



HAL
open science

Intégration des objectifs du développement durable dans la gestion stratégique et tactique de la chaîne logistique

Tassedda Boukherroub

► To cite this version:

Tassedda Boukherroub. Intégration des objectifs du développement durable dans la gestion stratégique et tactique de la chaîne logistique. Gestion et management. INSA de Lyon, 2013. Français. NNT : 2013ISAL0080 . tel-01127202

HAL Id: tel-01127202

<https://theses.hal.science/tel-01127202>

Submitted on 7 Mar 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

N° d'ordre 2013-ISAL-0080
Année 2013

Thèse

Intégration des objectifs du développement durable dans la gestion stratégique et tactique de la chaîne logistique

Présentée devant
L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon

Pour obtenir
Le grade de docteur

École doctorale
École doctorale informatique et mathématiques de Lyon
Spécialité : Informatique

Par
Tassedra Boukherroub
(Ingénieur en Génie Industriel)

Soutenue le 10 septembre 2013 devant la Commission d'examen

Jury (par ordre alphabétique)

L. Benyoucef	Professeur (Université Aix-Marseille), Examineur
F.F. Boctor	Professeur (Université Laval), Rapporteur
P. Dejax	Professeur (Ecole des Mines de Nantes), Rapporteur
J. Fondrevelle	Maître de Conférences (INSA de Lyon), Co-directeur
A. Guinet	Professeur (INSA de Lyon), Directeur de thèse
A. Ruiz	Professeur (Université Laval), Examineur
C. Thierry	Professeur (Université Toulouse II le Mirail), Examineur

Laboratoire Décision et Information pour les Systèmes de Production (DISP)

*A mon papa, ma maman, mes sœurs et mes grands-parents
A Cila et Ilyes*

Remerciements

Je remercie tout d'abord mon directeur de thèse, Alain Guinet pour la confiance qu'il m'a accordée durant les trois années de thèse, pour ses constants encouragements et le soutien qu'il m'a toujours manifesté. Je le remercie aussi pour sa générosité et son infinie bonté.

Je remercie mon co-encadrant, Julien Fondrevelle qui, dès le premier contact, m'a donné envie de rejoindre le laboratoire DISP (le LIESP au début de la thèse). Je le remercie pour ses précieux conseils, sa disponibilité, sa gentillesse et sa présence en toutes circonstances.

Je souhaite exprimer ma gratitude envers Angel Ruiz, Professeur à l'Université Laval, qui, en plus de m'avoir fait l'honneur de participer au jury de cette thèse, m'a accueillie pendant 5 mois (printemps-été 2012) dans les locaux du CIRRELT. Il m'a fait une place dans son équipe de recherche et m'a encadrée comme sa propre étudiante. Je le remercie pour sa confiance, le temps qu'il m'a consacré et l'intérêt qu'il a toujours porté à mes travaux.

Je remercie Mme Caroline Thierry, Professeure à l'Université Toulouse II le Mirail, M. Lyes Benyoucef, Professeur à l'Université Aix-Marseille, M. Pierre Dejax, Professeur à l'Ecole des Mines de Nantes et M. Fayez Boctor, Professeur à l'Université Laval d'avoir accepté de participer au jury de cette thèse, pour le temps qu'ils ont consacré à l'examen de mes travaux, pour leurs remarques enrichissantes et leurs encouragements.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers la région Rhône-Alpes qui a financé cette thèse pendant trois ans, et envers l'Ecole Doctorale Infomaths pour son soutien financier. Mes remerciements vont aussi au consortium de recherche For@c, au laboratoire CIRRELT, à l'ensemble des membres du laboratoire DISP et aux enseignants du département de Génie Industriel. En particulier, je voudrais remercier Mme Valérie Botta-Genoulaz, directrice du laboratoire DISP, pour ses encouragements, ses conseils et pour le dynamisme qu'elle a su insuffler en chacun de nous. Je remercie également Mme Anastasie Schiffer-Notin pour sa gentillesse et sa disponibilité. Merci à Nadira Matar, Nathalie Follet, Christine Gaillard, Claude Passot, Salim Yakdhane, Martine Tosan, Christine Bonnin, Michelle Seignol et Renée El Melhem.

