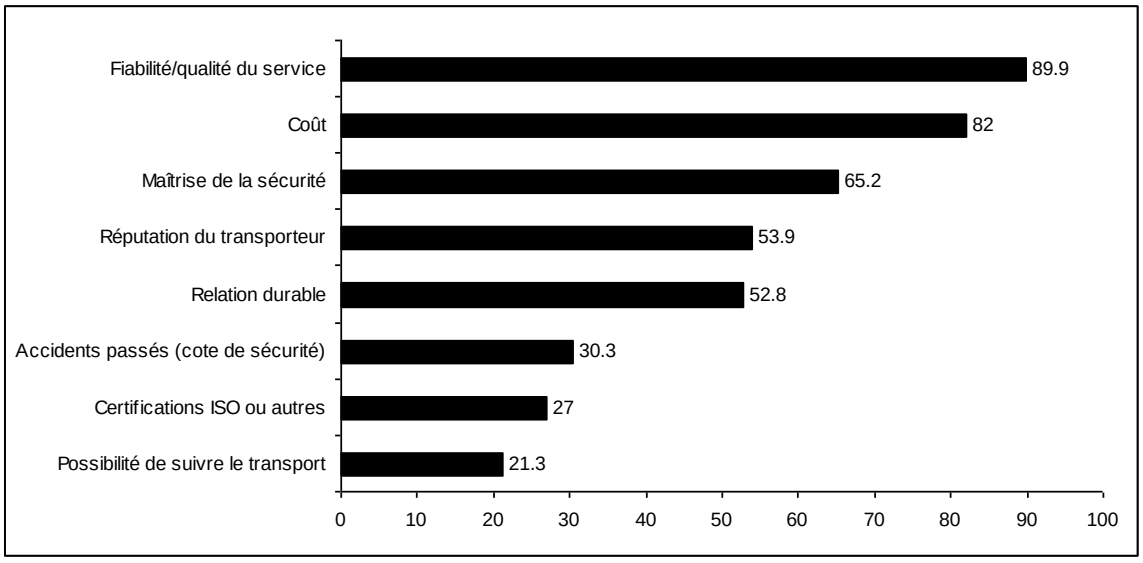


Figure 3.7 : Critères de décision utilisés lors de la sélection d'un transporteur

3.2.6. Maîtrise de risque

La plupart des entreprises ont mis en place des programmes appropriés pour effectuer la gestion du risque. Ces programmes incluent : des comités de santé et sécurité au travail (91,0%), des séances d'information offertes aux employés (74,0%), avoir un département ou des employés assignés à la gestion des risques (61,5%) et avoir un programme de prévention spécifique aux accidents de MD (59,0%). Bien des entreprises offrent simultanément plusieurs de ces programmes (39 entreprises offrent même les quatre programmes). Seuls trois répondants n'en offrent aucun. Par contre, de nombreuses entreprises affirment valoriser les heures supplémentaires (63,2%) et offrent, dans une moindre proportion, des primes au rendement (29,2%). Ceci peut contribuer à augmenter la pression des employés et éventuellement être une source d'erreurs.

Plusieurs entreprises réalisent régulièrement des analyses de risques sur le site de leur entreprise (58,6% en réalisent souvent ou toujours) bien que certaines entreprises n'en réalisent jamais (10,1%) ou rarement (18,2%). Cependant, en transport, cette proportion est moindre (27,8% en réalisent souvent ou toujours, 27,8% n'en réalisent jamais et 24,4% en réalisent rarement). Cette situation s'explique par le fait que la plupart des entreprises sous-traitent les opérations de transport de matières dangereuses. D'ailleurs, on retrouve la même situation au niveau des procédures utilisées puisque 37,5% des entreprises utilisent des procédures plus strictes que la loi sur leur site alors que cette proportion passe à 23,8% en transport. De plus, peu d'entreprises utilisent des technologies de suivi (GPS, etc.) pour le transport des MD (59,0% n'en utilisent jamais). Dans ce dernier cas, le nombre beaucoup plus important d'entreprises ayant répondu par la négative semble indiquer qu'il ne s'agit pas simplement d'un effet de la sous-traitance : les technologies de suivi seraient réellement sous-utilisées.

On retrouve un phénomène similaire pour les stratégies de communication du risque puisque 27,9% des entreprises communiquent les risques relatifs au site de leur entreprise aux citoyens (30,2% ne le font jamais) alors que cette proportion passe à 15,0% en transport (40,7% ne le font jamais). Au passage, notons que peu d'entreprises utilisent leur maîtrise du risque pour rehausser leur image avec 53,6% des répondants qui disent ne jamais le faire.

Lorsque questionnées au sujet des impacts possibles qu'un accident de matières dangereuses pourrait avoir sur leurs activités, les entreprises mentionnent, dans l'ordre : le coût direct immédiat (88,3%), la perte d'image (68%), la perte de production (65%), la réaction des citoyens (61,2%), l'augmentation des primes d'assurance (61,2%) et la perte de clientèle (22,3%). Ces chiffres montrent que les entreprises ne traduisent pas nécessairement une perte d'image en perte de clientèle. D'ailleurs, rappelons qu'une proportion similaire de répondants (30,3%) disait prendre les accidents passés en compte lors du choix d'un sous-traitant. La figure 3.8 résume la situation.

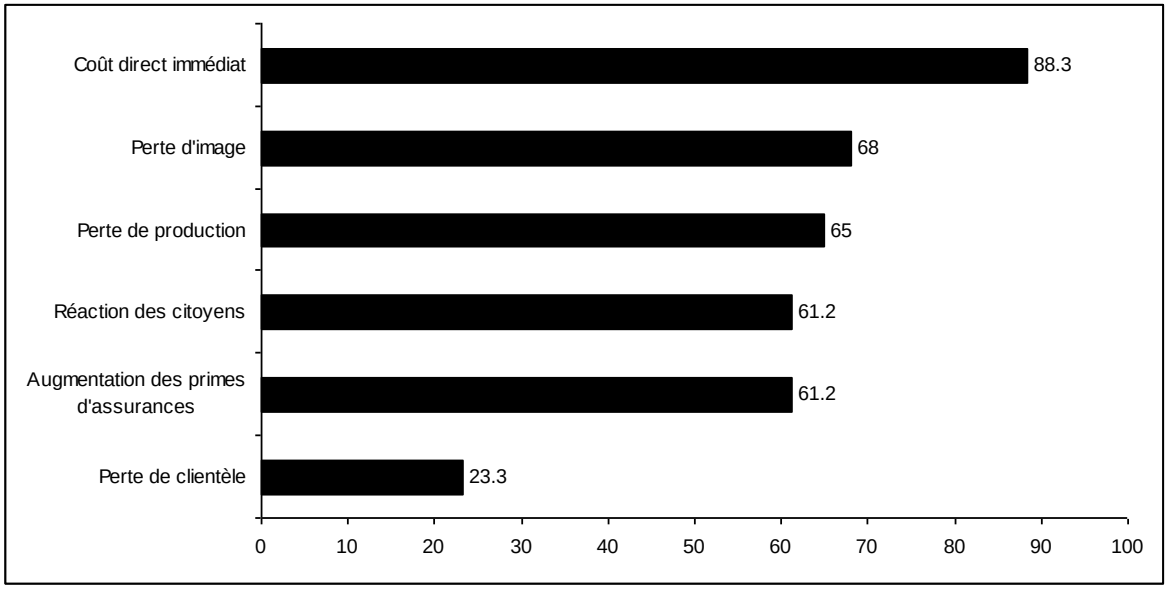


Figure 3.8 : Impact anticipé d'un accident impliquant des matières dangereuses

La plupart des entreprises (77%) tiennent un registre à jour de leurs accidents/incidents de matières dangereuses bien qu'un certain nombre n'en aient pas (9,4%). De plus, la plupart des entreprises (84,5%) réalisent des enquêtes suite à un accident/incident de matières dangereuses bien que quelques unes (2,1%) n'en réalisent pas.

Finalement, notons que de l'avis de nombreuses entreprises, un accident en site fixe (81,1%) aurait un impact plus grand qu'un accident de transport (18,9%). Parmi les raisons évoquées par les entreprises, notons :

- le fait que les conséquences (perte d'équipements ou de production) potentielles sur le site sont plus importantes (32,7%);
- le fait que le transport soit effectué par des sous-traitants alors que le site est directement associé à l'image de l'entreprise (23,6%);
- le plus grand potentiel de danger présent sur le site (25,5%).

Notons que 10,9% des répondants estiment tout de même qu'un accident de transport aurait un plus grand impact en raison du délai de réaction.

3.2.7. Réglementation

Nombre d'entreprises affirment que la réglementation liée aux MD (site, transport, santé sécurité) restreint leurs activités quotidiennes contre 27,7% des entreprises qui affirment qu'elle ne les limite jamais. La réglementation relative au stockage semble être celle qui restreint le plus les entreprises. À l'opposé, 52% des entreprises affirment que la réglementation relative au transport ne les limite jamais. Rappelons cependant que la majorité des entreprises n'effectuent pas le transport elles-mêmes, ce qui peut influencer leur perception de la réglementation sur le transport.

En raison des limites imposées par la réglementation relative au stockage, plusieurs entreprises ont dû : effectuer des substitutions de matières (50,5%), diminuer les stocks de MD (66,3%) ou modifier leurs choix logistiques et leurs fréquences de livraison (74,5%).

3.3. Analyses comparatives

Tel que mentionné précédemment, le questionnaire a été envoyé à différents types d'entreprises à travers la province de Québec afin d'effectuer des comparaisons entre diverses catégories d'utilisateurs de matières dangereuses. En fait, le but de ces études comparatives est principalement d'illustrer les différences pouvant exister entre la gestion des risques effectuée par : (1) les petites et les grandes entreprises et (2) les petits et les grands utilisateurs de matières dangereuses. L'hypothèse de départ est simple : les grandes entreprises et les grands utilisateurs effectuent une meilleure gestion des risques que les petites entreprises et les petits utilisateurs. Cette section présente une meilleure description des catégories d'entreprises à l'étude, la méthodologie utilisée ainsi que les résultats de ces analyses comparatives.

3.3.1. Catégories d'entreprises à l'étude

Plusieurs auteurs ont suggéré que la taille de l'entreprise pourrait avoir un impact significatif sur les taux d'accident recensés. Moses et Savage (1994) ont même démontré que les petites entreprises de camionnage ont des taux d'accident significativement plus élevés que les grandes entreprises. L'analyse comparative permettra de vérifier si cette réalité découle notamment des mesures de gestion de risque mises en place et si les résultats de Moses et Savage peuvent être extrapolés aux entreprises œuvrant dans le domaine des matières dangereuses.

Rien dans la littérature scientifique ne vient pour le moment appuyer l'hypothèse que les grands utilisateurs de matières dangereuses pourraient avoir mis en place une meilleure gestion du risque que les petits utilisateurs, mais les entrevues réalisées en entreprise pour valider le questionnaire laissent penser que ce pourrait être le cas. Nous avons donc choisi d'inclure cette variable dans les analyses statistiques.

Dans le cadre de cette étude, l'importance a été accordée au nombre total d'employés de l'entreprise plutôt qu'au nombre d'employés sur le site fixe identifié. L'hypothèse est simple : même en opérant avec un nombre réduit d'employés, un site appartenant à un groupe est probablement régi par les règles du groupe. Pour les fins de l'exercice, les entreprises ont été séparées selon leur taille en deux groupes :

- les petites entreprises : moins de 250 employés
- les grandes entreprises : 250 employés et plus

Selon ces définitions, parmi les 106 répondants de l'enquête, il y avait 68 petites entreprises (64,2%) et 34 grandes entreprises (32,15%). Quatre entreprises n'ont pas répondu aux questions relatives à leur taille et sont exclues des analyses.

Afin de définir le taux d'utilisation de matières dangereuses, il serait possible de regrouper les entreprises selon divers facteurs : fréquence des approvisionnements, nombre de classes de matières dangereuses sur le site, etc. Cependant, aucun de ces regroupements ne permet de réellement juger de l'importance des matières dangereuses au sein des activités de l'entreprise. Par exemple, les approvisionnements MD peuvent être fréquents mais ne représenter qu'une

faible part des activités de l'entreprise. Pour l'exercice, vérifier si les activités de l'entreprise sont centrées ou non autour des matières dangereuses a donc été jugé plus approprié. Par conséquent, la réponse à la question B4 (*À votre avis, quelle part de vos activités sur ce site est reliée aux MD*?) est utilisée comme base de regroupement. Les entreprises ont été séparées selon leur taux d'utilisation en deux groupes :

- les petits utilisateurs de matières dangereuses : une minorité ou la moitié des activités reliées aux MD;
- les grands utilisateurs de matières dangereuses : une majorité ou la totalité des activités reliées aux MD.

Selon ces définitions, parmi les 106 répondants de l'enquête, il y avait 66 petits utilisateurs de MD (62,3%) et 35 grands utilisateurs. Cinq entreprises n'ont pas répondu à la question relative à leur taux d'utilisation de matières dangereuses et sont donc exclues des analyses.

3.3.2. Méthodologie

Un certain nombre de questions, particulièrement révélatrices, ont été sélectionnées comme base de comparaison entre les différentes catégories d'entreprises. Il s'agit des questions :

Tableau 3.5 : Éléments de réponse servant de base de comparaison

Questions	**Objet**
C4	Permet de dégager les différences en approvisionnement MD. Pour les fins de l'exercice, il n'a pas été jugé nécessaire de s'attarder également à l'expédition.
E4	Permet de dégager les différences entre les habitudes de stockage.
F1, F3	Permet de dégager les différences relatives à l'importance accordée au coût par rapport au risque.
G4, G5, G6, G7	Permet de dégager les différences relatives à la gestion de la sous-traitance.
H1, H2, H3, H4, H5	Permet de dégager les différences entre les mesures de réduction de risque mises en place.

La plupart des questions sélectionnées pour l'analyse comparative sont reliées au management de la sécurité. Les choix de réponses présentés pour ces questions étaient soient : des échelles à cinq points (de jamais à toujours) ou des échelles à deux points (oui ou non). Par conséquent, la

moyenne des répondants a facilement pu être calculée pour chaque catégorie d'entreprises à l'étude. Les résultats ont été comparés en utilisant le test de Mann-Whitney (un test non paramétrique, beaucoup plus robuste en l'absence, à priori, d'une distribution de probabilité) à l'aide du logiciel SPSS pour Windows, version 11.0. Ceci a permis de déterminer s'il existait des différences significatives entre les catégories d'entreprises étudiées. Rappelons que le taux de signification dépend avant tout de la dispersion des résultats, ce que ne reflète pas nécessairement l'écart observé entre les groupes.

3.3.3. Comparaisons

Avant même de s'intéresser à la gestion des risques effectuée par les diverses catégories d'entreprises, il est important de s'attarder sur les différences relatives au fonctionnement même de l'entreprise. Les résultats montrent que les grandes entreprises utilisent plus fréquemment le transport ferroviaire que les petites entreprises (significatif à 5%). Les grands utilisateurs de matières dangereuses sont également plus portés à utiliser une variété de modes de transport. Ils utilisent donc le train et le bateau (significatif à 1%) ainsi que les pipelines et l'avion (significatif à 0,1%) plus fréquemment. Par conséquent, les petits utilisateurs de matières dangereuses utilisent le transport routier en plus grand nombre (significatif à 10%). Les tableaux 3.6 et 3.7 présentent ces résultats de manière plus détaillée. Les répondants devaient répondre aux questions sur une échelle à deux points (0 «non », 1 « oui »).

Tableau 3.6 : Modes de transport utilisés - petites et grandes entreprises

	Petites entreprises	**Grandes entreprises**	**Mann-Whitney Unilatéral (p/2)**
Modes de transport utilisés en approvisionnement MD			
Camion	0.9821	1.0000	0.2215
Train	0.1429	0.3030	0.0355 **
Bateau	0.1250	0.1818	0.2330
Pipeline	0.0714	0.1212	0.2150
Avion	0.0179	0.0606	0.1415

**p<0.1, **p<0.05, ***p<0.01, ****p<0.001*

Tableau 3.7 : Modes de transport utilisés - petits et grands utilisateurs de MD

	Petits utilisateurs	Grands utilisateurs	Mann-Whitney Unilatéral (p/2)
Modes de transport utilisés en approvisionnementMD			
Camion	1.0000	0.9688	0.0890 *
Train	0.0862	0.4375	0.0000 ****
Bateau	0.0345	0.4688	0.0000 ****
Pipeline	0.0345	0.2188	0.0030 ***
Avion	0.0000	0.0938	0.0090 ***

**p<0.1, **p<0.05, ***p<0.01, ****p<0.001*

Pour les choix relatifs au transport de MD, les petites entreprises misent davantage sur le temps de transport (significatif à 10%) et la fréquence de transport (significatif à 5%) que les grandes entreprises. Pour leur part, les petits utilisateurs misent davantage sur le coût d'entreposage (significatif à 5%) et le temps de transport (significatif à 5%) que les grands utilisateurs. Aucune différence n'est décelée entre les groupes pour le critère « sécurité ». Les tableaux 3.8 et 3.9 présentent ces résultats de manière plus détaillées. Les répondants devaient répondre aux questions sur une échelle à deux points (0 «non », 1 « oui »).

Tableau 3.8 : Critères de décision relatifs au transport – petites et grandes entreprises

	Petites entreprises	Grandes entreprises	Mann-Whitney Unilatéral (p/2)
Critères de décision			
Coût d'entreposage	0.5000	0.4063	0.1980
Coût de transport	0.9138	0.8438	0.1570
Sécurité	0.7414	0.8438	0.1330
Distance/temps	0.4655	0.3123	0.0800 *
Fiabilité délais	0.8276	0.8750	0.2775
Fréquence	0.5345	0.3125	0.0220 **

**p<0.1, **p<0.05, ***p<0.01, ****p<0.001*

Tableau 3.9 : Critères de décision relatifs au transport – petits et grands utilisateurs

	Petits utilisateurs	Grands utilisateurs	Mann-Whitney Unilatéral (p/2)	
Critères de décision				
Coût d'entreposage	0.5424	0.3226	0.0240	**
Coût de transport	0.8814	0.9032	0.3775	
Sécurité	0.7797	0.8065	0.3845	
Distance/temps	0.5085	0.2581	0.0115	**
Fiabilité délais	0.8475	0.8065	0.3110	
Fréquence	0.4576	0.4516	0.4785	

**p<0.1, **p<0.05, ***p<0.01, ****p<0.001*

Des différences significatives sont notées du côté des pratiques liées à l'entreposage. Par exemple, les grandes entreprises ont plus souvent recours au stockage temporaire que les petites entreprises (significatif à 10%). De la même façon, les grands utilisateurs de matières dangereuses ont plus souvent recours au stockage temporaire, que ce soit sur le site (significatif à 1%), sur des sites n'appartenant pas à l'entreprise (significatif à 5%) ou sur d'autres sites appartenant à l'entreprise (significatif à 5%). À première vue, ces chiffres semblent contredire l'hypothèse selon laquelle les grands utilisateurs et les grandes entreprises utilisent de meilleurs programmes de gestion du risque. Cependant, notons que tout ceci est probablement le résultat d'une utilisation accrue de matières dangereuses.

Les grands utilisateurs de MD sont par contre plus nombreux que les petits utilisateurs à posséder des zones d'entreposage dédiées aux MD (significatif à 5%). De plus, soulignons le fait que les petits utilisateurs de matières dangereuses et les petites entreprises sont plus portés que les grands utilisateurs et les grandes entreprises à augmenter la fréquence des convois de MD afin de diminuer les quantités présentes sur le site (significatif à 10%). Les tableaux 3.10 et 3.11 résument la situation. Les répondants devaient répondre aux questions sur une échelle à cinq points (1 «jamais », 2 « rarement », 3 « parfois », 4 « souvent », 5 « toujours »).

Tableau 3.10 : Pratiques d'entreposage utilisées - petites et grandes entreprises

	Petites entreprises	**Grandes entreprises**	**Mann-Whitney Unilatéral (p/2)**
Lieux de stockage dédiés aux MD	4.6923	4.7813	0.2965
Recours au stockage temporaire			
Sur le site	2.3077	2.5484	0.2550
Sur des sites n'appartenant pas à l'entreprise	1.1538	1.3103	0.0890 *
Sur d'autres sites appartenant à l'entreprise	1.3125	1.5806	0.1180
Fréquence accrue de transport pour éviter d'avoir trop de MD sur le site	3.2500	3.2258	0.4985

**p<0.1, **p<0.05, ***p<0.01, ****p<0.001*

Tableau 3.11 : Pratiques d'entreposage utilisées - petits et grands utilisateurs de MD

	Petits utilisateurs	**Grands utilisateurs**	**Mann-Whitney Unilatéral (p/2)**
Lieux de stockage dédiés aux MD	4.6615	4.9091	0.0105 **
Recours au stockage temporaire			
Sur le site	2.0317	3.0000	0.0020 ***
Sur des sites n'appartenant pas à l'entreprise	1.1250	1.4839	0.0465 **
Sur d'autres sites appartenant à l'entreprise	1.2222	1.8485	0.0170 **
Fréquence accrue de transport pour éviter d'avoir trop de MD sur le site	3.3387	2.8333	0.0760 *

**p<0.1, **p<0.05, ***p<0.01, ****p<0.001*

Les résultats confirment l'hypothèse selon laquelle les grandes entreprises utilisent de meilleures mesures de gestion du risque que les petites entreprises. Par exemples, les grandes entreprises effectuent plus d'analyses de risque que les petites entreprises que ce soit sur le site ou en transport (significatif à 5%). Elles ont plus de personnel dédié à la gestion des risques (significatif à 1%). Les procédures utilisées par les grands utilisateurs sont plus strictes que celles des petits utilisateurs que ce soit sur le site (significatif à 5%) ou en transport (significatif à 5%). Le tableau 3.12 présente les résultats détaillés. Les répondants devaient répondre aux questions sur une échelle à cinq points (1 «jamais », 2 « rarement », 3 « parfois », 4 « souvent », 5 « toujours ») ou une échelle à deux points (0 «non », 1 « oui ») pour les quatre dernières questions.

Tableau 3.12 : Gestion du risque - petites et grandes entreprises

	Petites entreprises	**Grandes entreprises**	**Mann-Whitney Unilatéral (p/2)**
Analyses de risque			
Sur le site	3.3607	3.9375	0.0240 **
En transport	2.3509	3.0667	0.0115 **
Technologies de suivi en transport (GPS)	1.3846	2.1481	0.0060 ***
Procédures.			
Lors du chargement/déchargement	4.0328	4.5000	0.0075 ***
Plus strictes que la loi sur le site	3.5862	4.0000	0.0435 **
Plus strictes que la loi en transport	3.2000	3.7333	0.0335 **
Communication du risque			
Pour le site	2.7115	3.2069	0.0715 *
Pour le transport	2.3333	2.4615	0.3505
Mesures de sécurité comme outil de marketing	1.6545	2.0345	0.0470 **
Registre d'accidents/incidents à jour	4.1897	4.6250	0.0670 *
Enquête suite à un accident/incident	4.6271	4.7813	0.3760
Comité SST	0.8548	1.0000	0.0120 **
Personnel dédié à la gestion du risque	0.5167	0.7742	0.0090 ***
Programme de prévention MD	0.5806	0.5938	0.4515
Séances d'information	0.7000	0.7742	0.2275

**p<0.1, **p<0.05, ***p<0.01, ****p<0.001*

Les résultats confirment l'hypothèse selon laquelle les grands utilisateurs de MD utilisent de meilleurs programmes de gestion du risque que les petits utilisateurs de MD. Les grands utilisateurs réalisent plus d'analyses de risque que les petits utilisateurs, que ce soit sur le site ou en transport (significatif à 0,1%). Les grands utilisateurs ont également plus de personnel dédié à la gestion des risques (significatif à 1%). Les procédures utilisées par les grands utilisateurs sont plus strictes que celles des petits utilisateurs que ce soit sur le site (significatif à 0,1%) ou en transport (significatif à 5%). Le tableau 3.13 présente les résultats détaillés. Les répondants devaient répondre aux questions sur une échelle à cinq points (1 «jamais », 2 « rarement », 3 « parfois », 4 « souvent », 5 « toujours ») ou une échelle à deux points (0 «non », 1 « oui ») pour les quatre dernières questions.

Tableau 3.13 : Gestion du risque - petits et grands utilisateurs de MD

	Petits utilisateurs	Grands utilisateurs	Mann-Whitney Unilatéral (p/2)
Analyses de risque			
Sur le site	3.1333	4.5588	0.0000 ****
En transport	2.1964	3.5000	0.0000 ****
Technologies de suivi en transport (GPS)	1.4000	2.1481	0.0190 **
Procédures.			
Lors du chargement/déchargement	4.0500	4.7059	0.0010 ***
Plus strictes que la loi sur le site	3.5614	4.2941	0.0005 ****
Plus strictes que la loi en transport	3.3137	3.7586	0.0285 **
Communication du risque			
Pour le site	2.4314	3.8387	0.0000 ****
Pour le transport	2.1489	2.7241	0.0380 **
Mesures de sécurité comme outil de marketing	1.5455	2.3793	0.0020 ***
Registre d'accidents/incidents à jour	4.0702	4.9412	0.0010 ***
Enquête suite à un accident/incident	4.6207	4.9118	0.0270 **
Comité SST	0.9016	0.9118	0.4360
Personnel dédié à la gestion du risque	0.5085	0.8824	0.0025 ***
Programme de prévention MD	0.4590	0.8824	0.0000 ****
Séances d'information	0.6102	0.9688	0.0000 ****

**p<0.1, **p<0.05, ***p<0.01, ****p<0.001*

Lorsque vient le temps de sélectionner un transporteur MD, les grandes entreprises prennent davantage en considération les accidents passés (significatif à 10%) et la sécurité (significatif à 5%) que les petites entreprises, venant confirmer notre hypothèse de départ. De la même façon, les grands utilisateurs examinent davantage les accidents passés (significatif à 5%) que les petits utilisateurs. Par contre, les petites entreprises misent davantage sur les technologies de suivi (GPS, etc.) que les grandes entreprises (significatif à 5%). De plus, les grands utilisateurs regardent davantage le coût de transport que les petits utilisateurs (significatif à 10%), ce qui pourrait être le résultat des volumes plus importants. Les tableaux 3.14 et 3.15 présentent ces résultats de manière plus détaillée. Les répondants devaient répondre aux questions sur une échelle à deux points (0 «non », 1 « oui »).

Tableau 3.14 : Choix d'un transporteur – petites et grandes entreprises

	Petites entreprises	**Grandes entreprises**	**Mann-Whitney Unilatéral (p/2)**	
Critères de décision				
Coût	0.8421	0.8276	0.4320	
Fiabilité	0.8947	0.9310	0.2930	
Accidents passés	0.2632	0.4138	0.0785	*
Sécurité	0.5614	0.7586	0.0375	**
Possibilité de suivre le transport (GPS)	0.2807	0.1034	0.0315	**
Certification	0.3158	0.2069	0.1450	
Réputation	0.5088	0.5172	0.4705	
Possibilité de relation durable	0.4912	0.5172	0.4105	

**p<0.1, **p<0.05, ***p<0.01, ****p<0.001*

Tableau 3.15 : Choix d'un transporteur – petits et grands utilisateurs

	Petits utilisateurs	**Grands utilisateurs**	**Mann-Whitney Unilatéral (p/2)**	
Critères de décision				
Coût	0.7857	0.9000	0.0930	*
Fiabilité	0.9107	0.9000	0.4355	
Accidents passés	0.2321	0.4667	0.0130	**
Sécurité	0.6250	0.7000	0.2445	
Possibilité de suivre le transport (GPS)	0.2143	0.2000	0.4385	
Certification	0.3036	0.2333	0.2455	
Réputation	0.4821	0.5667	0.2285	
Possibilité de relation durable	0.5000	0.5000	0.5000	

**p<0.1, **p<0.05, ***p<0.01, ****p<0.001*

Un certain nombre de questions relatives au recours à la sous-traitance ou à la volonté d'investissement de l'entreprise, étaient sur une échelle à quatre points, souvent non continue. Afin de déterminer s'il existe des différences significatives entre les catégories d'entreprises, pour chacune de ces questions, les choix de réponses ont été regroupés en deux classes. Un poids a par la suite été attribué à chaque classe (0 ou 1). Les tableaux 3.16 et 3.17 illustrent ce processus ainsi que les résultats obtenus.

Tableau 3.16 : Investissement et sous-traitance - petites et grandes entreprises

	Petites entreprises	Grandes entreprises	Mann-Whitney Unilatéral (p/2)
Seriez-vous prêts à investir davantage en sécurité?	0.1250	0.3793	0.0410 **
((non, <5% = 0) vs. (5% et plus = 1))			
Avez-vous des contrats à long terme avec vos sous-traitants	0.3860	0.4839	0.0035 ***
((jamais, parfois = 0) vs. (souvent, toujours = 1))			
L'impact d'un accident de transport de votre sous-traitant par rapport à un accident que vous auriez eu vous-même est?	0.4074	0.5173	0.1885
((nul, moindre = 0) vs. (similaire, plus important = 1))			
Réalisez-vous des audits de sécurité auprès de vos sous-traitants?	0.4107	0.7097	0.1900
((jamais = 0) vs. (parfois, souvent, toujours = 1))			

**p<0.1, **p<0.05, ***p<0.01, ****p<0.001*

Tableau 3.17 : Investissement et sous-traitance - petits et grands utilisateurs de MD

	Petits utilisateurs	Grands utilisateurs	Mann-Whitney Unilatéral (p/2)
Seriez-vous prêts à investir davantage en sécurité?	0,1250	0,3793	0,0035 ***
((non, <5% = 0) vs. (5% et plus = 1))			
Avez-vous des contrats à long terme avec vos sous-traitants	0,3860	0,4839	0,1885
((jamais, parfois = 0) vs. (souvent, toujours = 1))			
L'impact d'un accident de transport de votre sous-traitant par rapport à un accident que vous auriez eu vous-même est?	0,4074	0,5173	0,1900
((nul, moindre = 0) vs. (similaire, plus important = 1))			
Réalisez-vous des audits de sécurité auprès de vos sous-traitants?	0,4107	0,7097	0,0040 ***
((jamais = 0) vs. (parfois, souvent, toujours = 1))			

**p<0.1, **p<0.05, ***p<0.01, ****p<0.001*

Les résultats montrent que les grandes entreprises sont davantage prêtes à augmenter leurs investissements en sécurité que les petites entreprises (significatif à 5%). La même situation est observée du côté des grands utilisateurs et des petits utilisateurs (significatif à 0,1%). Quelques différences relatives au recours à la sous-traitance peuvent de plus être observées entre les différents groupes à l'étude. Les grandes entreprises sont plus portées à utiliser des contrats à long terme avec leurs sous-traitants que les petites entreprises (significatif à 1%) tandis que les grands utilisateurs de matières dangereuses réalisent plus d'audits de sécurité auprès de ces sous-traitants que les petits utilisateurs de MD (significatif à 1%).

3.4. Conclusion

Les résultats de cette enquête exploratoire ont permis de mettre en relief les stratégies logistiques adoptées par les entreprises œuvrant dans le domaine des matières dangereuses au Québec. Ceci permet de mieux comprendre la situation actuelle (ce qui est fait), de mieux connaître les critères de décision (pourquoi c'est fait) et de définir les besoins (ce qui devrait être fait).

Par ailleurs, les résultats de l'enquête ont démontré que la plupart des entreprises adoptent des mesures de gestion du risque appropriées sur le site de leur entreprise : comités de santé sécurité au travail (91,0%), information relative aux risques MD offerte aux employés (74,0%), analyses de risque (58,6% en réalisent même souvent ou toujours), espaces dédiés pour stocker les MD (95,1%), etc. Tel qu'énoncé précédemment, le management de la sécurité est défini comme la dimension situationnelle de la culture de sécurité d'une entreprise (voir section 2.4.3.1). Des résultats aussi éloquents pour le management de la sécurité sur le site de l'entreprise laissent entrevoir une culture de sécurité exceptionnelle pour la plupart des entreprises sondées.

Cependant, les résultats montrent une situation différente en transport où les sites fixes semblent se désintéresser de ce qui pourrait arriver à leurs matières dangereuses, un fois le pas de leur entreprise franchis. Par exemple, les analyses de risque sont rares (27,8% en réalisent souvent ou toujours, comparativement à 58,6% en site fixe), les transporteurs sont rarement soumis à des audits de sécurité (48,4% n'en effectuent jamais) ou à des contrats à long terme (33,7% n'en ont jamais alors que 23,9% en ont parfois un). De plus, 19,6% des répondants affirment sous-traiter les activités de transport puisque le transporteur partage le risque.

Pourquoi des entreprises adoptant les mesures appropriées sur le site de leur entreprise ne peuvent-elles faire de même en transport? Par leurs choix logistiques (matières utilisées, fournisseurs, clients, fréquence des transports, etc.), les sites fixes sont pourtant à l'origine du trafic de matières dangereuses. Les entrevues effectuées lors de la validation du questionnaire ont montré que plusieurs firmes pourraient toujours être tentées de fermer les yeux sur ces activités puisque : ce n'est pas leur équipement, ce ne sont pas leurs employés et leur nom (et leur image) n'est pas associé au véhicule. De plus, les résultats du questionnaire, où les entreprises devaient identifier le type d'accident ayant le plus grand impact sur leurs activités, illustrent bien cette situation.

Tableau 3.18 : Type d'accident ayant le plus grand impact sur l'entreprise

Catégorie	Raison indiquée	Répondants	Pourcentage
Sur le site	Impact (employés, population, environnement, …)	18	32.7
	Coût (équipement, produit, perte de production, …)	14	25.5
	Le transport est sous-traité	13	23.6
Transport	L'accident aurait plus de visibilité que sur le site	2	3.6
	L'accident serait plus près des zones de population	1	1.8
	Coût (délais d'approvisionnement supplémentaire))	1	1.8
	Plus grand délais de réaction que sur le site	6	10.9
Total		55	100.0

D'après ces quelques réponses, on comprend bien d'où vient le désintérêt décrit plus haut face aux activités de transport. Notons tout de même que 10,9% des répondants estiment qu'un accident de transport aurait un plus grand impact en raison du plus grand délai de réaction.

De plus, les entrevues réalisées lors de la validation du questionnaire laissent entrevoir la possibilité que les entreprises ne sont pas réellement conscientes du fait qu'elles sont en partie légalement responsables (responsabilité partagée avec le transporteur et le conducteur) des convois de matières dangereuses tant qu'ils ne sont pas arrivés à destination finale selon la loi (voir chapitre 1). Rappelons que cette responsabilité ne touche cependant que les expéditions de matières dangereuses, et non les approvisionnements pourtant beaucoup plus nombreux, ce qui peut contribuer au phénomène de désintéressement.

Les analyses comparatives effectuées afin de déterminer s'il existe des différences significatives entre différents groupes de répondants ont démontré que les grandes entreprises et les grands utilisateurs de matières dangereuses adoptent de meilleures pratiques que les petites entreprises et les petits utilisateurs de matières dangereuses, en concordance avec les résultats de Wright (1993). Une attention particulière devrait donc être portée à ces types d'entreprises afin de les conscientiser et de s'assurer qu'elles disposent des ressources nécessaires à la gestion du risque.

Au cours des prochains chapitres, les résultats de l'enquête exploratoire seront utilisés afin de modéliser l'influence des facteurs organisationnels sur le niveau de risque (chapitre 4). Les données organisationnelles recueillies seront couplées à des données accidentelles afin de mesurer l'influence exacte de certaines pratiques. Les conclusions de l'enquête seront également utilisées afin d'alimenter le modèle d'aide à la décision lors de son développement et assurer sa pertinence (chapitre 5).

CHAPITRE 4. INFLUENCE DES FACTEURS ORGANISATIONNELS

Les facteurs organisationnels ont vraisemblablement une influence sur le niveau de risque présent lors des opérations de transports ou sur le site d'une entreprise. Par exemple, le risque associé à un transport de matières dangereuses variera non seulement en fonction de l'itinéraire retenu, mais également du transporteur retenu (de Marcellis-Warin, Favre & Trépanier, 2000). De plus, certains auteurs (Drogaris, 1993) rapportent qu'environ 90% des accidents impliquant des matières dangereuses ont une cause organisationnelle. Ces causes organisationnelles pourraient entre autres inclure : l'absence de procédures, de mesures de sécurité, d'instructions précises, de formation, de motivation, de système de management de la sécurité ou encore d'implication de la haute direction (Fernández-Muñiz et al., 2007). En fait, dans ce travail, nous définissons les facteurs organisationnels comme étant:

> *L'ensemble des mesures (procédures, formation, information, analyses, etc.), des comportements (mode de transport, fréquence de transport, sous-traitance, etc.) et des attitudes (volonté d'investir en sécurité, perception du risque, etc.) relatifs à la gestion du risque pouvant être adoptés par les entreprises.*

Tel que mentionné au chapitre 2, bien que l'influence des facteurs organisationnels soit reconnue, elle tarde à être formalisée et introduite dans les modèles d'analyse de risque MD présentés dans la littérature. Les problèmes de transport et de localisation MD se penchent principalement sur l'aspect technique de la problématique au détriment des aspects organisationnels.

Nous introduisons un facteur de qualité organisationnelle venant pondérer le niveau de risque pour chaque entreprise. Le principe est simple : de par leurs pratiques, certaines entreprises seront plus sujettes aux accidents alors que d'autres le seront moins. Le facteur de qualité organisationnelle d'une entreprise variera bien sûr dans le temps, au fur et à mesure que les pratiques de l'entreprise évolueront. Afin de définir ce facteur de qualité organisationnelle, les données recueillies au cours de l'enquête exploratoire (chapitre 3) seront couplées à des données accidentelles.

Dans ce chapitre, les disparités organisationnelles existant entre les entreprises sondées, la modélisation des facteurs organisationnels et les tests effectués afin de valider les travaux sont tour à tour abordées. Notons toutefois que les pratiques organisationnelles actuelles sont souvent influencées par les incitatifs présents (réglementation, assurances, etc.).

4.1.Disparités organisationnelles existant entre les entreprises sondées

Les pratiques des entreprises entourant la gestion des matières dangereuses ont été présentées au chapitre précédent. Nous avons jusqu'ici étudié les réponses aux différents éléments du questionnaire de façon séparée. Pourtant, ces pratiques s'inscrivent au sein d'une culture organisationnelle et d'une culture de sécurité qui ne peuvent être jugées à partir d'une seule pratique hors norme. La culture organisationnelle et la culture de sécurité sont plutôt le reflet du climat général, d'attitudes, de règles formelles ou informelles et de l'accumulation de bonnes ou de mauvaises pratiques industrielles. Elles affectent simultanément l'ensemble des réponses fournies par l'entreprise. Il devient donc important de considérer plusieurs éléments de réponse au questionnaire de façon simultanée.

Par exemple, on note que les entreprises n'ayant pas de contrat à long terme avec leurs sous-traitants (réponses « jamais » ou « parfois ») ont également tendance à ne pas réaliser d'audits de sécurité auprès de ces sous-traitants (60,4% ont répondu « jamais » contre 39,6% ayant répondu « parfois », « souvent » ou « toujours »). À l'inverse, les entreprises ayant un contrat à long terme avec leurs sous-traitants (réponses « souvent » ou « toujours ») ont tendance à réaliser des audits de sécurité auprès de ces sous-traitants (31,6% ont répondu « jamais » contre 68,4% ayant répondu « parfois », « souvent » ou « toujours »). Il ne s'agit que d'un exemple parmi tant d'autres, mais il permet de voir comment les différents aspects organisationnels sondés s'imbriquent dans la culture organisationnelle de l'entreprise.

Pour le moment, avant d'amorcer l'étude approfondie de l'influence des facteurs organisationnels sur les taux d'accident recensés, prenons le temps d'observer le cas de quelques entreprises pour voir comment les pratiques varient effectivement d'un milieu de travail à l'autre. Pour ce faire, reprenons plusieurs éléments du questionnaire portant sur le management de la sécurité. Ces éléments sont autant de facteurs organisationnels. Il s'agit principalement de questions

approfondies au chapitre précédent lors de l'analyse comparative. Voici la liste de ces questions/facteurs:

Tableau 4.1 : Facteurs organisationnels étudiés

Questions	**Objet**
E4	Pratiques de stockage MD.
F3	Importance accordée au coût par rapport au risque.
G4, G5, G6, G7	Gestion de la sous-traitance.
H1, H2, H3, H4, H5	Mesures de réduction du risque

Nous avons retiré une des sous-questions de la question H1 (*Votre politique de risque MD est utilisée comme outil de marketing*) en raison de son ambiguïté, la réponse « toujours » pouvant être perçue positivement ou négativement.

Au cours des prochaines pages, nous présentons de façon visuelle les réponses obtenues aux questions sélectionnées, afin de voir la façon dont les différents éléments de réponse interagissent. Par la suite, nous présentons le cas de deux entreprises choisies parmi les répondants de l'enquête par questionnaire.

4.1.1. Interaction entre les différents facteurs organisationnels

Les réponses aux différentes questions sélectionnées (facteurs organisationnels) ont été compilées afin de calculer les moyennes et les écarts types. Comparer les réponses des entreprises à ces moyennes permettra de positionner le management qu'elles font de la sécurité. Afin de mieux visualiser les résultats obtenus, nous avons dressé trois graphiques regroupant les différentes questions sélectionnées selon leur sens et l'échelle de réponse utilisée. Ces graphiques sont présentés dans les pages qui suivent, accompagnés d'une brève description.

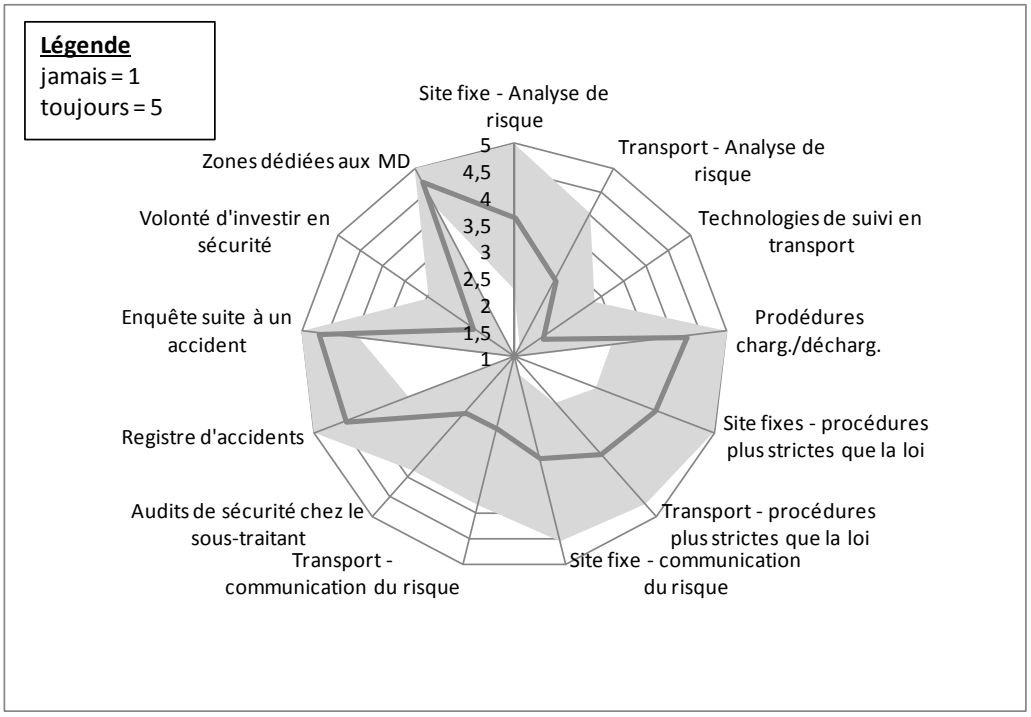


Figure 4.1 : Interactions entre divers facteurs organisationnels (partie 1)

Sur le premier graphique (figure 4.1), les réponses obtenues aux questions portant sur divers facteurs organisationnels (échelle jamais = 1 à toujours = 5) sont présentées. Plus précisément, la plupart de ces questions portent en fait sur la gestion du risque. La moyenne est représentée à l'aide d'un trait alors que l'écart type est représenté par la zone grisée. La représentation graphique de l'écart type permettra d'identifier rapidement une entreprise ayant des pratiques hors norme. Sur ce graphique, on remarque clairement que certaines pratiques sont plus populaires que d'autres. Par exemple, de nombreuses entreprises ont des zones dédiées aux MD ou réalisent une enquête suite à un accident alors qu'elles sont peu nombreuses à vouloir investir d'avantage en sécurité ou à miser sur les technologies de suivi en transport.

Le graphique 4.2 présente également certaines réponses obtenues à des questions portant sur la gestion du risque (échelle jamais = 1 à toujours = 5). Cependant, contrairement au cas du premier graphique où les pratiques exemplaires étaient identifiées par la réponse « toujours », elles sont tout au contraire indiquées par la réponse « jamais » dans ce cas-ci. Une séparation a donc été faite afin de faciliter la lecture des graphiques.

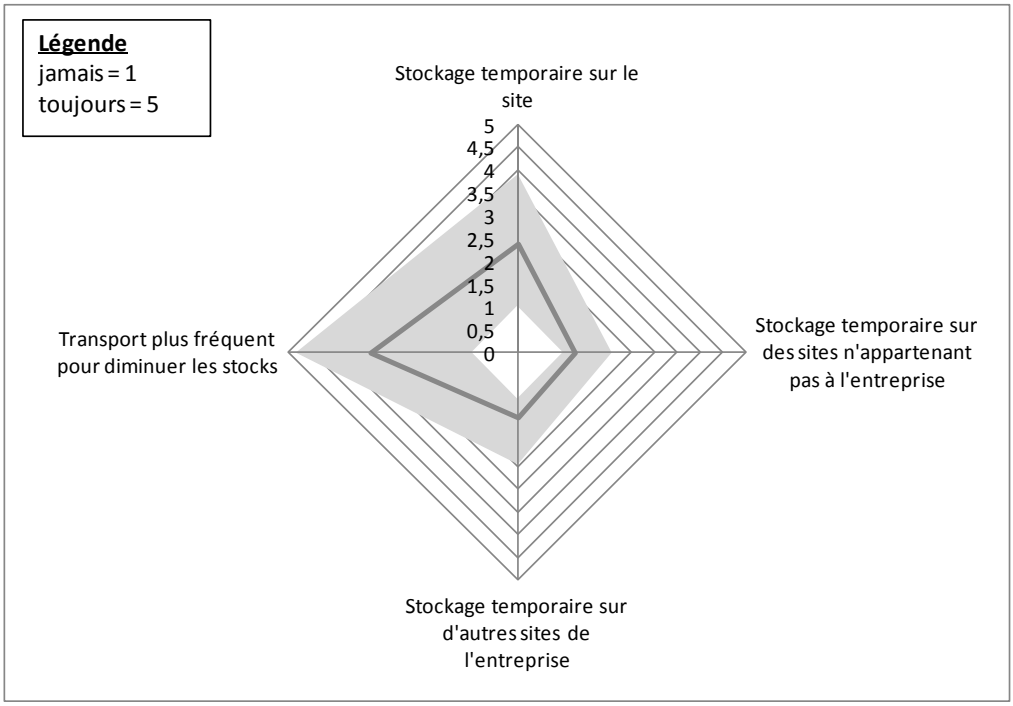


Figure 4.2 : Interactions entre divers facteurs organisationnels (partie 2)

Un troisième graphique (figure 4.3) présente les réponses obtenues à des questions additionnelles portant sur la gestion du risque. Cependant, dans ce cas-ci, plutôt que d'utiliser une échelle à 5 points, les réponses attendues étaient de format binaire (oui = 1, non = 0) ou utilisaient une échelle à 4 points ramenée à 2 points lors des analyses précédentes. Penser qu'un accident commis par un sous-traitant aura un effet « nul » ou « moindre » sur l'entreprise correspondra donc à la réponse « 0 ». De la même manière, avoir des fréquences de réception élevée (jour ou semaine) correspondra à la réponse « 0 ».