Je ne puis oublier ma collègue et amie Selma-Afakh Khader avec qui j'ai partagé chaque moment de la thèse, depuis le premier jour. Les trois années de thèse n'auraient pas été ce qu'elles sont aujourd'hui sans la joie et la bonne humeur qu'elle a chaque jour apportées dans les "couloirs" du laboratoire et dans le cœur de chacun.

Merci à ma famille et à TOUS mes amis (dont ceux de la troupe de théâtre du CASI) algériens, tunisiens, français, québécois et d'ailleurs ; de toujours, d'hier et d'aujourd'hui. Je vous dédie ce travail.

Intégration des objectifs du développement durable dans la gestion stratégique et tactique de la chaîne logistique

Résumé

Nous abordons le problème de la gestion des chaînes logistiques dans le cadre d'une démarche RSE (Responsabilité Sociale des Entreprises). Nous proposons une approche intégrée qui permet d'opérationnaliser l'évaluation de la performance suivant les dimensions économique, environnementale et sociale aux niveaux de décisions stratégique, tactique et opérationnel. Nous déclinons notre approche aux niveaux stratégique et tactique, pour le problème d'internalisation/externalisation « durable » des activités de la chaîne de valeur d'une part (décision stratégique), et pour le problème de la planification stratégique-tactique durable de la chaîne logistique, d'autre part. Nous réalisons dans le premier cas une analyse de la valeur que nous couplons à l'évaluation de la performance en utilisant une méthode d'aide à la décision multicritères agrégative : l'AHP (Analytical Hierarchy Process). Dans le second cas, nous formulons le problème comme un programme mathématique multi-objectifs que nous résolvons sur la base d'un cas réaliste issu de l'industrie canadienne du bois d'œuvre. Nous obtenons, à l'issue de la résolution mathématique, plusieurs solutions de compromis (optimums de Pareto) présentant différents niveaux de performances économique, environnementale et sociale, permettant au décideur de choisir la solution qui correspond le mieux à sa stratégie RSE. Cette application illustre la méthode proposée et met en avant la valeur pratique de notre approche.

Mots-Clés : chaîne logistique, internalisation/externalisation, planification stratégique-tactique, développement durable, Responsabilité Sociale des Entreprises (RSE), évaluation de la performance, optimisation multi-objectifs, industrie du bois d'œuvre.

Embedding sustainable development objectives into the strategic and tactical management of the supply chain

Abstract

We address the problem of supply chain management in the context of CSR (Corporate Social Responsibility). We propose an integrated approach allowing the operationalization of the economic, environmental and social performances at the strategic, tactical and operational decision levels of the supply chain. In particular, we apply our approach to the strategic and tactical levels, for the problem of sustainable insourcing/outsourcing of the activities of the value chain on the one hand (strategic decision), and for the problem of the strategic-tactical planning of a sustainable supply chain on the other hand. In the former case, we combine value analysis with performance measurement using AHP method (Analytical Hierarchy Process), an aggregative multi-criteria technique. In the latter, we develop a multi-objective mathematical program that we apply to a realistic case inspired by the Canadian lumber industry. After solving the problem, we obtain a multitude of compromise solutions (Pareto optimums) presenting different performance levels following the economic, environmental and social dimensions, allowing the decision maker to choose the solution that reflects best his/her CSR strategy. This application illustrates the proposed method and allows us to assess the practical value of our approach.

Keywords: supply chain, insourcing/outsourcing, strategic-tactical planning, sustainable development, Corporate Social Responsibility (CSR), performance measurement, multi-objective optimization, lumber industry.

Sommaire

Remerciements	3
Table des figures	9
Liste des tableaux	11
Introduction à nos travaux de recherche	13
Contexte général	13
Organisation du mémoire	14
Chapitre 1 – Le développement durable dans la gestion des chaînes logistiques : problématique et concepts	17
Introduction	17
1.1 Problématique et objectifs de recherche	18
1.2 Les décisions de la chaîne logistique investies	19
1.3 Le développement durable et la gestion de la chaîne logistique	25
Conclusion	34
Chapitre 2 – Configuration et planification durables des chaînes logistiques : états de l’art et propositions	35
Introduction	35
2.1 Revue de la littérature sur le problème de faire ou faire-faire	36
2.2 Revue de la littérature sur les problèmes de planification stratégique-tactique de la chaîne logistique	45
2.3 Proposition : une approche intégrée pour l’opérationnalisation de l’évaluation de la performance durable	57
Conclusion	60
Chapitre 3 – Approche intégrée pour l’internalisation/externalisation durable	61
Introduction	61
3.1 Synthèse de l’état de l’art	62
3.2 Application de notre approche intégrée pour l’internalisation/externalisation durable	62
Conclusion	76