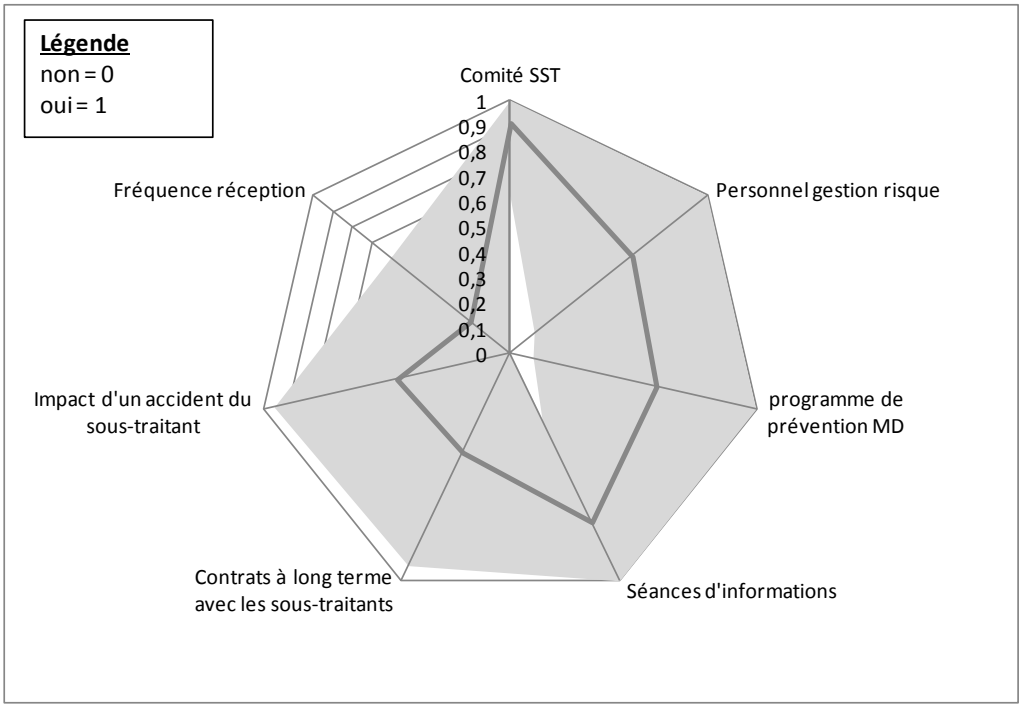


Figure 4.3 : Interaction entre divers facteurs organisationnels (partie 3)

Ces graphiques permettent de comparer directement la popularité de diverses mesures de gestion de risque (facteurs organisationnels). Cependant, ils ne font qu'indiquer les moyennes et écarts types obtenus aux questions à l'étude alors qu'il existe d'importantes variations individuelles : toutes les entreprises n'accordent pas la même importance aux mêmes éléments. Ces graphiques seront donc utilisés à la section suivante afin de positionner deux entreprises par rapport à l'entreprise moyenne. Elles ont été choisies parmi les 31 répondants ayant répondu à l'ensemble des questions à l'étude[6].

4.1.2. Présentation de deux cas détaillés

Les deux entreprises sélectionnées se positionnent aux deux extrémités du spectre des possibilités. La première entreprise est le répondant ayant mis le plus de mesures de gestion de risque en place afin de gérer le risque. À l'opposé, la seconde entreprise est un des répondants

[6] Parmi les 106 répondants de l'enquête, plusieurs ont sauté une ou plusieurs questions.

ayant mis le moins de mesures de gestion de risque en place. Ces deux entreprises seront respectivement nommées dans les pages qui suivent :

- Entreprise active : entreprise ayant mis le plus de mesures de gestion de risque en place parmi les 31 répondants ayant répondu à l'ensemble des questions sélectionnées.
- Entreprise semi-passive : entreprise ayant mis le moins de mesures de gestion de risque en place parmi les 31 répondants ayant répondu à l'ensemble des questions sélectionnées.

Tel qu'indiqué sur les figures 4.4 et 4.5, l'entreprise active se situe au dessus de la moyenne pour l'ensemble de ces éléments de réponse, et même au dessus de l'écart type. L'entreprise a indiqué des scores parfaits pour la plupart des éléments de réponse, à l'exception de la volonté d'investir davantage en sécurité et de la communication des risques aux citoyens pour le transport MD. À l'opposé, l'entreprise semi-passive se situe sous la moyenne pour la plupart des éléments, à l'exception des éléments régis par la loi pour lesquels elle a un score parfait (zones dédiées aux MD, registre d'accidents/incidents). Il semble donc que entreprise a le souci d'être conforme à la loi, mais n'en fait pas beaucoup plus (aucun audit chez les sous-traitants, aucune communication du risque, etc.).

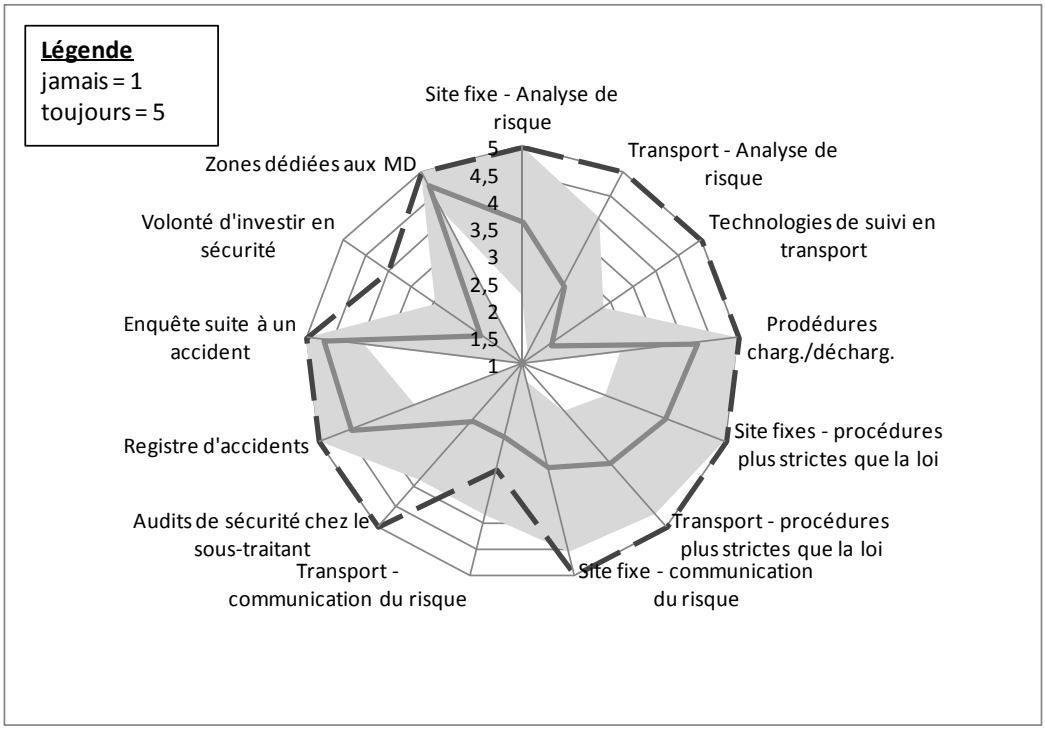


Figure 4.4: Facteurs organisationnels (partie 1) - cas de l'entreprise active

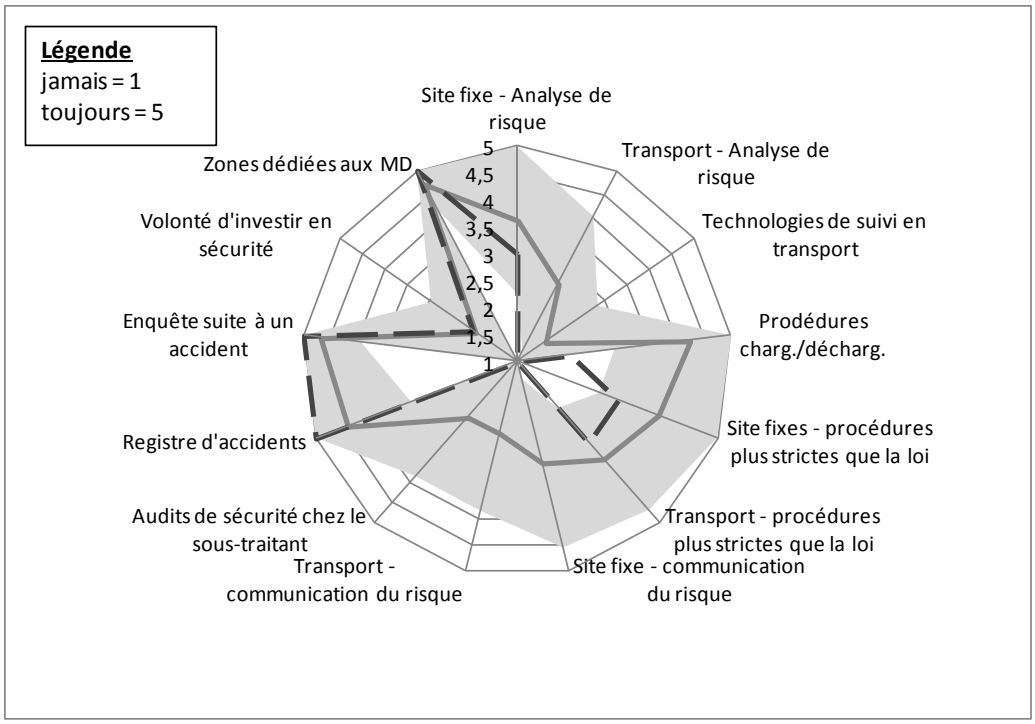


Figure 4.5: Facteurs organisationnels (partie 1) - cas de l'entreprise semi-passive

Cependant, on remarque quelques contradictions lorsqu'on observe les réponses relatives au stockage présentées aux figures 4.6 et 4.7. Tout n'est pas parfait de côté de l'entreprise active puisqu'elle a fréquemment recours au stockage temporaire sur d'autres sites appartenant à l'entreprise et se situe au-dessus de la moyenne en ce qui a trait au stockage temporaire sur des sites ne lui appartenant pas. De son côté, l'entreprise semi-passive se distingue soudainement par ses pratiques légèrement supérieures à la moyenne pour l'ensemble des éléments de réponse.

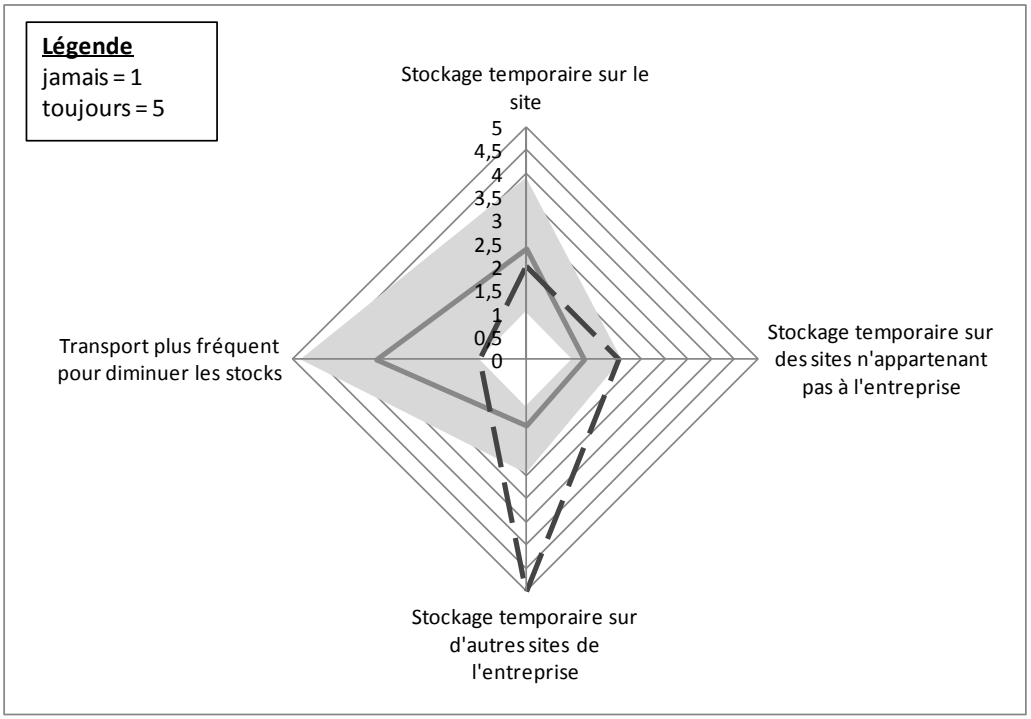


Figure 4.6: Facteurs organisationnels (partie 2) - cas de l'entreprise active

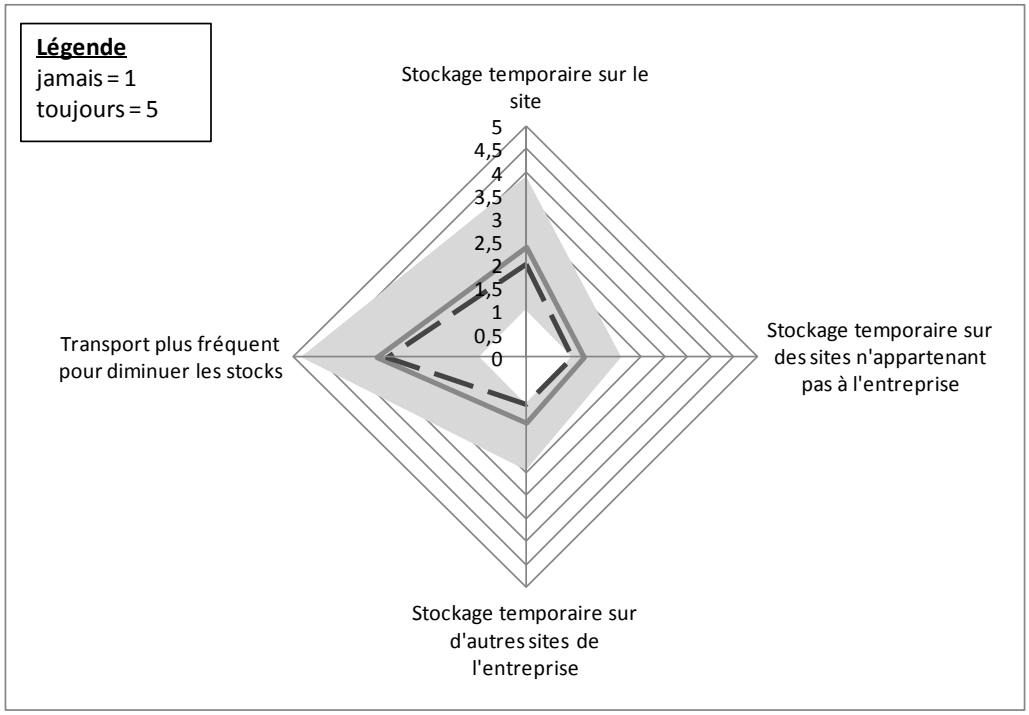


Figure 4.7: Facteurs organisationnels (partie 2) - cas de l'entreprise semi-passive

Lorsqu'on observe les mesures de gestion du risque additionnelles, on remarque quelques contradictions. L'entreprise active croit que l'impact d'un accident commis par son sous-traitant serait nul et n'a pas de personnel dédié à la gestion du risque. Certes, l'entreprise semi-passive estime que l'impact d'un accident commis par son sous-traitant serait nul car elle n'a pas de contrats à long-terme avec ses sous-traitant ni de programme de prévention MD, mais elle se démarque par contre en offrant de l'information sur les risques MD à son personnel en ayant un comité SST et en ayant du personnel dédié à la gestion du risque MD (ce que l'entreprise active n'avait pas). Les figures 4.8 et 4.9 résument cette situation.

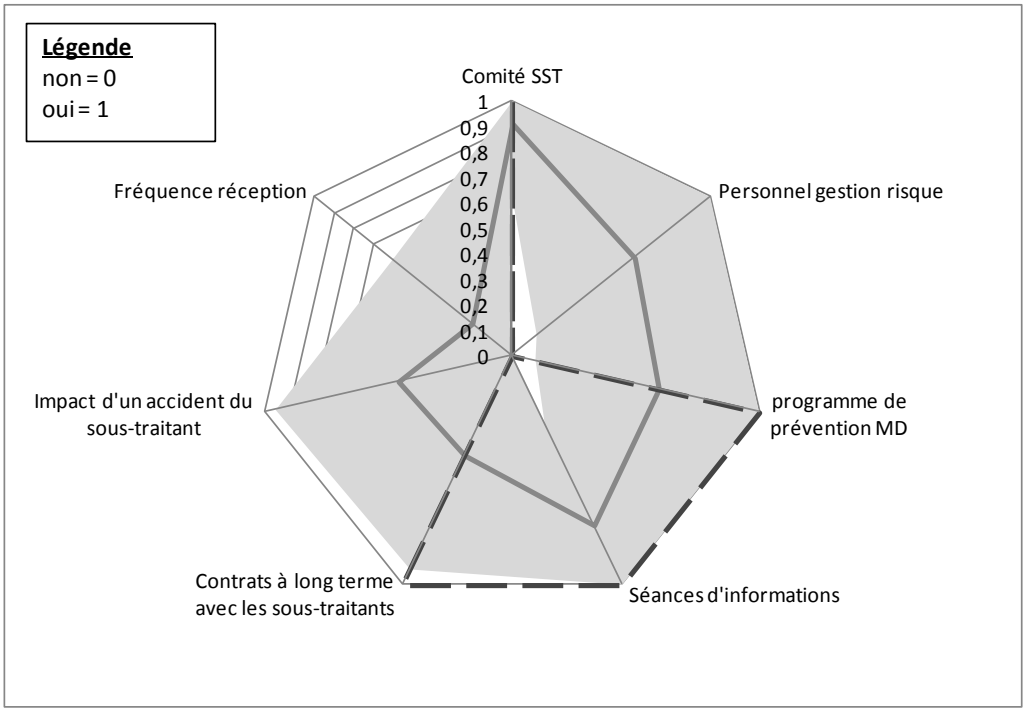


Figure 4.8: Facteurs organisationnels (partie 3) - cas de l'entreprise active

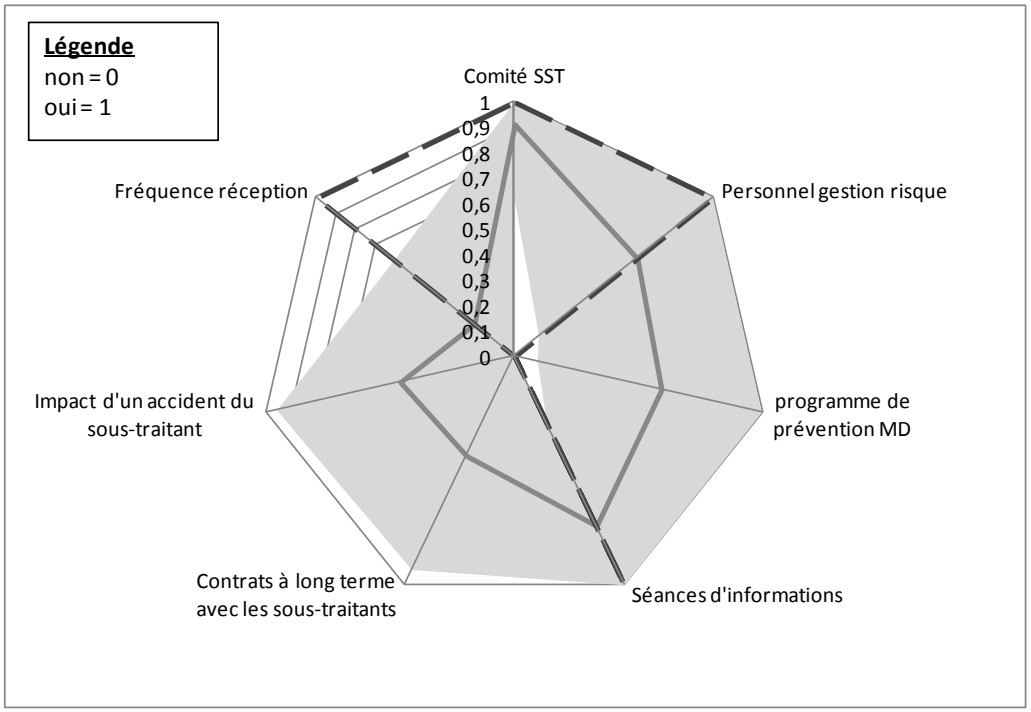


Figure 4.9: Facteurs organisationnels (partie 3) - cas de l'entreprise semi-passive

Plusieurs constats peuvent être tirés de ces deux exemples. Premièrement, chez les entreprises actives, malgré une volonté apparente de gérer le risque MD de façon efficace, certaines zones grises peuvent demeurer. À l'inverse, même les entreprises où l'on observe le plus de lacunes mettent en place certaines mesures de gestion du risque. De plus, en comparant directement les deux cas, on remarque que les entreprises ne misent pas toutes sur les mêmes mesures. Le contexte organisationnel et la culture de sécurité varient énormément d'une entreprise à l'autre et ont une influence directe sur les mesures mises en place. Qui a raison et qui a tort? Il est difficile de répondre à cette question sans modéliser l'influence des facteurs organisationnels sur le niveau de risque et déterminer les mesures ayant le plus grand impact.

4.2.Modélisation des facteurs organisationnels

Tel que mentionné plus haut, Turner (1978) a défini l'« *accident incubation period* » qui précède l'évènement catastrophique et au cours de laquelle on voit clairement apparaître l'influence du laisser-aller organisationnel sur les comportements en entreprise. Selon cette théorie, plusieurs indices laissent entrevoir la catastrophe à venir bien avant qu'elle ne se produise.

Les quelques exemples présentés à la section précédente ont montré à quel point les pratiques peuvent varier d'une entreprise à l'autre. Les entreprises ne misent pas toutes sur les mêmes mesures de gestion du risque. Mais quelles mesures ont le plus d'impact sur les taux d'accident? Comment dire si une entreprise prend réellement plus de risques qu'une autre? Comment mesurer le laisser-aller organisationnel mentionné par Turner (1978)? Évaluer la culture de sécurité d'une entreprise afin de déterminer l'influence exacte qu'elle pourrait avoir sur le niveau de risque est une tâche extrêmement complexe.

En tentant de modéliser l'influence des facteurs organisationnels sur le niveau de risque (voir section 2.4.3.2), plusieurs auteurs ont tenté de répondre à ces questions. Cependant, le résultat est souvent mitigé : il est lourd et repose en très grande partie sur le jugement d'expert. La situation est-elle trop complexe pour y parvenir? Tel que le note Le Coze (2005) :

> « *It is however much more difficult to determine beforehand what will go organisationally wrong. The amount of information to be treated is huge, and without anything to unfold, the investigator can be lost, with nothing to focus on. One possible answer to this limit is that organisations involve many more interrelated autonomous variables compared to the individual level, related cognitive model and experimentation/observation opportunities. It is therefore extremely difficult to predict or define general behavioural features.* »

Nous croyons que l'erreur première de la plupart des modèles avancés jusqu'ici (MACHINE, SAM, WPAM) réside dans la volonté de modéliser les interactions existant entre les différentes facettes de l'entreprise à tout prix. Même les modèles les plus récents, davantage basés sur l'utilisation de données historiques, n'y échappent pas. Une telle modélisation repose nécessairement sur le jugement d'experts et tel que souligné par Le Coze (2005), en présence d'un si grand nombre d'éléments divers, il s'agit d'une tâche pratiquement impossible.

Nous croyons que pour modéliser efficacement l'influence des facteurs organisationnels sur le niveau de risque, il faut plutôt considérer l'entreprise comme une boîte noire : nous connaissons ce qui entre (pratiques de l'entreprise), nous connaissons ce qui sort (taux d'accident) mais le fonctionnement exact de cette boîte demeure inconnu. Certaines méthodes permettraient de lier ces données sans pour autant tenter d'expliquer ce qui se passe à l'intérieur de la boîte. Un modèle prédictif, permettant d'estimer la performance d'une entreprise donnée, à un instant donné, selon ses pratiques actuelles (ces pratiques peuvent varier avec le temps) pourrait alors être élaboré. Les sections qui suivent décrivent le modèle proposé et le processus de résolution.

4.2.1. Influence des facteurs organisationnels sur le niveau de risque

Si l'« *accident incubation period* » précède réellement les évènements catastrophiques, si les facteurs organisationnels ont réellement une influence sur les taux d'accident recensés par les entreprises, il est possible d'imaginer qu'on peut prédire la qualité organisationnelle d'une entreprise. De plus, il serait possible de lier cette qualité organisationnelle à des taux d'accidents si suffisamment d'informations sont disponibles. Par exemple, la présence de programmes de prévention, de programmes de formation ou de suivi des sous-traitants peut permettre de juger de

la qualité organisationnelle d'une entreprise (ou son laisser-aller organisationnel) et, par conséquent, d'estimer son taux d'accident. Mais comment procéder?

Supposons que nous connaissons les taux d'accident MD des entreprises d'un secteur industriel donné, dans un territoire défini. Ces données sont directement comparables puisqu'il s'agit de taux d'accident (nombre d'accidents par intensité de l'activité industrielle) et non simplement du nombre d'accidents recensé dans chaque entreprise. Le taux d'accident MD d'une entreprise, par rapport à celui de ses semblables, serait alors essentiellement influencé par le contexte organisationnel. En effet, les données provenant d'un secteur industriel donné dans un territoire défini, le contexte organisationnel sera le facteur explicatif puisque nous retrouverons les mêmes législations, le même type d'activités, des conditions météorologiques similaires, etc. En connaissant le taux d'accident MD d'une entreprise, il serait donc possible d'évaluer sa performance organisationnelle en comparant son résultat à la distribution des taux d'accident MD (nous supposons ici que cette distribution suit une loi normale). La figure 4.10 résume cette situation.

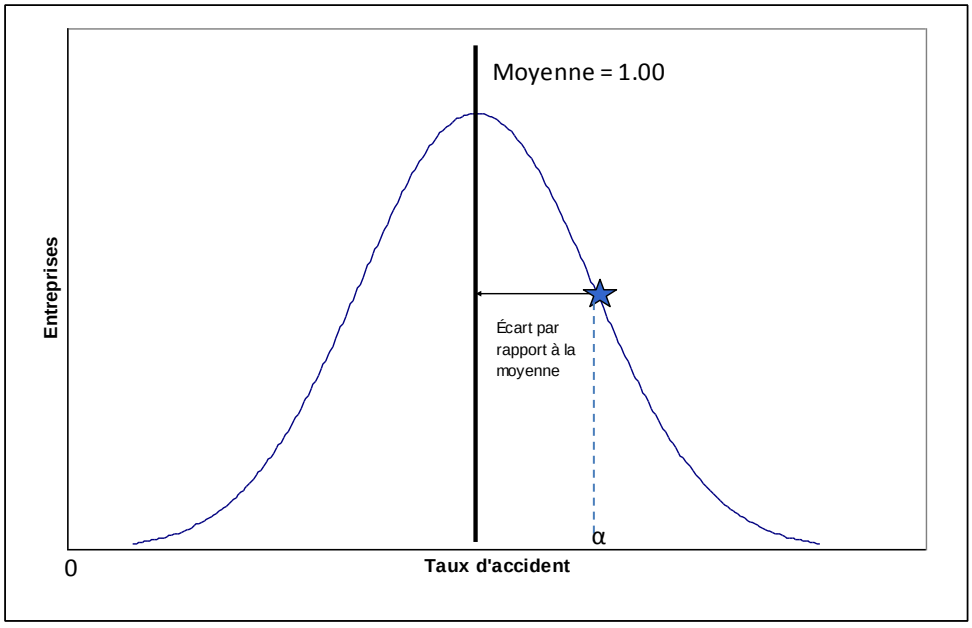


Figure 4.10 : Évaluation de la performance organisationnelle (niveau de risque)

Le risque industriel aujourd'hui calculé par les analystes provient de compilations de données historiques d'accidents. La composante « probabilité » du risque correspond donc, en quelque sorte, à la moyenne des taux d'accident présentée à la figure précédente (la composante « conséquence » sera du cas par cas). Par conséquent, une entreprise ayant un taux d'accident de 50% supérieur à la moyenne présente un risque de 1,5 fois le risque physique calculé. À l'inverse, une entreprise ayant un taux d'accident de 50% inférieur à la moyenne présente un risque de 0,5 fois le risque physique calculé.

Dans cette optique, nous définissons:

- *Le risque physique : risque industriel tel que calculé à l'aide des différentes techniques développées (voir chapitre 2). Ce risque évalue essentiellement les aspects techniques du problème, sans tenir compte des facteurs organisationnels.*
- *Le risque réel : risque industriel tenant compte de l'influence des facteurs organisationnels (risque physique, pondéré par les facteurs organisationnels). Ce risque est donc spécifique à chaque acteur.*

Nous introduisons ici un facteur de qualité organisationnelle α influençant à la hausse ou à la baisse le niveau de risque physique, de la manière décrite précédemment. Nous proposons que le risque physique R^{PHY} soit pondéré par le facteur α afin d'obtenir le risque réel R^{TOT}.

$$R^{TOT} = \alpha R^{PHY} \tag{4.1}$$

Mais que faire lorsque le taux d'accident d'une entreprise, ou la distribution des taux d'accident du secteur industriel en cause, sont inconnus? Comment estimer le facteur de qualité organisationnelle de l'entreprise? En utilisant des données issues de plusieurs secteurs industriels en lien avec les MD, il serait possible de modéliser l'influence des facteurs organisationnels, quel que soit le cas. En généralisant la situation, nous dégagerons les tendances transcendant les frontières industrielles, mais nous perdrons certaines spécificités propres à quelques secteurs particuliers. Nous pensons qu'il s'agit d'un compromis raisonnable pour l'élaboration d'un modèle prédictif.

Dans les sections qui suivent, nous utiliserons donc des données MD organisationnelles et accidentelles (tout secteur industriel confondu) dans un double but :

- Déterminer s'il existe un lien de cause à effet entre certains facteurs organisationnels et les taux d'accident des entreprises.
- Élaborer un modèle prédictif permettant de déterminer le facteur de qualité organisationnelle α d'une entreprise à un instant précis (les pratiques sont appelées à changer dans le temps).

Les travaux effectués permettront donc le développement d'outils théoriques qui pourront éventuellement conduire à des applications réelles en entreprise (identification des mesures à adopter afin de diminuer le niveau de risque, outil facilitant la sélection de sous-traitants ou de partenaires, etc.). Pour y parvenir, nous utiliserons le principe de boîte noire décrit précédemment : nous connaissons ce qui entre (pratiques de l'entreprise), nous connaissons ce qui sort (taux d'accident) mais le fonctionnement de la boîte est inconnu. La section qui suit décrit deux modes de résolution permettant d'arriver aux résultats escomptés.

4.2.2. Modes de résolution

Afin de croiser les taux d'accident recensés avec les facteurs organisationnels et définir précisément le facteur de qualité organisationnelle, quelques modes de résolution ont été identifiés. Cependant en raison de contraintes liées aux données (disponibilité, niveau de détail, etc.) certaines alternatives (distributions de poisson, accumulation de défaillances organisationnel ayant un impact super-additif, etc.) ont du être écartées au profit de modèles linéaires. Au final, deux modes de résolution ont donc été retenus : les régressions linéaires et les réseaux de neurones. Ces deux méthodes étudient la dépendance entre diverses variables et permettent d'établir une relation entre une variable dépendante (taux d'accident) et une, ou plusieurs, variables indépendantes (facteurs organisationnels). Cette relation peut par la suite être utilisée à titre prédictif, lorsqu'on connaît uniquement la valeur des variables contrôlées. Les deux modes de résolution retenus sont brièvement décrits dans les sections qui suivent.

4.2.2.1. Régressions linéaires

Les régressions linéaires sont largement utilisées. Il s'agit d'une technique reconnue et éprouvée qui permet d'établir une relation entre une variable dépendante *Y* (aussi appelée variable réponse) et une ou plusieurs variables indépendantes $X_1, \ldots, X_k$ (aussi appelées variables contrôlées) en fixant une série de coefficients $\beta_1, \ldots, \beta_k$ à priori inconnus. Ce type de régression est dit linéaire, cette technique donnant l'équation de la droite s'ajustant le mieux aux données recueillies, généralement à l'aide de la méthode des moindres carrés. La figure 4.11, où la relation entre la taille d'une mère (variable indépendante) et la taille de sa fille (variable dépendante) est établie à l'aide d'une régression linéaire, illustre cette situation :

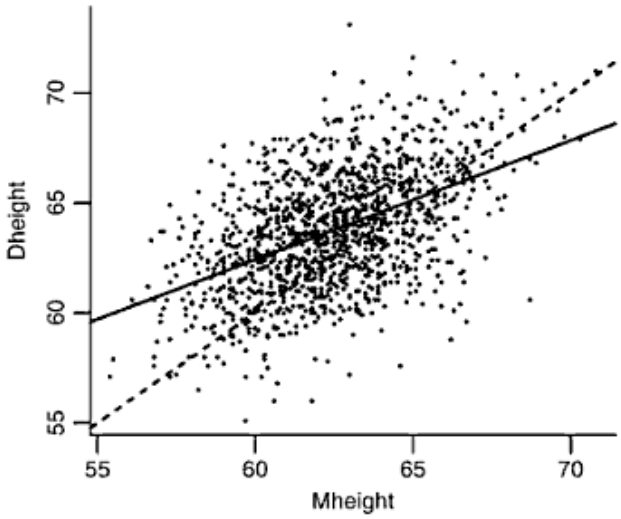


FIG. 1.8 The heights data. The dashed line is for E(*Dheight*|*Mheight*) = *Mheight*, and the solid line is estimated by OLS.

Source : Weisberg (2003)

Figure 4.11 : Régression linéaire simple

Sur cette figure, le trait pointillé représente la situation où la taille d'une fille serait toujours égale à la taille de sa mère, tandis que le trait plein représente la relation réelle, trouvée à l'aide d'une régression linéaire. La relation entre les deux variables peut être représentée par l'équation de

forme suivante, où β_0 est l'ordonnée à l'origine, β_1 la pente de la droite (aussi appelée coefficient de corrélation) et ε le terme d'erreur.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \varepsilon \tag{4.2}$$

La régression présentée est dite régression linéaire simple, puisqu'on est en présence d'une seule variable indépendante. Dans le cas où on est en présence de plusieurs variables indépendantes, on parle plutôt de régressions linéaires multiples et on utilisera alors l'équation générale de forme suivante :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + ... + \beta_k x_k + \varepsilon \tag{4.3}$$

Selon le théorème de Gauss-Markov, sous certaines hypothèses, la méthode des moindres carrés est le meilleur estimateur non biaisé et à variance minimale des coefficients $\beta_0, \beta_1, ..., \beta_k$. Tel que mentionné plus haut, une fois les différents coefficients de corrélation β_k ont été calculés, il est possible d'utiliser cette équation de manière prédictive afin de déterminer la valeur de Y, lorsque seules les variables indépendantes $x_1, ...x_k$ sont connues.

4.2.2.2. Réseaux de neurones

L'utilisation de régressions linéaires aux fins qui nous intéressent est une technique certes établie. Cependant, ce n'est pas la seule avenue possible pour établir une relation entre une variable dépendante et des variables indépendantes. Issue des techniques de data mining, l'utilisation des réseaux de neurones est également une option intéressante. Les réseaux de neurones offrent certains avantages indéniables dont leur non-linéarité. Mais qu'est-ce qu'un réseau de neurones ?

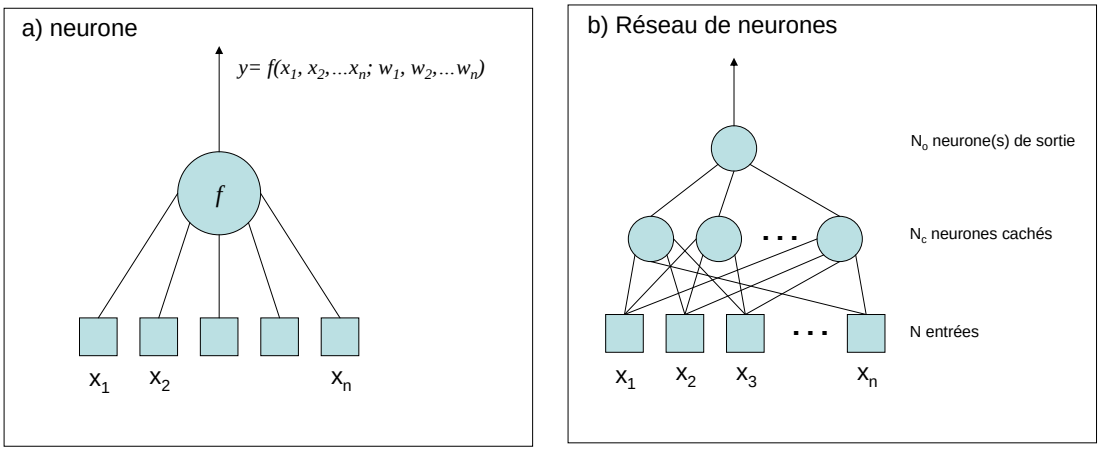
> « *Neural networks are statistical models of real world systems which are built by tuning a set of parameters. These parameters, known as weights, describe a model which forms a mapping from a set of given values known as inputs to an associated set of values: the outputs.* » (Swingler, 1996)

Le terme réseau de neurones peut surprendre au premier abord, mais il convient de préciser que les réseaux de neurones s'inspirent de travaux de neurobiologie visant à comprendre le fonctionnement du système nerveux. Comme le notent Mehrotra et al. (1997) : « *Artificial neural networks refer to computing systems whose central theme is borrowed from the analogy of biological neural networks.* » En effet, McCulloch et Pitts parviennent, en 1943, à modéliser mathématiquement le fonctionnement d'un neurone. Dans les années qui suivent, ce modèle sera peu à peu adapté après que Landahl, McCulloch et Pitts eurent remarqué que plusieurs opérations logiques et mathématiques pouvaient être modélisées de la même façon.

Le perceptron, introduit par Rosenblatt en 1958, est la forme la plus simple de réseau de neurones. Il s'agit en fait d'un « réseau » composé d'un simple nœud, ou neurone, classifiant des données d'entrée selon leur appartenance à l'une de deux classes (sortie binaire (0,1)). Son utilisation est donc relativement limitée. Pour les problèmes plus complexes, on essaie plutôt de combiner plusieurs neurones en des réseaux multicouches. Un réseau de neurones permettra de mettre en relations la sortie y (*output*) avec des entrées x_n (*input*) en déterminant les paramètres w_n *(weights)* associés à chaque variable. Cette relation peut être exprimée à l'aide de l'équation suivante :

$$y = w_1 x_1 + w_2 x_2 + ... + w_n x_n \tag{4.4}$$

Dans le cas de réseaux neurones, il peut y avoir plus d'une sortie, chaque sortie étant une fonction réalisée par le neurone de sortie associé. Afin de mieux comprendre le processus, la représentation d'un neurone et d'un réseau de neurones sont présentées à la figure 4.12.



Inspiré de Dreyfus (2002)

Figure 4.12 : Représentation graphique d'un neurone et d'un réseau de neurones

Les réseaux de neurones peuvent être bouclés (cycliques) ou non-bouclés (acycliques). Ils sont caractérisés par le nombre de couches et le nombre de neurones faisant partie de chaque couche. Ces paramètres varient d'application en application, mais de façon générale, le nombre de neurones cachés n'excèdera jamais le double du nombre d'entrées (Swingler, 1996). On utilise généralement l'expression perceptron multicouches (Multi-Layer Perceptron MLP) pour faire référence aux réseaux de neurones non bouclés à couches (Dreyfus, 2002).

Déterminer la valeur des poids w_n des fonctions de sortie du réseau de neurones passe par un processus d'apprentissage au cours duquel des exemples (données d'entrées et de sortie, appelées aussi *training set*) sont présentées au réseau. De façon plus précise :

> *"The process of tuning the weights to the correct values – training – is carried out by passing a set of examples of input-output pairs through the model and adjusting the weights in order to minimise the error between the answer the network gives and the desired output. Once the weights have been set, the model is able to produce answers for input values which were not included in the training data.*" (Swingler, 1996)

Le nombre d'exemples disponibles est un facteur contraignant puisqu'il doit au moins être égal au nombre de poids w_n divisé par l'erreur minimale visée (généralement 10%) (Swingler, 1996).

4.3. Validation des travaux

Dans cette section, la modélisation proposée pour les facteurs organisationnels (facteur de qualité organisationnelle et utilisation d'un modèle prédictif afin d'estimer ce facteur pour toute entreprise) sera validée à l'aide de données provenant directement de l'industrie. Des données organisationnelles recueillies au cours de l'enquête exploratoire (chapitre 3) seront couplées à des données accidentelles. Les facteurs organisationnels ayant une influence significative sur les taux d'accident seront identifiés, un modèle prédictif sera élaboré et la robustesse de cette modélisation sera ainsi testée.

4.3.1. Données

Afin de s'affranchir du recours au jugement d'experts, le recours à de nombreuses données est essentiel. Tel que mentionné à la section 4.2, l'idée générale est de croiser des données organisationnelles avec des données accidentelles afin de dégager les facteurs organisationnels ayant le plus grand impact sur les taux d'accident recensés et obtenir un modèle prédictif permettant d'estimer le facteur de qualité organisationnelle α d'une entreprise. Pour cette expérimentation, nous avons à notre disposition :

- des données d'ordre organisationnel recueillies lors de l'enquête (chapitre 3);
- des données accidentelles provenant des dossiers CSST des répondants.

Pour les données d'ordre organisationnel, nous avons sélectionné les éléments du questionnaire les plus étroitement liés au management de la sécurité au sein de l'entreprise. Les choix de réponses présentés pour ces questions étaient soient des échelles à cinq points (de jamais à toujours) ou des échelles à deux points (oui ou non) ce qui facilitera les analyses. La liste de ces questions est présentée au tableau 4.2. Notons que quelques questions additionnelles ont été ajoutées à la liste présentée à la section 4.1 lors de l'étude des disparités organisationnelles existant entre les entreprises. Il s'agit de questions relatives à l'intensité des activités MD (questions C2 et C3) ou aux critères de décision utilisés lors de la sélection d'un transport (question F1).

Tableau 4.2 : Facteurs organisationnels à l'étude

Questions	**Objet**
C2, C3	Approvisionnements MD. Pour les fins de l'exercice, il n'a pas été jugé nécessaire de s'attarder également à l'expédition.
E4	Stockage MD.
F1, F3	Importance accordée au coût par rapport au risque.
G4, G5, G6, G7	Gestion de la sous-traitance.
H1, H2, H3, H4, H5	Mesures de réduction de risque mises en place.

Cette liste n'est pas exhaustive puisqu'il existe probablement de multiples autres facteurs organisationnels susceptibles d'influencer les taux d'accidents recensés. Cependant, les modes de résolutions identifiés n'exigent pas que cette liste soit exhaustive. L'introduction de nouveaux facteurs organisationnels ayant un effet significatif entraînerait un ajustement du modèle prédictif sans pour autant invalider le résultat précédent : la valeur des coefficients serait modifiée pour s'adapter à la présence de nouveaux facteurs

Pour les données d'ordre accidentel, notons que les accidents impliquant des matières dangereuses à déclaration obligatoire étant relativement rares, il serait difficile d'utiliser les bases de données accidentelles relatives aux MD. Nous utilisons donc ici les données relatives aux accidents de travail en posant l'hypothèse que les taux d'accident du travail et d'accidents impliquant des matières dangereuses vont de pair au sein d'une même entreprise.

À l'instar de la recherche sur les accidents industriels, où l'influence des facteurs organisationnels et de la culture organisationnelle est désormais acquise (voir section 2.4.3), la recherche sur les accidents de travail s'intéresse de plus en plus à la question. Plusieurs auteurs identifient maintenant des liens entre le culture organisationnelle de l'entreprise et les taux d'accident recensés dans certaines firmes (Shannon et al., 1997) (Mearns et al., 2003) (Fernández-Muñiz et al., 2009). Face à des types d'accidents ayant une origine commune, l'hypothèse selon laquelle ces taux d'accident vont de pair au sein d'une même entreprise (une entreprise ayant une bonne performance en sécurité industrielle aura une bonne performance en sécurité occupationnelle) est apparue comme une alternative intéressante face à l'absence de données relatives aux accidents industriels (dont les accidents de matières dangereuses font partie).

C'est dans cette optique que 48 des 106 répondants de l'enquête nous ont communiqué certaines informations provenant de leur dossier CSST. Mais quelles sont ces informations exactement? Ces 48 entreprises nous ont en fait indiqué :

- si l'entreprise fait partie d'une mutuelle de prévention ;
- l'unité de classification CSST de l'entreprise ;
- si l'entreprise a un taux personnalisé ou si elle a droit à la tarification rétrospective ;
- le taux de cotisation CSST 2009 de l'entreprise (taux établi en fonction de la performance de l'année 2008, période où l'enquête par questionnaire a été effectuée).

Afin de comprendre ce que ces données représentent, examinons la structure des dossiers CSST. Chaque entreprise est associée à l'une des 184 unités de classification de la CSST. En voici quelques exemples, dont les unités 16080 et 16090 où la présence de MD se fait surtout sentir :

- 10020 : Élevage de porcs, de moutons, de chèvres, de veaux de grain ou de veaux de lait lourds.
- 16080: Fabrication de produits de nettoyage ou d'entretien; fabrication d'adhésif; fabrication d'encre; fabrication de produits de revêtement.
- 16090: Fabrication par polymérisation de résines synthétiques; raffinage de pétrole brut; fabrication de produits pétrochimiques; fabrication de produits chimiques.
- 18010 : Fabrication de portes et de fenêtres, en bois ou en plastique.
- 20110 : Torréfaction et mélange du café, empaquetage du thé, rôtissage d'amandes.
- 24010 : Fabrication de meubles ou d'articles d'ameublement en métal.
- 36210 : Fabrication sur chaîne de montage d'automobiles et de camionnettes avec assemblage du groupe moto-propulseur.
- 36310: Fabrication ou laminage de l'aluminium.
- 54260 : Récupération de matières ou d'objets recyclables; service d'emballage, d'empaquetage, de mise en boîte et de changement d'étiquettes de produits.
- 57040 : Centre de ski alpin ou de ski de fond.
- 58050: Programmes d'aide à la création d'emplois.

À chaque unité correspond un taux de cotisation par tranche de 100$ de salaire. Le taux de cotisation de l'unité est directement associé au risque pour le travailleur. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle la CSST n'utilise pas le SCIAN, non centré sur le risque, pour classifier les entreprises. La figure 4.13 présente la distribution des taux de cotisation associés aux 187 unités de classification.