Chapitre 4 – Approche intégrée pour la planification stratégique-tactique durable de la chaîne logistique : le cas de procédés convergents	77
Introduction	77
4.1 Synthèse de l'état de l'art	78
4.2 Application de notre approche intégrée pour la planification stratégique-tactique de la chaîne logistique	78
Conclusion	94
Chapitre 5 – Application à l'industrie canadienne du bois d'œuvre : le cas de procédés divergents	95
Introduction	95
5.1 Contexte de l'industrie canadienne des produits forestiers	96
5.2 La chaîne logistique de l'industrie du bois d'œuvre	99
5.3 Etude de cas : « Virtu@l Lumber »	111
Conclusion	122
Conclusions et perspectives de recherche	123
Conclusions	123
Perspectives de recherche	127
Bibliographie	129
Annexes	143

Table des figures

Figure 0 : Organisation du mémoire	15
Figure 1.1 : Les principales dimensions et synergies du développement durable (Stevens, 2006)	27
Figure 2.1 : Evaluation des activités basée sur un système de trois pastilles (Poulin et al., 1994)	37
Figure 2.2 : Modèle de décision pour l'internalisation/externalisation d'une activité (Lakhal, 1998)	38
Figure 2.3 : Démarche de recherche bibliographique	46
Figure 2.4 : La prise en compte des dimensions de la performance durable dans la littérature	49
Figure 2.5 : La prise en compte des critères de la performance économique dans la littérature	49
Figure 2.6 : La prise en compte des critères de la performance environnementale dans la littérature	51
Figure 2.7 : La prise en compte des critères de la performance sociale dans la littérature	55
Figure 2.8 : Démarche d'intégration de la performance durable aux décisions de la chaîne logistique	59
Figure 3.1 : Cadre conceptuel pour l'intégration de la performance durable à la décision d'internalisation/externalisation	63
Figure 3.2 : La chaîne de valeur (Porter, 1985)	64
Figure 3.3 : Supply Chain Operations Reference Model (SCC, 2008)	66
Figure 3.4 : Présentation des sources de différenciation des activités (i.e. bonnes pratiques de la RSE) avec la chaîne de valeur	69
Figure 4.1 : Cadre conceptuel pour l'intégration de la performance durable aux décisions de planification stratégique-tactique de la chaîne logistique	79
Figure 4.2 : Description de l'activité	80
Figure 4.3 : Exemple d'un réseau logistique	83
Figure 4.4 : Flux de produits dans un réseau logistique	93
Figure 5.1 : Les différentes chaînes logistiques de l'industrie des produits forestiers (D'Amours et al., 2008)	97
Figure 5.2 : Exemples de patrons de coupe (tronçonnage et sciage)	101
Figure 5.3 : Liens entre recette, activité et technologie	102
Figure 5.4 : Un exemple inspiré de l'industrie du bois d'œuvre avec deux procédés divergents	110
Figure 5.5 : Les flux de matières le long d'un réseau logistique: cas de processus divergents	111
Figure 5.6 : Modélisation d'une chaîne logistique de l'industrie du bois d'œuvre par réseau d'activités	113
Figure 5.7 : Optimums de Pareto (méthode de la somme pondérée)	116
Figure 5.8 : Ecarts relatifs des optimums (méthode de la somme pondérée)	117
Figure 5.9 : Optimums de Pareto (objectifs économique, environnemental et social)	119