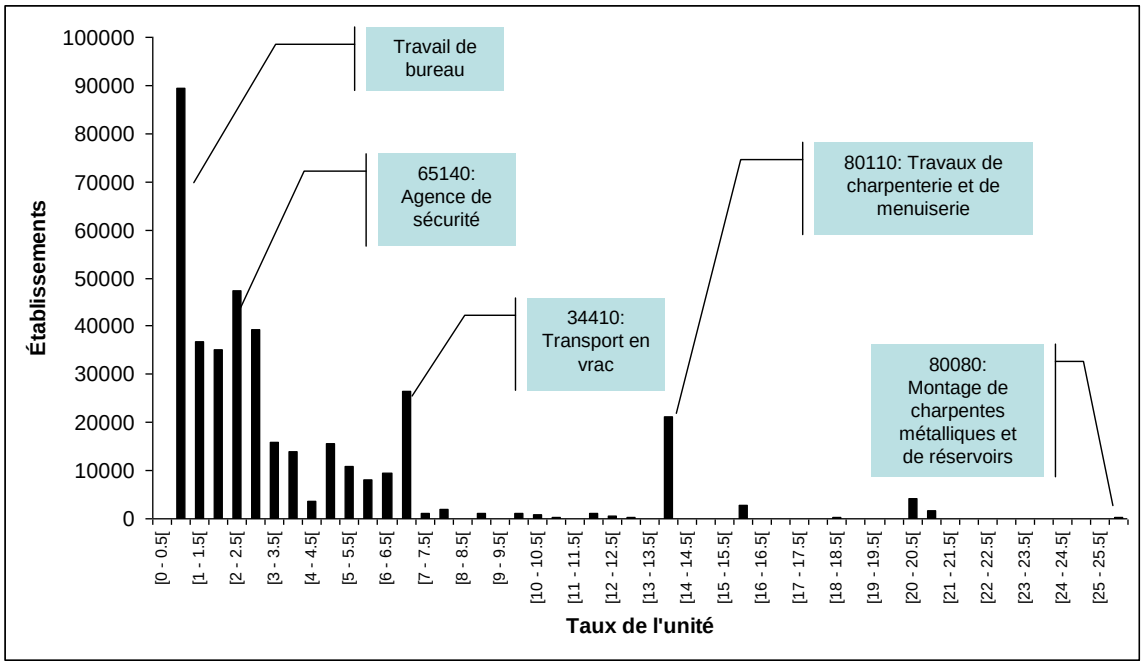


Figure 4.13 : Distribution des taux des unités de classification de la CSST

Les taux de cotisation inférieurs à 1,00$ correspondent généralement au travail de bureau, tandis que de l'autre côté du spectre, à 25,64$ par tranche de 100$ de salaire, on retrouve le montage de charpentes métalliques et de réservoirs. Entre ces deux extrémités existent toute une variété de sphères d'activités, la plupart concentrées sous la barre des 7$ de taux de cotisation. Nous n'entrerons pas dans le détail de cette distribution, cependant, nous prenons le temps d'observer ce qui se passe du côté des unités reliées aux matières dangereuses.

Les unités de classification CSST des 99 répondants s'étant formellement identifiés ont été estimées à partir de leur code SCIAN (voir section 3.2.1). Cette première estimation a par la suite été ajustée suite aux réponses obtenues auprès des 48 entreprises nous ayant communiqué leur

dossier CSST. Au total, les répondants de l'enquête feraient partie de 40 unités de classification différentes, bien que la majorité fasse bien sûr partie des unités 16080 et 16090. La figure 4.14 présente la distribution des taux de cotisation associés à ces 40 unités de classification.

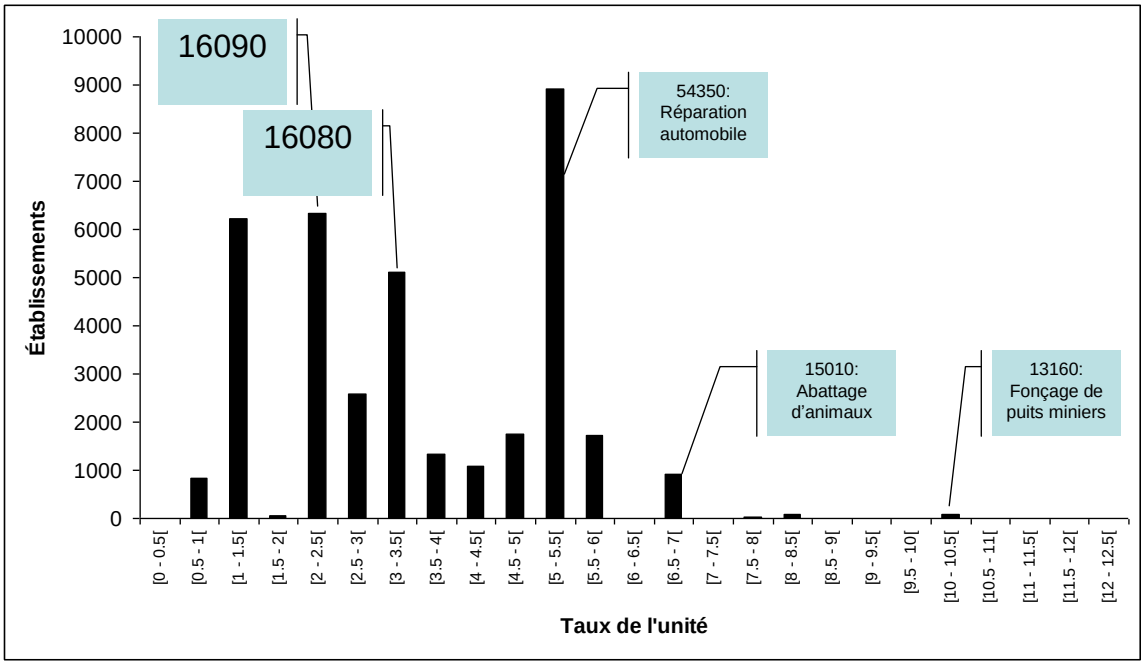


Figure 4.14 : Distribution des taux des unités de classification des répondants

Comme on le remarque sur cette figure, les unités de classification utilisant massivement des MD ne sont pas nécessairement celles représentant le plus haut risque pour l'employé. Ce qui nous intéresse avant tout est d'observer ce qui se passe à l'intérieur d'une même catégorie.

Essentiellement, un taux personnalisé est attribué à toute entreprise ayant une cotisation annuelle supérieure à 7000$. Ce taux sera inférieur au taux de l'unité si la performance santé sécurité au travail est bonne et supérieur au taux de l'unité si la performance santé sécurité au travail est mauvaise. Ce taux personnalisé nous intéresse au plus haut point puisqu'il se rapproche du concept de qualité organisationnelle élaboré à la section 4.2. Nous avons obtenu, auprès de la CSST, la liste de tous les taux facturés aux entreprises faisant partie des 7 unités de classification où nous retrouvons le plus de répondants. Ces 7 unités de classification sont :

Tableau 4.3 : Unités de classifications à l'étude

Unité de classification	Description	Nombre de répondants	Taux de cotisation transmis par la CSST
16040	Fabrication de produits en plastique	4	575
16050	Fabrication de produits en plastique renforcé	4	166
16080	Fabrication de produits de nettoyage ou d'entretien; fabrication d'adhésif; fabrication d'encre; fabrication de produits de revêtement.	11	346
16090	Fabrication par polymérisation de résines synthétiques; raffinage de pétrole brut; fabrication de produits pétrochimiques; fabrication de produits chimiques.	22	88
34200	Fabrication de pâte à papier; fabrication de papier et de carton; fabrication de panneaux de fibre de bois	4	30
36050	Fabrication de produits métalliques par estampage, par usinage ou par forgeage	4	2355
36310	Fabrication ou laminage de l'aluminium	4	13

La liste des taux de cotisation obtenue révèle une grande variation dans les taux personnalisés. Nous ne nous intéressons pas au taux lui-même, dépendant de l'unité de classification de l'entreprise, mais bien à l'écart existant entre le taux personnalisé et le taux de l'unité puisque cet écart est relativement proportionnel à la performance de l'entreprise au sein de son unité de classification (facteur organisationnel α).

Afin de dresser un portrait général de la situation, nous avons calculé l'écart en pourcentage existant entre les 3573 taux de cotisation transmis par la CSST et leur unité de classification respective. La figure 4.15 présente la distribution de ces écarts où un écart de 1 signifie que l'entreprise est facturée au taux de l'unité.

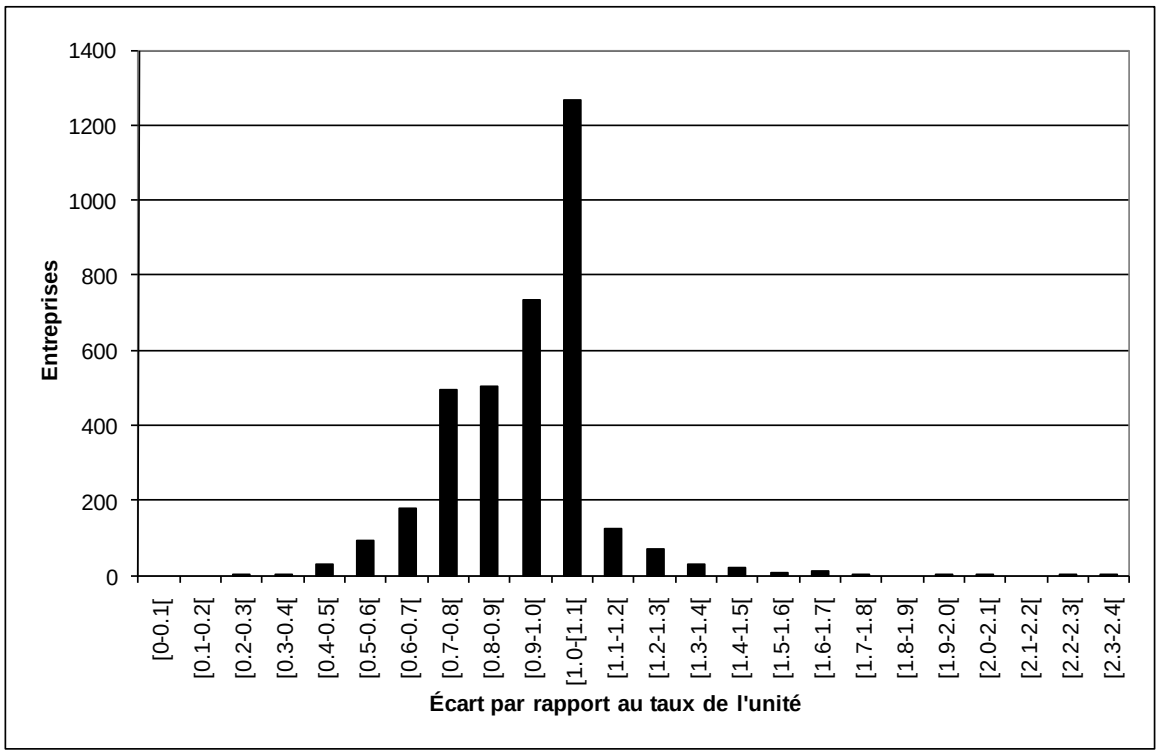


Figure 4.15 : Écarts en pourcentage entre les taux de cotisation et le taux de l'unité (toutes les entreprises)

Cette distribution a une moyenne de 0,923 et un écart type de 0,172 alors que le minimum recensé est de 0,287 et le maximum recensé est de 2,321. La majorité des entreprises se situe donc en deçà du taux de leur unité bien que quelques-unes se démarquent par des taux particulièrement élevés.

Cependant, il est important de mentionner que la liste transmise par la CSST contient bon nombre d'entreprises facturées au taux de l'unité. Bien que leur proportion varie selon l'unité de classification, nous en retrouvons 28,30%, en moyenne, parmi les 7 unités de classification de notre enquête. La facturation au taux de l'unité, applicable aux entreprises ayant une cotisation annuelle inférieure à 7000$, permet certes de stabiliser les cotisations des petites entreprises. Cependant, ces taux viennent gonfler la distribution sans pour autant donner d'indication sur la performance des entreprises assujetties à ce type de facturation. Les entreprises facturées au taux de l'unité ont donc été retirées de la liste. La nouvelle distribution est présentée à la figure 4.16.

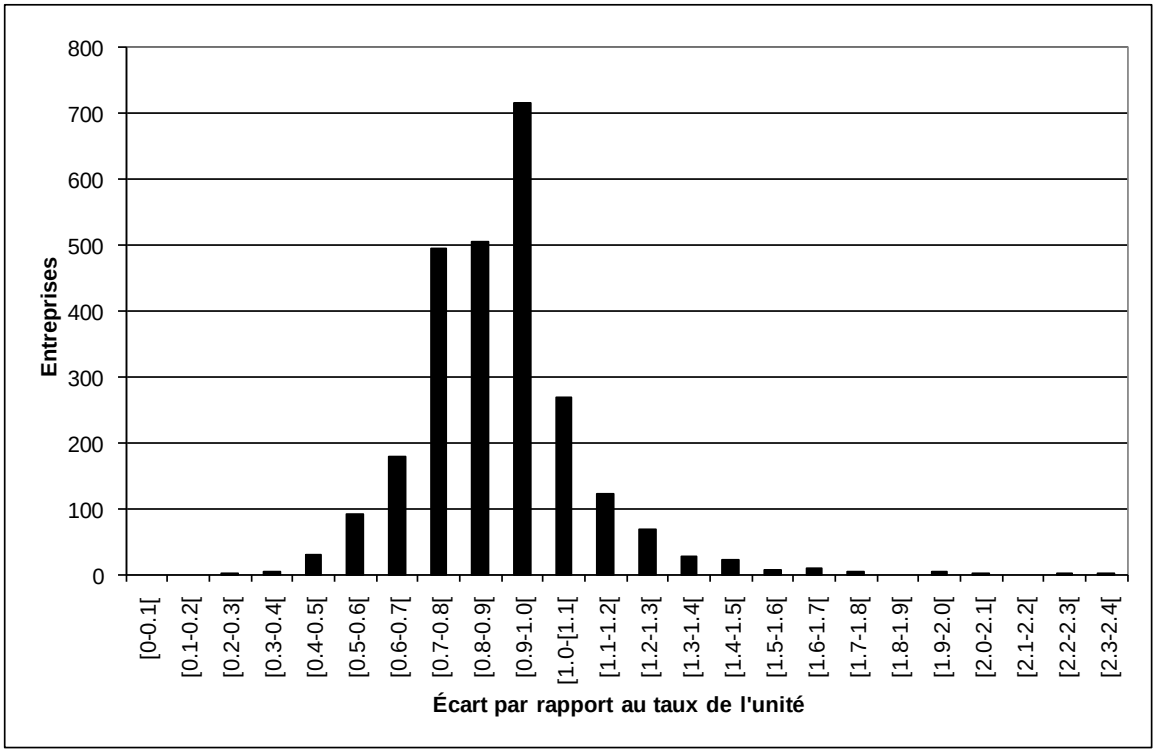


Figure 4.16 : Écarts en pourcentage entre les taux de cotisation et le taux de l'unité (taux personnalisés)

Cette nouvelle distribution a une moyenne de 0,893 et un écart type de 0,195 alors que le minimum et le maximum recensés demeurent bien sûr inchangés. Cette distribution met davantage en lumière le fait que la majorité des entreprises se situent donc en deçà du taux de leur unité. Il existe bien sûr des différences entre les unités de classification, mais peu importe l'unité de classification choisie, la moyenne de la distribution demeure entre 0,85 et 0,95.

Pour déterminer le facteur de qualité organisationnelle d'une entreprise, les données recueillies devront être normalisées afin d'obtenir une distribution centrée sur 1,000, une entreprise ayant une mauvaise performance devant nécessairement avoir un facteur de qualité organisationnel α supérieur à 1, ce qui ne serait pas le cas actuellement.

4.3.2. Choix du mode de résolution

À la section précédente, nous avions identifié deux modes de résolution possibles :

- régressions linéaires (simples et multiples);
- réseaux neuronaux;

À la lumière des données disponibles, les régressions linéaires ont été sélectionnées. En effet, la taille de l'échantillon (48 réponses, dont 27 réponses complètes) nous empêche d'utiliser les réseaux de neurones qui exigeraient pour les 42 facteurs organisationnels soumis à l'examen (poids) un échantillon beaucoup plus grand (voir section 4.2.2.2). De plus, tel que note Dreyfus (2002) :

> « *[…] la mise en œuvre d'un modèle linéaire est toujours plus simple, et moins coûteuse en temps de calcul, que celle d'un réseau de neurones. Par conséquent, en l'absence de toute connaissance a priori sur l'intérêt d'un modèle non linéaire, l'ingénieur doit d'abord utiliser les méthodes simples et éprouvées d'élaboration d'un modèle linéaire.* »

Or, les premiers tests semblent démontrer l'efficacité des régressions linéaires dans ce cas précis et elles seront donc employées. Ces régressions linéaires seront effectuées à l'aide du logiciel SPSS pour Windows, version 11.0. Notons cependant qu'en présence d'un échantillon de taille suffisante, comparer les résultats obtenus à l'aide des deux modes de résolution suggérés aurait été intéressant.

4.3.3. Limites de l'étude

Avant de présenter les résultats obtenus, nous devons souligner le fait que cette étude a quelques limites. En effet, parmi les 106 répondants du questionnaire, seuls 48 ont accepté de nous transmettre certains éléments de leur dossier CSST. Avec un échantillon de taille réduite, obtenir des résultats statistiquement significatifs sera beaucoup plus ardu.

D’autres limites sont liées à la nature même de ces données accidentelles. En effet, seule une partie du taux de cotisation de l’entreprise est personnalisable. Par conséquent, le taux de cotisation de l’entreprise n’est pas directement proportionnel au taux d’accident bien qu’il y soit intimement lié. De plus, dans le cas des très grandes entreprises (cotisation CSST annuelle supérieure à 400 000$), le taux de cotisation est établi en considérant les accidents de travail des quatre dernières années. Les taux de cotisations transmis par les très grandes entreprises reflètent donc la performance des dernières années plutôt que la performance au cours de la période où l'enquête par questionnaire a été effectuée. Finalement, notons que certaines données relatives aux 48 entreprises à l’étude demeurent inconnues. Par exemple, nous ne connaissons pas le poids de l’entreprise (masse salariale) dans son unité de classification.

Malgré ces quelques limites, dans le cadre de cette étude, nous supposons que le taux de cotisation est suffisamment révélateur pour être utilisé comme indicateur de performance de l’entreprise, ce taux étant, selon la CSST, le reflet du risque présenté par les activités de l'entreprise.

4.3.4. Résultats

Tel que mentionné précédemment, 48 entreprises ont accepté de nous transmettre certaines informations relatives à leur dossier CSST, notamment leur taux de cotisation ainsi que leur unité de classification. Avant de croiser les données obtenues à celle recueillies lors de l’enquête par questionnaire afin d’élaborer un modèle prédictif permettant d’estimer le facteur de qualité organisationnelle α, nous présentons une caractérisation de cet échantillon. Nous avons, en fait, calculé l’écart en pourcentage existant entre les 48 taux de cotisation facturés et celui de l’unité de classification. Notons que toutes ces entreprises ont eu droit à un taux personnalisé : aucune n’a été facturée au taux de l’unité. La figure 4.17 présente la distribution obtenue.

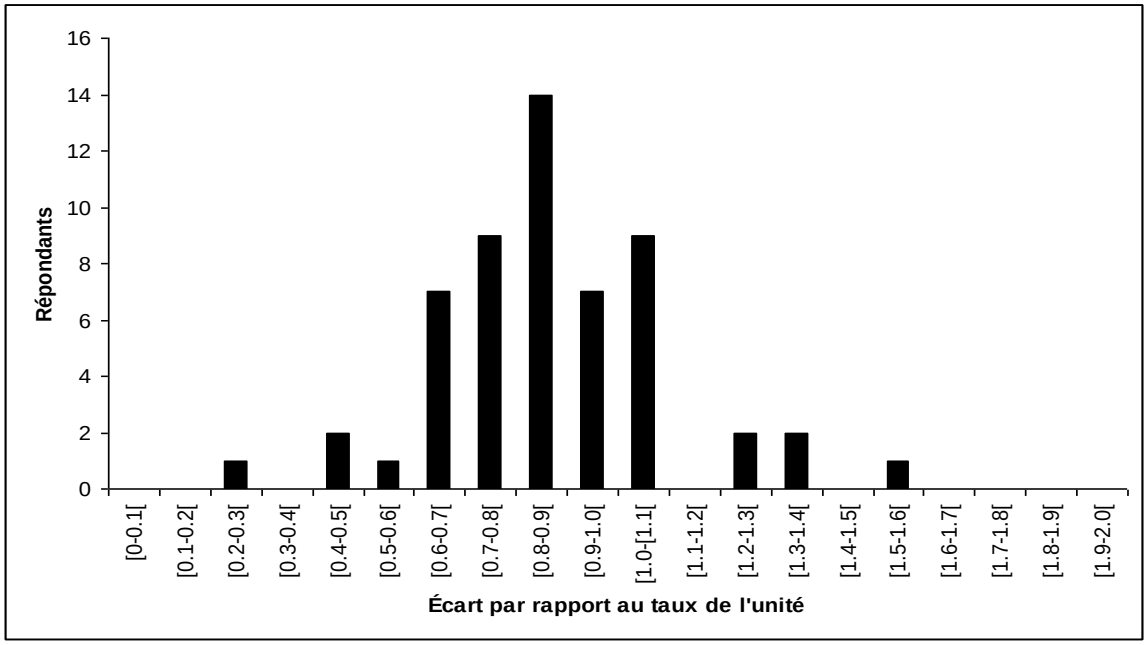


Figure 4.17 : Écarts entre les taux de cotisation et le taux de l'unité (répondants)

Cette distribution a une moyenne de 0,852 et un écart type de 0,227 alors que le minimum recensé est de 0,257 et le maximum recensé est de 1,516. Notre échantillon n'est donc pas extrêmement différent de la population générale pour laquelle la moyenne était de 0,893.

Tel que mentionné plus haut, pour déterminer le facteur de qualité organisationnelle, les données recueillies devront être normalisées afin d'obtenir une distribution centrée sur 1.000. En effet, une entreprise ayant une mauvaise performance devant nécessairement avoir un facteur de qualité organisationnel α supérieur à 1, ce qui ne serait pas le cas actuellement. Pour y parvenir, ces écarts ont donc été divisés par la moyenne de la population générale (0,893). Pour la suite des expérimentations, nous réfèrerons à cette nouvelle donnée par le terme « écart normalisé » qui correspond au facteur de qualité organisationnelle.

4.3.4.1. Premier tri

En raison de la taille de l'échantillon, il est impossible d'utiliser directement une régression linéaire multiple afin d'identifier les facteurs organisationnels ayant un impact significatif sur l'écart normalisé (facteur de qualité organisationnelle). En effet, la règle informelle veut qu'il y ait au moins 5 sujets par paramètre estimé et les plus récentes évaluations tendent même vers 8

sujets par paramètre estimé (Hair et al., 1998). Hors, nous n'avons ici que 48 répondants (sujets) pour 42 facteurs organisationnels (paramètres estimés). Il faut donc sélectionner les facteurs organisationnels les plus significatifs avant de procéder.

Nous allons donc tester un à un les 42 facteurs organisationnels à l'étude afin de vérifier s'il existe un lien significatif de cause à effet entre chacun de ces facteurs et l'écart normalisé des entreprises. Les régressions linéaires simples nous permettraient d'y parvenir, mais elles sont, pour le moment, écartées puisque nous n'avons pas la normalité (condition essentielle) pour l'ensemble des variables à l'étude.

Les 42 facteurs organisationnels ont plutôt été divisés en trois groupes sur lesquels différents tests seront effectués, selon la situation :

- *Variables nominales (0, 1)* : utilisation d'un test de Student (*T-test*) pour tester l'effet des variables dites « dummy » (0,1) sur la variable dépendante (écart normalisé de l'entreprise). Ceci permettra d'identifier les différences significatives sur la variable dépendante dichotomisée, si elles existent, une différence de proportion des attributs sur les deux groupes de la variable dépendante dichotomisée nous renseignant sur le facteur potentiel prédictif.
- *Variables ordinales continues (échelle de Likerte : 1, 2, 3, 4, 5)* : utilisation de corrélations non-paramétriques puisque nous n'avons pas nécessairement la normalité (notamment les réponses à la question *C2 – Nombre de MD* reçues et le quatrième élément de la question *H1 – Procédures de chargement / déchargement* ne suivent pas une distribution normale).
- *Variables nominales recodées (0, 1)* : Encore une fois, certaines questions étaient sur une échelle à quatre points, souvent non continue. Ces variables ont été recodées afin de regrouper les choix de réponses en deux classes (0,1). Utiliser des tests de Student, comme dans le cas des variables nominales (dummy), devient alors possible.

Les résultats obtenus, suite à ces tests, permettant de déterminer si les différents facteurs organisationnels sélectionnés ont un effet statistiquement significatif sur l'écart normalisé des entreprises, sont présentés dans les tableaux 4.4 à 4.6. Des tests unilatéraux (à droite ou à gauche

selon le cas) sont utilisés puisque nous supposons que la présence de mesures de sécurité permet d'améliorer la performance de l'entreprise (impact négatif sur la moyenne des écarts normalisés).

Tableau 4.4 : Pré-tri : variables nominales

	Moyenne des écarts normalisés		**T-Test (p/2)**
Variables nominales (0,1)	Réponse = Non	Réponse = Oui	P/2
Critère transport – Coût d'entreposage	0.7623	0.7462	0.3945
Critère transport – Coût du transport	0.6794	0.7662	0.0220 **
Critère transport – Sécurité	0.8611	0.7127	0.0430 **
Critère transport – Distance/temps	0.7949	0.7025	0.0610 *
Critère transport – Fiabilité des délais	0.8497	0.7443	0.1535
Critère transport – Fréquence	0.7789	0.7227	0.1760
Critère transporteur – Coût	0.7928	0.7327	0.2715
Critère transporteur – Fiabilité	0.9047	0.7267	0.0730 *
Critère transporteur – Accidents passés	0.7561	0.6537	0.0880 *
Critère transporteur – Sécurité	0.7585	0.7264	0.3155
Critère transporteur – Suivi du transport	0.7354	0.7529	0.4065
Critère transporteur – Certifications	0.7625	0.6906	0.1570
Critère transporteur – Réputation	0.7717	0.7074	0.1645
Critère transporteur – Relation durable	0.7581	0.7174	0.2710
Comité SST	0.7455	0.7639	0.4155
Personnel dédié à la gestion du risque	0.8134	0.7191	0.0735 *
Programme de prévention MD	0.7635	0.7581	0.4660
Séances d'information	0.7417	0.7752	0.3155

**p<0.1, **p<0.05, ***p<0.01, ****p<0.001*

Tableau 4.5 : Pré-tri : variables continues

Variables continues (1,2,3,4,5)	**Corrélations non-paramétriques (spearman)**	
	Coefficient de corrélation	P/2
Taille de l'entreprise	-0.404	0.002 ***
Nombre de MD reçues	0.285	0.042 **
Zones dédiées aux MD	-0.122	0.205
Stockage temporaire sur le site	0.136	0.180
Stockage temporaire sur des sites n'appartenant pas à l'entreprise	-0.032	0.417
Stockage temporaire sur d'autres sites de l'entreprise	0.052	0.367
Transport pour diminuer les stocks	-0.186	0.117
Analyses de risque en site fixe	-0.094	0.273
Analyses de risque en transport	-0.083	0.310
Technologies de suivi en transport	0.13	0.223
Procédures charg./décharg.	0.253	0.051 *
Site- Procédures plus strictes que la loi	-0.009	0.478
Transport – Procédures plus strictes que la loi	0.16	0.175
Site – Communication du risque	0.204	0.123
Transport – Communication du risque	0.058	0.381
Gestion du risque comme outil de marketing	0.21	0.117
Registre d'accidents/incidents	-0.141	0.190
Enquête après un accident/incident	0.049	0.381

**p<0.1, **p<0.05, ***p<0.01, ****p<0.001*

Tableau 4.6 : Pré-tri : variables nominales recodées

Variables nominales recodées (0,1)	**Moyenne des écarts normalisés**		**T-Test (p/2)**
	Réponse = Non	Réponse = Oui	P/2
Taux d'utilisation de MD *((minorité, moitié des activités = 0) vs. (majorité, totalité des activités = 1)*	0.7813	0.7192	0.1860
Fréquence de réception *((jour, semaine, continu = 0) vs (mois, année = 1))*	0.7609	0.8211	0.2395
Investissement sécurité *(Aucun, <5% = 0) vs (5% et plus = 1))*	0.7644	0.7350	0.3735
Contrats sous-traitance *((jamais, parfois = 0) vs. (souvent, toujours = 1))*	0.8100	0.6597	0.0110 **
Impact d'un accident sous-traitance *((Nul, faible = 0) vs. (similaire, fort = 1))*	0.7547	0.7261	0.3405
Audit sous-traitance *((jamais = 0) vs. (parfois, souvent, toujours = 1))*	0.7649	0.6948	0.1575

**p<0.1, **p<0.05, ***p<0.01, ****p<0.001*

Les différents tests ont permis de dégager 10 facteurs organisationnels ayant un effet significatif sur l'écart normalisé des entreprises. Tenir compte du critère sécurité (significatif à 5%) et du

critère distance/temps (significatif à 10%) lors des choix liés au transport, tenir compte du critère fiabilité (significatif à 10%) et accidents passés (significatif à 10%) lors de la sélection d'un transporteur, avoir du personnel dédié à la gestion du risque (significatif à 10%), l'augmentation de la taille de l'entreprise (significatif à 1%), la diminution du nombre de MD reçues (significatif à 5%) et avoir des contrats à long terme avec les sous-traitants (significatif à 5%) permet de diminuer le taux de cotisation personnalisé de l'entreprise auprès de la CSST (amélioration des performances de l'entreprise). Par contre, tenir compte du coût du transport (significatif à 5%) lors des choix liés au transport et avoir des procédures de chargement/déchargement (significatif à 10%) augmente le taux de cotisation personnalisé de l'entreprise auprès de la CSST (dégradation des performances de l'entreprise).

4.3.4.2. Régressions linéaires

Suite à l'étape de pré-tri, il est possible d'affirmer que 10 des 42 facteurs organisationnels sélectionnés semblent avoir un effet significatif sur l'écart normalisé (facteur de qualité organisationnelle) de l'entreprise. Les critères d'inclusion étant relativement permissifs ($p/2 <$ 10%) et certains facteurs ayant été inclus de justesse dans cette liste, prenons le temps de vérifier si, lorsqu'on utilise des régressions linéaires simples, ces 10 facteurs conservent leur taux de signification.

Tel que mentionné plus haut, les réponses à la question *C2 – Nombre de MD* reçues et le quatrième élément de la question *H1 – Procédures de chargement / déchargement* ne suivent pas une distribution normale. Ces deux variables ont plutôt une distribution en U (U-shape). Les réponses à ces questions ont donc été recodées afin d'obtenir la normalité. Pour la question *C2*, les réponses « un », « deux », « trois » et « quatre » se sont vues attribuer la valeur « 0 » alors que la réponse « cinq et plus » s'est vue attribuer la valeur « 1 ». Pour la question *H1*, les réponses « jamais », « rarement », « parfois » et « souvent » se sont vues attribuer la valeur « 0 » alors que la réponse « toujours » s'est vue attribuer la valeur « 1 ». Le tableau 4.7 présente les résultats des régressions linéaires simples.

Tableau 4.7 : Régressions linéaires simples

	Coefficient de correlation non-standardisé	T	P/2	R^2
Taille de l'entreprise	-0.0909	-2.525	0.0075 ***	0.124
Nombre de MD reçues *((un à quatre = 0) vs (cinq et plus = 1)*	0.1030	1.489	0.0725 *	0.058
Critère transport – coût de transport	0.0868	1.017	0.1575	0.025
Critère transport – sécurité	-0.1480	-2.370	0.0115 **	0.120
Critère transport – distance / temps	-0.0924	-1.578	0.0610 *	0.057
Contrats sous-traitance *((jamais, parfois = 0) vs. (souvent, toujours = 1))*	-0.1500	-2.380	0.0110 **	0.130
Critère transporteur – fiabilité	-0.1780	-1.483	0.0730 *	0.056
Critère transporteur – accidents	-0.1020	-1.143	0.1305	0.034
Procédures charg. / décharg. *((jamais, rarement, parfois, souvent = 0) vs (toujours = 1*	0.0876	1.399	0.0845 *	0.022
Personnel dédié à la gestion du risque	-0.0943	-1.478	0.0735 *	0.052

**p<0.1, **p<0.05, ***p<0.01, ****p<0.001*

Tel qu'anticipé, certains facteurs organisationnels deviennent non-significatifs. Il s'agit du critère « coût du transport » lors des choix liés au transport et du critère « accidents passés » lors de la sélection d'un transporteur. Huit facteurs organisationnels demeurent significatifs ce qui permet d'utiliser des régressions linéaires multiples (méthode backward) puisque nous avons maintenant 48 répondants (sujets) pour 8 facteurs organisationnels (paramètres estimés). Les présupposés de base (normalité, prédicteurs indépendants) ont tous été vérifiés et validés à l'exception d'un effet mineur entre les réponses aux questions *A4 - Taille de l'entreprise* et *G4 - Contrats à long terme en sous-traitance*. Le tableau 4.8 présente les résultats obtenus.

Tableau 4.8 : Régression linéaire multiple

	Coefficient de correlation non-standardisé	T	P/2
Constante	1.065	8.152	0.0000 ****
Taille de l'entreprise	0.140	2.090	0.0240 **
Nombre de MD reçues *((un à quatre = 0) vs (cinq et plus = 1)*	-0.111	-2.661	0.0070 ***
Critère transport – sécurité	-0.164	-2.393	0.0125 **

**p<0.1, **p<0.05, ***p<0.01, ****p<0.001; R^2 = 0.504; R^2 ajusté = 0.439; p = 0.001*

La taille de l'entreprise (question *A4*), le nombre de MD reçues (question *C2*) et tenir compte du critère « sécurité » lors des choix relatifs au transport (question *F1c*) sont donc les trois facteurs organisationnels expliquant le mieux l'écart normalisé de l'entreprise. Ces résultats sont obtenus après six itérations, chaque itération retirant le paramètre ayant le moins d'effet sur l'écart normalisé de l'entreprise (méthode backward). Le taux de signification utilisé pour déterminer si un paramètre doit être inclus est de 0,05 ($p/2 < 0{,}025$). Notons cependant que les résultats demeurent inchangés si ce taux passe à 0,1 ou 0,2. L'écart normalisé (ou facteur de qualité organisationnelle α) peut donc être calculé selon la formule suivante :

$$\alpha = 1.065 + 0.140(A4) - 0.111(C2) - 0.164(F1c) + \varepsilon \qquad (4.5)$$

Cette formule permet d'estimer la performance d'une entreprise, un résultat inférieur à 1 signalant une performance au-delà de la moyenne des entreprises alors qu'un résultat supérieur à 1 signale une performance en deçà de la moyenne des entreprises. Les éléments *A4*, *C2* et *F1c* réfèrent aux réponses obtenues à ces questions, données recodées dans le cas de la question C*2*, à ces différentes questions.

Cependant, rappelons que le calcul du taux de cotisation personnalisé d'une entreprise varie selon la taille de l'entreprise. Le lien décelé par les tests statistiques entre la taille de l'entreprise et le taux de cotisation CSST est donc peut être le résultat d'un calcul comptable et non d'une meilleure performance organisationnelle des grandes entreprises. Pour cette raison, nous choisissons refaire la régression linéaire multiple, mais en retirant le facteur organisationnel « taille de l'entreprise ». Le tableau 4.9 présente les résultats.

Tableau 4.9 : Régression linéaire multiple – en retirant la taille de l'entreprise

	Coefficient de correlation non-standardisé	T	P/2
Constante	0.776	11.477	0.0000 ****
Nombre de MD reçues *((un à quatre = 0) vs (cinq et plus = 1)*	0.192	2.808	0.0050 ***
Critère transport – sécurité	-0.172	-2.304	0.0155 **
Contrats sous-traitance *((jamais, parfois = 0) vs. (souvent, toujours = 1))*	-0.121	-1.756	0.0460 **

**p<0.1, **p<0.05, ***p<0.01, ****p<0.001; R^2 =0.428; R^2 ajusté = 0.353; p = 0.004*

Le nombre de MD reçues (question *C2*) , tenir compte du critère « sécurité » lors des choix liés au transport (question *F1c*) et les contrats à long terme avec les sous-traitants (question *G4*) sont les trois facteurs organisationnels expliquant, cette fois, le mieux l'écart normalisé. Le facteur organisationnel « *Contrats sous-traitance* » s'ajoute donc lorsqu'on retire le facteur « *Taille de l'entreprise* », probablement en raison de l'effet explicatif mineur entre ces deux paramètres. Ces résultats sont obtenus après cinq itérations. Le taux de signification utilisé pour déterminer si un paramètre doit être inclus est de 0,05 ($p/2 < 0{,}025$). Notons cependant, que les résultats demeurent encore une fois inchangés si ce taux passe à 0,1 ou 0,2. L'écart normalisé (ou facteur de qualité organisationnelle α) peut donc être calculé selon la formule suivante :

$$\alpha = 0.776 + 0.192(C2) - 0.172(F1c) - 0.121(G4) + \varepsilon \tag{4.6}$$

Encore une fois, cette formule permet d'estimer la performance d'une entreprise, un résultat inférieur à 1 signalant une performance au-delà de la moyenne des entreprises alors qu'un résultat supérieur à 1 signale une performance en deçà de la moyenne des entreprises. Les éléments *C2* et *F1c* et *G4* réfèrent aux réponses obtenues, données recodées dans le cas des questions C*2* et *G4*, à ces différentes questions.

4.4. Conclusion

Avec ce chapitre, nous avons montré qu'il est possible de modéliser l'influence des facteurs organisationnels sur le niveau de risque. Rappelons l'équation permettant de lier le risque physique présentement calculé par les analystes et le facteur de qualité organisationnelle α l'influençant à la hausse ou à la baisse :

$$R^{TOT} = \alpha R^{PHY} \tag{4.7}$$

Le principe de boîte noire énoncé plus haut a permis de croiser données organisationnelles et accidentelles, tout en s'affranchissant du jugement d'experts, source d'information riche mais subjective. Deux modes de résolution ont été identifiés afin de prédire la qualité organisationnelle

d’une entreprise : les régressions linéaires et les réseaux neuronaux. Les contraintes liées aux données nous ont cependant poussés à utiliser les régressions linéaires pour y parvenir.

Les régressions linéaires simples ont permis d'identifier les facteurs ayant le plus d'influence sur les taux d'accident: nombre de MD reçues, avoir du personnel dédié à la gestion des risques, tenir compte des accidents passés lors de la sélection d'un transporteur, avoir des contrats de sous-traitance à long terme, tenir compte du critère sécurité lors des choix logistiques relatifs au transport, etc. Notons qu'une entreprise voulant améliorer sa performance et réduire le niveau de risque associé à ses activités pourrait se pencher sur ces aspects en priorité.

Par ailleurs, les régressions linéaires multiples ont permis de modéliser l'influence des facteurs organisationnels sur les taux d'accident. Bien que le résultat obtenu soit intéressant, il demeure relativement limité. Premièrement les travaux effectués ont permis le développement d'outils purement théoriques, dont les implications en entreprise n'ont pas été testées, les pratiques liées à la santé-sécurité étant souvent de nature sensible. Cependant, quelques applications réelles (identification des mesures à adopter afin de diminuer le niveau de risque, outil facilitant la sélection de sous-traitants ou de partenaires, etc.) pourront éventuellement être développées. Deuxièmement, seulement trois facteurs organisationnels, pour lesquels une réponse de type binaire (0,1) est attendue, ont été inclus dans le modèle prédictif permettant d'estimer le facteur de qualité organisationnelle d'une entreprise donnée : le nombre de MD reçues (question *C2*), tenir compte du critère « sécurité » lors des choix liés au transport (question *F1c*) et les contrats à long terme avec les sous-traitants (question *G4*).

$$\alpha = 0.776 + 0.192(C2) - 0.172(F1c) - 0.121(G4) + \varepsilon \qquad (4.8)$$

Il en résulte une fonction « en paliers » n’ayant pas nécessairement la finesse souhaitée pour différencier efficacement la qualité organisationnelle des entreprises. En présence de données suffisantes, il aurait été intéressant de comparer le résultat obtenu à l’aide de régressions linéaires avec celui obtenu à l’aide des réseaux neuronaux.

Par ailleurs, rappelons que ce modèle a été élaboré à l'aide de données d'accidents de travail, et non d'accidents de matières dangereuses, sous l'hypothèse que les taux d'accidents du travail et

d'accidents de matières dangereuses vont de pair au sein d'une même entreprise. Cette hypothèse repose sur le fait que la culture organisationnelle de l'entreprise et les facteurs organisationnels ont été identifiés à de nombreuse reprise comme la cause de ces deux types d'accidents. Une entreprise enregistrant une bonne performance en sécurité industrielle en raison de sa culture organisationnelle exceptionnelle devrait donc également enregistrer une bonne performance en sécurité occupationnelle. Cependant, il est tout à fait possible que certaines entreprises misent davantage sur les mesures de prévention axées vers la sécurité occupationnelle plutôt que la sécurité industrielle (ou l'inverse). Il est donc possible que le facteur de qualité organisationnelle α d'une entreprise varierait (dans une certaine mesure) si on utilisait des données relatives aux accidents MD.

Au chapitre suivant, toutes les notions vues jusqu'ici seront intégrées dans un modèle permettant d'optimiser les choix logistiques MD des entreprises et de vérifier si les pertes encourues en cas d'accident MD sont suffisantes pour influencer le processus de prise de décision. Notamment, le facteur de qualité organisationnel développé dans ce chapitre sera utilisé dans le modèle d'aide à la décision afin de tenir compte du risque réel présenté par les opérations.

CHAPITRE 5.MODÈLE D'AIDE À LA DÉCISION

Tel que mentionné en introduction, des modèles adaptés au point de vue des entreprises, leur permettant d'effectuer des choix logistiques cohérents (balançant les facteurs risques et coûts), se doivent d'être développés afin de leur donner les outils nécessaires lors de dialogues avec les autorités prônant avant tout la minimisation du risque. Ces modèles devraient s'attarder à la planification stratégique et non seulement tactique et étudier le point de vue des sites fixes puisqu'ils sont plus à même d'influencer en profondeur la chaîne logistique MD (choix de fournisseurs, de clients, de modes de transport, de fréquences de transport, etc.) que le sont les transporteurs (choix de l'itinéraire). Rappelons l'objectif principal de la thèse :

> *Le développement d'un modèle d'aide à la décision aidant les sites fixes à poser des choix logistiques MD. Ce modèle adopte le point de vue des entreprises en minimisant simultanément les coûts d'exploitation et les risques d'accidents de matières dangereuses (part assumée par les entreprises parmi les conséquences humaines, environnementales, économiques, etc.).*

En incluant les leçons tirées de la revue de la littérature et les résultats obtenus aux chapitres précédents (conclusions tirées de l'enquête exploratoire, influence des facteurs organisationnels), la thèse vise le développement d'un modèle d'aide à la décision situé en amont de la planification tactique (choix des trajets exacts, etc.) et visant plutôt la planification stratégique de certains choix logistiques: le choix d'un fournisseur, d'un mode de transport et celui d'un transporteur.

Par ailleurs, les résultats de l'enquête exploratoire montrent que bien que la plupart des entreprises adoptent les mesures de gestion du risque appropriées sur leur site fixe, elles tendent à se désintéresser des opérations de transport. Par exemple, les analyses de risque sont rares (27,8% en réalisent souvent ou toujours, comparativement à 58,6% en site fixe), les transporteurs sont rarement soumis à des audits de sécurité (48,4% n'en effectuent jamais) ou à des contrats à long terme (33,7% n'en ont jamais alors que 23,9% en ont parfois un). Les entreprises ne se sentent pas autant responsables des risques générés lors du transport que des risques générés sur le site

même. Pourtant, le site fixe est le décideur premier et ses choix logistiques influenceront le niveau de risque observé.

Ces quelques observations, jumelées aux raisons nous ayant déjà amené à investiguer le point de vue des entreprises, renforcent notre volonté de répondre au second objectif de cette thèse, ce qui sera possible à l'aide d'analyses de sensibilité effectuées sur le modèle :

> *Vérifier si les pertes encourues par les entreprises lors d'un accident de transport impliquant des matières dangereuses sont suffisantes pour les dissuader d'avoir recours aux options les plus risquées.*

Ce chapitre présente le modèle d'aide à la décision. Les détails de ce modèle, des études de cas illustrant sa mise en application, des analyses de sensibilité et un outil informatique basé sur le modèle sont tour à tour présentés.

5.1. Présentation détaillée du modèle d'aide à la décision

Cette section présente le modèle proposé dans cette thèse afin d'effectuer l'optimisation des choix logistiques reliés aux matières dangereuses. Les entreprises visées par l'étude, les choix logistiques à l'étude, leur modélisation, leur optimisation, l'influence des facteurs organisationnels et l'interaction entre le modèle et la démarche GLOBAL sont tour à tour abordés. Notons que l'ensemble des éléments présentés sont influencés par les observations effectuées au cours de l'enquête exploratoire (chapitre 3).

5.1.1. Entreprises visées

Tel que mentionné, le modèle s'adresse aux sites fixes afin de les aider à construire la chaîne logistique MD. Toute entreprise utilisant/produisant/stockant des matières dangereuses pourrait donc être intéressée par le modèle d'aide à la décision proposé. Cependant, certaines entreprises hors normes pourraient avoir de la difficulté à adapter le modèle (dans sa forme actuelle) à leurs besoins.

Le modèle considère une seule matière dangereuse à la fois lors de l'optimisation. Il s'agit d'un choix posé en fonction des observations effectuées tout au long des entrevues ayant mené à la validation du questionnaire d'enquête. En effet, ces entrevues ont montré que la très grande majorité des entreprises examine une matière dangereuse à la fois lorsque vient le temps de poser des choix logistiques; la liste de fournisseurs, de clients, de besoins ou de contraintes étant spécifique à chaque substance. Bien que le modèle réponde à la plupart des besoins exprimés par les entreprises, on comprendra donc que certaines situations particulières ne pourront être modélisées. Notamment, les grands distributeurs de matières dangereuses (transigeant plusieurs milliers de substances différentes) pourraient vouloir un modèle mieux adapté à leurs besoins spécifiques, considérant simultanément l'ensemble des matières dangereuses afin de jumeler certaines substances lors du transport (consolidation des opérations).

5.1.2. Choix logistiques à l'étude

Dans un contexte où les modèles développés étudient quasi exclusivement la sélection d'itinéraires pour le TMD, plusieurs décisions stratégiques jusqu'ici moins soumises à l'examen des chercheurs demeurent sans réponse. Pourtant, ces décisions ont également un impact significatif sur le niveau de risque induit par les activités reliées à l'industrie des matières dangereuses. Parmi ces choix logistiques, nous retrouvons :

- le choix de fournisseurs;
- le choix de clients;
- la possibilité de recourir au transport multimodal;
- le choix d'un mode de transport;
- la possibilité de sous-traiter certaines activités;
- le choix d'un transporteur.

Le modèle proposé ci-dessous intègre l'ensemble de ces décisions stratégiques dans le but d'optimiser les choix logistiques des entreprises œuvrant dans le domaine des matières dangereuses. Cependant, il ne permet pas de définir le tracé exact qui sera emprunté par les

matières dangereuses (planification tactique). Une analyse de risque plus poussée devra être effectuée pour y parvenir.

5.1.3. Modélisation des choix logistiques

Afin d'illustrer la façon dont les choix logistiques d'une entreprise seraient modélisés, prenons l'exemple d'une entreprise S_3 s'approvisionnant de deux matières dangereuses auprès de fournisseurs S_1 et S_2. L'entreprise S_3 transforme au cours de son processus industriel ces deux substances en une troisième matière dangereuse qui est expédiée chez le client S_4. La figure 5.1 décrit cette chaîne logistique composée de sites S_n desservis par des opérations de transport t_{ij}.

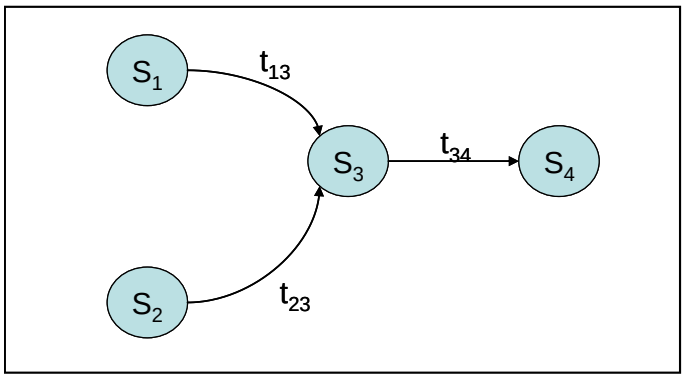


Figure 5.1 : Chaîne logistique de l'entreprise S3

Les études techniques et la littérature scientifique relative aux matières dangereuses se sont jusqu'ici surtout intéressées aux transports t_{13}, t_{23}, et t_{34} afin de trouver l'itinéraire permettant de minimiser les risques imposés à la population. La sélection des fournisseurs (S_1 et S_2) et des clients (S_4), ainsi que l'organisation même du transport (sélection du transporteur, du mode de transport, etc.) ne sont pas nécessairement remis en cause.

Cependant, avant de sélectionner ces routes, l'entreprise S_3 se pose probablement des questions d'ordre plus général concernant ses choix d'approvisionnement et d'expédition : choix du fournisseur, choix du mode de transport, possibilité d'utiliser la sous-traitance, etc. Par exemple, pour la première substance en approvisionnement, deux fournisseurs (S_{11} et S_{12}) pourraient être disponibles. Le transport pourrait également être organisé de diverses façons : entre le fournisseur S_{11} et l'entreprise S_3, il serait possible d'utiliser un transport par train (t_{133}), un transport par

camion à l'aide d'un premier transporteur identifié (t_{134}) ou encore un transport par camion à l'aide d'un second transporteur identifié (t_{135}). Le modèle proposé intègre l'ensemble de ces choix. La figure 5.2 présente cette modélisation où apparaît la notion de choix *k* avec le choix de sites S_{nk} et le choix d'opérations de transport t_{ijk}.

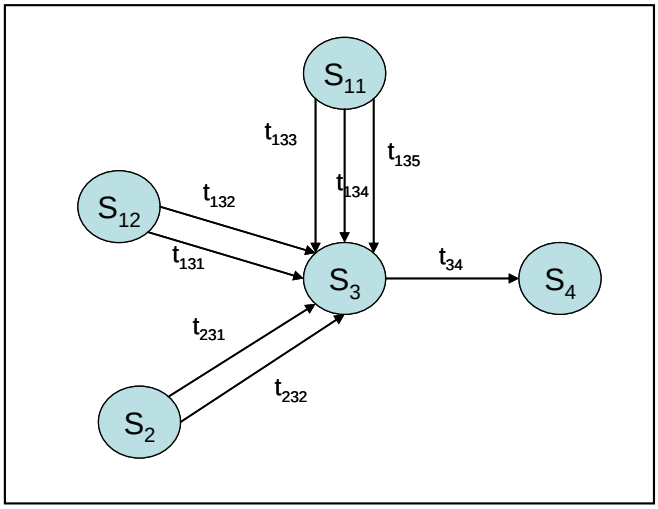


Figure 5.2 : Choix logistiques de l'entreprise S3

Notons que le transport n'est pas toujours direct entre le site principal (ici S_3) et les différents fournisseurs/clients. Dans de tels cas, chaque transport t_{ijk} peut être décomposé en différents segments (routiers, ferroviaires, etc.) afin d'illustrer la nature multimodale du transport. On voit alors apparaître la notion de stockage temporaire ou de transfert (*T*) des matières dangereuses lors du passage d'un mode de transport à l'autre. Ces opérations induisent nécessairement des risques additionnels. La figure 5.3 donne un exemple de transport multimodal.

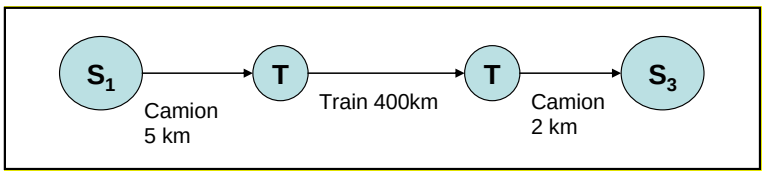


Figure 5.3 : Détails tirés d'un transport t_{ijk}

Le nombre important d'acteurs pouvant intervenir tout au long de la chaîne logistique met en évidence l'importance des facteurs organisationnels. Le facteur de qualité organisationnel α sera donc intégré au modèle. Il en sera davantage question à la section 5.1.5.

5.1.4. Optimisation des choix logistiques

Lors de la prise de décision, à chaque option logistique (site fixe ou transport), est associé un coût (exploitation, transport, achat, etc.), un niveau de risque ainsi qu'un facteur caractérisant la qualité organisationnelle associée à cette option. L'option permettant de minimiser simultanément le risque (part assumée par l'entreprise) et les coûts sera retenue.

Cependant, tel que mentionné lors de la revue de la littérature, les objectifs de minimisation des risques et de minimisation des coûts sont très souvent en opposition directe. Pour contourner ce problème, la traduction du risque en coûts a été proposé à quelques reprises dans la littérature (Leonelli et al., 2000) (Erkut et al., 2005) afin de mettre les deux critères de décision sur le même pied d'égalité. Cependant, au lieu de considérer uniquement les pertes de vies humaines lors du calcul de risque comme le proposaient Leonelli et al. (2000), il serait possible de calculer le coût de l'ensemble des conséquences possibles de l'accident MD et d'évaluer la part assumée par les entreprises (pertes financières). Les pertes financières immédiates, les pertes d'image, les pertes de clientèle, les pertes de production, l'augmentation des primes d'assurances, etc., seront autant de facteurs amenant l'entreprise à adopter des stratégies logistiques moins risquées si les montants sont suffisamment élevés.

Concrètement, traduire le risque en pertes monétaires signifie, pour chaque type d'accident (routier, ferroviaire, site fixe, etc.) :

1. Traduire les conséquences des accidents impliquant des matières dangereuses en pertes financières afin de calculer le coût moyen associé à ce type d'évènement. Certaines conséquences peuvent être traduites en pertes financières en utilisant directement les chiffres des bases de données accidentelles (coûts de la décontamination, dommages matériels, pertes de produits, poursuites judiciaires, etc.) alors que d'autres (coût attribué aux pertes de vies humaines, blessures, évacuations, délais, etc.) doivent l'être à l'aide des évaluations gouvernementales. Par exemple, le NHTSA (*National Highway*

Transportation Safety Administration) estime qu'un décès représente un coût de 2 800 000$;

2. Multiplier le coût moyen d'un accident de matières dangereuses par la probabilité d'avoir un accident, afin d'obtenir un coût (risque) par kilomètre parcouru pour le cas du transport et un coût (risque) par période d'exploitation pour les sites fixes.

3. Évaluer la part des pertes financières assumée par les entreprises. Il s'agira du coût (risque) utilisé dans le modèle d'aide à la décision qui adopte le point de vue des entreprises;

Ce coût est calculé à partir de données historiques et représente en fait le risque associé à l'accident moyen de matières dangereuses. Des coûts différents seront associés aux : différents modes de transports, différentes classes de matières dangereuses, etc. Ces coûts doivent être évalués une seule fois avant d'être intégrés au modèle et utilisés par l'ensemble des entreprises.

Globalement, l'optimisation des différentes options logistiques (choix du fournisseur/client *(j)* et du transport *(k)* pour chaque matière dangereuse *(i)*) est alors représentée de la façon suivante :

$$\begin{aligned} &\min \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk}(R_{ijk} + c_{ijk}) \\ &\text{sujet à} \\ &\sum_{k=1}^{n} x_{ijk} = 1 \\ &x_{i\,jk} = 0 \text{ or } 1 \end{aligned} \tag{5.1}$$

où R_{ijk} représente le risque (traduit en pertes monétaires) associé à chaque option logistique, c_{ijk} représente les coûts (achat, transport, frais d'exploitation, etc.) associés à chaque option *logistique* et x_{ijk} est la variable de décision (prend la valeur 1 si l'option est retenue, 0 sinon).

Le risque et les coûts d'exploitations doivent être bien sûr calculés pour une même période donnée. Un ensemble de contraintes s'assurant qu'un fournisseur/acheteur et une option de transport soient sélectionnés par matière dangereuse en approvisionnement et distribution s'ajoutent à cet objectif de base. Éventuellement, le modèle pourrait être bonifié et il pourrait, par

exemple, être possible de pénaliser certaines options logistiques indésirables aux yeux de la population.

Tel que mentionné à la section 5.1.2, une option logistique peut être composée de différents modes de transport. Le risque associé à une telle option logistique est alors calculé en sommant les risques associés à chacun des modes de transport (ou segments de transport). Le risque associé aux opérations de chargement/déchargement et stockage temporaire marquant le transfert des matières dangereuses d'un mode de transport à l'autre doit aussi être pris en considération.

Les études de cas présentées à la section 5.2, les analyses de sensibilité présentées à la section 5.3 l'outil informatique présenté à la section 5.4 permettront de mieux comprendre le fonctionnement du modèle d'aide à la décision décrit aux paragraphes précédents.

Malgré un recours intensif aux données, la modélisation mathématique des choix logistiques MD demeure relativement simple. L'intérêt du modèle réside surtout dans le fait qu'il : (1) adopte le point de vue des entreprises, (2) mette pour la première fois les facteurs risques (part de l'entreprise) et coûts sur le même pied d'égalité et (3) prenne en compte l'impact des facteurs organisationnels. De plus, le modèle offre une certaine flexibilité. Alors que la plupart des entreprises désireront uniquement tenir compte de la portion des frais liés à un accident de transport (risque) qu'elles devront assumer, certaines entreprises pourraient vouloir tenir également compte des pertes financières assumées par le public ou les différents paliers de gouvernement, ce que le modèle permet.

Les simplifications apportées à l'évaluation du risque peuvent surprendre au premier abord, le risque calculé devenant une approximation du risque réel (le coût de l'accident moyen est utilisé et le risque est constant quel que soit le segment routier). Cette approximation est cependant, selon nous, amplement suffisante pour discriminer efficacement les options à ce stade de la prise de décision (choix d'un mode de transport, d'un transporteur, etc., et non d'un itinéraire). Le fait d'utiliser une telle approximation présente des avantages. En effet, le modèle d'aide à la décision devient beaucoup moins dépendant de la disponibilité de données et son utilisation est grandement facilitée. Cependant, le modèle ne remplace en aucun cas une analyse de risque plus poussée permettant de définir le tracé exact qui sera emprunté par les matières dangereuses (planification tactique). Il est donc recommandé, suite à l'application du modèle développé dans

la thèse, de poursuivre avec une évaluation détaillée des risques de la chaîne logistique, ce que permet la démarche GLOBAL. D'ailleurs, l'interaction entre le modèle d'aide à la décision proposé dans la thèse et la démarche GLOBAL est présentée à la section 5.1.6.

5.1.5. Influence des facteurs organisationnels

Nous avons développé au chapitre 4 un facteur de qualité organisationnelle α agissant telle une fonction modulant le niveau de risque physique soit à la hausse ou à la baisse. En effet, si les facteurs organisationnels ont réellement une influence sur les taux d'accident recensés par les entreprises, il est possible d'imaginer qu'on peut prédire ce taux si suffisamment d'informations sont disponibles. Par exemple, la présence de programmes de prévention, de programmes de formation ou de suivi des sous-traitants pourrait permettre de juger de la qualité organisationnelle d'une entreprise et d'estimer son taux d'accident. Nous avons donc proposé que le risque physique R^{PHY}, tel que mesuré actuellement, soit pondéré par le facteur de qualité organisationnelle α afin de calculer le risque total R^{TOT}.

$$R^{TOT} = \alpha R^{PHY} \tag{5.2}$$

Le risque R_{ijk} utilisé dans le modèle d'aide à la décision proposé correspond à ce risque total (risque physique (part des entreprises) pondéré par le facteur de qualité organisationnelle). Pour optimiser les choix logistiques de l'entreprise, ce facteur de qualité organisationnelle devrait donc être évalué pour chaque option logistique (site fixe, transport).

5.1.6. Interaction avec la démarche GLOBAL

Tel que mentionné en introduction, ce travail s'inscrit à l'intérieur du projet GLOBAL portant sur les risques relatifs aux matières dangereuses, à l'INERIS. Les travaux effectués par l'INERIS au cours de ce projet ont permis le développement :

> « *d'une méthode globale d'évaluation des risques permettant de prendre en compte l'ensemble des risques liés à la logistique (stockage, transport et transit par des infrastructures de transport des produits dangereux)* » qui permet « *de donner une*

base plus homogène pour les décisions publiques et les pratiques des entreprises en matière de risques technologiques. »

La démarche GLOBAL peut servir de cadre général lors de toute prise de décision impliquant des matières dangereuses et tenant compte du critère risque. Pour sa part, le modèle proposé dans la thèse explore plus en profondeur le point de vue des entreprises désirant optimiser leurs choix logistiques relatifs aux matières dangereuses. Dans cette section, nous étudions l'interaction entre les deux méthodologies.

5.1.6.1. Présentation de la démarche GLOBAL

La méthode s'adresse à tous les acteurs devant prendre des décisions relatives à la logistique des matières dangereuses : industriels, collectivités, territoriales, pouvoirs publics. Voici quelques exemples de contextes décisionnels où la démarche GLOBAL pourrait être appliquée :

« Un industriel s'interroge sur la meilleure manière de desservir ses dépôts ou sites industriels en produits dangereux. Au-delà des critères classiques de type coûts, délais, relations avec les partenaires commerciaux…, il souhaite réduire les risques générés par les flux de matières dangereuses ainsi créés. La démarche GLOBAL peut ici être appliquée pour l'aider à comparer les risques générés par différentes chaînes logistiques et sélectionner ainsi la moins dangereuse d'entre elles. » (INERIS, 2007)

« Une administration territoriale souhaite élaborer son plan de circulation de matières dangereuses. Elle souhaite ainsi réduire autant que possible l'exposition des enjeux vulnérables (humains, environnement, bâti, …) aux conséquences d'un accident potentiel. La démarche GLOBAL appliquée dans ce contexte peut aider la collectivité à identifier les différents itinéraires possibles (qui constituent autant d'options logistiques) et à sélectionner l'option la plus satisfaisante au regard des risques qu'elle génère. » (INERIS, 2007)

« Une collectivité située dans une zone à fort trafic de produits dangereux souhaite estimer le niveau de risques que font peser ces flux sur son territoire. Dans une optique

de gestion intégrée, elle souhaite que les risques générés par l'ensemble de ces flux soient considérés conjointement avec les risques générés par des installations fixes existantes de manière à évaluer l'exposition de son territoire aux risques technologiques (fixes et TMD). La démarche GLOBAL peut aider cette collectivité, en collaboration avec les industriels, à évaluer les impacts cumulés des risques générés par les installations fixes et le TMD. » (INERIS, 2007)

La démarche GLOBAL offre un cadre général qui structure la prise de décision dès que le critère risque est impliqué. Ce cadre général est composé de 6 grandes étapes :

1. *Formulation du problème à résoudre;*

   Tel que mentionné plus haut, la démarche GLOBAL peut être appliquée dans différents cadres décisionnels. La démarche GLOBAL offre donc un cadre méthodologique à tous ces types de décisions.

2. *Détermination des options logistiques à évaluer;*

   Cette étape consiste à identifier les maillons logistiques potentiels (moyens de transport, lieux de stockage intermédiaires, etc.), à les combiner en différentes options logistiques et à caractériser ces options (contraintes réglementaires, prestataires logistiques, etc.). Avant de passer à l'étape suivante, il est conseillé d'effectuer un pré-tri de ces options afin d'éliminer dès maintenant les options logistiques insatisfaisantes (présence d'enjeux vulnérables, faisabilité, etc.).

3. *Identification des acteurs pertinents au regard des options logistiques identifiées;*

   Chaque option logistique impactera des enjeux vulnérables différents, selon le tracé emprunté par les matières dangereuses. Les acteurs intéressés par ces enjeux s'intéresseront donc à ces choix logistiques. Le décideur doit déterminer la pertinence d'impliquer ces acteurs dans le processus de décision afin de prendre connaissance de leurs attentes.

4. *Évaluation des options logistiques sur la base du critère risques générés;*

   Cette étape, au cœur de la démarche GLOBAL, est consacrée à l'analyse de risque. La méthode propose une approche simplifiée (évaluation rapide) et une approche complète (en présence de données plus précises). La méthode offre la possibilité de se limiter aux

enjeux humains pour le calcul de risque, ou d'inclure également les enjeux environnementaux et matériels. Finalement, deux indicateurs de risque sont calculés : la composante quantitative R de l'indicateur de risque (analyse de risque proprement dite) et la composante qualitative Q de l'indicateur de risque (estimation d'indicateurs qualitatifs afin d'évaluer la performance sécurité de chaque maillon logistique).

5. *Hiérarchisation des options logistiques sur la base des risques qu'elles impliquent;*
   Au cours de l'étape précédente, de nombreux indicateurs de risques ont été calculés pour chacune des options logistiques envisagées : risque sur l'humain, risque sur l'environnement, risque matériel. De plus, il existe une composante quantitative et une composante qualitative de l'indicateur de risque. Ces divers éléments peuvent être considérés comme différents critères de décision. Les méthodes traditionnelles de prise de décision multicritères sont utilisées afin de déterminer la solution présentant le niveau de risque le plus acceptable.
6. *Prise de décision sur l'ensemble des critères (risques, financiers, etc.).*
   Les options logistiques n'ont jusqu'ici été évaluées que sur la base du risque qu'elles présentent. Cependant, il suffit de penser aux coûts, délais, cadre juridique, etc. pour réaliser que le risque n'est pas l'unique critère de sélection. Par conséquent, la démarche GLOBAL doit s'inscrire dans un cadre décisionnel beaucoup plus large.

La démarche GLOBAL offre plus qu'un simple cadre à la prise de décision puisqu'elle permet d'harmoniser les techniques d'analyse de risque utilisées par les différents maillons logistiques afin de faciliter la prise de décision. En effet, un des principaux freins à l'évaluation des risques tout au long de la chaîne logistique était jusqu'ici l'utilisation de différentes techniques d'analyse de risque propres à chaque maillon (train, camion, site fixe, fluvial, canalisations, etc.). Cette situation résulte des différentes lois en vigueur sur chaque maillon et des habitudes établies.

De plus, la démarche GLOBAL est innovante puisqu'elle encourage la collaboration de l'ensemble des acteurs (industriels, collectivités, territoriales, pouvoirs publics) concernés par le projet au cours de la prise de décision. Cette prise de décision multi acteurs est particulièrement importante puisque : *« tout décideur est en situation de « rationalité limitée », c'est-à-dire qu'il ne peut pas tout savoir des conséquences de ses choix et qu'il est limité dans son appréhension de la réalité » (INERIS, 2007).*

5.1.6.2. Positionnement du modèle d'aide à la décision

La démarche GLOBAL offre certes un cadre structuré pour la prise de décision logistique, mais les facteurs coûts et risques étant en opposition directe (voir section 2.3.2), on peut s'interroger sur la façon dont les entreprises exposent leur point de vue (réduction des coûts d'exploitation pour assurer la viabilité financière) face à des acteurs (municipalités, gouvernements, etc.) prônant avant tout la réduction des risques. Les contraintes auxquelles les entreprises font face et la nature dynamique du contexte industriel demandant une prise de décision rapide, sont-elles toujours prises en considération?

Tel que mentionné en introduction, le modèle proposé dans la thèse offre une version complémentaire aux premières étapes de la démarche GLOBAL, en répondant au besoin exprimé par les entreprises en matière d'optimisation économique des choix logistiques. De façon plus précise, le modèle d'aide à la décision, proposé dans la thèse, présente une version alternative des étapes 1 et 2 de la démarche GLOBAL : identification de la problématique, détermination des options logistiques à évaluer et pré-tri de ces options logistiques. Le pré-tri des options logistiques s'effectue ici à l'aide d'une évaluation sommaire risque/coût (point de vue de l'entreprise) tel que discuté précédemment.

Comme le modèle d'aide à la décision ne remplace en aucun cas une analyse de risque plus poussée permettant de définir le tracé exact qui sera emprunté par les matières dangereuses. Il est donc recommandé, suite à l'application du modèle développé dans la thèse, de poursuivre avec une évaluation détaillée des risques de la chaîne logistique, ce que permet de faire la démarche GLOBAL (étapes 3, 4, 5 et 6). Les résultats obtenus lors de l'application du modèle de la thèse peuvent alors servir d'outil de négociation pour l'entreprise lors du processus de décisions multi-acteurs, multicritères de la démarche GLOBAL. La figure 5.4, où les entreprises utilisent le modèle d'aide à la décision de la thèse afin d'obtenir un ensemble de solutions ordonnancées avant de se présenter à la table de négociation, résume cette situation.

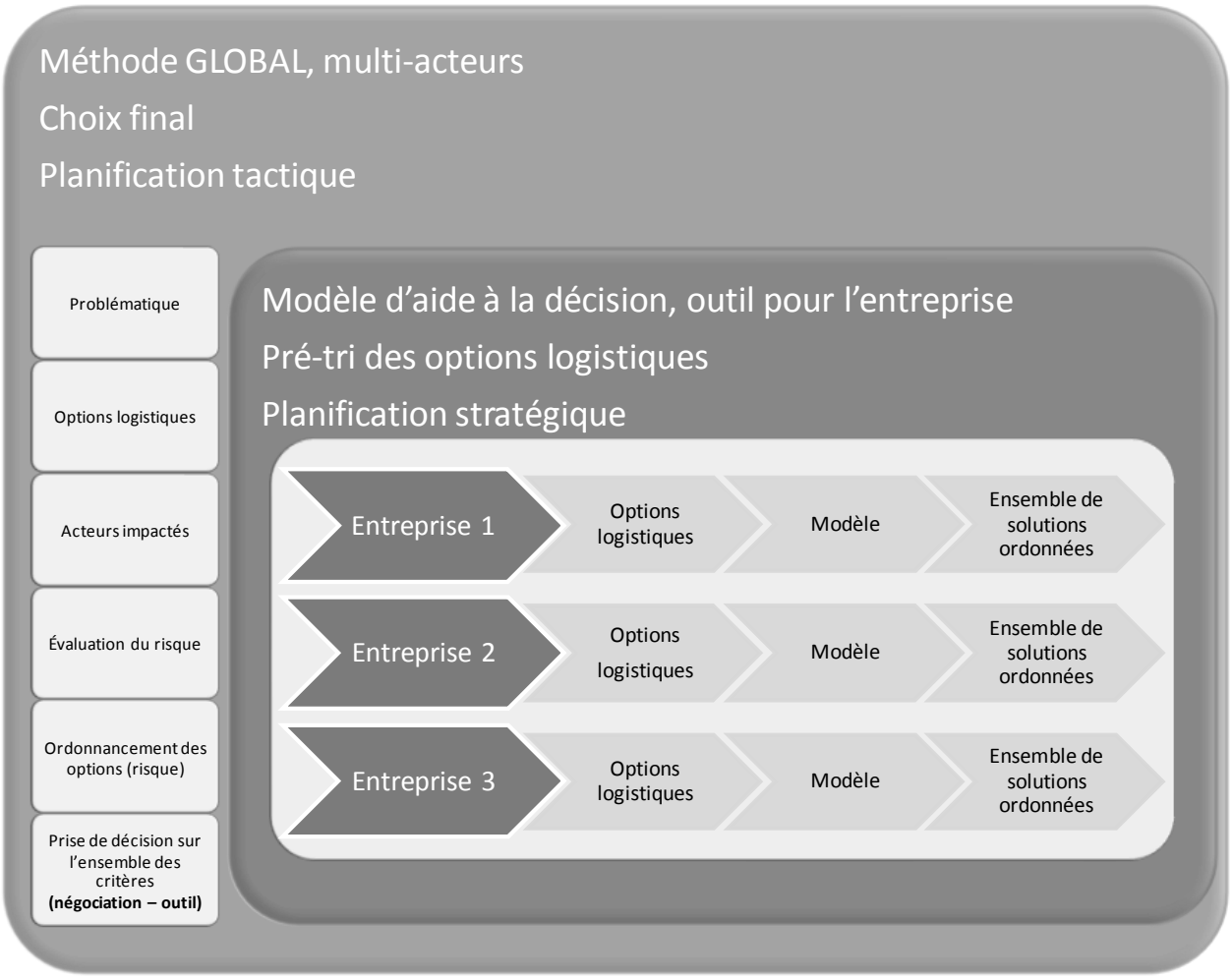


Figure 5.4 : Interaction entre le modèle d'aide à la décision et la démarche GLOBAL

Comme le modèle de la thèse est basé sur un calcul simplifié du risque, que seule les risques assumés par l'entreprise sont considérés et que les facteurs risques et coûts sont considérés simultanément, il est possible qu'une option à première vue souhaitable, devienne non souhaitable suite à l'examen du tracé exact qui sera emprunté par les matières dangereuses (démarche GLOBAL). Il existe donc une boucle de rétroaction entre le modèle de la thèse et la démarche GLOBAL. En effet, suite au pré-tri effectué à l'aide du modèle d'aide à la décision de la thèse, la solution la plus performante pourra être examinée avec la démarche GLOBAL de façon prioritaire. Si, suite à cette analyse plus poussée, elle ne répond plus aux objectifs visés, les options suivantes (selon le modèle de la thèse) sont tour à tour examinées jusqu'à ce qu'une option satisfaisant tous les acteurs présents autour de la table soit trouvée.

Même si l'entreprise ne poursuit pas les analyses de risque au-delà du modèle présenté par la thèse, ce modèle n'ignore pas, par contre, le point de vue de la société puisqu'une option socialement inacceptable serait rejetée d'emblée (contrainte bloquante). De plus, l'analyse de sensibilité qui sera effectuée sur le modèle permettra de déterminer si utiliser le seul point de vue de l'entreprise permet de réduire le risque de façon acceptable.

5.2.Études de cas

Afin de valider le fait que le modèle d'aide à la décision puisse être utilisé en situation réelle, deux entreprises œuvrant dans l'industrie des matières dangereuses ont été rencontrées. Puisque les pratiques logistiques varient grandement selon le type d'entreprise (voir 3.3.3), ces entreprises ont été sélectionnées afin de couvrir différents cas de figure. Un grand utilisateur de matières dangereuses (utilisation du pipeline, du train, du transport maritime et du transport routier) et un petit utilisateur de matières dangereuses (utilisation exclusive du transport routier) ont donc été rencontrés. Des discussions entourant le choix d'un fournisseur, d'un client, d'un mode de transport ou d'un transporteur ont eu lieu.

Le focus est mis sur la modélisation des choix logistiques (identification des fournisseurs/clients, identification des options de transport, modélisation) plutôt que sur l'optimisation des choix logistiques, plusieurs données n'ayant pas été transmises par les entreprises rencontrées pour cause de confidentialité (coûts d'exploitation). Les sections 5.3 et 5.4 se pencheront davantage sur l'optimisation.

5.2.1. Première étude de cas : grand utilisateur de MD

5.2.1.1. Profil de l'entreprise

La première entreprise sélectionnée fait partie de l'industrie de la pétrochimie. Puisque la totalité de ses activités sont rattachées au domaine des matières dangereuses et que les volumes transigés sont importants (des convois de MD entrent et sortent de l'entreprise chaque jour), il s'agit d'un grand utilisateur de matières dangereuses. Ces quelques caractéristiques montrent bien qu'il s'agit du type d'entreprise qui vient le plus rapidement à l'esprit des gens lorsqu'il est question

d’entreprises œuvrant dans le domaine des matières dangereuses. Parmi les éléments susceptibles d’influencer les choix logistiques de cette entreprise, nous retenons :

- la présence de canalisations reliant directement l’entreprise au port maritime le plus près ;
- la présence de canalisations reliant directement l’entreprise à plusieurs entreprises voisines ;
- la présence de rails et d’un quai de déchargement sur le site de l’entreprise ;
- les volumes importants transigés, principalement pour les matières premières et le produit fini ;
- de faibles volumes transigés pour la plupart des substances servant uniquement de support au processus ;
- un nombre limité de fournisseurs pour certaines substances en approvisionnement.

L'entreprise se situe à proximité d’entreprises du même domaine ce qui favorisera l’établissement de structures permanentes (canalisations) entre des fournisseurs ou clients potentiels. De plus, elle se situe à proximité d’infrastructures de transport importantes, ce qui multiplie les possibilités. En raison des volumes importants, elle sera donc portée à choisir des modes de transport favorisant un tel trafic, alternatifs à la route. Ces quelques caractéristiques font en sorte que, bien qu'il s'agisse du type d'entreprise que le public associe aux matières dangereuses, elle se distingue en fait de la plupart des utilisateurs de matières dangereuses (petits utilisateurs, utilisation massive du transport routier).

L'entreprise reçoit six matières dangereuses différentes en approvisionnement, dont deux matières premières principales. Elle expédie trois matières dangereuses : son produit principal ainsi que deux sous-produits. La figure 5.5, où ces substances sont notées de S_1 à S_9 et l’entreprise notée *E*, illustre cette situation.

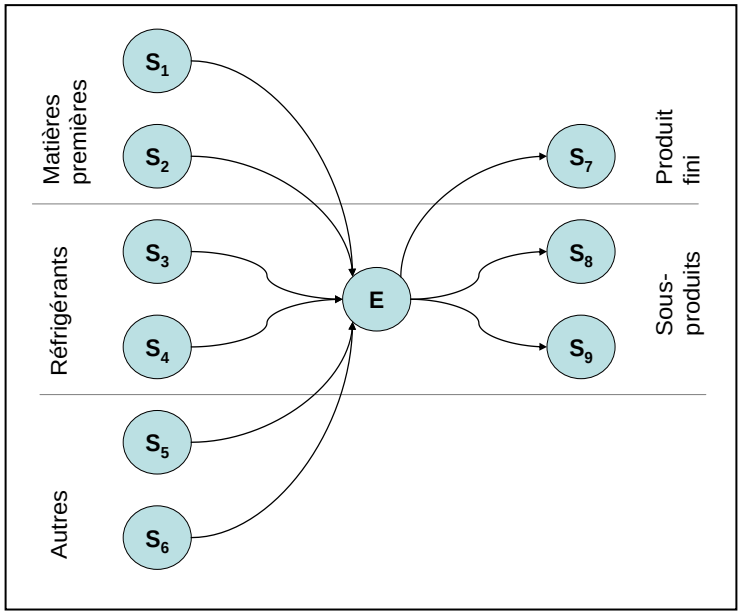


Figure 5.5 : Substances en approvisionnement et en expédition de l'entreprise E

Dans les sections qui suivent, nous explorons les choix logistiques possibles. La section 5.2.1.2 présente les choix logistiques en approvisionnement alors que la section 5.2.1.3 présente les choix logistiques en expédition. Des figures illustrent la modélisation de ces choix logistiques (à l'aide du modèle d'aide à la décision), dans les cas les plus intéressants.

5.2.1.2. Choix logistique en approvisionnement

Les deux matières premières en approvisionnement (S_1 et S_2) sont disponibles auprès des mêmes fournisseurs. Quatre sources possibles ont été identifiées pour ces substances en approvisionnement : un fournisseur situé en Ontario, un fournisseur situé aux États-Unis, un fournisseur relié directement à l'entreprise par canalisation et la possibilité de recourir au marché international. Recourir au marché international implique un transport maritime international, suivi d'un transport par canalisations. Pour ces matières dangereuses, peu d'options de transport (t_{ijk}) sont disponibles entre les fournisseurs identifiés et l'entreprise. En raison de la distance et des volumes échangés, le transport se fait exclusivement par pipeline depuis les entreprises voisines (et depuis le port maritime) et par train depuis l'Ontario et les États-Unis. Une seule compagnie ferroviaire est disponible mais quelques transporteurs maritimes demeurent tout de même disponibles. La figure 5.6, où la possibilité de recourir à plus d'un transporteur maritime

(non clairement identifiés) est indiquée à l'aide d'un trait pointillé, illustre cette situation (ici substance S_1 uniquement) à l'aide du modèle d'aide à la décision proposé dans la thèse.

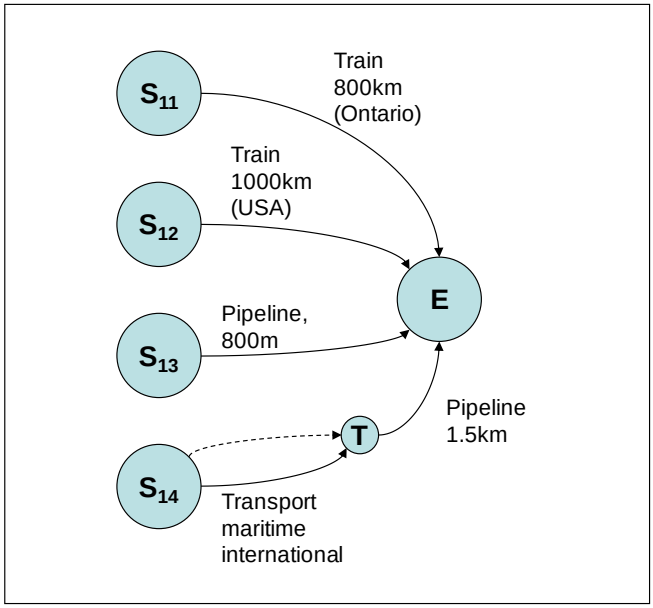


Figure 5.6 : Modélisation des choix logistiques pour la substance S_1

À chaque approvisionnement, l'entreprise sélectionne le fournisseur offrant la/les substances au meilleur prix, dans les quantités requises. Le choix du fournisseur n'est donc pas fixe. La décision peut se faire de façon indépendante pour S_1 et S_2, ou de façon combinée selon les prix/disponibilités offerts.

Les deux réfrigérants utilisés au cours du procédé industriel sont expédiés à l'entreprise par camion, les faibles quantités transigées ne justifiant pas le recours à un autre mode de transport. Pour le premier réfrigérant (S_3), un seul fournisseur est disponible et, en raison des précautions supplémentaires entourant cette substance, un seul transporteur a été identifié. Une seule option logistique est donc possible. Pour le second réfrigérant (S_4), deux fournisseurs ont été identifiés et différents transporteurs seraient disponibles. La figure 5.7, où la possibilité de recourir à plus d'un transporteur routier (non clairement identifiés) est indiquée à l'aide d'un trait pointillé, illustre la situation.

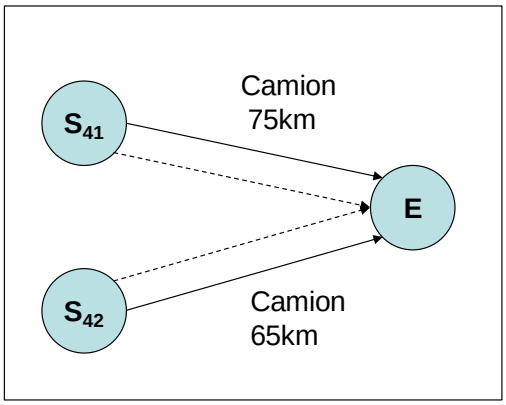


Figure 5.7 : Modélisation des choix logistiques pour la substance S_4

L'entreprise a une préférence pour le fournisseur S_{41} en raison de la qualité du produit.

Les deux dernières substances en approvisionnement servent essentiellement de support au processus. Le gaz naturel (S_5), acheminé par le réseau d'alimentation local fait partie de ces substances. Aucune alternative n'a été identifiée. Pour la deuxième substance en support au processus (S_6), de nombreux fournisseurs sont probablement disponibles. Les volumes transigés sont si faibles que l'entreprise a simplement sélectionné le fournisseur le plus près (5 km) sans s'informer davantage sur les prix offerts par la compétition. Les faibles quantités et la distance à parcourir ne justifient pas l'utilisation d'un mode de transport autre que le transport routier. Plusieurs transporteurs seraient cependant disponibles.

5.2.1.3. Choix logistiques en distribution

Il existe deux possibilités pour l'expédition du produit principal S_7 : un client situé à 1,5 km de l'entreprise et relié par des canalisations et la possibilité de recourir au marché international. Encore une fois, recourir au marché international implique un transport par canalisations suivi d'un transport maritime international. Peu d'options de transport (t_{ijk}) sont disponibles : en raison de la distance et des volumes échangés, le transport se fait exclusivement par pipeline jusqu'à l'entreprise voisine où jusqu'au port maritime. Par contre, pour la portion maritime du trajet, plusieurs transporteurs demeurent disponibles. La figure 5.8, où la possibilité de recourir à plus d'un transporteur maritime (non clairement identifiés) est indiquée à l'aide d'un trait pointillé, résume la situation.

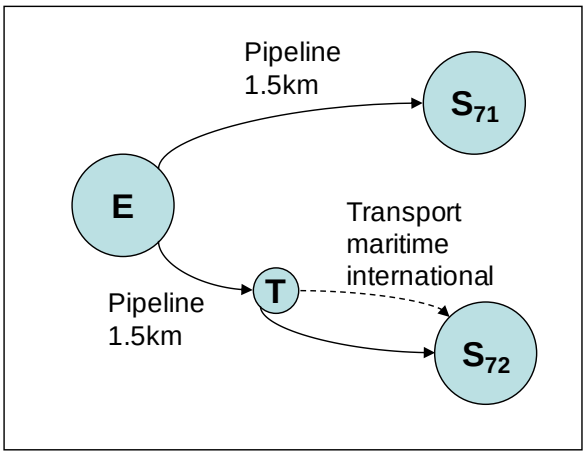


Figure 5.8 : Modélisation des choix logistiques pour la substance S_7

Puisque les prix fluctuent énormément sur le marché international, l'entreprise préfère vendre son produit à prix fixe à l'entreprise voisine, ce qui lui procure une certaine stabilité. Seuls les surplus sont vendus sur le marché international. Si l'entreprise voisine devait fermer ses portes, l'ensemble de la production serait alors vendue sur le marché international.

Les deux sous-produits issus du procédé industriel (S_8 et S_9) sont également vendus dans le cadre d'ententes avec les entreprises voisines. Dans les deux cas, ces substances sont expédiées exclusivement par canalisations (sur 800m pour la substance S_8 et sur 1km pour la substance S_9) en raison des quantités transigées et de la distance à parcourir. Rechercher des clients alternatifs n'intéresse pas l'entreprise. La substance S_8 exige trop de précautions et advenant la fermeture du client de S_9, l'entreprise diminuerait simplement la quantité de S_9 produite par son processus.

5.2.2. Seconde étude de cas : petit utilisateur MD

5.2.2.1. Profil de l'entreprise

L'entreprise sélectionnée fait partie de l'industrie de l'acier. Il s'agit d'un petit utilisateur de matières dangereuses, une faible part de ses activités y étant reliées et les volumes étant relativement faibles. De par ces caractéristiques, il ne s'agit pas du type d'entreprise venant à l'esprit des gens lorsqu'il est question de matières dangereuses. Parmi les éléments susceptibles d'influencer les choix logistiques de cette entreprise, nous retenons :

- l’absence de pipelines reliant l’entreprise;
- l’absence de rails et de quais de chargement/déchargement sur le site de l’entreprise;
- l’absence de liens autres que routiers entre l’entreprise et le port maritime le plus près;
- les faibles volumes pour les différentes MD en approvisionnement et distribution.

Aucune infrastructure de transport (rail, pipeline, port maritime, etc.) n’est située à proximité de l’entreprise qui est donc très portée vers le transport routier. L’entreprise sélectionnée est donc très représentative du milieu (petits utilisateurs, utilisation massive du transport routier) même s’il ne s’agit pas du type d’utilisateur de MD venant en premier à l’esprit des gens.

Cette entreprise reçoit une seule matière dangereuse en approvisionnement et elle expédie trois matières dangereuses résiduelles. La figure 5.9, où ces substances sont notées de S_1 à S_4 et l’entreprise notée *E*, illustre cette situation.

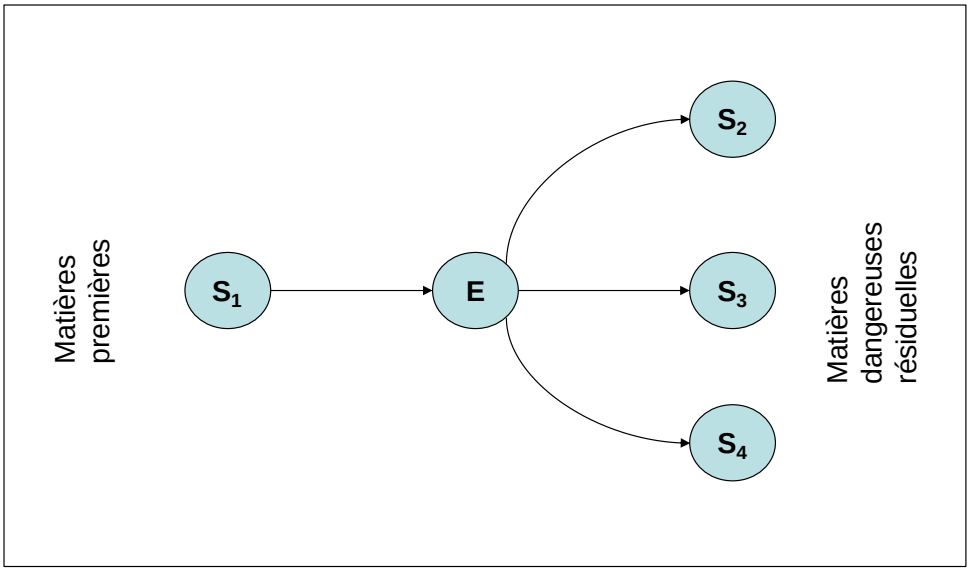


Figure 5.9 : Substances en approvisionnement et en expédition de l’entreprise E

Dans les sections qui suivent, nous explorons les choix logistiques possibles. La section 5.2.2.2 présente les choix logistiques en approvisionnement alors que la section 5.2.2.3 présente les choix logistiques en expédition. Des figures illustrent la modélisation de ces choix logistiques dans les cas les plus intéressants.

5.2.2.2. Choix logistiques en approvisionnement

L'entreprise reçoit seulement 2 ou 3 convois routiers par année de l'unique matière dangereuse en approvisionnement S_1, les quantités et les infrastructures ne favorisant pas le recours à d'autres modes de transport. Plusieurs fournisseurs ont été identifiés, cependant l'entreprise a fixé son choix sur un distributeur situé à 5km offrant un prix compétitif et un excellent service en plus de l'avantage de la proximité. Ce distributeur effectue personnellement la livraison du produit. Pour toutes ces raisons, l'entreprise n'explore aucune autre alternative (absence de choix logistiques).

5.2.2.3. Choix logistiques en distribution

La substance S_2 représente en fait un groupe de matières dangereuses résiduelles diverses. Plusieurs entreprises offrant des services environnementaux pourraient être mandatées pour récupérer ces produits. Toutes ces firmes effectuent elles-mêmes la collecte des MDR. Cependant, l'entreprise transige exclusivement avec l'une de ces firmes (située à 70km), des problèmes de fiabilité ayant été notés par le passé chez ses compétiteurs (la collecte des matières dangereuses résiduelles ne s'effectuait pas dans un délai raisonnable). Pour toutes ces raisons, encore une fois, l'entreprise n'explore aucune autre alternative (absence de choix logistiques)

Bien qu'il s'agisse d'une matière dangereuse résiduelle, la substance S_3 pourrait intéresser certaines entreprises désireuses de la revaloriser. Plusieurs entreprises se sont d'ailleurs manifestées. L'entreprise rencontrée cède simplement la substance au plus offrant au moment de la vente (la distance et le risque pour la population ne sont pas pris en compte). Dernièrement, la substance a régulièrement été cédée à une firme du sud de l'Ontario (570km). Puisque l'entreprise ne désire pas s'occuper du transport et demande au client d'organiser ces activités, les alternatives (choix du transporteur, transport en compte propre, etc.) demeurent inconnues.

Le cas de la substance S_4 est particulièrement intéressant. À l'origine, cette substance était indésirable et l'entreprise devait payer pour s'en défaire. Cependant, avec le temps, quatre firmes situées dans un rayon de 300km ont manifesté leur intérêt et on offert de récupérer gratuitement cette substance. Une cinquième firme, située aux États-Unis, est même prête à acheter la substance, mais l'entreprise ne désire pas utiliser cette option, les contrôles frontaliers étant beaucoup trop lourds à gérer. Quelle que soit l'option retenue, l'entreprise ne désire pas

s'occuper du transport et demande au client d'organiser ces activités. Par conséquent, les alternatives de transport (choix du transporteur, transport en compte propre, etc.) demeurent encore une fois inconnues. La figure 5.10, où l'absence d'option de transport t_{ijk} indique simplement que cette information n'est pas disponible, illustre cette situation.

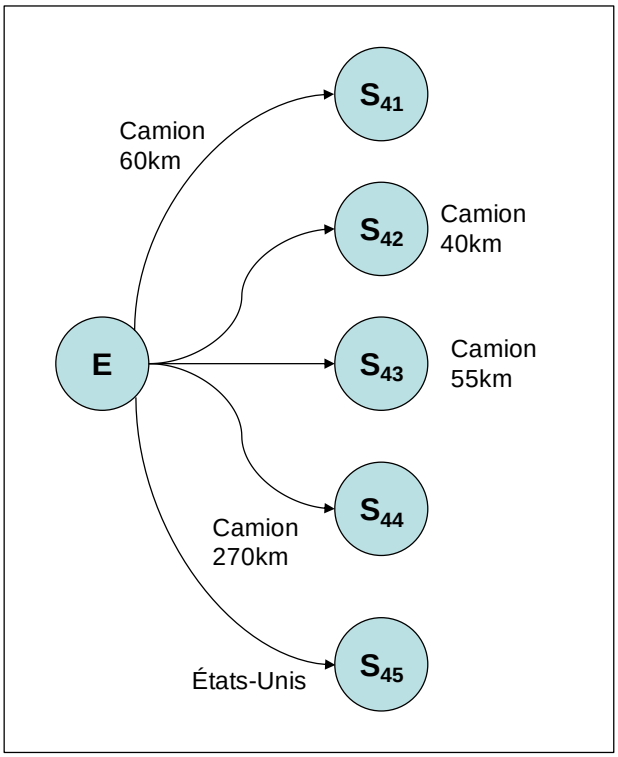


Figure 5.10 : Choix logistiques pour la substance S_4

La substance S4 étant offerte gratuitement, l'entreprise la cède simplement à la première firme (située au pays) se manifestant. Le choix du client n'est donc pas fixe.

5.2.3. Principales observations

Les deux études de cas présentées ont permis de valider le fait que le modèle d'aide à la décision puisse être utilisé en situation réelle : les choix logistiques peuvent être modélisés de la façon proposée et, en présence de données, ces choix logistiques pourraient être optimisés en tenant simultanément compte des facteurs risques et coûts. Notons que des analyses économiques basées sur le modèle (optimisation des choix logistiques) seront présentées à la section 5.4

Les études de cas présentées ont permis de découvrir certaines réalités intéressantes susceptibles d'influencer la prise de décision actuelle (ou future). La position du modèle face à ces quelques constats, brièvement présentés dans les sections qui suivent, est expliquée.