Figure 5.10 : Déviations (en %) par rapport aux valeurs optimales des objectifs économique, environnemental et social pour les combinaisons de poids $w_1 = 0.2$, $0.1 \leq w_2 \leq 0.9$, $0.1 \leq w_3 \leq 0.9$, $w_1 + w_2 + w_3 = 1$ -----	119
Figure 5.11 : Déviations (en %) par rapport aux valeurs optimales des objectifs économique et environnemental pour les combinaisons de poids : $0.1 \leq w_1 \leq 0.9$, $0.1 \leq w_2 \leq 0.9$, $w_1 + w_2 = 1$ ($w_3 = 0$) -----	120
Figure 5.12 : Déviations (en %) par rapport aux valeurs optimales des objectifs économique et social pour les combinaisons de poids : $0.1 \leq w_1 \leq 0.9$, $0.1 \leq w_3 \leq 0.9$, $w_1 + w_3 = 1$ ($w_2 = 0$) -----	121
Figure 5.13 : Déviations (en %) par rapport aux valeurs optimales des objectifs environnemental et social pour les combinaisons de poids : $0.1 \leq w_2 \leq 0.9$, $0.1 \leq w_3 \leq 0.9$, $w_2 + w_3 = 1$ ($w_1 = 0$)-----	121

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Les critères de la performance durable inspirés par Baumann (2011) - -----	31
Tableau 2.1 : Un modèle stratégique d'aide à la décision pour la décision de faire ou faire-faire (Poulin et al., 1994) -----	37
Tableau 2.2 : Classification de la littérature suivant les critères de la performance économique, environnementale et sociale-----	48
Tableau 3.1 : Quelques facteurs d'unicité (Porter, 1999) et exemples -----	68
Tableau 3.2 : Objectifs et exemples d'indicateurs de performance durable associables aux activités de production -----	70
Tableau 3.3 : Exemple d'évaluation de l'indice de performance durable d'une activité de production -----	74
Tableau 3.4 : Matrice des jugements -----	75
Tableau 3.5 : Description des préférences-----	75
Tableau 3.6 : Grille d'analyse stratégique pour l'internalisation/externalisation modifiée (Poulin et al., 1994)-----	76
Tableau 4.1 : Corrélation des variables de décision avec les critères de la performance durable-----	86
Tableau 5.1 : Solutions obtenues avec la méthode de la somme pondérée -----	115

Introduction à nos travaux de recherche

Contexte général

La globalisation de l'économie a largement contribué ces dernières années à l'amélioration de la compétitivité des entreprises (réduction des coûts de production dans les pays à bas coûts par exemple) ainsi qu'à la conquête et au développement de nouveaux marchés dans les pays étrangers, industrialisés et émergents. Le développement de l'économie à l'échelle mondiale n'est pourtant pas sans conséquences sur l'environnement, la santé humaine et le bien-être social. En effet, la consommation des ressources naturelles telles que les énergies fossiles, l'eau, l'acier, le bois, etc. ne cesse d'augmenter (en Chine et en Inde par exemple) alors que leur abondance dans la nature ne cesse de diminuer. Les activités industrielles, de transformation et de transport des produits en particulier, ont par ailleurs contribué et contribuent encore à la pollution des sols, des eaux et de l'air, générant des problèmes écologiques (déforestations, réchauffement climatique, écotoxicité, ...) et de santé (problèmes respiratoires, cancers, ...) graves. Enfin, la reconfiguration des activités industrielles (relocalisation ou sous-traitance dans le pays d'origine ou dans les pays low-cost) ou l'abandon de certaines d'entre elles dans un contexte conjoncturel (crise économique actuelle en France, par exemple) sont souvent accompagnés de pratiques sociales peu éthiques (conditions de travail défavorables dans les pays à bas coûts, fermetures d'usines et licenciements, etc.).

De plus en plus conscients des dégâts écologiques et des problèmes sociaux occasionnés, les consommateurs, les syndicats, les ONG, les gouvernements et les autres parties prenantes de l'entreprise (investisseurs, partenaires logistiques, etc.) exigent aujourd'hui un développement économique plus respectueux de l'environnement et de la société, autrement dit un développement « durable ». La législation dans les pays occidentaux en ce sens ne cesse de se renforcer, comme le montrent par exemple la directive européenne sur la gestion des Déchets d'Equipements Electroniques et Electriques (DEEE) visant à mieux recycler les produits en fin de vie, ou la taxe carbone sur l'émission de gaz à effet de serre (GES) (CO₂, gaz de méthane (CH₄), ...) dans le cadre de la mise en œuvre du Protocole de Kyoto. En France, depuis juillet 2010, la Loi Grenelle oblige les sociétés cotées en bourse ou de plus de 5000 salariés à publier annuellement un bilan social et environnemental, en plus de leur bilan financier.