5.2.3.1. Le risque est rarement pris en compte

Dans les deux cas présentés, le risque était rarement pris en compte par l'entreprise lors de la prise de décision. En effet, la première entreprise rencontrée (grand utilisateur de MD) affirme que si deux fournisseurs offraient sensiblement la même qualité de produit au même coût, elle opterait sans conteste pour l'option représentant le moins de risques pour la population. Cependant, les différences de prix/qualité/disponibilité sont si marquées que le critère risque est généralement relégué au dernier rang ou même ignoré. Pour sa part, la seconde entreprise rencontrée (petit utilisateur de MD) se soucie peu de l'organisation des opérations de transport en expédition, qu'elle confie au client. Cette entreprise affirme que dès que les matières dangereuses sont chargées dans le véhicule du transporteur, elle n'en est plus responsable, même si un accident/incident survenait avant que le chargement ne sorte du site fixe. Pourtant, selon la législation, l'expéditeur des matières dangereuses en demeure responsable tant que le chargement n'est pas arrivé à destination finale.

Les analyses de sensibilité effectuées à la section 5.4 permettront de mieux comprendre la place qu'occupe le facteur risque dans l'échelle de priorité des entreprises lors d'une prise de décision logistique, le modèle d'aide à la décision tenant compte des risques et des coûts.

5.2.3.2. Les choix logistiques sont parfois limités

Les deux études de cas présentées un peu plus haut montrent l'absence d'option logistiques alternatives, pour les matières dangereuses S_3, S_5, S_8 et S_9 dans la première étude de cas (grand utilisateur MD) et pour les matières dangereuses S_1 et S_2 dans la seconde étude de cas (petit utilisateur de MD). En forçant, il possible de dégager certaines options alternatives, cependant puisque ces options ne sont pas réellement souhaitables (qualité du produit, qualité du service, expertise du transporteur avec une matière dangereuse donnée, etc.), elles sont simplement laissées de côté.

Le nombre limité de fournisseurs/clients et les spécificités du produit expliquent bien souvent l'absence d'options logistiques. De plus, les entrevues réalisées lors de la validation du questionnaire et les études de cas présentées ci-dessus ont démontré que la disponibilité d'un mode de transport peut dépendre : de la position géographique des entreprises par rapport aux infrastructures de transport, de la proximité géographique des fournisseurs/clients, des quantités de matières transigées ou encore de la flexibilité offerte par le transport routier. Le choix du fournisseur ou du transporteur demeure donc souvent la seule prise de décision.

Plusieurs options logistiques sont certes disponibles pour certaines substances, mais ces quelques exemples montre qu'il serait erroné de croire que toutes les activités de l'entreprise peuvent être modifiées/optimisées. Le modèle n'est donc pas toujours applicable, mais il permet, dans les cas où plusieurs choix demeurent possibles, de formaliser le point de vue des entreprises lors de la prise de décision.

5.2.3.3. Les choix logistiques sont de nature dynamique

Dans les deux études de cas présentées, le choix du client/fournisseur n'était pas nécessairement fixe. En effet, dans la première étude de cas, pour les substances S_1 et S_2, les volumes importants entraînaient des problèmes relatifs à la disponibilité du produit ce qui, jumelé aux fluctuations de prix, poussait l'entreprise à s'approvisionner à chaque fois auprès de fournisseurs différents. Dans la seconde étude de cas, la substance S_4 était simplement cédée à la première qui se manifestait. La prise de décision est donc souvent dynamique et croire qu'elle demeure figée dans le temps serait erroné. Au lieu d'optimiser simultanément l'ensemble des activités de l'entreprise, le modèle effectue l'optimisation d'une MD à la fois, les prises de décision pour chaque MD étant décalées dans le temps.

5.2.3.4. Le transport peut être consolidé

Tel que mentionné à la section 5.1.1, le modèle considère une seule matière dangereuse à la fois lors de l'optimisation, ce qui est suffisant dans la très grande majorité des cas, la liste de fournisseurs/clients/besoins/contraintes étant souvent spécifique à chaque substance. De plus, l'éloignement géographique des fournisseurs/clients et des incompatibilités entre les différentes

substances chimiques peuvent faire en sorte qu'il est impossible de jumeler le transport de certains produits.

Nous avons déjà indiqué, qu'en raison de cette particularité du modèle, certaines entreprises hors-normes pourraient avoir de la difficulté à adapter le modèle à leurs besoins. Les études de cas ont cependant démontré que le transport combiné de certaines substances n'est pas utilisé exclusivement par ces entreprise dites hors-normes (ex: distributeurs transigeant plusieurs milliers de substances différentes). En effet, dans la première étude de cas, nous avons vu que les substances S_1 et S_2 partagent la même liste de fournisseurs.

Dans le cadre de la thèse, le modèle d'aide à la décision est conservé dans sa forme actuelle puisqu'il permet largement de répondre aux principales questions de recherche (interaction entre les facteurs risques et coût) et que la possibilité de combiner certaines substances lors du transport demeure rare. Éventuellement le modèle pourrait être bonifié afin d'inclure cette possibilité. Étudier chaque possibilité n'est pas nécessairement pertinent, mais le modèle pourrait permettre de consolider ou non, certains groupes de matières dangereuses présélectionnés.

Notons cependant, que le fait de consolider certains envois/approvisionnements de matières dangereuses afin de diminuer les frais de transport entraîne une augmentation des volumes des convois. S'il s'agit d'une option certes avantageuse financièrement, elle entraîne cependant une hausse du potentiel de danger. La hausse exacte relève du cas par cas, mais il est raisonnable de croire que le risque demeure en deçà de la somme des risques associés aux flux non-combinés.

5.2.3.5. Effets de la responsabilité légale

Nous avons vu au chapitre 1 que les expéditeurs de matières dangereuses sont en partie légalement responsables (responsabilité partagée avec le transporteur et le conducteur pour certains types d'infractions) des convois de matières dangereuses tant qu'ils ne sont pas arrivés à destination finale. Par la suite, nous avons vu au chapitre 3 bien des entreprises semblent se désintéresser des activités de transport, malgré ce principe de responsabilité légale. Nous avons souligné le fait que la responsabilité légale ne touche cependant que les expéditions de matières dangereuses, et non les approvisionnements pourtant beaucoup plus nombreux, ce qui peut contribuer au phénomène de désintéressement.

Les études de cas présentées ont montré que la prise de décision logistique (mode de transport, sous-traitance, choix du transporteur) est bien souvent effectuée par le client et non l'expéditeur comme le voudrait le principe de responsabilité légale. Il existe donc un décalage entre la loi et les pratiques observées sur le terrain. Cette situation devrait être examinée plus en détails.

Par ailleurs, la première étude de cas présentée illustre une réalité intéressante. En approvisionnement, lorsque des frontières internationales sont franchies, le client devient légalement responsable des matières dangereuses dès leur entrée au pays. Pour les substances S_1 et S_2, l'entreprise serait donc responsable des matières dangereuses sur une portion non-négligeable du trajet si le fournisseur S_{12} (États-Unis) était sélectionné, mais ne le serait pas si le fournisseur S_{11} (Ontario) était sélectionné (voir Figure 5.6 : Modélisation des choix logistiques pour la substance S1). Dans un tel contexte, plusieurs entreprises pourraient être portées à favoriser des fournisseurs locaux.

Le modèle d'aide à la décision ne tient par directement compte du principe de responsabilité légale, mais c'est un fait qu'il faut garder en tête lors de l'identification des options logistiques et lors de l'analyse des résultats.

5.3.Analyses de sensibilité

Le modèle d'aide à la décision suggéré, des études de cas et un outil informatique ont été présentés aux sections précédentes. Ceci a permis de répondre à l'objectif principal de la recherche visant le développement d'un modèle d'aide à la décision dédié aux entreprises et minimisant simultanément les risques et les coûts d'exploitation. Les questions entourant l'interaction entre les facteurs risques et coûts demeurent pourtant sans réponse. Bien des indices suggèrent cependant que les pertes financières subies par l'entreprise en cas d'accident ne dissuaderaient pas les entreprises de recourir à l'option la plus risquée. En effet, les études de cas présentées montrent que le facteur risque vient bien souvent au dernier rang lors de la prise de décision logistique. Afin de mieux comprendre le point de vue des entreprises, des analyses de sensibilité doivent être effectuées à l'aide du modèle élaboré.

Cette section présente les analyses de sensibilité effectuées. L'exemple du transport routier, seul mode de transport pour lequel des données sont disponibles, est utilisé.

5.3.1. Données disponibles

L'étude produite par le FMCSA (*Federal Motor Carrier Safety Administration*) (FMCSA, 2001) fournit de nombreux indices afin de déterminer les coûts associés à un accident de matières dangereuses. Dans cette étude, l'ensemble des accidents MD routiers contenus dans la base de données américaine HMIS (*Hazardous Materials Information System*) a été analysé afin d'en déterminer le coût exact. Pour y parvenir, les facteurs suivants ont étés pris en considération:

- les décès et les blessures ;
- la décontamination ;
- les dommages matériels subits par le transporteur ;
- les dommages à la propriété ;
- le coût des évacuations ;
- les pertes de produits ;
- les retards induits par la congestion routière résultante ;
- les dommages environnementaux.

Alors que les chiffres liés à la décontamination, aux pertes de produits, aux dommages matériels subits par le transporteur et aux dommages à la propriété ont directement été tirés des montants indiqués par les entreprises dans la base de données HMIS, les autres facteurs de coût ont dû être soit ajustés ou estimés par le FMCSA (dollars américans). Par exemple, les coûts liés aux décès et aux blessures ont été compilés de la façon suivante: 2 800 000$ par décès, 400 000$ par blessures majeures (hospitalisation) et 4000$ par blessure mineure, suivant les évaluations du NHTSA (*National Highway Transportation Safety Administration*). Les coûts liés aux évacuations ont pour leur part été estimés à 1000$ par personne, suivant les évaluations du TRB (*Transportation Research Board*) et du FRA (*Federal Railroad Administration*). Alors que plusieurs sources de données ont du être utilisées afin d'estimer les coûts liés à la congestion routière à 15$ par heure•personne, les coûts des dommages environnementaux ont été estimés à partir de données historiques de règlement judiciaires, pour chaque classe de MD.

Le tableau 5.1 présente l'ensemble des coûts associés aux accidents routiers de matières dangereuses (avec ou sans déversement) survenus sur le territoire américain en 1996 (année de

référence de l'étude du FMCSA). Notons que le nombre d'accidents MD contenu dans le HMIS a été ajusté par le FMCSA afin de tenir compte des omissions de déclaration.

Tableau 5.1 : Coûts ($US) associés aux accidents de matières dangereuses (États-Unis, 1996)

Classe MD	Décontamination	Perte de produits	Dommages transporteur	Dommages propriété	Dommages environ.	Blessés	Décès	Évacuations	Congestion routière	TOTAL
1.1-1.3	29 000	4000	240 000	700 000	4900	2200 000	3100 000	2962 500	530 000	9700 000 (0.94%)
1.4-1.6	22 000	13 000	640 000	260 000	5600	5000 000	4600 000	210 000	1180 000	12 000 000 (1.16%)
2.1	68 000	54 000	5200 000	640 000	130 000	45 400 000	44 000 000	690 000	10 380 000	107 000 000 (10.33%)
2.2	24 000	62 000	4900 000	70 000	25 000	27 600 000	25 000 000	230 000	6570 000	64 600 000 (6.26%)
2.3	610	2500	98 000	200 000	110 000	2700 000	2800 000	176 000	440 000	6500 000 (0.63%)
3	15 600 000	1600 000	36 100 000	17 600 000	1800 000	232 000 000	254 000 000	90 000	52 800 000	611 000 000 (59.23%)
4	130 000	25 000	300 000	110 000	4300	4900 000	6200 000	150 000	1210 000	13 000 000 (1.26%)
5	150 000	52 000	950 000	50 000	30 000	9400 000	5300 000	52 000	2280 000	18 300 000 (1.77%)
6	530 000	120 000	610 000	96 000	15 000	8800 000	4300 000	2180 000	1860 000	18 600 000 (1.80%)
7	5500	3600	68 000	5900	11 000	2600 000	1400 000	500	440 000	4500 000 (0.44%)
8	1140 000	358 421	5100 000	620 000	53 000	44 900 000	35 000 000	1230 000	9470 000	97 900 000 (9.49%)
9	810 000	110 000	3900 000	630 000	48 000	31 500 000	25 000 000	10 000	6610 000	68 900 000 (6.68%)
TOT	18 500 000 (1.80%)	2400 000 (0.23%)	58 100 000 (5.63%)	20 900 000 (2.03%)	2200 000 (0.22%)	417 000 000 (40.40%)	411 000 000 (39.84%)	7990 000 (0.77%)	93 800 000 (9.09%)	1 032 000 000 (100%)

Source: (FMCSA, 2001)

Les pertes financières associées aux accidents de matières dangereuses ont par la suite été divisées par la distance totale annuelle parcourue par les matières dangereuses aux États-Unis en 1996 afin d'obtenir un coût par mille parcouru, par classe de matières dangereuses. Avant de présenter ces résultats, notons que les différentes catégories de coûts peuvent être séparées entre les acteurs impliqués dans l'accident. Alors que les entreprises assumeront les coûts de décontamination, les pertes de produits et les dommages matériels subits par le transporteur, les autres types de coûts seront assumés par le public et les gouvernements. Le tableau 5.2 présente les coûts linéaires calculés par le FMCSA (coûts par mille parcouru ici transformés en coûts par

kilomètre et actualisés en dollars américain de 2009) ainsi que la répartition des coûts entre les différents acteurs ici évaluée.

Tableau 5.2 : Accidents de matières dangereuses - coût par kilomètre parcouru

Classe de matières dangereuses	Coût au kilomètre *	Répartition des coûts	
		Entreprises	Public et gouvernements
1.1 - 1.3	0.37	2.81%	97.19%
1.4 - 1.6	0.22	5.63%	94.37%
2.1	0.11	4.97%	95.03%
2.2	0.04	7.72%	92.28%
2.3	0.15	1.56%	98.44%
3	0.19	8.72%	91.28%
4	0.25	3.50%	96.50%
5	0.08	6.29%	93.71%
6	0.10	6.77%	93.23%
7	0.12	1.71%	98.3%
8	0.06	6.74%	93.26%
9	0.25	7.00%	93.00%
MOYENNE	0.12	7.66%	92.34%

* Dollars américains, 2009

Les accidents routiers de matières dangereuses ont donc un coût moyen de 0,12$ par kilomètre parcouru. Les classes 1, 4 et 9 présentent les coûts les plus élevés, probablement en raison des dangers liés à ces substances. Puisque les coûts liés aux blessures et aux décès représentent 80,24% de la facture totale et que les coûts liés à la congestion routière représentent 9,09% de la facture totale, les coûts assumés par l'entreprise peuvent uniquement représenter un faible pourcentage de la facture. Ce pourcentage varie entre 1,56% pour la classe 2.3 et 8,72% pour la classe 3, pour une moyenne de 7,66%. Cependant, nous croyons que les coûts assumés par les entreprises sont probablement plus élevés que ceux que nous venons de calculer, l'étude du FMCSA n'ayant pas tenu compte des délais de production et des frais judiciaires. De plus, Knight et Pretty (1991) ont démontré que certaines compagnies ne se relèvent jamais complètement d'un accident industriel et subissent des conséquences financières à long terme en raison de la perte d'image corporative (grandement liée au principe d'acceptabilité du risque).

Wright (1992) a analysé 70 accidents canadiens impliquant des matières dangereuses afin de déterminer le coût de tels évènements. En plus des facteurs de coûts déjà identifiés par le FMCSA, les pertes de production et les frais judiciaires ont été considérés. Cependant, les coûts

de la congestion routière ont été omis. Selon ces paramètres, les accidents de matières dangereuses auraient un coût moyen estimé de 594 300$. Ces chiffres sont probablement surestimés en raison de l'échantillon considéré. Cependant, au-delà des chiffres exacts, nous posons l'hypothèse que la répartition des coûts, telle qu'estimée par Wright, devrait demeurer relativement inchangée: 50,48% pour les entreprises et 49,52% pour le public et les gouvernements.

Lorsqu'on compare les deux répartitions de coûts et qu'on tient compte des différents facteurs inclus dans les études, il est possible, à l'aide de quelques opérations mathématiques, d'évaluer les coûts réels et leur répartition réelle (cependant sans tenir compte des conséquences à long terme sur l'image corporative). Le coût moyen de 0,12$ par kilomètre parcouru (FMCSA) passe à 0,208$ par kilomètre (dollars américains de 2009) réparti de la façon suivante: 46,60% pour l'entreprise (plutôt que 7,66%) et 53,40% pour le public et les gouvernements (au lieu de 92,34%).

5.3.2. Analyses

Les données présentées ci-dessus sont analysées dans cette section afin de vérifier la façon dont les facteurs risque (pertes monétaires) et coûts interagissent. L'influence des facteurs organisationnels est également abordée.

5.3.2.1. Interaction entre les facteurs risques et coûts

Les études de cas présentées à la section 5.2 ont montré que le facteur risque vient bien souvent au dernier rang lors de la prise de décision logistique. La première firme rencontrée (grand utilisateur de matières dangereuses) affirme que le coût du produit (et sa disponibilité) prend simplement le dessus sur les autres critères de décision. Est-ce réellement le cas? Les pertes financières subies par l'entreprise en cas d'accident pâlissent-elles lorsque comparées aux autres dépenses? Les données recueillies montrent que les accidents routiers de matières dangereuses représentent un coût de 0,208$ au kilomètre, partagé entre les entreprises (0,097$/km ou 46,60% de la facture) et le public et les gouvernements (0,111$/km ou 53,40% de la facture). Combinées au modèle d'aide à la décision proposé dans la thèse, ces données permettent de répondre à ces questions en montrant la façon dont les facteurs coût et risque (pertes monétaires) interagissent.

Reprenons l'exemple présenté à la section 5.2.2 où la seconde entreprise rencontrée (petit utilisateur de matières dangereuses) cédait une matière dangereuse résiduelle à l'un des quatre clients identifiés, la possibilité de vente aux États-Unis étant écartée en raison des contrôles frontaliers. Sachant qu'une vingtaine de convois de cette MDR sortent de l'entreprise à chaque année, calculer le risque associé à chaque option logistique est possible. La figure 5.11 résume la situation. Rappelons qu'il s'agit de dollars américains de 2009.

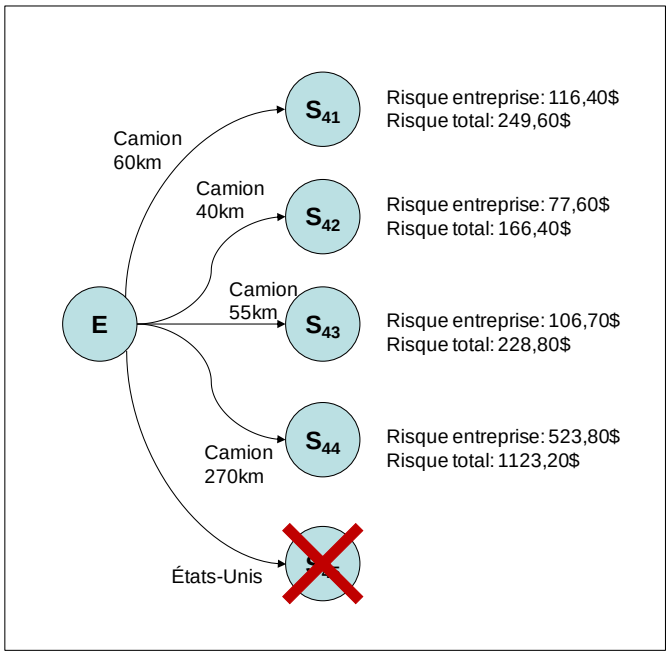


Figure 5.11 : Retour sur la deuxième étude de cas - estimation du risque

Les quatre options logistiques à l'étude présentent un risque annuel (part de l'entreprise) allant de 77,60$ à 523,80$. Il existe donc une différence de 446,20$ entre l'option la plus risquée et l'option la moins risquée. Cet exemple est particulièrement intéressant car comme la matière dangereuse est cédée et non vendue au client, le facteur risque est le seul élément pouvant influencer la prise de décision. Notons cependant que, même si l'expéditeur (le décideur dans ce cas-ci) demeure en partie légalement responsable des matières dangereuses tant qu'elles ne sont pas arrivées à destination finale, les coûts seront répartis entre les différents acteurs de la chaîne logistique (expéditeur, transporteur, client final). Dans ce cas-ci, on peut imaginer que les délais de production toucheront uniquement le client final, que les dommages matériels toucheront

uniquement le transporteur alors que les frais judiciaires seront répartis entre l'expéditeur et le transporteur. Ce fractionnement des coûts diminue certainement leur importance aux yeux du décideur.

Dans une situation où la matière dangereuse était vendue et non cédée au client, le facteur risque (qui représente seulement une fraction de 0,097$/km pour le décideur) devrait de plus compétitionner avec le prix offert par les clients (ou le coût d'achat dans le cas d'approvisionnements) et les frais de transport. Le risque est donc effectivement souvent négligeable face aux autres critères de décision (cependant, ne tient pas compte de l'avenue empruntée par Knight et Pretty (1996), qui ont démontré que certaines compagnies subissent des conséquences financières à long terme en raison de la perte d'image corporative).

Même si l'ensemble des conséquences de l'accident était facturé au décideur, ce ne serait peut-être pas suffisant pour influencer significativement la prise de décision. En effet, en tenant compte de l'ensemble des répercussions (risque pour l'entreprise et pour la société), la différence entre les quatre options logistiques présentées à la figure 5.16 serait de 1106,80$ pour une vingtaine de convois de matières dangereuses. Le public et les gouvernements perçoivent certainement les choses autrement, le coût annuel des accidents de matières dangereuses étant évalués à 1,2 milliards $US sur le territoire américain (1,032 milliards $US pour l'année de référence 1996) (FMCSA, 2001).

La principale raison expliquant le peu d'importance que les entreprises accordent au critère risque lors de la prise de décision logistique est sans conteste le fait que les accidents de matières dangereuses soient des évènements de faible probabilité (*Low-Probability-High-Consequence events*). Le coût au kilomètre est donc relativement faible et planifier en fonction d'un accident relativement improbable peut sembler surréaliste. Pourtant, avec un coût estimé à 594 300$ (dont 50,48% doit être assumé par les entreprises) (Wright, 1992), les accidents de matières dangereuses entraînent des pertes non-négligeables et, lorsqu'ils surviennent, cette facture modifie certainement la façon dont l'entreprise voit les choses.

Afin de conscientiser davantage les entreprises, quelques avenues peuvent être envisagées. Des législations additionnelles pourraient encadrer les activités logistiques des entreprises œuvrant dans le domaine des matières dangereuses (accompagnées des conséquences parfois néfastes que

l'introduction de nouvelles réglementations peut avoir sur la santé financière du secteur industriel) ou des pénalités additionnelles pourraient être imposées au décideur premier en cas d'accident, agissant de manière dissuasive.

Finalement, notons qu'un élément joue cependant en faveur de la réduction du risque. Dans les cas où la différence de frais de transport entre les options logistiques est plus marquée que la différence de prix offerts, l'option la plus risquée pourrait être éliminée d'emblée, le risque étant ici fonction de la distance (évaluation sommaire uniquement). Ces frais de transport sont estimés 0.117$ (dollars canadiens de 2002) par tonne•kilomètre pour les marchandises générales (un seul convoi de MD pouvant contenir plusieurs tonnes) et ces prix devraient être plus élevés dans le cas de matières dangereuses en raison des exigences supplémentaires (de Marcellis-Warin et al., 2007).

5.3.2.2. Influence des facteurs organisationnels

Le risque (pertes monétaires) calculé jusqu'ici est en fait un coût moyen par kilomètre parcouru, pouvant, dans la réalité, varier selon divers éléments dont la qualité organisationnelle du transporteur retenu. Afin de vérifier l'influence exacte de la qualité organisationnelle du transporteur, utilisons le facteur de qualité organisationnelle α développé au chapitre 4. Rappelons que ce facteur agit telle une fonction modulant le niveau de risque physique soit à la hausse ou à la baisse.

$$R^{TOT} = \alpha R^{PHY} \tag{5.3}$$

Le risque utilisé par le modèle d'aide à la décision proposé correspond à ce risque total (risque physique pondéré par le facteur de qualité organisationnelle). Nous avons obtenu des distributions de taux d'accidents et nous avons élaboré un modèle prédictif permettant d'estimer le facteur de qualité organisationnelle d'une entreprise donnée et d'évaluer le risque total présenté par une option logistique. Les tests statistiques effectués ont retenu trois facteurs organisationnels pour ce modèle prédictif : le nombre de MD reçues (question *C2*), tenir compte du critère « sécurité » lors des choix liés au transport (question *F1c*) et les contrats à long terme avec les sous-traitants (question *G4*).

$$\alpha = 0.776 + 0.192(C2) - 0.172(F1c) - 0.121(G4) + \varepsilon \quad (5.4)$$

Les éléments *C2* et *F1c* et *G4* réfèrent aux réponses obtenues, données recodées dans le cas des questions C*2* et *G4*, à ces différentes questions. Ces trois facteurs organisationnels demandant une réponse de type binaire (0,1), il en résulte une fonction « en paliers » n'ayant pas nécessairement la finesse souhaitée pour différencier efficacement la qualité organisationnelle des entreprises. Par conséquent, afin d'évaluer l'influence des facteurs organisationnels sur le modèle d'aide à la décision (et sur la prise de décision), nous allons plutôt utiliser une distribution de taux d'accident.

En l'occurrence, nous utiliserons la distribution des écarts en pourcentage existant entre les 2562 taux de cotisation personnalisés transmis par la CSST (les entreprises facturées au taux de l'unité ont été retirées) et leur unité de classification respective. Cette distribution, présentée au chapitre 4 avait une moyenne de 0,893. Cependant, une entreprise ayant une mauvaise performance devant nécessairement avoir un facteur de qualité organisationnel α supérieur à 1 (et inférieure à 1 dans le cas d'une bonne performance), la distribution doit être recentrée sur 1.000. Pour y parvenir les écarts existants entre les taux de cotisation personnalisés et leur unité de classification respective ont donc été divisés par la moyenne de la population générale (0.893). Nous réfèrerons à cette nouvelle donnée, correspondant au facteur de qualité organisationnelle, par le terme « écart normalisé ». La distribution obtenue suite à ce procédé présentée à la figure 5.12.

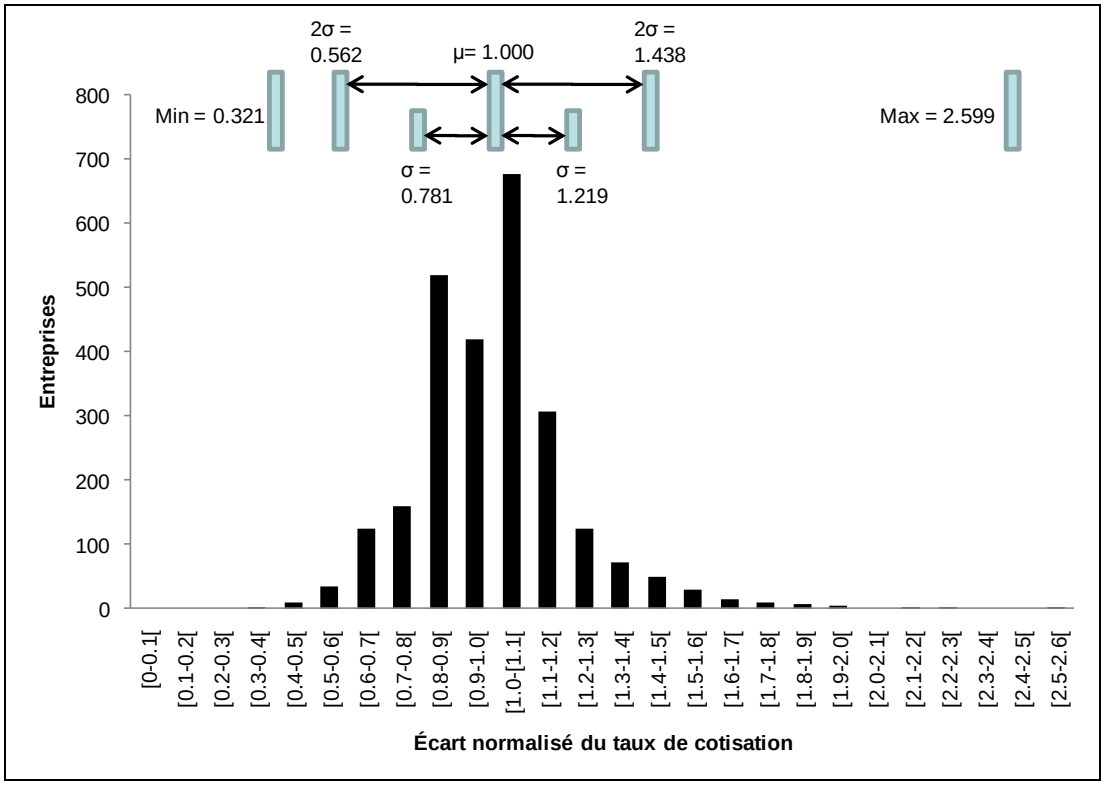


Figure 5.12 : Distribution des écarts normalisés

Cette distribution a une moyenne de 1,000 et un écart type de 0,219 alors que le minimum recensé est de 0,321 et le maximum recensé est de 2,599. La majorité des entreprises se situant généralement en deçà de deux écarts types de la moyenne, elles auront donc des facteurs de qualité organisationnelle variant entre 0,562 et 1,438. Concrètement, ceci signifie que selon l'entreprise, on peut s'attendre à ce que le niveau de risque réel varie jusqu'à 43,8% autour du risque physique calculé.

Bien qu'il s'agisse de la distribution des taux d'accident recensés dans les sites fixes utilisant des MD, imaginons quelques instants qu'une distribution similaire soit observée chez les transporteurs de MD. Le coût moyen de 0,208$ par kilomètre parcouru enregistré pour les accidents routiers de matières dangereuses, varierait donc plutôt entre 0,117$ et 0,299$ selon le transporteur retenu et la part des entreprises, évaluée à 0,097$ par kilomètre parcouru, varierait entre 0,545$ et 0,139$. Reprenons, encore une fois, l'exemple présenté à la section 5.2.2 où l'entreprise rencontrée cédait une matière dangereuse résiduelle à l'un de quatre clients identifiés (la possibilité de vente aux États-Unis écartée). Sachant qu'une vingtaine de convois de cette

MDR sortent de l'entreprise à chaque année, il est possible de calculer le risque minimal et maximal associé à chaque option logistique. Les résultats (dollars américains de 2009) sont présentés à la figure 5.13.

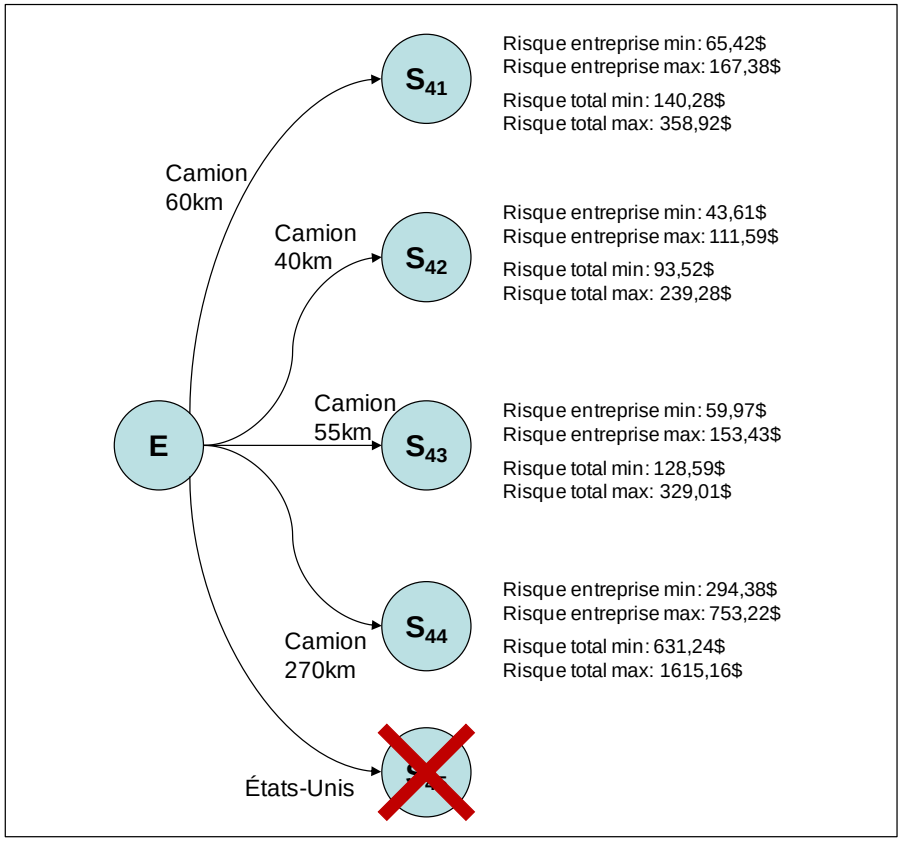


Figure 5.13 : Retour sur la deuxième étude de cas - influence des facteurs organisationnels

Le risque (part de l'entreprise) associé aux quatre options logistiques présente donc des variations allant de 67,98$ annuel pour l'option la moins risquée et à 458,84$ annuel pour l'option la plus risquée. Encore une fois, notons que même si l'expéditeur demeure en partie légalement responsable des matières dangereuses tant qu'elles ne sont pas arrivées à destination finale, les coûts seront répartis entre les différents acteurs (expéditeur, transporteur, client final). Dans ce cas-ci, les délais de production toucheront uniquement le client final, les dommages matériels toucheront uniquement le transporteur et les frais judiciaires seront probablement répartis entre l'expéditeur et le transporteur.

Bien que le niveau de risque associé à différents transporteurs puisse faire réfléchir, les pertes monétaires subies par le décideur suite à un accident ne sont probablement pas suffisantes pour influencer à elles seules la prise de décision. D'ailleurs rappelons que selon les résultats de l'enquête par questionnaire présentée au chapitre 3, 82,0% des répondants affirmaient tenir compte du coût lors de la sélection d'un transporteur, alors que 65,2% tenait compte de sa maîtrise de la sécurité, 53,9% tenaient compte de sa réputation et 30,3% tenaient compte de ses accidents passés.

5.4. Outil informatique: prototype

Un prototype d'outil informatique basé sur le modèle d'aide à la décision a été développé afin de faciliter sa mise en application dans un contexte réel, une entreprise n'ayant qu'à saisir les informations relatives aux options logistiques disponibles avant que l'optimisation s'effectue automatiquement. Cet outil est ici présenté, puisqu'il permet d'illustrer le fonctionnement du modèle d'aide à la décision.

Cependant, l'application du modèle dans un contexte réel est limitée par la disponibilité des données. En effet, pour le calcul du risque, seules les données relatives au transport routier sont disponibles. Les données relatives aux autres modes de transport et au stockage temporaire demeurent inconnues, certaines informations n'étant simplement pas colligées à l'heure actuelle. Le modèle d'aide à la décision est pour le moment fonctionnel pour le transport routier (sélection d'un transporteur) qui est de loin le plus répandu.

Par conséquent, dans ce prototype, les données utilisées lors de l'optimisation des choix logistiques (risque lié aux différents modes de transport, etc.) sont fictives. L'utilisation de ces données a permis de tester son bon fonctionnement. Dès que les données relatives aux autres modes de transport seront disponibles, ce prototype pourra être transformé en outil informatique.

Par ailleurs, notons que le modèle prédictif permettant d'évaluer la qualité organisationnelle des entreprises est ici utilisé sous l'hypothèse de s'appliquer à l'ensemble des types d'acteurs (transporteurs, plates-formes multimodales, sites de stockage temporaire, etc.)

5.4.1. Structure et fonctionnement de l'outil informatique

Avant même d'élaborer le système d'information, les données qu'il devra stocker ont du être identifiées. Il existe en fait deux grands types de données: (1) les informations relatives aux options logistiques disponibles et (2) les informations permettant de calculer le niveau de risque présenté par ces options logistiques. Alors que les données relatives au risque (ex.: coût par kilomètre parcouru pour chaque mode de transport et chaque classe de matières dangereuses) peuvent être stockées dans une table indépendante, les informations relatives aux options logistiques disponibles doivent être structurées en respectant les règles de normalisation de données. Un modèle relationnel de données (MRD), présenté à la figure 5.14, a donc été élaboré.

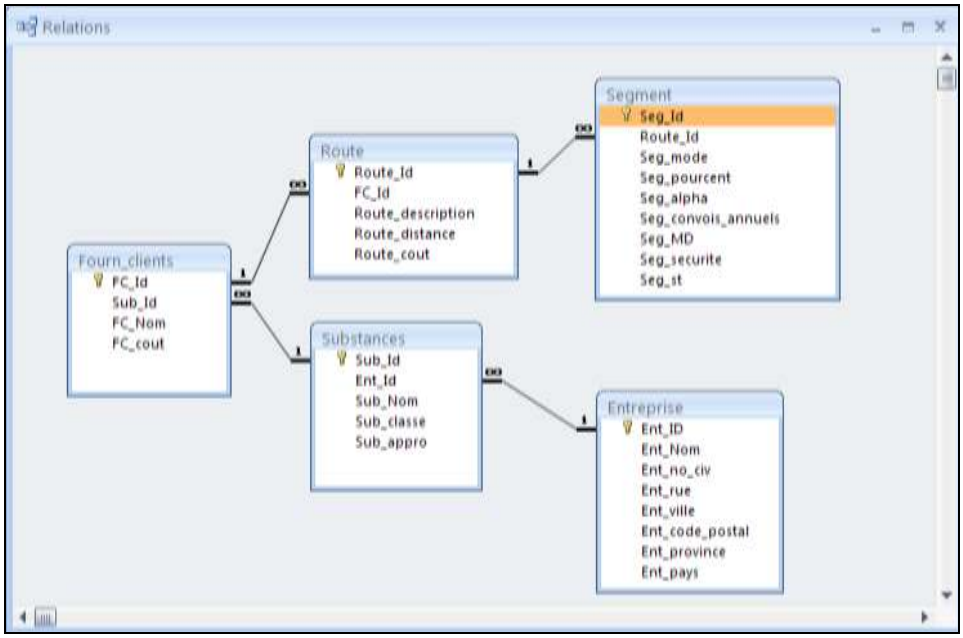


Figure 5.14 : Modèle relationnel de données

Ce MRD a été conçu partant du principe que chaque entreprise (table «*Entreprise*») transige un certain nombre de matières dangereuses (en approvisionnement ou distribution) (table «*Substances*») auxquelles sont associés des clients ou fournisseurs (table «*Fourn_clients*»). Pour chaque client/fournisseur, un certain nombre d'options de transport (table «*Route*») composées d'un certain nombre de segments (table «*Segment*») sont disponibles. Chaque segment est défini par un mode de transport, une distance à parcourir, un nombre de convois annuels et un facteur de

qualité organisationnel. Notons que pour les besoins de la situation, le stockage temporaire entre deux modes de transport est considéré, dans la table *Segment*, en tant que mode de transport auquel sera associée une durée de stockage plutôt qu'un nombre de convois annuels.

Alors que les données relatives aux options logistiques (MRD) doivent être saisies par l'usager, les données relatives au risque, stockées dans une table indépendante sont communes à toutes les situations et sont déjà inclus dans l'outil informatique. La figure 5.15 offre un aperçu de ces données (fictives) où un coût par kilomètre parcouru (risque) est associé à chaque mode de transport et chaque classe de matières dangereuses. Une distinction est faite entre le coût pour l'entreprise et le coût pour la société.

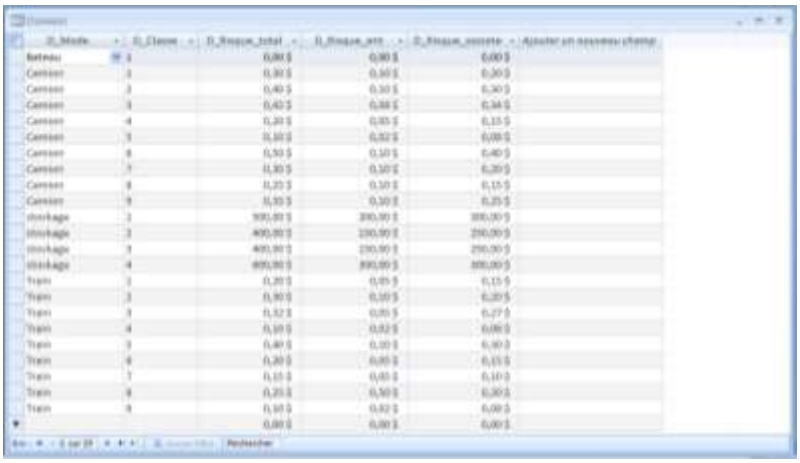


Figure 5.15 : Données relatives au risque (données fictives)

La grande force du système d'information réside sur le fait qu'une fois que les données ont été recueillies, l'optimisation des choix logistiques s'effectue automatiquement suivant le modèle proposé dans la thèse :

$$\min \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} (R_{ijk} + c_{ijk}) \tag{5.5}$$

Pour y parvenir, une série de procédures écrites en langage VBA (*Visual Basic for Applications*) a été élaborée. Cette série de procédures est composée de:

- *Procédure «alpha»* : Permet de calculer le facteur de qualité organisationnelle α associé à chaque segment de transport à partir du modèle prédictif élaboré au chapitre 4 et des données organisationnelles indiquées par l'usager.
- *Procédure «kilometrage»* : Permet d'évaluer, pour chaque segment de transport, le kilométrage annuel à partir des données indiquées par l'usager (distance à parcourir pour l'option de transport, pourcentage de la distance associé au segment de transport et nombre de convois annuels).
- *Procédure «risque»* : Permet d'évaluer, pour chaque segment de transport, le risque (pertes financières) pour l'entreprise et le risque (pertes financières) pour la société à l'aide du facteur de qualité organisationnelle, du kilométrage parcouru (ou du nombre de jours de stockage) et des données relatives au risque (ex.: coût par kilomètre parcouru pour chaque mode de transport et chaque classe de matières dangereuses).
- *Procédure «cout_achat»* : Permet de retranscrire, dans une table, pour chaque option logistique (combinaison client/fournisseur / option de transport), le coût d'achat ou de vente annuel indiqué par l'usager.
- *Procédure «cout_transport»* : Permet d'ajouter à la table, pour chaque option logistique, le coût d'exploitation annuel. Ce coût d'exploitation est calculé en additionnant le coût annuel de transport indiqué par l'usager et le risque (pertes monétaires). Si l'entreprise a indiqué vouloir tenir uniquement compte de la part des entreprises, lors de l'évaluation du risque, seul le risque pour l'entreprise sera utilisé lors du calcul des coûts d'exploitation. Dans le cas contraire, le risque pour l'entreprise et le risque pour la société seront utilisés.
- *Procédure «cout_total»* : Permet de calculer, pour chaque option logistique, le coût total en additionnant le coût d'achat ou de vente annuel et le coût d'exploitation annuel.

L'interface développée afin de permettre aux entreprises d'interagir avec le système et de saisir les données relatives aux options logistiques est présentée à la section suivante. Suivre pas à pas les étapes présentées à l'usager permet d'illustrer le fonctionnement du modèle d'aide à la décision.

5.4.2. Utilisation de l'outil informatique

L'outil informatique serait incomplet sans une interface permettant aux entreprises d'interagir avec le système. Une série d'écrans guideront donc l'utilisateur au travers des différentes étapes menant à l'optimisation des choix logistiques. Le premier écran, présenté à la figure 5.16, permet simplement de visualiser les données de l'entreprise et de sélectionner la matière dangereuse pour laquelle on désire effectuer l'optimisation. L'entreprise doit également indiquer si elle désire considérer uniquement le risque qu'elle devra assumer (part des entreprises) ou si elle désire considérer l'ensemble du risque (part des entreprises et part de la société).



Figure 5.16 : Outil informatique: sélection de la matière dangereuse visée

Pour sa part, le deuxième écran présenté à l'usager permet de définir la liste des fournisseurs ou des clients disponibles pour la matière dangereuse sélectionnée. Un coût d'achat ou de vente annuel doit être associé à chaque fournisseur/client.

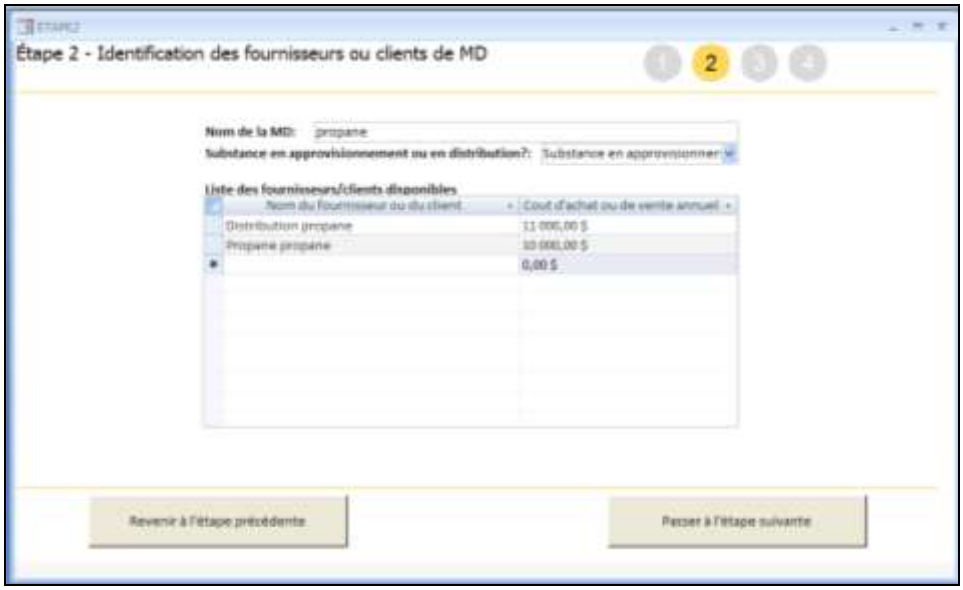


Figure 5.17 : Outil informatique: identification des clients/fournisseurs

Le troisième écran présenté à l'usager recueille davantage d'informations. Pour chaque fournisseur/client identifié (liste à gauche de l'écran sur la figure suivante), les différentes options de transport disponibles doivent être définies. Pour chaque option de transport, la distance approximative à parcourir et le coût annuel du transport doivent être indiqués.

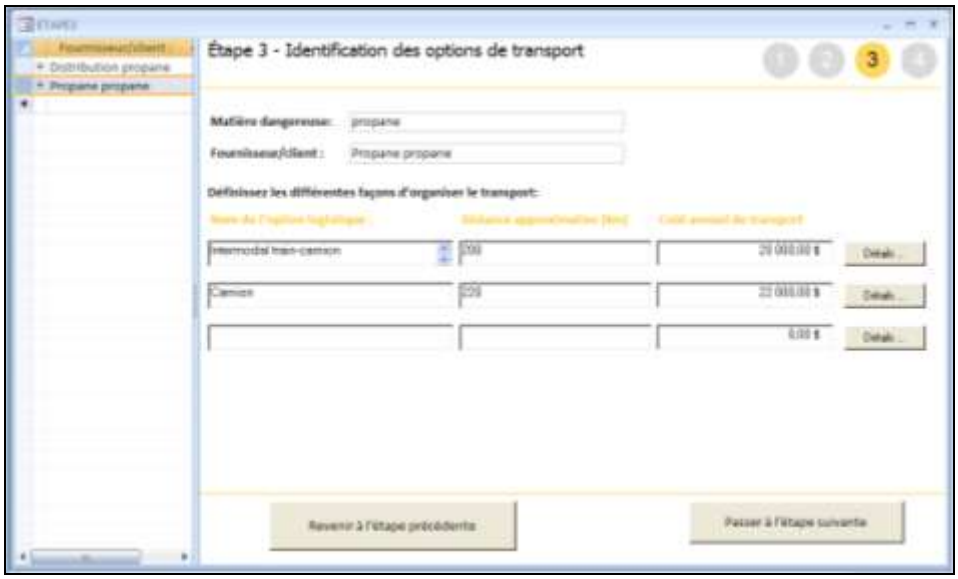


Figure 5.18 : Outil informatique: identification des options de transport

En cliquant sur le bouton «*Détails*» figurant à côté de chaque option de transport, des informations sur les segments de transport peuvent être indiquées. Pour chaque segment de transport, le mode de transport, le pourcentage de la distance totale associé au segment de transport, le nombre de convois par année et les données organisationnelles permettant de calculer le facteur de qualité organisationnelle doivent être identifiés.

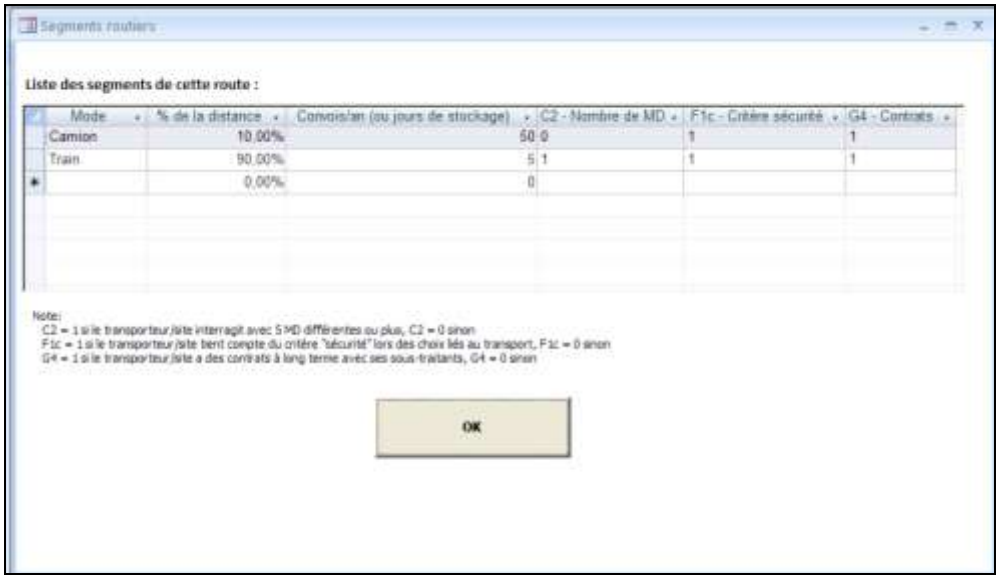


Figure 5.19 : Outil informatique: détails des segments composant l'option logistique

Lorsque l'usager passe à la dernière étape, la série de procédures décrite à la section précédente et permettant d'optimiser les choix logistiques définis est lancée. Le calcul des coûts (somme des coûts et des risques) s'effectue automatiquement. Le facteur de qualité organisationnel et pris en compte et calculé à partir des informations saisie (voir figure 5.1.9).

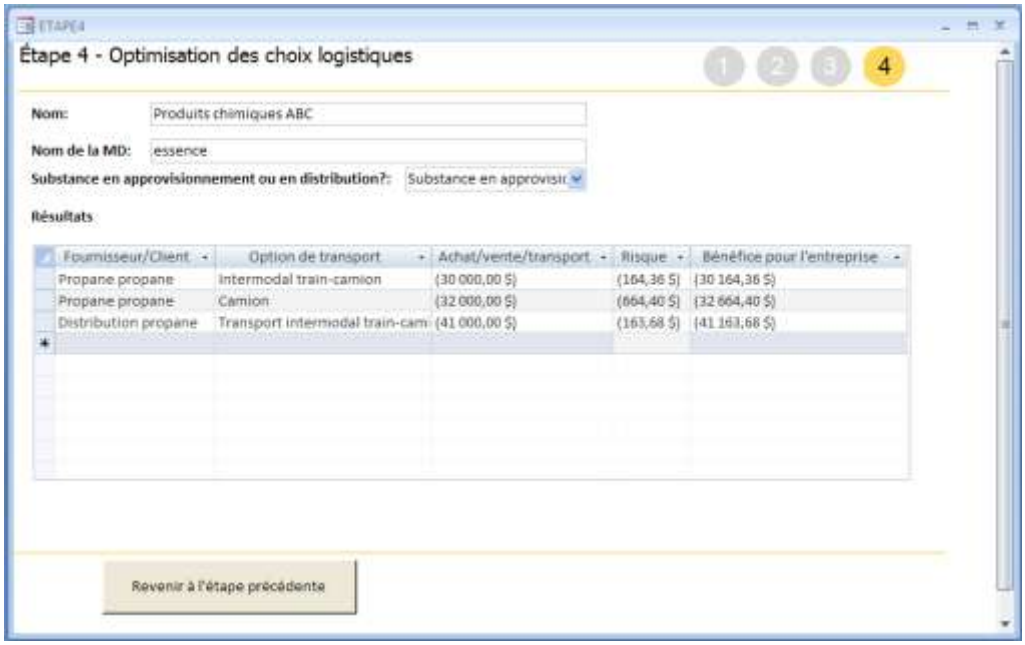


Figure 5.20 : Outil informatique: optimisation des choix logistiques

Le dernier écran présente donc les coûts totaux (somme des coûts et des risques) associés à chaque option logistique. L'option la plus avantageuse pour l'entreprise figure au haut de la liste.

5.5. Conclusion

Avec ce chapitre, nous avons démontré qu'il est possible de modéliser et d'optimiser les choix logistiques MD des entreprises tout en adoptant leur point de vue, objectif principal de la thèse. Les détails du modèle d'aide à la décision (entreprises visées par l'étude, choix logistiques à l'étude, modélisation, optimisation, influence des facteurs organisationnels et interaction entre le modèle et la démarche GLOBAL) ont été abordés. Malgré certaines limites liées aux données, des études de cas illustrant sa mise en application ont été présentées et un outil informatique basé sur le modèle a été développé, afin de valider l'application du modèle dans un contexte réel. De plus, des analyses de sensibilité permettant de vérifier la façon dont les facteurs risques et coûts interagissent et de déterminer si les pertes encourues par l'entreprise en cas d'accident sont suffisantes pour influencer le processus décisionnel des entreprises ont été effectuées afin de répondre au sous-objectif de la thèse.

Avec un risque estimé à 0,097$/km (part des entreprises) partagé entre les différents acteurs de la chaîne logistique (expéditeur, transporteur, client final), les pertes financières en cas d'accident ne sont probablement pas suffisamment élevées pour influencer significativement le décideur premier. Les facteurs organisationnels faisant varier le niveau de risque réel jusqu'à 43,8% autour du risque physique calculé peuvent faire réfléchir, mais ne sont, encore une fois, probablement pas suffisantes pour influencer la prise de décision.

Ces quelques constats viennent appuyer les observations effectuées lors des études de cas, où les entreprises reléguaient souvent le critère risque au dernier rang lors de la prise de décision logistique, et les observations effectuées lors de l'enquête par questionnaire, où 82,0% des répondants affirmaient tenir compte du coût lors de la sélection d'un transporteur, alors que 65,2% tenaient compte de sa maîtrise de la sécurité, 53,9% tenaient compte de sa réputation et 30,3% tenaient compte de ses accidents passés. De plus, ils expliquent le fait que les sites fixes se désintéressent des opérations de transport qu'ils génèrent : les analyses de risque sont rares (27,8% en réalisent souvent ou toujours, comparativement à 58,6% en site fixe), les transporteurs sont rarement soumis à des audits de sécurité (48,4% n'en effectuent jamais) ou à des contrats à long terme (33,7% n'en ont jamais alors que 23,9% en on parfois un).

Si on souhaite modifier les façons de faire et pousser les entreprises à adopter systématiquement l'option la moins risquée (sélection d'un transporteur, sélection des fournisseurs/clients, sélection du mode de transport, etc.) des mesures additionnelles devront être prises par les gouvernements. Des législations pourraient venir encadrer les activités logistiques des entreprises (accompagnées de conséquences parfois néfastes sur la santé financière du secteur industriel) ou des pénalités supplémentaires pourraient être imposées au décideur premier en cas d'accident, agissant de manière dissuasive.

Cependant, même si à l'heure actuelle, rien n'empêche les entreprises de recourir à l'option logistique la plus risquée, elles n'en demeurent pas moins conscientes du danger. D'ailleurs, on observe une meilleure gestion du risque chez les entreprises utilisant des matières dangereuses de classe 1, 4 ou 9 (classes présentant les coûts au kilomètre les plus élevés). Ces résultats obtenus en utilisant le test de Mann-Whitney à l'aide du logiciel SPSS pour Windows, version 11.0, sont présentés aux tableaux 5.3 et 5.4.

Tableau 5.3 : Gestion du risque accompagnant les situations plus risquées

	MOYENNE DES RÉPONDANTS		TAUX DE SIGNIFICATION	
	CLASSES 1,4 et 9	AUTRES	P (K-W)	P/2
Nombre de MD reçues	4.8421	3.9189	0.001	0.0005 ****
Camion en approvisionnement	0.9773	1.0000	0.329	0.1645
Train en approvisionnement	0.2500	0.1429	0.215	0.1075
Bateau en approvisionnement	0.2273	0.1667	0.483	0.2415
Pipeline en approvisionnement	0.1591	0.0476	0.093	0.0465 **
Avion en approvisionnement	0.0455	0.0238	0.587	0.2935
Zones dédiées aux MD	4.8182	4.5957	0.102	0.0510 *
Stockage temporaire				
Sur le site	2.3864	2.1304	0.555	0.2775
Sur des sites n'appartenant pas à l'entreprise	1.2093	1.2889	1.000	0.5000
Sur d'autres sites de l'entreprise	1.5455	1.3333	0.076	0.0380 **
Transport pour diminuer les stocks	3.1136	3.1750	0.919	0.4595
Critère transport - Coût d'entreposage	0.4524	0.4524	1.000	0.5000
Critère transport - Coût de transport	0.9286	0.8810	0.460	0.2300
Critère transport - Sécurité	0.8333	0.7381	0.290	0.1450
Critère transport - Distance/temps	0.4048	0.4524	0.661	0.3305
Critère transport - Fiabilité délais	0.8571	0.7857	0.396	0.1980
Critère transport - Fréquence	0.4762	0.4286	0.663	0.3315
Critère transporteur - Coût	0.8810	0.8750	0.935	0.4675
Critère transporteur - Fiabilité	0.8810	0.9250	0.504	0.2520
Critère transporteur - Accidents	0.4762	0.1500	0.002	0.0010 ***
Critère transporteur - Sécurité	0.6905	0.5500	0.192	0.0960 *
Critère transporteur - Suivi du transport	0.2381	0.2250	0.889	0.4445
Critère transporteur - Certification	0.3333	0.1750	0.103	0.0515 *
Critère transporteur - Réputation	0.5238	0.5250	0.991	0.4955
Critère transporteur - Relation durable	0.5238	0.4750	0.661	0.3305
Analyses de risque sur le site	3.9091	3.3864	0.077	0.0385 **
Analyses de risque en transport	2.9303	2.3590	0.079	0.0395 **
Technologies de suivi en transport (GPS)	1.9211	1.3056	0.038	0.0190 **
Procédures				
Lors du chargement/déchargement	4.4318	4.0000	0.059	0.0295 **
Plus strictes que la loi sur le site	3.8605	3.6512	0.304	0.1520
Plus strictes que la loi en transport	3.3684	3.4615	0.879	0.4395
Communication du risque pour le site	3.2381	2.6765	0.128	0.0640 *
Communication du risque en transport	2.6316	2.1515	0.155	0.0775 *
Mesures de sécurité comme outil de marketing	2.0513	1.5263	0.083	0.0415 **
Registre d'accident/incidents à jour	4.5116	4.2558	0.310	0.1550
Enquête suite à un accident/incident	4.7674	4.6047	0.682	0.3410
Comité SST	0.9318	0.8667	0.311	0.1555
Personnel dédié à la gestion du risque	0.5685	0.6582	0.396	0.1980
Programme de prévention MD	0.7045	0.4444	0.014	0.0070 ***
Séances d'information	0.7073	0.7727	0.494	0.2470

**p<0.1, **p<0.05, ***p<0.01, ****p<0.001*

Tableau 5.4 : Gestion du risque accompagnant les situations plus risquées (variable recodées)

	MOYENNE DES RÉPONDANTS		**TAUX DE SIGNIFICATION**	
	CLASSES 1,4 et 9	AUTRES	P (K-W)	P/2
Seriez-vous prêts à investir davantage en sécurité? *((non, <5% = 0) vs. (5% et plus = 1))*	0.3333	0.1556	0.067	0.0335 **
Avez-vous des contrats à long terme avec vos sous-traitants *((jamais, parfois = 0) vs. (souvent, toujours = 1))*	0.5227	0.2821	0.027	0.0135 **
L'impact d'un accident de transport de votre sous-traitant par rapport à un accident avec vos véhicules est? *((nul, moindre = 0) vs. (similaire, plus important = 1))*	0.5	0.4324	0.551	0.2755
Réalisez-vous des audits de sécurité auprès de vos sous-traitants? *((jamais = 0) vs. (parfois, souvent, toujours = 1))*	0.6744	0.3077	0.001	0.0005 ****

**p<0.1, **p<0.05, ***p<0.01, ****p<0.001*

Les tests statistiques effectués sur les résultats de l'enquête par questionnaire démontrent que les situations les plus risquées sont souvent accompagnées de mesures additionnelles, pour en nommer quelques-unes : analyses de risque, utilisation de procédures, volonté d'investir en sécurité, programme de prévention MD, communication du risque, etc.

CHAPITRE 6. CONCLUSION

Les entreprises font face à un univers complexe lorsqu'elles doivent faire des choix logistiques pour la gestion de leurs matières dangereuses et ces choix sont nombreux : choix d'un mode de transport, entreposer ou transporter plus fréquemment, choix d'un transporteur, etc. De plus, elles doivent faire face à toute une série de facteurs sur lesquels elles ont plus ou moins de contrôle : fournisseurs, clients, partenaires, sous-traitants, réglementation, coûts d'opérations etc. Cependant, les modèles développés étudient quasi-exclusivement le choix d'itinéraires lors du transport de matières dangereuses (planification tactique) et suggèrent des choix logistiques allant parfois à l'encontre des réalités des entreprises qui devraient débourser seules les coûts supplémentaires sans en retirer les bénéfices.

On voit bien dans ce contexte pourquoi une entreprise a de la difficulté à faire des choix logistiques éclairés. Faut-il faire appel à la sous-traitance ou non? Faut-il continuer de diminuer les stocks et transporter davantage ou non? Voilà autant de questions auxquelles les modèles traditionnels proposés dans la littérature peuvent difficilement répondre. Les entreprises ont besoin d'outils adaptés à leur besoins et leur permettant d'effectuer des choix cohérents, minimisant simultanément le risque et les coûts d'opération sur l'ensemble de leur chaîne logistique.

La thèse étudie avant tout le point de vue des sites fixes puisqu'ils sont plus à même d'influencer en profondeur la chaîne logistique MD (choix de fournisseurs, de clients, de modes de transport, de fréquences de transport, etc.) que le sont les transporteurs (choix de l'itinéraire). Le point de vue des sites fixes a donc été adopté afin de réaliser :

> *Le développement d'un modèle d'aide à la décision aidant les sites fixes à poser des choix logistiques MD. Ce modèle adopte le point de vue des entreprises en minimisant simultanément les coûts d'exploitation et les risques d'accidents de matières dangereuses (part assumée par les entreprises parmi les conséquences humaines, environnementales, économiques, etc.).*

Le développement de ce modèle d'aide à la décision passait avant tout par une meilleure connaissance de la situation et des pratiques des entreprises œuvrant dans le domaine des matières dangereuses. Une étude exploratoire permettant de sonder les pratiques des sites fixes œuvrant dans le domaine des matières dangereuses a donc été effectuée. Un questionnaire a donc été élaboré et envoyé à grande échelle au Québec.

L'influence des facteurs organisationnels sur les taux d'accident a été analysée en couplant les données organisationnelles recueillies au cours de l'étude exploratoire à des données accidentelles. Ceci a mené au développement d'un modèle prédictif permettant d'estimer la qualité organisationnelle d'une entreprise donnée. Toutes ces informations ont permis d'élaborer un modèle d'aide à la décision, à l'aide des méthodes classiques de recherche opérationnelle. Ce modèle, validé à l'aide d'études de cas et d'un outil informatique, a également permis de :

> *Vérifier si les pertes encourues par les entreprises lors d'un accident de transport impliquant des matières dangereuses sont suffisantes pour les dissuader d'avoir recours aux options les plus risquées.*

Tout ceci a permis de mieux comprendre le point de vue des entreprises, de les guider lors de la prise de décision et de vérifier si les pertes encourues par l'entreprise en cas d'accident sont suffisamment élevées pour influencer le processus décisionnel.

Au cours de ce chapitre, les principaux résultats obtenus (enquête sur les choix logistiques MD, influence des facteurs organisationnels et modèle d'aide à la décision (incluant les analyses de sensibilité)), une discussion entourant ces résultats et les contributions découlant de la thèse sont tour à tour présentés.

6.1. Retour sur les principaux résultats

6.1.1. Enquête sur les choix logistiques MD

Aucune enquête à grande échelle n'ayant été réalisée, à notre connaissance, auprès des utilisateurs de matières dangereuses, une enquête exploratoire a été effectuée. Cette étude exploratoire

permet de mieux comprendre la situation actuelle et met pour la première fois en relief les stratégies logistiques et les mesures de sécurité adoptées par les entreprises œuvrant dans le domaine des matières dangereuses. Un questionnaire destiné aux sites fixes a été élaboré. Suite à un processus de validation, ce questionnaire a été transmis aux entreprises utilisant des matières dangereuses au Québec. En tout, 490 entreprises du Québec ont reçu ce questionnaire alors qu'il y en aurait eu 759 (incluant plusieurs établissements agricoles exclus de l'enquête) au moment de l'envoi selon le registre d'Environnement Canada.

Suite aux envois postaux, 106 réponses ont été obtenues. En excluant les 23 questionnaires retournés à l'expéditeur (l'entreprise avait fermé ses portes ou avait déménagé), le taux de réponse est donc de 22,7%. L'échantillon recueilli est à la fois composé de petites entreprises, de moyennes entreprises et de grandes entreprises. Environ la moitié des répondants proviennent de l'industrie des produits chimiques ou de la pétrochimie alors que l'autre moitié provient de secteurs connexes (pâtes et papiers, plastiques et composites, etc.).

Les résultats obtenus démontrent une forte activité industrielle. Ainsi, la plupart des répondants manipulent cinq matières dangereuses différentes ou plus en approvisionnement ou en expédition et la fréquence de réception et d'expédition des matières dangereuses est relativement élevée. Avec 98,9% des répondants utilisant le transport routier pour ces approvisionnements et expéditions, il s'agit sans conteste du mode de transport privilégié. De plus, notons que ces activités de transport sont souvent sous-traitées.

Les résultats démontrent que la plupart des entreprises adoptent les mesures de gestion du risque appropriées sur le site de leur entreprise. On retrouve par exemple:

- des comités de santé sécurité au travail;
- des séances d'information relatives aux risques MD;
- des espaces dédiés pour stocker les MD;
- une volonté d'investir davantage en sécurité;
- des registres d'accidents/incidents.

Cependant, les résultats obtenus démontrent également que les sites fixes semblent se désintéresser des activités de transport qu'ils génèrent, malgré ce principe de responsabilité légale donnant une certaine part de responsabilité à l'expéditeur tant que les convois de matières dangereuses ne sont pas arrivés à destination finale. Ce principe de responsabilité légale ne touche que les expéditions de matières dangereuses, et non les approvisionnements pourtant beaucoup plus nombreux, ce qui peut contribuer au phénomène de désintéressement. On retrouve donc, entre autres :

- peu d'audits de sécurité réalisés chez les sous-traitants;
- peu de contrats à long terme entre les parties;
- l'apparition du phénomène de sous-traitance en cascade;
- des entreprises qui ne croient pas qu'un accident de matières dangereuses impliquant leur sous-traitant (avec leurs propres matières) aurait un impact sur leurs activités;
- moins d'analyses de risque en transport que sur le site fixe.

Les entrevues réalisées lors du processus de validation ont montré que même si les entreprises étaient entièrement responsables des convois, plusieurs firmes pourraient toujours être tentées de fermer les yeux sur les activités de transport puisque : ce n'est pas leur équipement, ce ne sont pas leurs employés et leur nom (**e**t leur image) n'est pas associé au véhicule.

Par ailleurs, notons que le questionnaire a été envoyé à différents types d'entreprises (petits et grands utilisateurs, petites et grandes entreprises) afin d'illustrer les différences pouvant exister dans la gestion des risques, l'hypothèse de départ étant que les grandes entreprises et les grands utilisateurs effectuent une meilleure gestion des risques que les petites entreprises et les petits utilisateurs.

Les tests statistiques effectués (test de Mann-Whitney à l'aide du logiciel SPSS pour Windows, version 11.0.) ont démontré que les grandes entreprises et les grands utilisateurs de matières dangereuses adoptent effectivement de meilleures pratiques que les petites entreprises et les petits utilisateurs de matières dangereuses. Par exemple, les résultats montrent que les grandes entreprises sont davantage prêtes à augmenter leurs investissements en sécurité que les petites

entreprises et que les grands utilisateurs ont plus de personnel dédié à la gestion des risques que les petits utilisateurs.

6.1.2. Influence des facteurs organisationnels

Certains auteurs (Drogaris, 1993) rapportent qu'environ 90% des accidents impliquant des matières dangereuses ont une cause organisationnelle. Cependant, alors que l'influence des facteurs organisationnels sur le niveau de risque est maintenant reconnue, ce principe tarde à être formalisé dans les analyses de risque. Lors de telles études, l'attention est encore trop souvent portée exclusivement sur les aspects techniques du problème. Certains auteurs ont certes tenté de modéliser l'influence des facteurs organisationnels sur le niveau de risque, avec des résultats souvent mitigés reposant en très grande partie sur le jugement d'expert. Nous proposons dans cette thèse, une toute nouvelle façon de modéliser cette influence, en rupture avec la littérature actuelle.

Nous croyons que l'erreur première des modèles proposés jusqu'ici réside dans leur volonté de modéliser à tout prix l'ensemble des interactions existant entre les différentes facettes de l'entreprise. Nous avançons donc que pour modéliser efficacement l'influence des facteurs organisationnels, il faut plutôt considérer l'entreprise comme une boîte noire : nous connaissons ce qui entre (pratiques de l'entreprise), nous connaissons ce qui sort (taux d'accident) mais le fonctionnement exact de cette boîte (estimé à l'aide de méthodes statistiques) demeure inconnu.

Nous avons donc introduit un facteur de qualité organisationnelle α influençant à la hausse ou à la baisse le niveau de risque physique présentement calculé R^{PHY}, afin d'obtenir le risque réel R^{TOT}:

$$R^{TOT} = \alpha R^{PHY} \tag{6.1}$$

Le principe de boîte noire énoncé plus haut a été utilisé afin de croiser données organisationnelles (résultats de l'enquête exploratoire) et accidentelles (cotisations CSST), à l'aide de régressions linéaires (simples et multiples) permettant d'identifier les facteurs organisationnels ayant le plus grand impact sur les taux d'accident et d'élaborer un modèle prédictif pour le facteur de qualité organisationnel α.

$$\alpha = 0.776 + 0.192(C2) - 0.172(F1c) - 0.121(G4) + \varepsilon \qquad (6.2)$$

Les éléments *C2* et *F1c* et *G4* réfèrent aux réponses obtenues, données recodées dans le cas des questions C*2* et *G4*, aux éléments suivant du questionnaire: nombre de MD reçues (question *C2*) , tenir compte du critère « sécurité » lors des choix liés au transport (question *F1c*) et avoir des contrats à long terme avec les sous-traitants (question *G4*).

Bien que le résultat obtenu soit intéressant, il demeure relativement limité puisque seulement trois facteurs organisationnels ont été retenus et puisqu'il s'agit d'une fonction « en paliers » n'ayant pas nécessairement la finesse souhaitée pour différencier efficacement la qualité organisationnelle des entreprises. En présence de données suffisantes, il aurait été intéressant de comparer le résultat obtenu à l'aide des régressions linéaires avec celui obtenu à l'aide des réseaux neuronaux, qui était la seconde méthode de résolution identifiée.

Le facteur de qualité organisationnel développé est utilisé par le modèle d'aide à la décision afin de tenir compte du risque réel présenté par les opérations.

6.1.3. Modèle d'aide à la décision

Tel que mentionné, les entreprises ont besoin d'outils adoptant leur point de vue et leur permettant d'effectuer des choix cohérents (planification stratégique et non seulement tactique), visant simultanément la réduction du risque (part assumée par les entreprises) et la minimisation des coûts d'opérations, ce que ne permettent pas de faire les modèles actuels. Un modèle visant la planification stratégique des choix logistiques MD a donc été élaboré à l'aide des méthodes classiques de recherche opérationnelle et à la lumière des résultats obtenus dans les premières étapes de la thèse (conclusions tirées de l'enquête exploratoire, influence des facteurs organisationnels). Ce modèle inclut les principales leçons tirées de la revue de la littérature :

- prise en compte de l'ensemble de la chaîne logistique;
- prise en compte du point de vue de l'entreprise;
- prise en compte des facteurs organisationnels afin de moduler le niveau de risque.

Situé en aval de la planification tactique (choix des trajets exacts, etc.), ce modèle vise plutôt la planification stratégique de certains choix logistiques (le choix d'un fournisseur, d'un mode de transport et celui d'un transporteur), les entreprises se posant probablement des questions d'ordre plus général avant de sélectionner le trajet exact emprunté par les MD. La figure suivante présente la modélisation retenue pour ces différents choix logistiques. On y remarque que, pour la première substance en approvisionnement, deux fournisseurs (S_{11} et S_{12}) sont disponibles. De plus, le transport peut être organisé de diverses façons. Par exemple, entre le fournisseur S_{11} et l'entreprise S_3, il est possible d'utiliser un transport par train (t_{133}), un transport par camion à l'aide d'un premier transporteur identifié (t_{134}) ou encore un transport par camion à l'aide d'un second transporteur identifié (t_{135}).

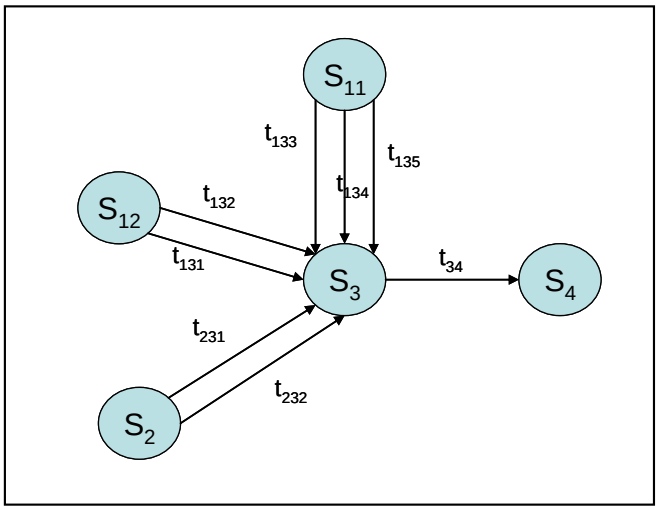


Figure 6.1 : Choix logistiques de l'entreprise S3

L'application de ce modèle mène donc au tri des options logistiques et permet de prendre des décisions éclairées balançant à la fois les facteurs risques (part assumée par les entreprises) et coûts et ce, tout au long de la chaîne logistique plutôt que de fragmenter le risque entre stockage et transport. Pour y parvenir, nous suggérons de traduire l'ensemble des conséquences possibles d'un accident (risque) en pertes financières et d'identifier la part des risques assumés par les entreprises afin de mettre les critères risques et coûts sur un même pied d'égalité. Globalement, l'optimisation des différentes options logistiques *i* est représentée de la façon suivante :

$$\min \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} (R_{ijk} + c_{ijk}) \tag{6.3}$$

où R_{ijk} représente le risque (traduit en pertes monétaires) associé à chaque option x_{ijk}, et c_{ijk} représente les coûts (achat, transport, frais d'exploitation, etc.) associés à chaque option x_{ijk}. Le risque R_{ijk} correspond au risque total R^{TOT} (risque physique R^{PHY} pondéré par le facteur de qualité organisationnelle α).

Rappelons que le modèle d'aide à la décision, ne remplace en aucun cas une analyse de risque plus poussée permettant de définir le tracé exact qui sera emprunté par les matières dangereuses. Il est donc recommandé, suite à l'application du modèle développé dans la thèse, de poursuivre avec une évaluation détaillée des risques de la chaîne logistique, ce que permet de faire la démarche GLOBAL.

Malgré certaines limites principalement liées à l'accès aux données, des études de cas illustrant la mise en application du modèle ont été effectuées afin de valider son application dans un contexte réel. Au cours de ces études de cas, le focus a été mis sur la modélisation des choix logistiques (identification des fournisseurs/clients, identification des options de transport, modélisation) plutôt que sur l'optimisation des choix logistiques. Ces études de cas ont permis de découvrir certaines réalités intéressantes susceptibles d'influencer la prise de décision :

- le risque est rarement pris en compte;
- les choix logistiques sont parfois limités;
- les choix logistiques ne sont pas figés dans le temps et sont appelés à changer;
- le transport peut parfois être consolidé: possibilité de jumeler certaines substances pour diminuer les frais de transport;
- le principe de responsabilité légal, en mettant l'accent sur l'expédition, peut contribuer au désintérêt que semblent porter les sites fixes aux activités de transport qu'ils génèrent..

Un outil informatique basé sur le modèle d'aide à la décision a été élaboré afin de faciliter sa mise en application dans un contexte réel. De plus, afin de vérifier la façon dont les facteurs risques et

coûts interagissent, des analyses de sensibilité ont été effectuées. L'exemple du transport routier, pour lequel des données sont disponibles, a été utilisé.

Les résultats montrent que, avec un risque estimé à 0,097$/km (part des entreprises) partagé entre les différents acteurs de la chaîne logistique (expéditeur, transporteur, client final), les pertes financières en cas d'accident ne sont probablement pas suffisamment élevées pour influencer significativement le décideur premier. De même, les facteurs organisationnels faisant varier le niveau de risque réel jusqu'à 43,8% autour du risque physique calculé, peuvent certes faire réfléchir mais ne sont, encore une fois, probablement pas suffisantes pour influencer la prise de décision.

6.2.Discussion

6.2.1. Recommandations

Les résultats obtenus nous amènent à faire quelques recommandations afin d'améliorer la logistique des matières dangereuses telle qu'elle existe aujourd'hui. En effet, les résultats montrent que la gestion des risques, particulièrement la gestion des risques entourant les activités de transport, ne semble pas être aussi important pour les sites fixes qu'elle ne l'est pour la société. Par conséquent, si nous désirons collectivement améliorer la situation, quelques actions doivent être entreprises.

Premièrement, nous avons vu que les grandes entreprises et les grands utilisateurs de matières dangereuses adoptent de meilleures pratiques que les petites entreprises et les petits utilisateurs de matières dangereuses. Certains facteurs, tels la dangerosité des produits présents sur le site de l'entreprise, peuvent justifier le fait de mettre plus ou moins de mesures de gestion du risque en place. Cependant, les entrevues réalisées lors de la validation du questionnaire ont démontré que peu importe le niveau de dangerosité des substances présentes sur le site, les petites entreprises et les petits utilisateurs de matières dangereuses disposent simplement de moins de ressources pour la gestion du risque et que certaines ne connaissent pas aussi bien les lois et règlements. Par conséquent, une attention particulière devrait être portée à ces types d'entreprises afin de les informer, les conscientiser et s'assurer que ces firmes disposent des ressources nécessaires pour gérer efficacement le risque.

Deuxièmement, nous avons vu que les sites fixes ne semblent pas porter le même niveau d'attention aux opérations de transport qu'aux opérations se déroulant sur le site même de leur entreprise. Certaines réponses au questionnaire, l'élaboration du modèle d'aide à la décision, les études de cas présentées et les analyses de sensibilité effectuées ont fourni de précieux indices permettant d'expliquer cette situation :

- le transport est sous-traité, ce qui pousse plusieurs firmes à fermer les yeux sur ces activités: ce n'est pas leur équipement, ce ne sont pas leurs employés et leur nom (et leur image) n'est pas associé au véhicule;
- Les mesures de gestion du risque ont un prix, et dans le cas du transport de matières dangereuses (routes à risque minimum), ce prix pourrait simplement être trop élevé;
- les accidents de transport de matières dangereuses ont un coût non négligeable lorsqu'ils surviennent, mais ce coût est partagé entre plusieurs acteurs (gouvernements, public, expéditeur, transporteur, client);
- les accidents de transport de matières dangereuses ont un coût non négligeable lorsqu'ils surviennent, mais ce sont des évènements si rares que le coût qu'ils représentent au kilomètre parcouru est donc relativement faible.

Pourtant, en tant que décideur premier (choix des fournisseurs, des clients, des substances transportées, du mode de transport, de la fréquence de transport), le site fixe est bel et bien le générateur de risque en transport. De par ses décisions, il impose un risque à la population.

Nous pouvons donc affirmer que les pénalités encourues par les entreprises lors d'un accident de transport impliquant des matières dangereuses ne sont pas suffisamment élevées pour influencer le décideur premier, un site fixe. Afin de conscientiser davantage les entreprises, quelques avenues peuvent être envisagées. Des législations additionnelles pourraient encadrer les activités logistiques des entreprises œuvrant dans le domaine des matières dangereuses ou des pénalités additionnelles pourraient être imposées au décideur premier en cas d'accident, agissant de manière dissuasive. D'autres alternatives incluraient : la création de comités régionaux chargés de veiller à la gestion du risque sur leur territoire ou la révision du principe de responsabilité légale ne s'appliquant jusqu'ici qu'aux expéditeurs alors que les entreprises reçoivent beaucoup plus de matières dangereuses qu'elles n'en expédient et que le client est souvent le décideur premier.

Quelle que soit la piste de solution envisagée, elle devra être soigneusement examinée afin de s'assurer que les bénéfices soit supérieurs aux contraintes imposées à l'industrie. L'avenue privilégie dans cette thèse est la création de comités régionaux facilitant le dialogue entre l'industrie (prônant la minimisation des coûts) et les autorités en place (prônant la minimisation du risque) afin de prendre en compte l'ensemble des points de vue, un peu à la manière de la démarche GLOBAL présentée à la section 5.1.6.

Par ailleurs, nous recommandons fortement la poursuite des travaux permettant de lier les facteurs organisationnels au taux d'accident enregistré puisqu'il s'agit du premier facteur explicatif en cas d'accident.

6.2.2. Place des travaux par rapport à la littérature

Les travaux présentés dans cette thèse partaient d'un besoin perçu de voir des études adoptant le point de vue des entreprises afin de mieux comprendre la façon dont elles perçoivent la logistique des matières dangereuses et leur proposer des outils adaptés à leurs réalités. Ce besoin avait été identifié au cours des premières étapes du projet GLOBAL où l'émergence d'un discours entourant l'importance de l'organisation des opérations liées aux matières dangereuses avait été mis en opposition avec certaines pratiques discordantes de la part des entreprises (sous-traitance en cascade, diminuer les stocks afin d'échapper à certaines réglementations relatives au stockage, reléguer le critère risque au dernier rang afin de demeurer compétitif, etc.).

La revue de la littérature présentée dans ce document est venue appuyer le besoin de sonder le point de vue des entreprises et de développer des outils adaptés à leurs réalités puisque la vaste majorité des études présentées étudient en fait le point de vue de la société. Rappelons les trois constats principaux tirés de cette revue de la littérature :

- l'ensemble de la chaîne logistique n'est pas simultanément prise en compte;
- les méthodes sont souvent mal adaptées au contexte de l'entreprise;
- il y a évacuation quasi-systématique des facteurs organisationnels.

L'étude exploratoire effectuée a permis de mettre en relief les stratégies logistiques adoptées par les entreprises œuvrant dans le domaine des matières dangereuses, question demeurée sans

réponse jusqu'ici puisqu'il n'existait, à notre connaissance, aucune étude à grande échelle sur le sujet. Les résultats de cette étude ont permis de développer un modèle d'aide à la décision intégrant les trois grands constats cités ci-haut (prendre compte de l'ensemble de la chaîne logistique, adopter le point de vue de l'entreprise et tenir compte des facteurs organisationnels) malgré quelques limites énoncées à la section suivante. Mais au final, comment ce modèle se positionne-t-il par rapport aux travaux présents dans la littérature?

Premièrement, le fait de tenir compte de l'ensemble de la chaîne logistique a permis de d'aborder le problème de la planification tactique MD (choix des clients, des fournisseurs, du mode de transport, du transporteur, etc.) alors que la majorité des études présentes dans la littérature s'intéressent avant tout à la planification tactique MD (choix de l'itinéraire). Pourtant, la planification stratégique a probablement une aussi grande influence sur le niveau de risque que la planification tactique puisqu'elle permet, entre autres, de sélectionner l'origine et la destination des convois. Pour cette raison, nous croyons que la littérature aurait avantage à étudier les problématiques liées à la planification stratégique MD, qui est surtout du ressort des sites fixes, tel que proposé dans cette thèse.

Deuxièmement, tenir compte de l'influence des facteurs organisationnels a permis d'établir pour la première fois un lien entre cette littérature et la littérature spécifique aux MD. Puisque cette influence est incontestable, nous croyons que ces littératures devraient être mieux amarrées. Une attention particulière devrait être portée aux acteurs impliqués dans la logistique des MD, non seulement pour modéliser l'influence des facteurs organisationnels, mais également pour analyser les pratiques, mesurer l'influence des divers acteurs, etc.

Finalement, adopter le point de vue des entreprises a permis de comprendre pourquoi le risque associé au transport MD passe souvent au second rang, après les considérations économiques, lors de la prise de décision logistique. Utiliser le point de vue de l'entreprise a permis d'adopter le langage financier lors de l'analyse de risque et de traduire ce risque en pertes financières (part assumée par les entreprises). Ceci a permis de mettre les facteurs risque et coût sur un même pied d'égalité lors de la prise de décision, et de contourner les difficultés liées à la résolution de problèmes multicritères (transformer certains objectifs en contrainte ou attribuer un poids à chaque objectif n'est plus nécessaire, voir chapitre 2). On pourrait croire que ce type de formulation, purement économique, ne permet pas de prendre les notions d'acceptabilité et de

perception du risque en compte. Cependant, nous croyons qu'elles sont implicitement prises en compte, une situation inacceptable aux yeux de la population résultant en une perte d'image corporative, une perte de clientèle et des pertes financières à long terme. Ce type de répercussions seraient prises en compte par le modèle, si les données étaient disponibles.

Ce mode de résolution pourrait être utilisé dans les problèmes plus traditionnels, adoptant le point de vue de la société, pour également contourner les difficultés liées à la résolution de problèmes multicritères. Cependant, les notions de perception et d'acceptabilité du risque (non ici directement traduits en perte de clientèle) pourraient être plus difficiles à prendre en compte (la population accorde parfois un coût bien plus élevé à certains évènements que leur coût réel).

Par ailleurs, adopter le point de vue des entreprises a permis de sonder quelques problématiques qui leurs sont propres. Cependant, ceci signifie que certaines considérations propres à la société, typiquement liées à l'optimisation globale pour le TMD (la notion d'équité par exemple), ne font pas intégrées au modèle. C'est d'ailleurs une des raisons pour laquelle nous recommandons, suite à l'application du modèle proposé dans la thèse, de poursuivre avec une évaluation détaillée des risques et d'enclencher un processus de décision multi-acteurs (populations, autorités touchées par le passage des MD) afin de tenir compte de leur position.

6.2.3. Perspectives de recherche

Les contributions relatives à la thèse, et au projet GLOBAL, couvrent un vaste spectre de recherche. Cependant, plusieurs avenues de recherche demeurent possibles et leur intérêt a été soulevé tout au long de la thèse. Mentionnons, la possibilité de:

- réaliser une enquête sur les transporteurs de matières dangereuses, à mettre en parallèle avec les résultats de l'enquête sur sites fixes;
- développer un modèle prédictif, propre aux transporteurs, permettant d'estimer leur qualité organisationnelle, à partir des résultats de cette nouvelle enquête;
- bonifier le modèle afin d'inclure la possibilité de consolider des opérations de transport;
- inclure les conséquences financières à long terme suite à un accident (résultat de la perte d'image corporative) dans le calcul du risque;

- analyser certains accidents de transport impliquant des matières dangereuses afin de mieux comprendre la façon dont les coûts associés au risque d'accident sont départagés parmi les acteurs de la chaîne logistique (donneur d'ordres, client, transporteur, etc.);
- valider le modèle d'aide à la décision, dans sa forme définitive, auprès des répondants de l'enquête.

Certaines avenues de recherche sont étroitement liées aux limites inhérentes aux travaux entrepris, et mentionnées tout au long du document. Par exemple, le facteur de qualité organisationnel, développé pour les sites fixes, doit dans ce document également être utilisé pour les transporteurs. De plus, développer travailler sur un facteur de qualité organisationnelle propre aux transporteurs pourrait permettre de se soustraire au biais introduit au chapitre 4 (utilisation des données relatives aux accidents de travail lors de l'élaboration du facteur de qualité organisationnelle, sous l'hypothèse que les taux d'accidents du travail et d'accidents industriels (MD) allaient de pair au sien d'une même entreprise, en raison de la rareté des accidents industriels). En effet, les accidents routiers étant plus fréquents et mieux documentés, le développement d'un facteur organisationnel ne serait cette fois pas soumis au même biais.

Finalement, rappelons qu'à l'heure actuelle, l'application du modèle dans un contexte réel est limitée par la disponibilité des données : pour le calcul du risque, seules les données relatives au transport routier sont disponibles. Le modèle d'aide à la décision est pour le moment fonctionnel pour le transport routier (sélection d'un transporteur), et dès que les données relatives aux autres modes de transport seront disponibles, le modèle pourra être appliqué à des situations réelles plus complexes et le prototype pourra être transformé en outil informatique. Trouver de telles données n'est cependant pas une tâche simple puisqu'elle nécessiterait l'analyse des bases de données accidentelles, un peu à la manière du FMCSA (2001), afin d'attribuer un coût à chaque incident ferroviaire, maritime, aérien, de canalisation ou en site fixe.

6.3. Contributions

Au terme de cette thèse, un portrait des pratiques entourant la gestion des MD, un modèle prédictif permettant d'estimer la qualité organisationnelle d'une entreprise et un modèle d'aide à la décision permettant de poser des choix logistiques (incluant l'outil informatique basé sur le

modèle) sont disponibles en plus des conclusions découlant des analyses de sensibilité. Ces résultats ont fait l'objet de publications ou de présentations lors de congrès ci-dessous énumérées.

Tableau 6.1 : Article accepté dans une revue avec comité de lecture

Référence	Chapitre de la thèse
Leroux, M.-H., de Marcellis-Warin, N., & Trépanier, M. (2010). Safety management in hazardous materials logistics. *Transportation Letters: the international journal of transportation research, 2*(1), 13-25.	Chapitre 3

Tableau 6.2: Article soumis dans une revue avec comité de lecture

Référence	Chapitre de la thèse
Leroux, M.-H., de Marcellis-Warin, N., & Trépanier, M. (2009). Modeling hazardous materials logistics choices. *International Journal of Production Economics.*	Chapitre 5

Tableau 6.3: Présentations dans des conférences avec comité de lecture

Référence	Chapitre de la thèse
Leroux, M.-H., Trépanier, M., & de Marcellis-Warin, N. (2007). Vers une prise en compte des risques dans la chaîne logistique des matières dangereuses. *7e Congrès international de génie industriel*, Trois-Rivières, Canada.	Chapitre 5
Leroux, M.-H., de Marcellis-Warin, N., & Trépanier, M. (2009). Safety management in hazardous materials logistics: a survey of firms' practices. *IESM 2009 - International Conference on Industrial Engineering and Systems Management*, Montréal, Canada.	Chapitre 3
Leroux, M.-H., Trépanier, M., & de Marcellis-Warin, N. (2009). Modélisation des choix logistiques reliés aux matières dangereuses. *8e Congrès international de génie industriel*, Bagnères-de-Bigorre, France.	Chapitre 5
Leroux, M.-H., Trépanier, M., & de Marcellis-Warin, N. (2009). Decision making in hazardous materials logistics. *1st TRANSLOG conference*, Hamilton, Canada.	Chapitre 3

Des publications liées au développement du modèle prédictif permettant d'estimer la qualité organisationnelle d'une entreprise (chapitre 4) et des publications conjointes avec l'INERIS afin de discuter des différences de point de vue entreprise/société lors d'une analyse de risque industriel sont encore à prévoir.

En plus du travail directement lié à la thèse, plusieurs contributions au projet GLOBAL ont été apportées et ont permis de mieux cerner la problématique étudiée dans la thèse. Ces contributions ont amené une série de publications ci-dessous énumérées.

Tableau 6.4: Rapports de projet CIRANO (projet GLOBAL)

Référence	Opération du projet GLOBAL
de Marcellis-Warin, N., Leroux, M.-H., Peignier, I., & Trépanier, M. (2006). Revue et analyse des bases de données canadiennes et américaines touchant les accidents durant le transport et le stockage des matières dangereuses. CIRANO, Montréal.	Opération C
de Marcellis-Warin, N., Peignier, I., Alvarez, P., Trépanier, M., & Leroux, M.-H. (2007). Portrait des activités de stockage et de transport liées aux MD au Québec. CIRANO, Montréal.	Opération A
de Marcellis-Warin, N., Leroux, M.-H., Peignier, I., & Trépanier, M. (2007). Stratégies logistiques dans un contexte de stockage et de transport des matières dangereuses et incitations économiques. CIRANO, Montréal.	Opération N2
de Marcellis-Warin, N., Peignier, I., Alvarez, P., Leroux, M.-H., & Trépanier, M. (2009). Les enjeux de la santé et la sécurité du travail pour les entreprises utilisant des matières dangereuses au Québec. IRSST, Montréal.	Rapport spécial IRSST

Tableau 6.5: Article publié dans une revue avec comité de lecture (projet GLOBAL)

Référence	Opération du projet GLOBAL
Trépanier, M., Leroux, M.-H., & de Marcellis-Warin, N. (2009). Cross-analysis of hazmat road accidents using multiple databases. *Journal of Accident Analysis & Prevention, 41*(6), 1192-1198.	Opération C

Tableau 6.6: Présentations dans des conférences avec comité de lecture (projet GLOBAL)

Référence	Opération du projet GLOBAL
Trépanier, M., Leroux, M.-H., & de Marcellis-Warin, N. (2006). Using transportation data to assess risk in hazardous materials road logistics operation. In Safety and Reliability for Managing Risks, Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, Estoril, Portugal, pages 2721-2728.	Opération C

Tableau 6.7: Présentations sur invitation dans une conférence (projet GLOBAL)

Référence	Opération du projet GLOBAL
Trépanier, M., & Leroux, M.-H. (2006). Analyse des bases de données impliquant des matières dangereuses. *Entretiens Jacques-Cartier, colloque sur la maîtrise du risque dans la chaîne logistique du transport des matières dangereuses*, Lyon, France.	Opération C

Une participation à certains chapitres de l'ouvrage « *Stratégies logistiques et matières dangereuses* » qui sera publié aux *Presses internationales Polytechnique* sous la direction de N. De Marcellis-Warin et de M. Trépanier est également attendue.