Les entreprises ont dès lors commencé à intégrer dans la gestion de leurs activités les préoccupations environnementales et sociales, contraintes par la législation d'une part, mais également soucieuses de leur réputation et désireuses d'acquiescer un avantage concurrentiel dans un marché de la consommation « écologiquement

correcte » et éthique en plein essor (produits biologiques, produits issus du commerce équitable, production locale, etc.). Il s'agit d'appliquer les contraintes et les opportunités du développement durable dans une perspective de Responsabilité Sociale des Entreprises (RSE) (Jolly, 2006).

Nous abordons dans notre travail de recherche, entamé dans le cadre de la thèse en octobre 2010, le problème d'intégration des objectifs du développement durable à la gestion des chaînes logistiques, dans une démarche RSE. Nos travaux s'inscrivent dans le cadre d'une démarche volontaire du décideur et non pas dans un cadre législatif. Dès lors, notre objectif est d'orienter le décideur dans la mise en place de sa politique RSE en l'éclairant sur les différentes possibilités qui s'offrent à lui au regard de l'avantage concurrentiel et du niveau de performance potentiels. Nous nous intéressons en particulier aux décisions stratégiques et tactiques de la chaîne logistique. Au niveau stratégique, nous abordons dans un premier temps le problème d'internalisation/externalisation en nous interrogeant sur la stratégie de l'entreprise à long terme dans un contexte de développement durable. Nous étudions l'impact d'une stratégie de différenciation s'appuyant sur la RSE sur la décision de faire ou faire-faire.

Dans un second temps, nous abordons le problème de planification de la chaîne logistique, à l'intersection des décisions stratégiques et tactiques, en vue de la reconfiguration et de l'exploitation « durables » de la chaîne. Nous prenons en compte, en plus de la décision de faire ou faire-faire, un ensemble de décisions qui interagissent entre elles (fournisseurs et sous-traitants à sélectionner et quantités de produits à approvisionner, technologies à exploiter et quantités de produits à fabriquer, modes de transport à utiliser et quantités de produits à transporter, etc.) et nous étudions leur impact sur la performance de l'ensemble de la chaîne logistique suivant les dimensions économique, environnementale et sociale du développement durable. De plus, nous appliquons notre modèle pour la planification stratégique-tactique de la chaîne logistique à un cas réaliste issu de l'industrie canadienne du bois d'œuvre, que nous avons pu étudier dans le cadre d'un stage de recherche réalisé au consortium For@c (de la FORêt Au Client), en deuxième année de thèse (printemps-été 2012).

Organisation du mémoire

Le reste du mémoire est organisé en 5 chapitres suivis de conclusions et des perspectives de recherche. La figure 0 montre l'articulation des différents chapitres.

Dans le chapitre 1, nous exposons la problématique de recherche, ce qui nous amènera, d'une part, à préciser la décision de faire ou faire-faire et les niveaux de décisions de la chaîne logistique, et à introduire d'autre part, les notions de développement durable et de RSE. Nous terminons par une brève revue de la littérature sur l'évaluation de la performance (durable) dans l'entreprise et les chaînes logistiques. A l'issue de ce chapitre, nous spécifions les critères de la

performance durable à intégrer dans la gestion des chaînes logistiques et nous présentons les invariants de l'évaluation de la performance.