RÉFÉRENCES

Abkowitz, M., & List, G. (1987). Hazardous materials transportation incident-accident information systems. *Transportation Research Record, 1148*, 1-8.

Abkowitz, M., & Cheng, P. (1989). Hazardous materials transport risk estimation under conditions of limited data availability. *Transportation Research Record, 1245*, 14-22.

Abkowitz, M., Lepofsky, & Cheng, P. (1991). Selecting criteria for designating hazardous materials highway routes. *Transportation Research Record, 1333*, 30-35.

Abkowitz, M., DeLorenzo, J. P., Duych, R., Greenberg, A., & McSweeney, T. (2001). Assessing the economic effect of incidents involving truck transport of hazardous materials. *Transportation Research Record, 1763*, 125-129.

Basta, C., Neuvel, J.M.M., Zlatanova, S., & Ale, B. (2007). Risk-maps informing land-use planning processes - A survey on the Netherlands and the United Kingdom recent developments. *Journal of Hazardous Materials, 145*(1-2), 241-249.

Bianco, L., Caramia, M., & Giordani, S. (2009). A bilevel flow model for hazmat transportation network design. *Transportation Research Part C, 17*(2), 175-196.

Bubbico, R., Di Cave, S., & Mazzarotta, B. (2004). Risk analysis for road and rail transport of hazardous materials: a GIS approach. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 17*(6), 483-488.

Burns, W. J., & Clemen, R. T. (1993). Covariance structure models and influence diagrams. *Management Science, 39*(7), 816-834.

Burns, W. J., Slovic, P., Kasperson, R. E., Kasperson, J. X., Renn, & O., Emani, S. (1993). Incorporating structural models into research on the social amplification of risk: implications for theory construction and decision making. *Risk Analysis, 13*(6), 611-623.

Button, N. P., & Reilly, P. M. (2000). Uncertainty in incident rates for trucks carrying dangerous goods. *Accident Analysis and Prevention, 32*(6), 797-804.

Carol, S., Vilchez, J. A., & Casal, J. (2002). Study of the severity of industrial accidents with hazardous substances by historical analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, *15*(6), 517-524.

Celik, M., & Topcu, Y.I. (2009). Use of an ANP to prioritize managerial responsibilities of maritime stakeholders in environmental incidents: an oil spill case. *Transportation Research Part D, 14*(7), 502-506.

Chakraborty, J., & Armstrong, M. P. (1996). Using geographic plume analysis to assess community vulnerability to hazardous accidents. *Computers Environment and Urban Systems*, *19*(5-6), 341-356.

Choudhry, R.M., Fang, D., & Mohamed, S. (2007). The nature of safety culture : A survey of the state-of-the-art. *Safety Science*, *45*(10), 993-1012.

Clarke, L., & Freudenburg, W. R. (1993). Risk communication, recreancy, and organizational effectiveness. In L. N. Moses et D. Lindstrom (éd.), *Transportation of hazardous materials: issues in law, social science, and engineering* (pp. 201-213). Boston: Kluwer.

Coutinho-Rodrigues, J., Current, J., Climaco, J., & Ratick, S. (1997). Interactive spatial decision-support system for multiobjective hazardous materials location-routing problems. *Transportation Research Record, 1602*, 101-109.

Davis, B.E. (2001). GIS : *A visual approach, second edition*. Albany, NY : Onword Press.

Davoudian K., Wu J-S., & Apostolakis G. (1994). Incorporating organisational factors into risk assessment through the analysis of work processes. *Reliability Engineering and System Safety*, *45*(1-2), 85-105.

De Marcellis-Warin, N., Favre, S., Peigner, I., & Trépanier, M. (2006). Revue des réglementations applicables au stockage et au transport des matières dangereuses au Québec. CIRANO, Montréal, 2006RP-11.

De Marcellis-Warin, N., Leroux, M.-H., Peignier, I., & Trépanier, M. (2006a). Revue et analyse des bases de données canadiennes et américaines touchant les accidents durant le transport et le stockage des matières dangereuses. CIRANO, Montréal. 2006RP-12.

De Marcellis-Warin N., Favre, S., & Trépanier, M. (2006b). Modélisation bi-niveaux du risque dans la logistique du transport de matières dangereuses. Lambda Mu 15 - 15e Congrès de Maîtrise des Risques et de Sûreté de Fonctionnement, Lille, France.

De Marcellis-Warin, N., Peignier, I., & Lupan, D. (2007). Évaluation économique des coûts du transport de marchandises et spécificités du TMD. CIRANO, Montréal. 2007RP-12.

Denis, H. (1998). *Comprendre et gérer les risques sociotechnologiques majeurs*. Montréal: Éditions de l'École Polytechnique de Montréal.

Dien, Y., Llory, M., & Montmayeul, R. (2004). Organisational accidents investigation methodology and lessons learned. *Journal of Hazardous Materials, 111*(1-3), 147-153.

Dreyfus, G. (2002). *Réseaux de neurones: méthodologie et applications*. Paris : Eyrolles.

Drogaris, G. (1993). Learning from major accidents involving dangerous substances. *Safety Science*, *16*(2), 89-113.

Eide, M.S., Endresen, Ø., Breivik, Ø., Brude, O.W., Ellingsen, I.H., Røang, K., Hauge, J., & Brett, P.O. (2007). Prevention of oil spill from shipping by modelling of dynamic risk. *Marine Pollution Bulletin, 54*(10), 1619-1633.

Embrey, D.E. (1992). Incorporating management and organizational factors into probabilistic safety assessment. *Reliability Engineering & System Safety*, *38*(1-2), 199-208.

Erkut, E., & Neuman, S. (1989). Analytical models for location undesirable facilities. European *Journal of Operational Research, 40*(3), 275-291.

Erkut, E., & Neuman, S. (1992). A multiobjective model for locating undesirable facilities. *Annals of Operations Research, 40*(1-4), 209-227.

Erkut, E., & Verter, V. (1995a). Hazardous materials logistics. In. Z. Drezner, (éd.), *Facility Location* (pp. 467-506). New-York: Springer.

Erkut, E., & Verter, V. (1995b). A framework for hazardous materials transport risk assessment. *Risk Analysis*, *15*(5), 589-601.

Erkut, E., & Glickman, T. S. (1997). Minimax population exposure in routing highway shipments of hazardous materials. *Transportation Research Record*, *1602*, 93-100.

Erkut, E., & Verter, V. (1998). Modeling of transport risk for hazardous materials. *Operations Research*, *46*(5), 625-642.

Erkut, E., & Ingolfsson, A. (2000). Catastrophe Avoidance Models for Hazardous Materials Route Planning. *Transportation Science*, *34*(2), 165-179.

Erkut, E., Tjandra, S.A., & Verter, V. (2005). Hazardous materials transportation. Centre de recherche sur les transports (C.R.T.), Montréal. CRT-2005-26.

Environnement Canada. (2002). *Règlement sur les urgences environnementales*. Environnement Canada, DORS/2003-307.

Fernández-Muñiz, B., Montes-Peón, J.M., & Vázquez-Ordás, C.J. (2007). Safety management system : Development and validation of a multidimensional scale. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, *20*(1), 52-68.

Fernández-Muñiz, B., Montes-Peón, J.M., & Vázquez-Ordás, C.J. (2009). Relation between occupational safety management and firm performance. *Safety Science, 47*(7), 980-991.

FMCSA (2001). *Comparative risks of hazardous materials and non-hazardous materials truck shipment accidents/incidents*. Colombus, OH : Battelle.

Gheorghe, A. V., Birchmeier, J., Vamanu, D., Papazoglou, I., & Kröger, W. (2005). Comprehensive risk assessment for rail transportation of dangerous goods: a validated platform for decision support. *Reliability Engineering and System Safety*, *88*(3), 247-272.

Glickman, T. S. (1983). Rerouting railroad shipments of hazardous materials to avoid populated areas. *Accident Analysis and Prevention*, *15*(5), 329-335.

Glickman, T.S. (1988). Benchmark estimates of release accident rates in hazardous materials transportation by rail and truck. *Transportation Research Record*, *1193*, 22-28.

Glickman, T. S., & Sontag, M. A. (1995). The tradeoffs associated with rerouting highway shipments of hazardous materials to minimize risk. *Risk Analysis*, *15*(1), 61-67.

Gopalan, R., Kolluri, K. S., Batta, R., & Karwan, M.H. (1990). Modeling equity of risk in the transportation of hazardous materials. *Operations Research*, *38*(6), 961-973.

Gorys, J. (1990). Transportation of dangerous goods in the province of Ontario. *Transportation Research Record*, *1264*, 57-68.

Guldenmund, F.W. (2000). The nature of safety culture: a review of theory and research. *Safety Science*, *34*(1-3), 215-257.

Hair, J.F., Anderson, R.E., Tathan, R.L., & Black, W.C. (1998). *Multivariate data analysis*: 5^{h} edition. Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall.

Harms-Ringdahl, L. (2004). Relationships between accident investigations, risk analysis and safety management. *Journal of Hazardous Materials*, *111*(1-3), 13-19.

Harwood, D. W., Russell, E. R., & Viner, J. G. (1989). Characteristics of accidents and incidents in highway transportation of hazardous materials. *Transportation Research Record*, *1245*, 23-33.

Harwood, D.W., Viner, J.G., & Russel, E.R. (1990). Truck accident rate model for hazardous materials routing. *Transportation Research Record*, *1264*, 12-23.

Harwood, D. W., Viner, J. G., & Russel, E. R. (1993) Procedure for developing truck accident and release rates for hazmat routing. *Journal of Transportation Engineering*, *119*(2), 189-199, 1993.

Hobeika, A. G., & Kim, S. (1993). Databases and needs for risk assessment of hazardous materials shipments by trucks. In L. N. Moses et D. Lindstrom (éd.), *Transportation of hazardous materials: issues in law, social science, and engineering* (pp. 135-157). Boston: Kluwer.

Hoj, N. P., & Kröger, W. (2002) Risk analysis of transportation on road and railway from a European perspective. *Safety Science, 40*(1-4), 337-357.

Hopkins, A. (2006). Studying organisational cultures and their effects on safety. *Safety Science*, 44(10), 875-889.

Hwang, S.T., Brown, D.F., O'Steen, J.K, Policastro, A.J., & Dunn, W.E. (2001). Risk assessment for national transportation of selected hazardous materials. *Transportation Research Record*, *1763*, 114-124.

INERIS (2006). Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs – démarche d'évaluation des barrières humaines. Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS), Verneuil-en-Halatte. DRA-35 Ω-20.

INERIS (2007). Logistique des marchandises dangereuses : Méthode pour une approche globale de la maîtrise des risques. Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS), Verneuil-en-Halatte. DRA-07-64540-16315A.

Jacobs, R., & Haber S. (1994). Organizational processes and nuclear power plant safety. *Reliability Engineering. and System Safety, 45*(1-2), 75-83.

Kara, B. Y., Erkut, E., & Verter, V. (2003). Accurate calculation of hazardous materials transport risks. *Operations Research Letters*, *31*(4), 285-292.

Kara, B.Y., & Verter, V. (2004). Designing a Road Network for Hazardous Materials Transportation. *Transportation Science, 38*(2), 188-196.

Kasperson, R. E., Renn, O., Slovic, P., Brown, H. S., Emel, J., Goble, R., Kasperson, J. X., & Samuel, R. (1988). The social amplification of risk: a conceptual framework. *Risk Analysis*, *8*(2), 177-187.

Kennedy, R., & Kirwan, B. (1998). Development of a Hazard and Operability-based method for identifying safety management vulnerabilities in high risk systems. *Safety Science*, *30*(3), 249-274.

Khan, F. I., & Abbasi, S. A. (1999). Major accidents in process industries and an analysis of causes and consequences. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, *12*(5), 361-378.

Kleindorfer, P. R., & Orts, E. W. (1998). Informational Regulation of Environmental Risks. *Risk Analysis*, *18*(2), 155-170.

Knight, R.F., & Pretty, D.J. (1996). The impact of catastrophes on shareholder value. The Oxford Executive research briefings, London.

Lalonde, A-N. (2004). Analyse des risques au cours du transport de matières dangereuses à Sherbrooke. M.Sc. Université de Sherbrooke, Qc., Canada.

Le Coze, J.-C. (2005). Are organisations too complex to be integrated in technical risk assessment and current safety auditing? *Safety Science*, *43*(8), 613-638.

Leonelli, P., Bonvicini, S., & Spadoni, G. (1999). New detailed numerical procedures for calculating risk measures in hazardous materials transportation. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, *12*(6), 507-515.

Leonelli, P., Bonvicini, S., & Spadoni, G. (2000). Hazardous materials transportation: a risk-analysis-based methodology. *Journal of Hazardous Materials*, *71*(1-3), 283-300.

Lepofsky, Y, Abkowitz, M., & Cheng, P. (1993). Transportation hazard analysis in integrated GIS environment. *Journal of Transportation Engineering*, *119*(2), 239-253.

List, G., & Abkowitz, M. (1986). Estimates of current hazardous materials flow patterns. *Transportation Quarterly*, *40*(4), 483-502.

List, G., Mirchandani, P. B., Turnquist, M. A., & Zografos, K. G. (1991). Modeling and analysis for hazardous materials transportation: risk analysis, routing/scheduling and facility location. *Transportation Science*, *25*(2), 100-114.

Mazzarotta, B. (2002). Risk reduction when transporting dangerous goods: road or rail? *Risk Decision and Policy*, *7*(1), 45-56.

Mearns, K., Whitaker, S.M., & Flin, R. (2003). Safety climate, safety management practice and safety performance in offshore environments. *Safety Science*, *41*(8), 641-680.

Mehrotra, K., Mohan, C. K., & Ranka, S. (1997). *Elements of artificial neural networks*. Boston : Massacusetts Institute of Technology.

Ministère de l'Environnement du Québec. (1999). *Loi sur la qualité de l'environnement*. Ministère de l'Environnement du Québec, L.R.Q., chapitre Q-2.

Ministère de la Sécurité Publique du Québec. (2008). Approche et principes en sécurité publique. Québec : Ministère de la Sécurité Publique.

Ministère des Transports du Québec (MTQ) (2003). Guide sur le transport des matières dangereuses. Québec : Bibliothèque nationale du Québec.

Moses, L.N., & Savage, I. (1994). The effect of firm characteristics on truck accidents. *Accident analysis and prevention*, *26*(2), 173-179.

Mosleh, A., Goldfeiz, E., & Shen, S. (1997). The ω-factor approach for modeling the influence of organizational factors in probabilistic safety assessment. IEEE sixth annual human factors meeting, Orlando, Florida.

Murphy, D.M., & Paté-Cornell, E. (1996). The SAM framework: modeling the effects of management factors on human behavior in risk analysis. *Risk Analysis*, *16*(4), 501-515.

National Institute for Chemical Studies. (2001). Local Emergency Planning Committees and Risk Management Plans: Encouraging Hazard Reduction. Charleston, W.V.: NICS.

Nembhard, D. A., & White, C.C. (1997) Applications of non-order-preserving path selection to HazMat routing. *Transportation Science, 31*(3), 262-271.

Nozick, L., List, K., G., & Turnquist, M. A. (1997). Integrated routing and scheduling in hazardous materials transportation. *Transportation Science, 31*(3), 200-215.

Oien, K. (2001). A framework for the establishment of organizational risk indicators. *Reliability Engineering and System Safety*, *74*(2), 147-167.

Oggero, A., Darbra, R.M., Munoz, M., Planas, E., & Casal, J. (2006). A survey of accidents occuring during the transport of hazardous substances by road and rail. *Journal of Hazardous Materials*, *133*(1-3), 1-7.

Organisation des Nations Unies (ONU). 2009. *Recommandations relatives au transport des marchandises dangereuses - Règlement type, Seizième édition révisée*. Organisation des Nations Unies, ST/SG/AC.10/1/Rev.16.

Paté-Cornell, M. E. (1996). Global risk management. *Journal of Risk and Uncertainty*, *12*(2-3), 239-255.

Renn, O. (2004). Perception of risks. *Toxicology Letters*, *149*(1-3), 405-413.

Saccomanno, F.F., & Chan, A.Y.-W. (1985). Economic evaluation of routing strategies for hazardous road shipments. *Transportation Research Record*, *1020*, 12-18.

Saccomanno, F. F., Shortreed, J. H., Van Aerde, M., & Higgs, J. (1989). Comparision of risk measures for the transport of dangerous commodities by truck and rail. *Transportation Research Record*, *1245*, 1-13.

Saccomanno, F. F., Stewart, A., & Shortreed, J.H. (1993). Uncertainty in the estimation of risks for the transport of hazardous materials. In L. N. Moses et D. Lindstrom (éd.), *Transportation of hazardous materials: issues in law, social science, and engineering* (pp. 159-182). Boston: Kluwer.

Sarkisk, J. (2006). *Greening the supply chain*. Londres: Springer-Verlag.

Segerson, K. (1992). The policy response to risk and risk perceptions. In D. W. Bromley and K. Segerson (éd.), *The Social Response to Environmental Risk: Policy Formulation in an Age of Uncertainty* (pp. 101-130). Boston : Kluwer Academic Publishers.

Shannon, H.S., Mayr, J., & Haines, T. (1997). Overview of the relationship between organizational and workplace factors and injury rates. *Safety Science, 26*(3), 201-217.

Sherali, H. D., Brizendine, L. D., Glickman, T. S., & Subramanian, S. (1997). Low probability-high consequence considerations in routing hazardous material shipments. *Transportation Science, 31*(3), 237-251.

Shortreed, J. H., Saccomanno, F. F., & Hipel, K. W. (1993) Risk management for the movement of dangerous goods. In F. F. Saccomanno et K. Cassidy (éd.), *Transportation of dangerous goods: assessing the risks* (pp. 555-579). Waterloo: University of Waterloo.

Slovic, P. (1984). Modeling the societal impact of fatal accidents. *Management Science, 30*(4), 464-474.

Slovic, P. (1993). Perceptions of risk: paradox and challenge. In L. N. Moses et D. Lindstrom (éd.), *Transportation of hazardous materials: issues in law, social science, and engineering* (pp. 183-199). Boston: Kluwer.

Spadoni, G., Egidi, D., & Ccontini, S. (2000). Through ARIPAR-GIS the quantified area risk analysis supports land-use planning activities. *Journal of Hazardous Materials, 71*(1-3), 423-437.

Spouge, J. R. (1993). Techniques for risk assessment of ships carrying hazardous cargo in port areas. In F. F. Saccomanno et K. Cassidy (éd.), *Transportation of dangerous goods: assessing the risks* (pp. 153-182). Waterloo: University of Waterloo.

Swingler, K. (1996). *Applying Neural Networks : A practical guide*. London : Academic press.

Transport Canada. (2008). *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses*. Transport Canada, DORS/2008-34.

Trépanier, M., Leroux, M.-H., & de Marcellis-Warin, N. (2009). Cross-analysis of hazmat road accidents using multiple databases. *Journal of Accident Analysis & Prevention, 41*(6), 1192-1198.

Turner, B.A. (1978). *Man-Made Disasters*. London: Wykeham Science Press.

Ulen, T. S., & Kolstad, C. (1993). The law and economics of hazardous materials transportation: regulating harm by administrative agency and tort liability. In L. N. Moses et D. Lindstrom (éd.), *Transportation of hazardous materials: issues in law, social science, and engineering* (pp. 239-258). Boston: Kluwer.

Vanem, E., Endresen, Ø., & Skjong, R. (2008). Cost-effectiveness criteria for marine oil spill preventive measures. *Reliability Engineering and and System Safety*, *93*(9), 1354-1368.

Verter, V., & Erkut, E. (1997). Incorporating insurance costs in hazardous materials routing models. *Transportation Science*, *31*(3), 227-236.

Verter, V., & Kara, B.Y. (2001). A GIS-based framework for hazardous materials transport risk assessment. *Risk Analysis*, *21*(6), 1109-1120.

Vilchez, J. A., Sevilla, S., Montiel, H., & Casal, J. (1995). Historical analysis of accidents in chemical plants and in the transportation of hazardous materials. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, *8*(2), 87-96.

Vrijling, J. K., Van Hengel, W., & Houben, R. J. (1995). A framework for risk evaluation. *Journal of Hazardous Materials*, *43*(3), 245-261.

Watabe, A. (1991). Liability rules and hazardous materials transportation. *Transportation Science*, *25*(2), 157-168.

Weisberg, S. (2003). *Applied linear regression* : third edition. Hoboken, NJ : John Wiley & Sons.

White, A. L., & Ratick, S. (1989). Risk, compensation, and regional equity in locating hazardous facility. *Papers of the regional science association*, *67*(1), 29-42.

Wright, J. (1993). Transport Canada dangerous goods accident costing study and model. In F. F. Saccomanno et K. Cassidy (éd.), *Transportation of dangerous goods: assessing the risks* (pp. 601-616). Waterloo: University of Waterloo.

Zamorano, M., Molero, E., Hurtado, A., Grindlay, A., & Ramos, A. (2008). Evaluation of a municipal landfill site in southern Spain with GIS-aided methodology. *Journal of Hazardous Materials, 160*(2-3), 473-481.

Zhu, Q., & Sarkis, J. (2004). Relationships between operational practices and performance among early adopters of green supply chain management practices in Chinese manufacturing enterprises. *Journal of Operations Management, 22*(3), 265-289.

Zografos, K. G., & Davis, C. F. (1989) Multi-objective programming approach for routing hazardous materials. *Journal of Transportation Engineering, 115*(6), 661-673.

Zografos, K. G., & Samara, S. (1989). Combined location-routing model for hazardous waste transportation and disposal. *Transportation Research Record, 1245*, 52-59.

ANNEXE 1 – PUBLICATIONS : PROJET GLOBAL

Rapports de projet

de Marcellis-Warin, N., Favre, S., Peignier, I., & Trépanier, M. (2006). Revue des réglementations applicables au stockage et au transport des matières dangereuses au Québec. CIRANO, Montréal.

de Marcellis-Warin, N., Leroux, M.-H., Peignier, I., & Trépanier, M. (2006). Revue et analyse des bases de données canadiennes et américaines touchant les accidents durant le transport et le stockage des matières dangereuses. CIRANO, Montréal.

de Marcellis-Warin, N., Peignier, I., Alvarez, P., Trépanier, M., & Leroux, M.-H. (2007). Portrait des activités de stockage et de transport liées aux MD au Québec. CIRANO, Montréal.

de Marcellis-Warin, N., Peignier, I., & Lupan, D. (2007). Évaluation économique des coûts du transport de marchandises et spécificités du TMD. CIRANO, Montréal.

de Marcellis-Warin, N., Leroux, M.-H., Peignier, I., & Trépanier, M. (2007). Stratégies logistiques dans un contexte de stockage et de transport des matières dangereuses et incitations économiques. CIRANO, Montréal.

de Marcellis-Warin, N., Peignier, I., Alvarez, P., Leroux, M.-H., & Trépanier, M. (2009). Les enjeux de la santé et la sécurité du travail pour les entreprises utilisant des matières dangereuses au Québec. IRSST, Montréal.

INERIS. (2005). Revue des réglementations applicables aux produits dangereux. INERIS, Verneuil-en-Halatte.

INERIS. (2005). Revue des bases de données existantes sur les accidents MD (stockage et transport) pour une étude comparée du retour d'expérience dans différents domaines. INERIS, Verneuil-en-Halatte.

INERIS. (2007). État des lieux des activités de transport, de stockage de marchandises dangereuses, des principes de gestion du risque par les acteurs concernés. INERIS, Verneuil-en-Halatte.

INERIS. (2007). Revue des méthodes d'évaluation des risques existantes – description des principes de gestion du risque dans les différents domaines par les acteurs concernés. INERIS, Verneuil-en-Halatte.

INERIS. (2007). Analyse des différentes politiques envisageables : étude de cas concrets où il y a transfert du risque des installations fixes vers le transport ou les stockages temporaires en cours de transport (entretiens avec les décideurs), INERIS, Verneuil-en-Halatte.

INERIS. (2007). Logistique des marchandises dangereuses : Méthode pour une approche globale de la maîtrise des risques. INERIS, Verneuil-en-Halatte.

Mémoires de maîtrise

Favre, S. (2006). Modèle de représentation de la chaîne logistique de matières dangereuses : un essai de représentation plus précise pour la gestion des risques. Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal, 158p.

Articles publiés dans une revue avec comité de lecture

Trépanier, M., Leroux, M.-H., & de Marcellis-Warin, N. (2009). Cross-analysis of hazmat road accidents using multiple databases. *Journal of Accident Analysis & Prevention*, *41*(6), 1192-1198.

Leroux, M.-H., de Marcellis-Warin, N., & Trépanier, M. (2010). Safety management in hazardous materials logistics. *Transportation Letters: the international journal of transportation research*, *2*(1), 13-25.

Articles acceptés dans une revue avec comité de lecture

De Marcellis-Warin, N., Trépanier, M., & Favre, S. (2009). Bi-level representation model of hazardous materials supply chains. International Journal of Logistics Systems and Management. In press.

Articles soumis dans une revue avec comité de lecture

Leroux, M.-H., de Marcellis-Warin, N., & Trépanier, M. (2009). Modeling hazardous materials logistics choices. International Journal of Production Economics.

Présentations dans des conférences avec comité de lecture

de Marcellis-Warin, N., Favre, S., & Trépanier, M. (2006). Modélisation bi-niveaux du risque dans la logistique du transport de matières dangereuses. Congrès Lambda-mu 2006 - 15e Congrès de Maîtrise des Risques et de Sûreté de Fonctionnement, Lille, France.

Leroux, M.-H., Trépanier, M., & de Marcellis-Warin, N. (2007). Vers une prise en compte des risques dans la chaîne logistique des matières dangereuses. 7e Congrès international de génie industriel, Trois-Rivières, Canada.

Leroux, M.-H., de Marcellis-Warin, N., & Trépanier, M. (2009). Safety management in hazardous materials logistics: a survey of firms' practices. IESM 2009 - International Conference on Industrial Engineering and Systems Management, Montréal, Canada.

Leroux, M.-H., Trépanier, M., & de Marcellis-Warin, N. (2009). Modélisation des choix logistiques reliés aux matières dangereuses. 8e Congrès international de génie industriel, Bagnères-de-Bigorre, France.

Leroux, M.-H., Trépanier, M., & de Marcellis-Warin, N. (2009). Decision making in hazardous materials logistics. 1st TRANSLOG conference, Hamilton, Canada.

Lim, S., & Nedelec, B. (2006). Comparative study of databases on accidents involving dangerous goods in the storage and transport to improve a crossover learning from

experience. In Safety and Reliability for Managing Risks, Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, Estoril, Portugal, p. 2685-2689.

Nedelec, B. (2005). Comparative study of regulations relative to the transport and storage of dangerous goods**.** In Major risks challenging publics, scientists and governments, Proceedings of the 14th SRA Europe Annual Meeting, Como, Italy, pages 127.

Nedelec, B., & Le Coze, J.-C. (2006). Harmonising methodologies for technological risk assessment. In Safety and Reliability for Managing Risks, Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, Estoril, Portugal, pages 1089-1093.

Nedelec, B., Deust, C., & Mazri, C. (2008). GLOBAL : A multicriteria approach for risk assessment of dangerous goods logistics. 2nd Decision Deck Workshop**,** Paris, France.

Nedelec, B., Deust, C., Mazri, C., Le Coze, J.-C., Brouissou, C., & Debray, B. (2008). Logistics of dangerous goods: a GLOBAL risk assessment approach. ESREL et 17ième SRA-Europe, Valencia, Italie.

Trépanier, M., Leroux, M.-H., & de Marcellis-Warin, N. (2006). Using transportation data to assess risk in hazardous materials road logistics operation. In Safety and Reliability for Managing Risks, Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, Estoril, Portugal, pages 2721-2728.

Présentations sur invitation dans une conférence

Nedelec, B. (2006) La maîtrise globale des risques liés aux matières dangereuses Entretiens Jacques-Cartier, colloque sur la maîtrise du risque dans la chaîne logistique du transport des matières dangereuses, Lyon, France.

Trépanier, M., & Leroux, M.-H. (2006). Analyse des bases de données impliquant des matières dangereuses. Entretiens Jacques-Cartier, colloque sur la maîtrise du risque dans la chaîne logistique du transport des matières dangereuses, Lyon, France.

ANNEXE 2 – QUESTIONNAIRE

ÉCOLE POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

Département de mathématiques et de génie industriel

Adresse postale
C.P. 6079, succ. Centre-ville
Montréal (Québec) Canada
H3C 3A7
Téléphone : (514) 340-44998
Télécopieur : (514) 340-4086

École affiliée à l'Université de Montréal

L'équipe du projet GLOBAL CIRANO & EPM :

Professeure Nathalie de Marcellis-Warin, Ph.D.

Professeur Martin Trépanier, ing., Ph.D.

Marie-Hélène Leroux, B. Ing., M.Sc.A.

Ingrid Peignier, Ing. jr.,

Montréal, le 15 septembre 2008

Objet : Relance - Enquête sur les choix logistiques des entreprises québécoises utilisant, fabriquant ou stockant des matières dangereuses

Aux responsable(s) environnement et logistique

Nous vous avons envoyé il y a quelques mois un questionnaire concernant une enquête en cours conduite dans le cadre du projet GLOBAL – CIRANO et École Polytechnique de Montréal sur les choix logistiques des entreprises québécoises utilisant, fabriquant ou stockant des matières dangereuses. Nous souhaitions pouvoir dresser un portrait exhaustif de la situation au Québec. Nous avons reçu un certain nombre de réponses et les premiers résultats sont très intéressants. Mais un plus grand nombre de réponses permettrait de valider ces premières tendances, c'est pourquoi nous faisons une relance aujourd'hui. Nous comptons fortement sur votre collaboration.

Ce projet, a été rendu possible grâce au soutien financier du Ministère des Transports du Québec (MTQ), de l'IRSST, de la chaire CN en économie et intermodalité des transports et de la Ville de Montréal.

Nous vous serions très reconnaissants de bien vouloir compléter ce questionnaire. Nous vous suggérons de le faire remplir par votre responsable environnement ou responsable logistique (transport) ou par toute autre personne qui peut renseigner les informations demandées. Vous pouvez être assurés que l'anonymat des réponses sera préservé. Les résultats seront uniquement diffusés de manière agrégée. Vous recevrez une synthèse de ces résultats, ce qui vous permettra de mieux positionner votre entreprise par rapport aux tendances actuelles du domaine.

L'ENQUÊTE EST À RENVOYER PAR COURRIER OU PAR FAX AVANT LE 1er OCTOBRE 2008 :
Nathalie de Marcellis-Warin, CIRANO,
2020 University 25e étage, Montréal (QC) H3A 2A5
Fax : 514-985-4039

Si vous souhaitez d'autres renseignements, n'hésitez pas à me contacter. Si vous avez déjà répondu, un grand merci et désolée de vous avoir dérangé à nouveau. Nos courriers ont du se croiser !

Nathalie de Marcellis-Warin, PhD
Professeure adjointe École Polytechnique de Montréal
Chercheure CIRANO
Tel : 514 340 4711 poste 4127
nathalie.demarcellis@polymtl.ca

Ministère des Transports
Québec

Québec, le 20 mars 2007

OBJET : Projet de recherche GLOBAL sur le transport et l'entreposage des matières dangereuses

Le Groupe de recherche du Centre interuniversitaire de recherche en analyse des organisations (CIRANO) mène actuellement une enquête réalisée dans le cadre du projet de recherche sur l'évaluation globale des risques liés au transport et à l'utilisation des matières dangereuses.

Ce projet a pour but de mieux connaître les pratiques actuelles concernant l'approvisionnement, le stockage et l'expédition des matières dangereuses et les facteurs reliés à l'organisation logistique qui influent sur ces pratiques et les surcoûts éventuellement occasionnés par celles-ci. En outre, l'issue des résultats de cette recherche permettra de développer une méthodologie d'évaluation des risques liés au stockage et au transport des matières dangereuses.

Le ministère des Transports du Québec est un partenaire important de ce projet de recherche et appuie cette enquête.

En vous remerciant à l'avance de bien vouloir y consacrer le temps nécessaire, vous contribuerez ainsi à l'avancement des connaissances dans ce domaine d'intérêt.

Veuillez agréer nos salutations distinguées.

Raynald Boies, ingénieur
Direction du transport routier
des marchandises

Diane-Michèle Potvin
Direction de la recherche et
de l'environnement

CIRANO
Allier savoir et décision

ÉCOLE POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

Enquête sur les choix logistiques reliés aux matières dangereuses

A- Identification de l'entreprise

A1 Nom de l'entreprise :

A2 Nom de la personne contact :

Titre de la personne contact :

Téléphone :

Courriel*:

A3 Secteur d'activités :

A4 Nombre d'employés :

< 10 ☐ entre 10 et 49 ☐ entre 50 et 249 ☐

entre 250 et 5000 ☐ > 5000 ☐

A5 Votre entreprise utilise t-elle plus d'un site géographique pour réaliser ses activités? Oui☐ Non ☐

*** servira uniquement à vous faire parvenir la synthèse des résultats de cette enquête.**

B- Identification d'un site où il y a des matières dangereuses (MD)

Identifiez l'un de vos sites (établissements industriels) où il y des matières dangereuses. Les questions des sections C, D, E, G, H et I y seront relatives.

B1 Adresse :
Usine ☐ Entrepôt ☐

B2 Nombre d'employés sur ce site :

B3 Couverture géographique des approvisionnements et des expéditions du site :
Locale ☐ Régionale ☐ Provinciale ☐ Nationale ☐ États-Unis ☐
Outre-mer ☐

B4 À votre avis, quelle part de vos activités sur ce site est reliée aux MD ?
Une minorité ☐ La moitié ☐ La majorité ☐ La totalité ☐

B5 Classes TMD (selon la loi sur le transport des marchandises dangereuses de Transports Canada) des matières dangereuses retrouvées sur ce site :
1☐ 2☐ 3☐ 4☐ 5☐ 6☐ 7☐ 8☐ 9☐ autres produits contrôlés☐

B6 Identifiez les 3 principales MD ou MD résiduelles utilisées sur ce site :
Nom : Classe TMD :
Nom : Classe TMD :
Nom : Classe TMD :

© CIRANO 2007

C- Approvisionnement en matières dangereuses (MD)

C1 **Recevez**-vous des MD ou des produits contrôlés sur ce site? Oui☐ Non ☐
Recevez-vous des matières dangereuses résiduelles sur ce site? Oui☐ Non ☐
Si vous avez répondu non aux deux questions, passez directement à la section D

C2 Combien de MD et de matières dangereuses résiduelles (MDR) différentes recevez-vous sur votre site ?
Une ☐ Deux ☐ Trois ☐ Quatre☐ Cinq et plus ☐

C3 À quelle fréquence recevez-vous ces MD et MDR ?
Jour ☐ Semaine ☐ Mois ☐ Quelques fois par an ☐ Continue (pipeline) ☐

C4 Pour ces approvisionnements MD, quels sont les différents modes de transport ?
Camion ☐ Train ☐ Bateau ☐ Pipeline☐ Avion☐

C5 Pour ces approvisionnements, quelles sont les méthodes de transport utilisées ?
Vrac (sans conditionnement, emballage ni arrimage) ☐ Conditionné ☐

C6 Pour vos approvisionnements, pourriez-vous changer de mode de transport ?
Non ☐ Oui, pour quelques MD/MDR ☐ Oui, pour toutes les MD/MDR ☐

C7 Le mode de transport est-il une exigence de vos fournisseurs ?
Non ☐ Oui, pour quelques MD/MDR ☐ Oui, pour toutes les MD/MDR ☐

C8 Qui **effectue** le déchargement de la MD ou MDR en approvisionnement ?
Vous ☐ Transporteur☐ Les deux ☐ Un sous-traitant ☐
Qui **supervise** le déchargement de la MD ou MDR en approvisionnement ?
Vous ☐ Transporteur☐ Les deux ☐ Un sous-traitant ☐

C9 Pour le transport par camion, qui effectue réellement le transport la plupart du temps ? Vous ☐ Votre fournisseur ☐ Un transporteur tiers ☐

D-Expédition des matières dangereuses (MD)

D1 **Expédiez**-vous, ou faites-vous expédier, des MD ou des produits contrôlés depuis ce site ? Oui☐ Non ☐
Expédiez-vous, ou faites-vous expédier, des matières dangereuses résiduelles depuis ce site ? Oui☐ Non ☐
Si vous avez répondu non aux deux questions, passez directement à la section E

D2 Combien de MD et de matières dangereuses résiduelles (MDR) différentes expédiez-vous depuis votre site ?
Une ☐ Deux ☐ Trois ☐ Quatre☐ Cinq et plus ☐

D3 À quelle fréquence expédiez-vous ces MD et MDR?
Jour ☐ Semaine ☐ Mois ☐ Quelques fois par an ☐ Continue (pipeline) ☐

D4 Pour ces **expéditions MD**, quels sont les différents modes de transport utilisés ?
Camion ☐ Train ☐ Bateau ☐ Pipeline☐ Avion☐

D5 Pour ces **expéditions MD**, quelles sont les méthodes de transport utilisées ?
Vrac (sans conditionnement, emballage ni arrimage) ☐ Conditionné ☐

D6 Pour vos expéditions MD/MDR, pourriez-vous changer de mode de transport ?
Non ☐ Oui, pour quelques MD/MDR ☐ Oui, pour toutes les MD/MDR ☐

D7 Le mode de transport est-il une exigence de vos clients ?
Non ☐ Oui, pour quelques MD/MDR ☐ Oui, pour toutes les MD/MDR ☐

D8 Qui **effectue** le chargement de la MD ou MDR en expédition ?
Vous ☐ Transporteur☐ Les deux ☐ Un sous-traitant ☐

Qui **supervise** le déchargement de la MD ou MDR en expédition ?
Vous ☐ Transporteur☐ Les deux ☐ Un sous-traitant ☐

D9 Pour le transport par camion, qui effectue réellement le transport la plupart du temps ? Vous ☐ Votre client ☐ Un transporteur tiers ☐

E- Matières dangereuses (MD) sur le site fixe identifié

E1 Qui effectue la formation des employés des quais de réception/expédition :
Vous ☐ Consultant ☐ Autre :

E2 À quelle fréquence cette formation est-elle offerte?
À l'embauche ☐ Annuellement ☐ Aux 3 ans ☐ Autre ☐ :

E3 Offrez-vous des primes aux rendements à vos employés ? Oui ☐ Non ☐
Est ce que les heures supplémentaires sont valorisées? Oui ☐ Non ☐

E4 Indiquez si les affirmations suivantes font parties de votre pratique (jamais, rarement, parfois, souvent, toujours) :

Affirmation	Jamais				Toujours	N/A ou NSP
Il y a des zones dédiées pour les MD	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Certaines MD sont stockées de façon temporaire sur le site (wagon, remorque)	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Certaines MD dont vous avez besoin sont stockées temporairement sur des sites qui n'appartiennent pas à l'entreprise	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Certaines MD dont vous avez besoin sont stockées temporairement sur d'autres sites de stockage appartenant à l'entreprise	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Vous faites transporter plus souvent pour éviter d'avoir trop de MD sur le site	☐	☐	☐	☐	☐	☐

© CIRANO 2007

F- Coûts liés aux approvisionnements et expéditions de MD

Les questions qui suivent concernent l'ensemble des MD ou MDR reçues ou expédiées

F1 Quels sont les critères qui sont importants lorsque vous faites vos choix d'approvisionnement ou d'expédition de MD ? Classez les 3 plus importants dans la colonne « Ordre »

Critère		Ordre 1,2,3	Critère		Ordre 1,2,3
Coût d'entreposage	☐		Distance / temps porte à porte	☐	
Coût de transport	☐		Fiabilité de délais	☐	
Sécurité du transport	☐		Fréquence	☐	

F2 Les coûts suivants, induits par les MD, représentent-ils une charge importante pour votre entreprise? Classez les 3 plus importants dans la colonne « Ordre ».

Frais	Oui	Non	Ordre 1,2,3	Frais	Oui	Non	Ordre 1,2,3
Véhicules spécialisés/procédures	☐	☐		Embauche d'un responsable sécurité	☐	☐	
Équipements sur le site	☐	☐		Accidents / Incidents MD	☐	☐	
Formation des employés	☐	☐		Mesures réglementaires	☐	☐	
Audits sécurité	☐	☐		Primes d'assurances générales	☐	☐	
Primes CSST	☐	☐					

F3 Quel pourcentage maximal d'augmentation de vos coûts d'exploitation actuels pourriez-vous tolérer pour investir davantage dans les mesures de sécurité?
Aucun ☐ moins de 5% ☐ entre 5% et 10% ☐ entre 10% et 20% ☐ Plus de 20% ☐

F4 Selon vous, l'impact économique sur votre entreprise d'un accident de MD **avec déversement** par rapport à un accident de MD sans déversement serait :
Similaire ☐ Un peu plus important ☐ Plus important ☐ Beaucoup plus important ☐

F5 Selon vous, l'impact économique sur votre entreprise d'un accident de MD impliquant des **employés** (blessés, etc.) par rapport à un accident de MD n'impliquant pas d'employé serait :
Similaire ☐ Un peu plus important ☐ Plus important ☐ Beaucoup plus important ☐

F6 Selon vous, l'impact économique sur votre entreprise d'un accident de MD impliquant le **public** (blessés, etc.) par rapport à un accident de MD n'impliquant pas le public serait :
Similaire ☐ Un peu plus important ☐ Plus important ☐ Beaucoup plus important ☐

G - Sous-traitants avec activités reliées aux MD ou MDR

G1 Faites-vous affaire avec des sous-traitants dans les opérations touchant vos MD ou MDR ?

Activités	Oui	Non	Plus maintenant	Activités	Oui	Non	Plus maintenant
Transport /approvisionnement	☐	☐	☐	Manutention sur le site	☐	☐	☐
Transport/expédition	☐	☐	☐	Emballage	☐	☐	☐
Déchargement	☐	☐	☐	Stockage	☐	☐	☐
Chargement	☐	☐	☐	Production	☐	☐	☐

Si vous avez répondu « plus maintenant » ou « non » est ce pour une raison de
Coût ☐ Maîtrise des risques ☐ Autres ☐

G2 Si vous utilisez des sous-traitants pour les activités de **transport**, indiquez les raisons.
Coût ☐ Vous n'avez pas de véhicule ☐ Vous n'avez pas l'expertise ☐
Le transporteur partage la responsabilité du risque MD ☐ Autre ☐ :

G3 Savez-vous si vos sous-traitants utilisent à leur tour des sous-traitants ?
Nous l'ignorons ☐ Nous en avons vaguement conscience ☐
Nous savons parfaitement qu'ils le font ☐ Nous savons parfaitement qu'ils ne le font pas ☐

G4 Y a-t-il des contrats à long terme entre vous et ces sous-traitants?
Jamais (demandes ponctuelles) ☐ Parfois ☐ Souvent ☐ Toujours ☐

G5 Selon vous, l'impact sur votre entreprise d'un accident de transport par votre sous-traitant avec vos MD serait :
Nul ☐ Plus faible qu'un accident avec vos véhicules ☐ Le même qu'un accident avec vos véhicules ☐ Plus important qu'un accident avec vos véhicules ☐

G6 Pratiquez-vous des audits de sécurité chez vos sous-traitants?
Jamais ☐ Parfois ☐ Souvent ☐ Toujours ☐

G7 Quels sont les critères qui sont importants lorsque vous sélectionnez un transporteur pour vos MD ?

Critère		Ordre 1,2,3	Critère		Ordre 1,2,3
Coût	☐		Possibilité de suivre le transport	☐	
Fiabilité/qualité du service	☐		Certifications ISO ou autres	☐	
Accidents passés (cote de sécurité)	☐		Réputation du transporteur	☐	
Maîtrise de la sécurité	☐		Relation durable	☐	
Autre :	☐				

© CIRANO 2007

H - Maîtrise du risque

H1 Commentez les affirmations suivantes concernant votre entreprise (jamais, rarement, parfois, souvent, toujours)

Affirmation	Jamais			Toujours		N/A
Gestion du risque						
Pour votre site, vous faites des analyses de risque	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Pour le transport, vous faites des analyses de risque	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Vous utilisez des technologies de suivi (GPS, etc.) pour les opérations de transport MD	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Vous utilisez des procédures spécifiques lors du chargement et du déchargement des MD	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Sur votre site, vos procédures sont plus strictes que la loi	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Pour le transport MD, vos procédures sont plus strictes que la loi	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Communication des risques						
Pour votre site, vous communiquez vos risques aux citoyens	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Pour le transport, vous communiquez vos risques aux citoyens	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Votre politique de maîtrise du risque MD est utilisée comme un outil de marketing	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Gestion des accidents/incidents						
Vous inscrivez vos accidents/incidents MD dans un registre	☐	☐	☐	☐	☐	☐
À la suite d'un accident/incident MD, vous réalisez une enquête	☐	☐	☐	☐	☐	☐

H2 Avez-vous un comité de santé sécurité au travail? Oui ☐ Non ☐

H3 Avez-vous du personnel ou un département dédié à la gestion des risques ?
Oui ☐ Non ☐

H4 Avez-vous un programme de prévention des accidents spécifique aux MD?
Oui ☐ Non ☐

H5 Offrez-vous des séances d'information / de communication sur la gestion des risques à vos employés ? Oui ☐ Non ☐

H6 Pour l'organisation et la planification des activités sur votre site, collaborez-vous étroitement avec vos partenaires (clients, fournisseurs, sous-traitants)?
Jamais ☐ Parfois ☐ Souvent ☐ Toujours ☐

H7 En cas d'accident MD **en transport ou sur votre site**, quels sont les impacts possibles sur votre entreprise ? Classez les 3 plus importants.

Impact possible	Oui	Non	Odre 1,2,3	Impact possible	Oui	Non	Odre 1,2,3
Coût direct immédiat	☐	☐		Augmentation des primes d'assurances	☐	☐	
Perte de production	☐	☐		Perte d'image	☐	☐	
Perte de clientèle	☐	☐		Réaction des citoyens	☐	☐	

H8 Quel type d'accident MD aurait un plus grand impact sur votre entreprise?
Site fixe ☐ Transport ☐
Pourquoi?

I – Réglementation MD

I1 Commentez les affirmations suivantes concernant votre entreprise (jamais, rarement, parfois, souvent, toujours)

Affirmation	Jamais			Toujours		N/A NSP
Le cadre réglementaire relié aux MD en général contraint excessivement vos activités	☐	☐	☐	☐	☐	☐
La réglementation relative au stockage des MD vous a amené à faire des changements :						
• Substitution de matières	☐	☐	☐	☐	☐	☐
• Diminution des stocks de MD	☐	☐	☐	☐	☐	☐
• Choix logistique et fréquence des livraisons	☐	☐	☐	☐	☐	☐
La réglementation TMD restreint vos activités	☐	☐	☐	☐	☐	☐
La réglementation SST relative aux MD restreint vos activités	☐	☐	☐	☐	☐	☐

COMMENTAIRES

MERCI DE VOTRE COLLABORATION

© CIRANO 2007

ANNEXE 3 – RÉSULTATS DE L'ENQUÊTE

106 questionnaires ont été complétés à ce jour. Quatre de ces réponses proviennent d'une version intermédiaire du questionnaire ce qui explique le nombre élevé d'abstentions aux questions C2, D2, E3, F3, F4, F5, F6, G1, H3, H5 et H6 qui n'existaient pas dans la version antérieure du questionnaire.

Les réponses aux questions A1, A2 et à la première partie de B1 ne sont pas présentées, pour préserver l'identité des répondants. De plus, les réponses ont été compilées et sont présentées de façon groupée pour fins statistiques et pour éviter que des réponses soient liées à une entreprise si jamais son identité était déduite.

Les réponses obtenues proviennent d'horizons variés : secteurs d'activités, taille de l'entreprise et portion des activités liées aux matières dangereuses.

Réponses à la question A3

Secteur d'activité :

	Nombre	Pourcentage	% valides
Industrie des produits chimiques	20	18,9	19,6
Métaux	11	10,4	10,8
Plastiques / composites	11	10,4	10,8
Pétrochimie	6	5,7	5,9
Pâtes et papiers	6	5,7	5,9
Distribution	4	3,8	3,9
Services environnementaux / récupération	3	2,8	2,9
Industrie automobile	3	2,8	2,9
Aéronautique	3	2,8	2,9
Peinture	3	2,8	2,9
Ciment	2	1,9	2,0
Produits nettoyants	2	1,9	2,0
Divers	28	26,4	27,5
SOUS-TOTAL	102	96,2	100,0
N'a pas répondu à la question	4	3,8	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question A4

Nombre d'employés :

	Nombre	Pourcentage	% valides
<10	2	1,9	2,0
Entre 10 et 49	27	25,5	26,5
Entre 50 et 249	39	36,8	38,2
Entre 250 et 5000	31	29,2	30,4
>5000	3	2,8	2,9
SOUS-TOTAL	102	96,2	100,0
N'a pas répondu	4	3,8	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question A5

Votre entreprise utilise-t-elle plus d'un site géographique pour réaliser ses activités?

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	53	50,0	51,5
Oui	50	47,2	48,5
SOUS-TOTAL	103	97,2	100,0
N'a pas répondu	3	2,8	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question B1

Type d'installation[7] :

Usine :

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	10	9,4	9,6
Oui	94	88,7	90,4
SOUS-TOTAL	104	98,1	100,0
N'a pas répondu	2	1,9	
TOTAL	106	100,0	

[7] Pour l'ensemble des questions où il est possible d'inscrire plusieurs choix, chaque réponse possible est présentée de façon indépendante, les pourcentages cumulatifs pouvant être trompeurs.

Entrepôt :

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	80	75,5	76,9
Oui	24	22,6	23,1
SOUS-TOTAL	104	98,1	100,0
N'a pas répondu	2	1,9	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question B2

Nombre d'employés sur ce site :

	Nombre	Pourcentage	% valides
<10	9	8,5	8,8
Entre 10 et 49	22	20,8	21,6
Entre 50 et 249	45	42,5	44,1
Entre 250 et 5000	26	24,5	25,5
>5000	0	0	0
SOUS-TOTAL	102	96,2	100,0
N'a pas répondu	4	3,8	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question B3

Couverture géographique des approvisionnements et des expéditions du site:

Locale :

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	69	65,1	66,3
Oui	35	33,0	33,7
SOUS-TOTAL	104	98,1	100,0
N'a pas répondu	2	1,9	
TOTAL	106	100,0	

Régionale :

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	66	62,3	63,5
Oui	38	35,8	36,5
SOUS-TOTAL	104	98,1	100,0
N'a pas répondu	2	1,9	
TOTAL	106	100,0	

Provinciale :

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	55	51,9	52,9
Oui	49	46,2	47,1
SOUS-TOTAL	104	98,1	100,0
N'a pas répondu	2	1,9	
TOTAL	106	100,0	

Nationale

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	43	40,6	41,3
Oui	61	57,5	58,7
SOUS-TOTAL	104	98,1	100,0
N'a pas répondu	2	1,9	
TOTAL	106	100,0	

États-Unis (Amérique du Nord)

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	40	37,7	38,5
Oui	64	60,4	61,5
SOUS-TOTAL	104	98,1	100,0
N'a pas répondu	2	1,9	
TOTAL	106	100,0	

Outre-mer

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	67	63,2	64,4
Oui	37	34,9	35,6
SOUS-TOTAL	104	98,1	100,0
N'a pas répondu	2	1,9	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question B4

A votre avis quelle part de vos activités sur ce site est reliée aux MD?

	Nombre	Pourcentage	% valides
Une minorité	51	48,1	50,5
La moitié	15	14,2	14,9
La majorité	17	16,0	16,8
La totalité	18	17,0	17,8
SOUS-TOTAL	101	95,3	100,0
N'a pas répondu	5	4,7	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question B5

Classes TMD (selon la loi sur le transport des marchandises dangereuses de Transport Canada) des matières dangereuses retrouvées sur ce site :

1 :

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	85	80,2	91,4
Oui	8	7,5	8,6
SOUS-TOTAL	93	87,7	100,0
N'a pas répondu	13	12,3	
TOTAL	106	100,0	

2 :

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	51	48,1	54,8
Oui	42	39,6	45,2
SOUS-TOTAL	93	87,7	100,0
N'a pas répondu	13	12,3	
TOTAL	106	100,0	

3 :

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	25	23,6	26,9
Oui	68	64,2	73,1
SOUS-TOTAL	93	87,7	100,0
N'a pas répondu	13	12,3	
TOTAL	106	100,0	

4 :

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	67	63,2	72,0
Oui	26	24,5	28,0
SOUS-TOTAL	93	87,7	100,0
N'a pas répondu	13	12,3	
TOTAL	106	100,0	

5 :

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	68	64,2	73,1
Oui	25	23,6	26,9
SOUS-TOTAL	93	87,7	100,0
N'a pas répondu	13	12,3	
TOTAL	106	100,0	

6 :

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	64	60,4	68,8
Oui	29	27,4	31,2
SOUS-TOTAL	93	87,7	100,0
N'a pas répondu	13	12,3	
TOTAL	106	100,0	

7 :

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	90	84,9	96,8
Oui	3	2,8	3,2
SOUS-TOTAL	93	87,7	100,0
N'a pas répondu	13	12,3	
TOTAL	106	100,0	

8 :

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	39	36,8	41,9
Oui	54	50,9	58,1
SOUS-TOTAL	93	87,7	100,0
N'a pas répondu	13	12,3	
TOTAL	106	100,0	

9 :

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	60	56,6	64,5
Oui	33	31,1	35,5
SOUS-TOTAL	93	87,7	100,0
N'a pas répondu	13	12,3	
TOTAL	106	100,0	

Autres produits contrôlés :

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	89	84,0	95,7
Oui	4	3,8	4,3
SOUS-TOTAL	93	87,7	100,0
N'a pas répondu	13	12,3	
TOTAL	106	100,0	

À partir des réponses obtenues à la question B5, il est possible de calculer le nombre de catégories de MD présentes sur les sites fixes. Les autres produits contrôlés sont ici considérés comme une catégorie additionnelle. :

Nombre de classes MD sur le site	Nombre	Pourcentage	% valides
1	30	28,3	32,3
2	16	15,1	17,2
3	7	6,6	7,5
4	14	13,2	15,1
5	10	9,4	10,8
6	11	10,4	11,8
7	3	2,8	3,2
8	2	1,9	2,2
SOUS-TOTAL	93	87,7	100,0
N'a pas répondu	13	12,3	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question B6

Identifiez les 3 principales MD ou MD résiduelles utilisées sur ce site[8] :

	Mentions
Acide sulfurique	14
Soude caustique	10
Essence	8
Acétone	7
Eaux contaminées	7
Propane	7
Xylène	6
Méthanol	5
Boues usées	5
Peroxyde	5
Peinture	5
Solvants	4
Diesel	4
Hydroxyde de sodium	4
Huiles usées	4
Résine	4
Pentane	3
Adhésif	3
Inflammables	3
Oxydants	3
Corrosifs	3
Acide Chlorhydrique	3
Azote	3
Chlorate de sodium	2
Isobutane	2
Naphtalène	2
Hydrogène	2
Solvants	2
Trioxyde de chrome	2
Oxygène	2
Isopropanol	2
Styrène	2
Toluène	2
Acide chromique	2
Gaz naturel	2
Formaldéhyde	2

Réponses à la question C1

Recevez-vous des MD ou des produits contrôlés sur ce site?

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	10	9,4	9,4
Oui	96	90,6	90,6
SOUS-TOTAL	106	100.0	100,0
N’a pas répondu	0	0	
TOTAL	106	100,0	

[8] Seules les substances mentionnées plus d’une fois sont ici présentées.

Recevez-vous des matières dangereuses résiduelles sur ce site?

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	88	83,0	85,4
Oui	15	14,2	14,6
SOUS-TOTAL	103	97,2	100,0
N'a pas répondu	3	2,8	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question C2

Combien de MD et de matières dangereuses résiduelles (MDR) différentes recevez-vous sur votre site?

	Nombre	Pourcentage	% valides
Une	4	3,8	4,8
Deux	5	4,7	6,0
Trois	5	4,7	6,0
Quatre	6	5,7	7,1
Cinq et plus	64	60,4	76,2
SOUS-TOTAL	84	79,2	100,0
N'a pas répondu	22	20,8	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question C3

À quelle fréquence recevez-vous ces MD et MDR?

	Nombre	Pourcentage	% valides
Jour	35	33,0	37,2
Semaine	36	34,0	38,3
Mois	10	9,4	10,6
Quelques fois par an	9	8,5	9,6
Continu (pipeline)	4	3,8	4,3
SOUS-TOTAL	94	88,7	100,0
N'a pas répondu	12	11,3	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question C4

Pour ces approvisionnements MD, quels sont les différents modes de transport?

Camion

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	1	,9	1,1
Oui	94	88,7	98,9
SOUS-TOTAL	95	89,6	100,0
N'a pas répondu	11	10,4	
TOTAL	106	100,0	

Train

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	76	71,7	80,0
Oui	19	17,9	20,0
SOUS-TOTAL	95	89,6	100,0
N'a pas répondu	11	10,4	
TOTAL	106	100,0	

Bateau

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	78	73,6	82,1
Oui	17	16,0	17,9
SOUS-TOTAL	95	89,6	100,0
N'a pas répondu	11	10,4	
TOTAL	106	100,0	

Pipeline

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	86	81,1	90,5
Oui	9	8,5	9,5
SOUS-TOTAL	95	89,6	100,0
N'a pas répondu	11	10,4	
TOTAL	106	100,0	

Avion

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	92	86,8	96,8
Oui	3	2,8	3,2
SOUS-TOTAL	95	89,6	100,0
N'a pas répondu	11	10,4	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question C5

Pour ces approvisionnements, quelles sont les méthodes de transport utilisées?

Vrac (sans conditionnement, emballage ou arrimage)

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	36	34,0	39,6
Oui	55	51,9	60,4
SOUS-TOTAL	91	85,8	100,0
N'a pas répondu	15	14,2	
TOTAL	106	100,0	

Conditionné

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	23	21,7	25,3
Oui	68	64,2	74,7
SOUS-TOTAL	91	85,8	100,0
N'a pas répondu	15	14,2	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question C6

Pour vos approvisionnements, pourriez-vous changer de mode de transport?

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	81	76,4	86,2
Oui, pour quelques MD/MDR	13	12,3	13,8
Oui, pour toutes les MD/MDR	0	0	0
SOUS-TOTAL	94	88,7	100,0
N'a pas répondu	12	11,3	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question C7

Le mode de transport est-il une exigence de vos fournisseurs?

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	54	50,9	58,7
Oui, pour quelques MD/MDR	14	13,2	15,2
Oui, pour toutes les MD/MDR	24	22,6	26,1
SOUS-TOTAL	92	86,8	100,0
N'a pas répondu	14	13,2	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question C8

Qui effectue le déchargement de la MD ou MDR en approvisionnement?

Vous

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	40	37,7	42,1
Oui	55	51,9	57,9
SOUS-TOTAL	95	89,6	100,0
N'a pas répondu	11	10,4	
TOTAL	106	100,0	

Transporteur

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	84	79,2	88,4
Oui	11	10,4	11,6
SOUS-TOTAL	95	89,6	100,0
N'a pas répondu	11	10,4	
TOTAL	106	100,0	

Les deux

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	63	59,4	66,3
Oui	32	30,2	33,7
SOUS-TOTAL	95	89,6	100,0
N'a pas répondu	11	10,4	
TOTAL	106	100,0	

Un sous-traitant

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	94	88,7	98,9
Oui	1	,9	1,1
SOUS-TOTAL	95	89,6	100,0
N'a pas répondu	11	10,4	
TOTAL	106	100,0	

Qui supervise le déchargement de la MD ou MDR en approvisionnement?

Vous

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	33	31,1	34,7
Oui	62	58,5	65,3
SOUS-TOTAL	95	89,6	100,0
N'a pas répondu	11	10,4	
TOTAL	106	100,0	

Transporteur

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	90	84,9	94,7
Oui	5	4,7	5,3
SOUS-TOTAL	95	89,6	100,0
N'a pas répondu	11	10,4	
TOTAL	106	100,0	

Les deux

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	69	65,1	72,6
Oui	26	24,5	27,4
SOUS-TOTAL	95	89,6	100,0
N'a pas répondu	11	10,4	
TOTAL	106	100,0	

Un sous-traitant

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	94	88,7	98,9
Oui	1	,9	1,1
SOUS-TOTAL	95	89,6	100,0
N'a pas répondu	11	10,4	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question C9

Pour le transport par camion, qui effectue réellement le transport la plupart du temps?

Vous

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	89	84,0	94,7
Oui	5	4,7	5,3
SOUS-TOTAL	94	88,7	100,0
N'a pas répondu	12	11,3	
TOTAL	106	100,0	

Votre fournisseur

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	40	37,7	42,6
Oui	54	50,9	57,4
SOUS-TOTAL	94	88,7	100,0
N'a pas répondu	12	11,3	
TOTAL	106	100,0	

Un transporteur tiers

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	45	42,5	47,9
Oui	49	46,2	52,1
SOUS-TOTAL	94	88,7	100,0
N'a pas répondu	12	11,3	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question D1

Expédiez-vous ou faites-vous expédier des MD ou des produits contrôlés depuis ce site?

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	37	34,9	35,2
Oui	68	64,2	64,8
SOUS-TOTAL	105	99,1	100,0
N'a pas répondu	1	,9	
TOTAL	106	100,0	

Expédiez-vous ou faites-vous expédier des matières dangereuses résiduelles depuis ce site?

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	25	23,6	23,8
Oui	80	75,5	76,2
SOUS-TOTAL	105	99,1	100,0
N'a pas répondu	1	,9	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question D2

Combien de MD et de matières dangereuses résiduelles (MDR) différentes expédiez-vous depuis votre site?

	Nombre	Pourcentage	% valides
Une	7	6,6	7,6
Deux	10	9,4	10,9
Trois	9	8,5	9,8
Quatre	8	7,5	8,7
Cinq et plus	58	54,7	63,0
SOUS-TOTAL	92	86,8	100,0
N’a pas répondu	14	13,2	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question D3

À quelle fréquence expédiez-vous ces MD et MDR?

	Nombre	Pourcentage	% valides
Jour	34	32,1	35,1
Semaine	25	23,6	25,8
Mois	17	16,0	17,5
Quelques fois par an	20	18,9	20,6
Continu (pipeline)	1	,9	1,0
SOUS-TOTAL	97	91,5	100,0
N’a pas répondu	9	8,5	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question D4

Pour ces expéditions MD, quels sont les différents modes de transport?

Camion

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	1	,9	1,1
Oui	88	83,0	98,9
SOUS-TOTAL	89	84,0	100,0
N’a pas répondu	17	16,0	
TOTAL	106	100,0	

Train

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	69	65,1	77,5
Oui	20	18,9	22,5
SOUS-TOTAL	89	84,0	100,0
N'a pas répondu	17	16,0	
TOTAL	106	100,0	

Bateau

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	71	67,0	79,8
Oui	18	17,0	20,2
SOUS-TOTAL	89	84,0	100,0
N'a pas répondu	17	16,0	
TOTAL	106	100,0	

Pipeline

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	83	78,3	93,3
Oui	6	5,7	6,7
SOUS-TOTAL	89	84,0	100,0
N'a pas répondu	17	16,0	
TOTAL	106	100,0	

Avion

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	81	76,4	91,0
Oui	8	7,5	9,0
SOUS-TOTAL	89	84,0	100,0
N'a pas répondu	17	16,0	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question D5

Pour ces expéditions MD, quelles sont les méthodes de transport utilisées?

Vrac (sans conditionnement, emballage ou arrimage)

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	47	44,3	54,7
Oui	39	36,8	45,3
SOUS-TOTAL	86	81,1	100,0
N'a pas répondu	20	18,9	
TOTAL	106	100,0	

Conditionné

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	20	18,9	23,3
Oui	66	62,3	76,7
SOUS-TOTAL	86	81,1	100,0
N'a pas répondu	20	18,9	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question D6

Pour vos expéditions MD/MDR, pourriez-vous changer de mode de transport?

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	78	73,6	83,9
Oui, pour quelques MD/MDR	13	12,3	14,0
Oui, pour toutes les MD/MDR	2	1,9	2,2
SOUS-TOTAL	93	87,7	100,0
N'a pas répondu	13	12,3	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question D7

Le mode de transport est-il une exigence de vos clients?

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	47	44,3	50,0
Oui, pour quelques MD/MDR	21	19,8	22,3
Oui, pour toutes les MD/MDR	26	24,5	27,7
SOUS-TOTAL	94	88,7	100,0
N'a pas répondu	12	11,3	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question D8

Qui effectue le chargement de la MD ou MDR en expédition?

Vous

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	38	35,8	39,6
Oui	58	54,7	60,4
SOUS-TOTAL	96	90,6	100,0
N'a pas répondu	10	9,4	
TOTAL	106	100,0	

Transporteur

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	87	82,1	90,6
Oui	9	8,5	9,4
SOUS-TOTAL	96	90,6	100,0
N'a pas répondu	10	9,4	
TOTAL	106	100,0	

Les deux

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	73	68,9	76,0
Oui	23	21,7	24,0
SOUS-TOTAL	96	90,6	100,0
N'a pas répondu	10	9,4	
TOTAL	106	100,0	

Un sous-traitant

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	86	81,1	89,6
Oui	10	9,4	10,4
SOUS-TOTAL	96	90,6	100,0
N'a pas répondu	10	9,4	
TOTAL	106	100,0	

Qui supervise le chargement de la MD ou MDR en expédition?

Vous

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	51	48,1	53,1
Oui	45	42,5	46,9
SOUS-TOTAL	96	90,6	100,0
N'a pas répondu	10	9,4	
TOTAL	106	100,0	

Transporteur

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	76	71,7	79,2
Oui	20	18,9	20,8
SOUS-TOTAL	96	90,6	100,0
N'a pas répondu	10	9,4	
TOTAL	106	100,0	

Les deux

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	70	66,0	72,9
Oui	26	24,5	27,1
SOUS-TOTAL	96	90,6	100,0
N'a pas répondu	10	9,4	
TOTAL	106	100,0	

Un sous-traitant

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	89	84,0	92,7
Oui	7	6,6	7,3
SOUS-TOTAL	96	90,6	100,0
N'a pas répondu	10	9,4	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question D9

Pour le transport par camion, qui effectue réellement le transport la plupart du temps?

Vous

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	80	75,5	85,1
Oui	14	13,2	14,9
SOUS-TOTAL	94	88,7	100,0
N'a pas répondu	12	11,3	
TOTAL	106	100,0	

Votre client

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	73	68,9	77,7
Oui	21	19,8	22,3
SOUS-TOTAL	94	88,7	100,0
N'a pas répondu	12	11,3	
TOTAL	106	100,0	

Un transporteur tiers

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	31	29,2	33,0
Oui	63	59,4	67,0
SOUS-TOTAL	94	88,7	100,0
N'a pas répondu	12	11,3	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question E1

Qui effectue la formation des employés des quais de réception/expédition :

Vous

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	44	41,5	42,7
Oui	59	55,7	57,3
SOUS-TOTAL	103	97,2	100,0
N'a pas répondu	3	2,8	
TOTAL	106	100,0	

Consultant

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	52	49,1	50,5
Oui	51	48,1	49,5
SOUS-TOTAL	103	97,2	100,0
N'a pas répondu	3	2,8	
TOTAL	106	100,0	

Autre

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	99	93,4	96,1
Oui	4	3,8	3,9
SOUS-TOTAL	103	97,2	100,0
N'a pas répondu	3	2,8	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question E2

À quelle fréquence cette formation est-elle offerte?

À l'embauche

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	59	55,7	57,8
Oui	43	40,6	42,2
SOUS-TOTAL	102	96,2	100,0
N'a pas répondu	4	3,8	
TOTAL	106	100,0	

Annuellement

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	90	84,9	88,2
Oui	12	11,3	11,8
SOUS-TOTAL	102	96,2	100,0
N'a pas répondu	4	3,8	
TOTAL	106	100,0	

Aux trois ans

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	44	41,5	43,1
Oui	58	54,7	56,9
SOUS-TOTAL	102	96,2	100,0
N'a pas répondu	4	3,8	
TOTAL	106	100,0	

Autre

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	83	78,3	81,4
Oui	19	17,9	18,6
SOUS-TOTAL	102	96,2	100,0
N'a pas répondu	4	3,8	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question E3

Offrez-vous des primes au rendement à vos employés?

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	68	64,2	70,8
Oui	28	26,4	29,2
SOUS-TOTAL	96	90,6	100,0
N’a pas répondu	10	9,4	
TOTAL	106	100,0	

Est-ce que les heures supplémentaires sont valorisées?

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	35	33,0	36,8
Oui	60	56,6	63,2
SOUS-TOTAL	95	89,6	100,0
N’a pas répondu	11	10,4	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question E4

Indiquez si les affirmations suivantes font parties de votre pratique

Il y a des zones dédiées pour les MD

	Nombre	Pourcentage	% valides
Jamais	0	0	0
Rarement	1	,9	1,0
Parfois	4	3,8	3,9
Souvent	16	15,1	15,5
Toujours	82	77,4	79,6
SOUS-TOTAL	103	97,2	100,0
N’a pas répondu	3	2,8	
TOTAL	106	100,0	

Certaines MD sont stockées de façon temporaire sur le site (wagon, remorque)

	Nombre	Pourcentage	% valides
Jamais	43	40,6	42,2
Rarement	22	20,8	21,6
Parfois	10	9,4	9,8
Souvent	9	8,5	8,8
Toujours	18	17,0	17,6
SOUS-TOTAL	102	96,2	100,0
N’a pas répondu	4	3,8	
TOTAL	106	100,0	

Certaines MD dont vous avez besoin sont stockées temporairement sur des sites qui n’appartiennent pas à l’entreprise

	Nombre	Pourcentage	% valides
Jamais	88	83,0	88,0
Rarement	5	4,7	5,0
Parfois	4	3,8	4,0
Souvent	0	0	0
Toujours	3	2,8	3,0
SOUS-TOTAL	100	94,3	100,0
N’a pas répondu	6	5,7	
TOTAL	106	100,0	

Certaines MD dont vous avez besoin sont stockées temporairement sur d’autres sites de stockage appartenant à l’entreprise

	Nombre	Pourcentage	% valides
Jamais	82	77,4	81,2
Rarement	8	7,5	7,9
Parfois	5	4,7	5,0
Souvent	0	0	0
Toujours	6	5,7	5,9
SOUS-TOTAL	101	95,3	100,0
N’a pas répondu	5	4,7	
TOTAL	106	100,0	

Vous faites transporter plus souvent pour éviter d'avoir trop de MD sur le site

	Nombre	Pourcentage	% valides
Jamais	24	22,6	25,0
Rarement	9	8,5	9,4
Parfois	15	14,2	15,6
Souvent	16	15,1	16,7
Toujours	32	30,2	33,3
SOUS-TOTAL	96	90,6	100,0
N'a pas répondu	10	9,4	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question F1[9]

Quels sont les critères qui sont importants lorsque vous faites vos choix d'approvisionnement ou d'expédition de MD ? Classez les 3 plus important dans la colonne « Ordre »

Coût d'entreposage

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	51	48,1	54,3
Oui	43	40,6	45,7
SOUS-TOTAL	94	88,7	100,0
N'a pas répondu	12	11,3	
TOTAL	106	100,0	

Coût de transport

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	11	10,4	11,7
Oui	83	78,3	88,3
SOUS-TOTAL	94	88,7	100,0
N'a pas répondu	12	11,3	
TOTAL	106	100,0	

[9] Plusieurs entreprises n'ont pas classé les critères par ordre d'importance dans la colonne « ordre » ou ont mal saisi la question. Pour cette raison, les éléments relatifs à l'ordre obtenu ne sont pas présentés, seuls les critères indiqués par les entreprises le sont. Il en va de même pour les autres questions demandant de classifier les éléments de réponse en ordre.

Sécurité du transport

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	20	18,9	21,3
Oui	74	69,8	78,7
SOUS-TOTAL	94	88,7	100,0
N'a pas répondu	12	11,3	
TOTAL	106	100,0	

Distance / temps porte-à-porte

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	54	50,9	57,4
Oui	40	37,7	42,6
SOUS-TOTAL	94	88,7	100,0
N'a pas répondu	12	11,3	
TOTAL	106	100,0	

Fiabilité des délais

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	16	15,1	17,0
Oui	78	73,6	83,0
SOUS-TOTAL	94	88,7	100,0
N'a pas répondu	12	11,3	
TOTAL	106	100,0	

Fréquence

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	51	48,1	54,3
Oui	43	40,6	45,7
SOUS-TOTAL	94	88,7	100,0
N'a pas répondu	12	11,3	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question F2

Les coûts suivants, induits par les MD, représentent-ils une charge importante pour votre entreprise? Classez les 3 plus importants dans la colonne « ordre »

Véhicules spécialisés/procédures

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	52	49,0	52,5
Oui	47	44,3	47,5
SOUS-TOTAL	99	94,4	100,0
N'a pas répondu	7	6,6	
TOTAL	106	100,0	

Équipements sur le site

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	36	34,0	36,4
Oui	63	59,4	63,6
SOUS-TOTAL	99	94,4	100,0
N'a pas répondu	7	6,6	
TOTAL	106	100,0	

Formation des employés

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	39	36,8	39,4
Oui	60	56,6	60,6
SOUS-TOTAL	99	93,4	100,0
N'a pas répondu	7	6,6	
TOTAL	106	100,0	

Audits de sécurité

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	72	67,9	72,7
Oui	27	25,5	27,3
SOUS-TOTAL	99	93,4	100,0
N'a pas répondu	7	6,6	
TOTAL	106	100,0	

Primes CSST

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	81	76,4	81,8
Oui	18	17,0	18,2
SOUS-TOTAL	99	93,4	100,0
N'a pas répondu	7	6,6	
TOTAL	106	100,0	

Embauche d'un responsable sécurité

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	68	64,2	68,7
Oui	31	29,2	31,3
SOUS-TOTAL	99	93,4	100,0
N'a pas répondu	7	6,6	
TOTAL	106	100,0	

Accidents/Incidents MD

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	72	67,9	72,7
Oui	27	25,5	27,3
SOUS-TOTAL	99	93,4	100,0
N'a pas répondu	7	6,6	
TOTAL	106	100,0	

Mesures réglementaires

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	43	40,6	43,4
Oui	56	52,8	56,6
SOUS-TOTAL	99	93,4	100,0
N'a pas répondu	7	6,6	
TOTAL	106	100,0	

Primes d'assurances générales

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	45	42,5	45,5
Oui	54	50,9	54,5
SOUS-TOTAL	99	93,4	100,0
N'a pas répondu	7	6,6	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question F3

Quel pourcentage maximal d'augmentation de vos coûts d'exploitation actuels pourriez-vous tolérer pour investir davantage dans les mesures de sécurité?

	Nombre	Pourcentage	% valides
Aucun	31	29,2	34,4
Moins de 5%	41	38,7	45,6
Entre 5% et 10%	10	9,4	11,1
Entre 10% et 20%	5	4,7	5,6
Plus de 20%	3	2,8	3,3
SOUS-TOTAL	90	84,9	100,0
N'a pas répondu	16	15,1	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question F4

Selon vous, l'impact économique sur votre entreprise d'un accident de MD avec déversement par rapport à un accident de MD sans déversement serait :

	Nombre	Pourcentage	% valides
Similaire	13	12,3	13,4
Un peu plus important	18	17,0	18,6
Plus important	37	34,9	38,1
Beaucoup plus important	29	27,4	29,9
SOUS-TOTAL	97	91,5	100,0
N'a pas répondu	9	8,5	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question F5

Selon vous, l'impact économique sur votre entreprise d'un accident de MD impliquant des employés (blessés, etc.) par rapport à un accident de MD n'impliquant pas d'employés serait :

	Nombre	Pourcentage	% valides
Similaire	5	4,7	5,2
Un peu plus important	13	12,3	13,4
Plus important	42	39,6	43,3
Beaucoup plus important	37	34,9	38,1
SOUS-TOTAL	97	91,5	100,0
N'a pas répondu	9	8,5	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question F6

Selon vous, l'impact économique sur votre entreprise d'un accident de MD impliquant le public (blessés, etc.) par rapport à un accident de MD n'impliquant pas le public serait :

	Nombre	Pourcentage	% valides
Similaire	3	2,8	3,1
Un peu plus important	9	8,5	9,3
Plus important	35	33,0	36,1
Beaucoup plus important	50	47,2	51,5
SOUS-TOTAL	97	91,5	100,0
N'a pas répondu	9	8,5	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question G1

Faites-vous affaire avec des sous-traitants dans les opérations touchant vos MD ou MDR?

Transport - approvisionnement

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	16	15,1	16,0
Oui	84	79,2	84,0
SOUS-TOTAL	100	94,3	100,0
N'a pas répondu	6	5,7	
TOTAL	106	100,0	

Transport - expédition

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	15	14,2	15,0
Oui	85	80,2	85,0
SOUS-TOTAL	100	94,3	100,0
N'a pas répondu	6	5,7	
TOTAL	106	100,0	

Déchargement

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	69	65,1	69,0
Oui	31	29,2	31,0
SOUS-TOTAL	100	94,3	100,0
N'a pas répondu	6	5,7	
TOTAL	106	100,0	

Chargement

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	67	63,2	67,0
Oui	33	31,1	33,0
SOUS-TOTAL	100	94,3	100,0
N'a pas répondu	6	5,7	
TOTAL	106	100,0	

Manutention sur le site

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	82	77,4	82,0
Oui	18	17,0	18,0
SOUS-TOTAL	100	94,3	100,0
N'a pas répondu	61	5,7	
TOTAL	106	100,0	

Emballage

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	86	81,1	86,0
Oui	14	13,2	14,0
SOUS-TOTAL	100	94,3	100,0
N'a pas répondu	6	5,7	
TOTAL	106	100,0	

Stockage

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	90	84,9	90,0
Oui	10	9,4	10,0
SOUS-TOTAL	100	94,3	100,0
N'a pas répondu	6	5,7	
TOTAL	106	100,0	

Production

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	91	85,8	91,0
Oui	9	8,5	9,0
SOUS-TOTAL	100	94,3	100,0
N'a pas répondu	6	5,7	
TOTAL	106	100,0	

Si vous avez répondu « plus maintenant » ou « non » est-ce pour une raison de :

Coûts

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	60	56,6	82,2
Oui	13	12,3	17,8
SOUS-TOTAL	73	68,9	100,0
N'a pas répondu	33	31,1	
TOTAL	106	100,0	

Maîtrise des risques

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	40	37,7	54,8
Oui	33	31,1	45,2
SOUS-TOTAL	73	68,9	100,0
N'a pas répondu	33	31,1	
TOTAL	106	100,0	

Autres

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	41	38,7	56,2
Oui	32	30,2	43,8
SOUS-TOTAL	73	68,9	100,0
N'a pas répondu	33	31,1	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question G2

Si vous utilisez des sous-traitants pour les activités de **transport**, indiquez les raisons :

Coûts

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	69	65,1	75,0
Oui	23	21,7	25,0
SOUS-TOTAL	92	86,8	100,0
N'a pas répondu	14	13,2	
TOTAL	106	100,0	

Vous n'avez pas de véhicules

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	41	38,7	44,6
Oui	51	48,1	55,4
SOUS-TOTAL	92	86,8	100,0
N'a pas répondu	14	13,2	
TOTAL	106	100,0	

Vous n'avez pas l'expertise

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	61	57,5	66,3
Oui	31	29,2	33,7
SOUS-TOTAL	92	86,8	100,0
N'a pas répondu	14	13,2	
TOTAL	106	100,0	

Le transporteur partage la responsabilité du risque MD

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	74	69,8	80,4
Oui	18	17,0	19,6
SOUS-TOTAL	92	86,8	100,0
N'a pas répondu	14	13,2	
TOTAL	106	100,0	

Autres

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	84	79,2	91,3
Oui	8	7,5	8,7
SOUS-TOTAL	92	86,8	100,0
N'a pas répondu	14	13,2	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question G3

Savez-vous si vos sous-traitants utilisent à leur tour des sous-traitants?

	Nombre	Pourcentage	% valides
Nous l'ignorons	24	22,6	26,1
Nous en avons vaguement conscience	9	8,5	9,8
Nous savons parfaitement qu'ils le font	37	34,9	40,2
Nous savons parfaitement qu'ils ne le font pas	22	20,8	23,9
SOUS-TOTAL	92	86,8	100,0
N'a pas répondu	14	13,2	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question G4

Y a-t-il des contrats à long terme entre vous et ces sous-traitants

	Nombre	Pourcentage	% valides
Jamais (demandes ponctuelles)	31	29,2	33,7
Parfois	22	20,8	23,9
Souvent	14	13,2	15,2
Toujours	25	23,6	27,2
SOUS-TOTAL	92	86,8	100,0
N'a pas répondu	14	13,2	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question G5

Selon vous, l'impact sur votre entreprise d'un accident de transport par votre sous-traitant avec vos MD serait :

	Nombre	Pourcentage	% valides
Nul	14	13,2	16,1
Plus faible qu'un accident avec vos véhicules	33	31,1	37,9
Le même qu'un accident avec vos véhicules	32	30,2	36,8
Plus important qu'un accident avec vos véhicules	8	7,5	9,2
SOUS-TOTAL	87	82,1	100,0
N'a pas répondu	19	17,9	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question G6

Pratiquez-vous des audits de sécurité chez vos sous-traitants?

	Nombre	Pourcentage	% valides
Jamais	44	41,5	48,4
Parfois	25	23,6	27,5
Souvent	12	11,3	13,2
Toujours	10	9,4	11,0
SOUS-TOTAL	91	85,8	100,0
N'a pas répondu	15	14,2	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question G7

Quels sont les critères qui sont importants lorsque vous sélectionnez un transporteur pour vos MD? Classez les 3 plus importants dans la colonne « Ordre »

Coût

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	16	15,1	18,0
Oui	73	68,9	82,0
SOUS-TOTAL	89	84,0	100,0
N'a pas répondu	17	16,0	
TOTAL	106	100,0	

Fiabilité/qualité du service

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	9	8,5	10,1
Oui	80	75,5	89,9
SOUS-TOTAL	89	84,0	100,0
N'a pas répondu	17	16,0	
TOTAL	106	100,0	

Accidents passés (cote de sécurité)

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	62	58,5	69,7
Oui	27	25,5	30,3
SOUS-TOTAL	89	84,0	100,0
N'a pas répondu	17	16,0	
TOTAL	106	100,0	

Maîtrise de la sécurité

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	31	29,2	34,8
Oui	58	54,7	65,2
SOUS-TOTAL	89	84,0	100,0
N'a pas répondu	17	16,0	
TOTAL	106	100,0	

Possibilité de suivre le transport

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	70	66,0	78,7
Oui	19	17,9	21,3
SOUS-TOTAL	89	84,0	100,0
N'a pas répondu	17	16,0	
TOTAL	106	100,0	

Certifications ISO ou autres

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	65	61,3	73,0
Oui	24	22,6	27,0
SOUS-TOTAL	89	84,0	100,0
N'a pas répondu	17	16,0	
TOTAL	106	100,0	

Réputation du transporteur

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	41	38,7	46,1
Oui	48	45,3	53,9
SOUS-TOTAL	89	84,0	100,0
N'a pas répondu	17	16,0	
TOTAL	106	100,0	

Relation durable

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	42	39,6	47,2
Oui	47	44,3	52,8
SOUS-TOTAL	89	84,0	100,0
N'a pas répondu	17	16,0	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question H1

Commentez les affirmations suivantes concernant votre entreprise

Pour votre site, vous faites des analyses de risque

	Nombre	Pourcentage	% valides
Jamais	10	9,4	10.1
Rarement	13	12,3	13.1
Parfois	18	17,0	18.2
Souvent	20	18,9	20.2
Toujours	38	35,8	38.4
SOUS-TOTAL	99	93,4	100.0
N'a pas répondu	7	6,6	
TOTAL	106	100,0	

Pour le transport, vous faites des analyses de risque

	Nombre	Pourcentage	% valides
Jamais	25	23,6	27.8
Rarement	22	20,8	24.4
Parfois	18	17,0	20.0
Souvent	11	10,4	12.2
Toujours	14	13,2	15.6
SOUS-TOTAL	90	84,9	100.0
N'a pas répondu	16	15,1	
TOTAL	106	100,0	

Vous utilisez des technologies de suivi (GPS, etc.) pour les opérations de transport MD

	Nombre	Pourcentage	% valides
Jamais	59	55,7	72,8
Rarement	6	5,7	7,4
Parfois	8	7,5	9,9
Souvent	3	2,8	3,7
Toujours	5	4,7	6,2
SOUS-TOTAL	81	76,4	100,0
N'a pas répondu	25	23,6	
TOTAL	106	100,0	

Vous utilisez des procédures spécifiques lors du chargement et du déchargement des MD

	Nombre	Pourcentage	% valides
Jamais	7	6,6	7,1
Rarement	6	5,7	6,1
Parfois	9	8,5	9,1
Souvent	12	11,3	12,1
Toujours	65	61,3	65,7
SOUS-TOTAL	99	93,4	100,0
N'a pas répondu	7	6.6	
TOTAL	106	100,0	

Sur votre site, vos procédures sont plus strictes que la loi

	Nombre	Pourcentage	% valides
Jamais	5	4,7	5.2
Rarement	7	6,6	7.3
Parfois	26	24,5	27.1
Souvent	22	20,8	22.9
Toujours	36	34,0	37.5
SOUS-TOTAL	96	90.6	100.0
N'a pas répondu	10	7,4	
TOTAL	106	100,0	

Pour le transport MD, vos procédures sont plus strictes que la loi

	Nombre	Pourcentage	% valides
Jamais	10	9,4	11.9
Rarement	7	6,6	8.3
Parfois	25	23,6	29.8
Souvent	22	20,8	26.2
Toujours	20	18,9	23.8
SOUS-TOTAL	84	79,2	100.0
N'a pas répondu	22	20,8	
TOTAL	106	100,0	

Pour votre site, vous communiquez vos risques aux citoyens

	Nombre	Pourcentage	% valides
Jamais	26	24,5	30.2
Rarement	13	12,3	15.1
Parfois	11	10,4	12.8
Souvent	12	11,3	14.0
Toujours	24	22,6	27.9
SOUS-TOTAL	86	81,1	100.0
N’a pas répondu	20	18,9	
TOTAL	106	100,0	

Pour le transport, vous communiquez vos risques aux citoyens

	Nombre	Pourcentage	% valides
Jamais	35	33,0	40.7
Rarement	11	10,4	13.8
Parfois	15	14,2	18.8
Souvent	7	6,6	8.8
Toujours	12	11,3	15.0
SOUS-TOTAL	80	75,5	100.0
N’a pas répondu	26	24,5	
TOTAL	106	100,0	

Votre politique de maîtrise du risque MD est utilisée comme un outil de marketing

	Nombre	Pourcentage	% valides
Jamais	52	49,1	59,1
Rarement	16	15,1	18,2
Parfois	11	10,4	12,5
Souvent	4	3,8	4,5
Toujours	5	4,7	5,7
SOUS-TOTAL	88	83,0	100,0
N’a pas répondu	18	17,0	
TOTAL	106	100,0	

Vous inscrivez vos accidents/incidents MD dans un registre

	Nombre	Pourcentage	% valides
Jamais	9	8,5	9.4
Rarement	3	2,8	3.1
Parfois	4	3,8	4.2
Souvent	6	5,7	6.3
Toujours	74	69,8	77.0
SOUS-TOTAL	96	90,6	100.0
N'a pas répondu	10	9,4	
TOTAL	106	100,0	

À la suite d'un accident/incident MD, vous réalisez une enquête

	Nombre	Pourcentage	% valides
Jamais	2	1,9	2.1
Rarement	0	0	0.0
Parfois	8	7,5	8.2
Souvent	5	4,7	5.2
Toujours	82	77,4	84.5
SOUS-TOTAL	97	91,5	100.0
N'a pas répondu	9	8,5	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question H2

Avez-vous un comité de santé sécurité au travail

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	9	8,5	9,0
Oui	91	85,8	91,0
SOUS-TOTAL	100	94,3	100,0
N'a pas répondu	6	5,7	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question H3

Avez-vous du personnel ou un département dédié à la gestion des risques?

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	37	34,9	38,5
Oui	59	55,7	61,5
SOUS-TOTAL	96	90,6	100,0
N'a pas répondu	10	9,4	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question H4

Avez-vous un programme de prévention des accidents spécifique aux MD?

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	41	38,7	41,0
Oui	59	55,7	59,0
SOUS-TOTAL	100	94,3	100,0
N'a pas répondu	6	5,7	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question H5

Offrez-vous des séances d'information / de communication sur la gestion des risques à vos employés

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	25	23,6	26,0
Oui	71	67,0	74,0
SOUS-TOTAL	96	90,6	100,0
N'a pas répondu	10	9,4	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question H6

Pour l'organisation et la planification des activités sur votre site, collaborez-vous étroitement avec vos partenaires (clients, fournisseurs, sous-traitants)?

	Nombre	Pourcentage	% valides
Jamais	5	4,7	5,2
Parfois	22	20,8	22,9
Souvent	36	34,0	37,5
Toujours	33	31,1	34,4
SOUS-TOTAL	96	90,6	100,0
N'a pas répondu	10	9,4	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question H7

En cas d'accident MD en transport ou sur votre site, quels sont les impacts possibles sur votre entreprise? Classez les 3 plus important dans la colonne « Ordre »

Coût direct immédiat

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	12	11,3	11,7
Oui	91	85,8	88,3
SOUS-TOTAL	103	97,2	100,0
N'a pas répondu	3	2,8	
TOTAL	106	100,0	

Perte de production

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	36	34,0	35,0
Oui	67	63,2	65,0
SOUS-TOTAL	103	97,2	100,0
N'a pas répondu	3	2,8	
TOTAL	106	100,0	

Perte de clientèle

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	79	74,5	76,7
Oui	24	22,6	23,3
SOUS-TOTAL	103	97,2	100,0
N'a pas répondu	3	2,8	
TOTAL	106	100,0	

Augmentation des primes d'assurances

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	40	37,7	38,8
Oui	63	59,4	61,2
SOUS-TOTAL	103	97,2	100,0
N'a pas répondu	3	2,8	
TOTAL	106	100,0	

Perte d'image

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	33	31,1	32,0
Oui	70	66,0	68,0
SOUS-TOTAL	103	97,2	100,0
N'a pas répondu	3	2,8	
TOTAL	106	100,0	

Réaction des citoyens

	Nombre	Pourcentage	% valides
Non	40	37,7	38,8
Oui	63	59,4	61,2
SOUS-TOTAL	103	97,2	100,0
N'a pas répondu	3	2,8	
TOTAL	106	100,0	

Réponses à la question H8

Quel type d'accident MD aurait un plus grand impact sur votre entreprise?

	Nombre	Pourcentage	% valides
Site fixe	73	68,9	81,1
Transport	17	16,0	18,9
SOUS-TOTAL	90	84,9	100,0
N'a pas répondu	16	15,1	
TOTAL	106	100,0	

Pourquoi?

Catégorie	Raison	Nombre	Pourcentage	% valides
Un accident sur le site aurait un plus grand impact	Coûts (pertes produits/production)	14	13,2	25,5
	transport sous-traité / site associé à l'entreprise	13	12,3	23,6
	plus grand potentiel de danger	18	17,0	32,7
Un accident de transport aurait un plus grand impact	Accident plus visible	2	1,9	3,6
	plus grand potentiel de danger	1	1,0	1,8
	Coûts (délais d'approvisionnement)	1	1,0	1,8
	Temps de réaction plus élevé	6	5,7	10,9
SOUS-TOTAL		55	51,9	100,0
N'a pas répondu à la question		51	48,1	
TOTAL		106	100,0	

Réponses à la question I1

Commentez les affirmations suivantes concernant votre entreprise :

Le cadre réglementaire relié aux MD en général contraint excessivement vos activités

	Nombre	Pourcentage	% valides
Jamais	28	26,4	27,7
Rarement	36	34,0	35,6
Parfois	23	21,7	22,8
Souvent	8	7,5	7,9
Toujours	6	5,7	5,9
SOUS-TOTAL	101	95,3	100,0
N'a pas répondu	5	47,2	
TOTAL	106	100,0	

La réglementation relative au stockage des MD vous a amené à faire des changements de substitution de matières

	Nombre	Pourcentage	% valides
Jamais	48	45,3	49,5
Rarement	16	15,1	16,5
Parfois	24	22,6	24,7
Souvent	7	6,6	7,2
Toujours	2	1,9	2,1
SOUS-TOTAL	97	91,5	100,0
N'a pas répondu	9	8,5	
TOTAL	106	100,0	

La réglementation relative au stockage des MD vous a amené à diminuer vos stocks de MD

	Nombre	Pourcentage	% valides
Jamais	33	31,1	33,7
Rarement	17	16,0	17,3
Parfois	16	15,1	16,3
Souvent	23	21,7	23,4
Toujours	9	8,5	9,2
SOUS-TOTAL	98	92,5	100,0
N'a pas répondu	8	7,5	
TOTAL	106	100,0	

La réglementation relative au stockage des MD vous a amené à modifier vos choix logistiques et vos fréquences de livraisons

	Nombre	Pourcentage	% valides
Jamais	25	23,6	25,5
Rarement	13	12,3	13,3
Parfois	22	20,8	22,5
Souvent	23	21,7	23,5
Toujours	15	14,2	15,3
SOUS-TOTAL	98	92,5	100,0
N’a pas répondu	8	7,5	
TOTAL	106	100,0	

La réglementation TMD restreint vos activités

	Nombre	Pourcentage	% valides
Jamais	52	49,1	52,0
Rarement	27	25,5	27,0
Parfois	12	11,3	12,0
Souvent	7	6,6	7,0
Toujours	2	1,9	2,0
SOUS-TOTAL	100	94,3	100,0
N’a pas répondu	6	5,7	
TOTAL	106	100,0	

La réglementation SST relative aux MD restreint vos activités

	Nombre	Pourcentage	% valides
Jamais	44	41,5	44,4
Rarement	28	26,4	28,3
Parfois	18	17,0	18,2
Souvent	5	4,7	5,1
Toujours	4	3,8	4,0
SOUS-TOTAL	99	93,4	100,0
N’a pas répondu	7	6,7	
TOTAL	106	100,0	