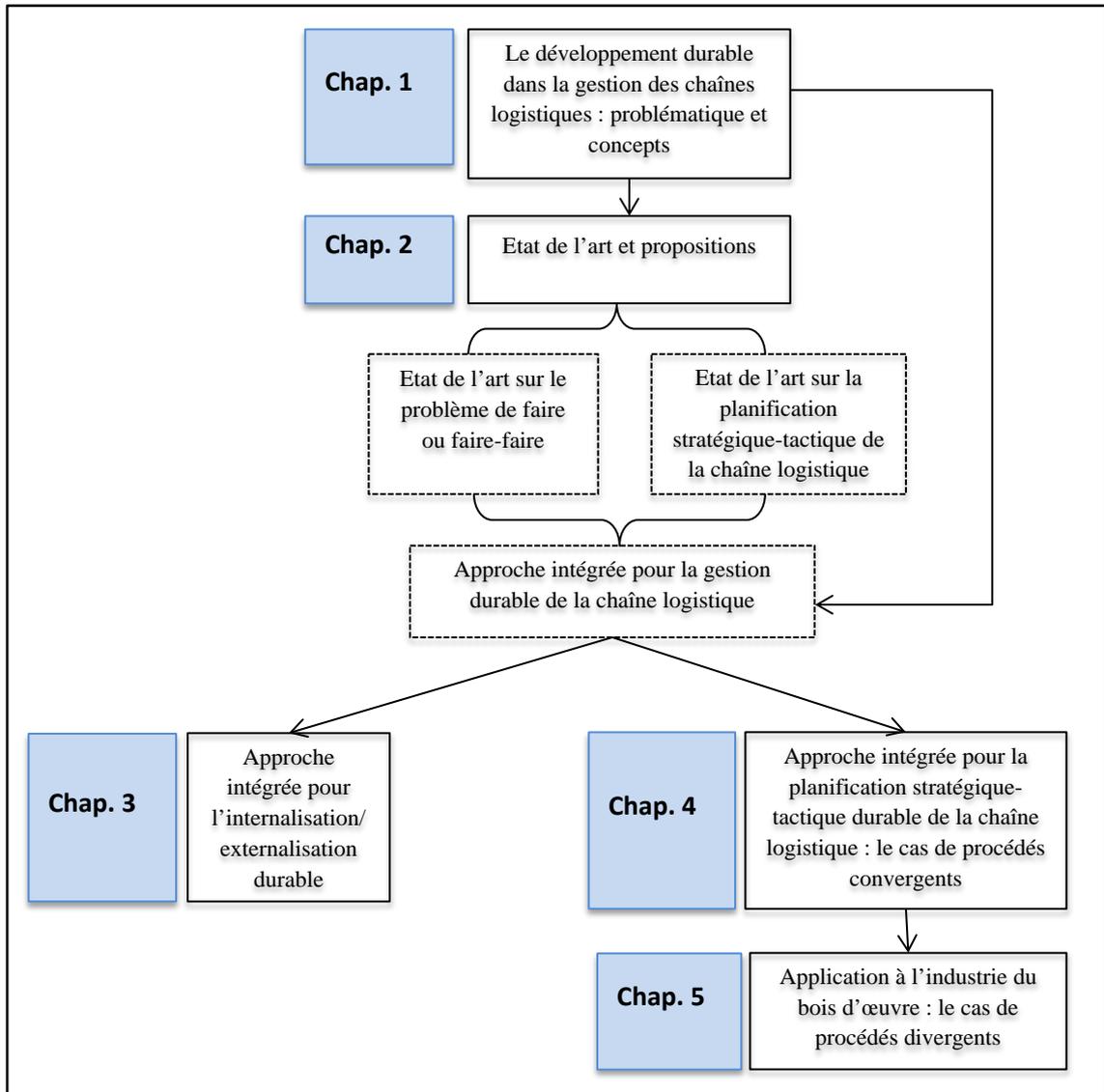


Figure 0 : Organisation du mémoire

Le chapitre 2 est consacré à l'état de l'art sur les problèmes de faire ou faire-faire et de planification stratégique-tactique de la chaîne logistique. A l'issue de ces deux revues de la littérature, nous proposons une approche intégrée pour l'opérationnalisation des principes du développement durable, en vue de la gestion durable des chaînes logistiques (niveaux de décisions stratégique, tactique et opérationnel), inspirée par la littérature sur l'évaluation de la performance d'une part, et par la littérature sur la planification stratégique-tactique de la chaîne logistique, d'autre part.

Introduction à nos travaux de recherche

Notre approche est déclinée au niveau stratégique pour répondre au problème d'internalisation/externalisation durable, dans le chapitre 3. Nous réalisons alors une analyse de la valeur que nous couplons à l'évaluation de la performance à l'aide de la méthode AHP.

Dans le chapitre 4, notre approche est déclinée au niveau stratégique-tactique pour répondre au problème de reconfiguration et d'exploitation durables d'une chaîne logistique comprenant la décision de faire ou faire-faire (sous-traitance). Nous nous intéressons dans ce chapitre aux procédés de production de type convergents (i.e. plusieurs produits entrants sont mélangés entre eux ou assemblés pour obtenir le produit sortant). Nous proposons alors un programme mathématique multi-objectifs en vue d'« optimiser » les performances économique, environnementale et sociale de la chaîne logistique.

Dans le chapitre 5 nous étudions le cas d'une chaîne logistique issue de l'industrie canadienne du bois d'œuvre, laquelle présente des procédés de production divergents (i.e. plusieurs produits sortants peuvent être obtenus à partir d'un seul produit entrant). De plus, plusieurs patrons de coupe peuvent être appliqués en fonction de la technologie utilisée et des caractéristiques du produit lui-même. Après prise en compte de ces particularités dans la modélisation mathématique, nous résolvons le modèle à l'aide des techniques de la somme pondérée et du goal programming.

Nous terminons par des conclusions, en mettant l'accent sur l'apport académique et industriel de nos travaux de thèse. Nous présentons, par ailleurs des perspectives pour nos futures recherches.

Chapitre 1 – Le développement durable dans la gestion des chaînes logistiques : problématique et concepts

Introduction

La notion de développement durable constitue aujourd’hui un élément omniprésent dans les discours et les pratiques des acteurs engagés dans les questions sociales, d’environnement et de développement (Etat, collectivités locales, ONGs, etc.). Certaines entreprises commencent elles aussi à s’engager dans la voie du développement durable et considèrent la RSE comme un instrument de différenciation. Néanmoins l’intégration des principes du développement durable aux activités industrielles reste une tâche difficile. Depuis quelques années, la recherche se développe autour de cette problématique, notamment dans le domaine du management de la chaîne logistique. En ce sens, une nouvelle branche a émergé ces dernières années : *le management des chaînes logistiques durables* (sustainable supply chain management). C’est dans ce cadre que s’inscrivent nos travaux de recherche. Nous présentons dans ce chapitre qui se veut introductif, la problématique et nos objectifs de recherche, d’une part, et les concepts et notions que nous manipulons tout au long du mémoire, d’autre part. Nous mettons l’emphase sur l’évaluation de la performance en vue de caractériser la performance durable suivant ses dimensions économique, environnementale et sociale et de rendre compte des bases de l’évaluation de la performance, à travers une revue des méthodes les plus populaires dans la littérature. Le reste de ce chapitre est organisé comme suit :

1.1 Problématique et objectifs de recherche

1.2 Les décisions de la chaîne logistique investies

1.2.1 La décision de faire ou faire-faire

1.2.2 Les décisions de planification de la chaîne logistique

1.3 Le développement durable et la gestion de la chaîne logistique

1.3.1 Le concept du développement durable

1.3.2 Les objectifs du développement durable

1.3.3 La RSE et la chaîne logistique « durable »

1.3.4 Les critères de la performance « durable »

1.3.5 Les méthodes d’évaluation de la performance

Conclusion

1.1 Problématique et objectifs de recherche

Initialement considérée comme un mal nécessaire, la RSE est devenue aujourd'hui un facteur de différenciation pour les entreprises non seulement vis-à-vis des clients mais également vis-à-vis de l'ensemble de leurs parties prenantes (investisseurs, employés, collectivités locales, Etat, etc.) (Hoffmann et Saulquin, 2009 ; Li et Toppinen, 2011 ; Boukherroub et al., 2012a). Dans une étude récente sur la RSE dans la filière bois, Li et Toppinen (2011) soutiennent qu'il est de plus en plus difficile de rivaliser sur le marché avec les moyens traditionnels de différenciation. Les entreprises se tourneraient alors vers des sources « intangibles » comme la réputation, la légitimité, la culture d'entreprise, l'innovation, etc. Ces sources viendraient de la mise en place de pratiques relevant de la RSE. Ainsi, certaines entreprises inscrivent la RSE au cœur même de leur stratégie en redéfinissant la valeur proposée aux clients. Le président d'Accenture France Benelux (Christian Nibourel) déclare par exemple, que « *d'une contrainte, les entreprises visionnaires ont su faire [de la RSE] un atout pour améliorer leur organisation, innover, lancer des nouveaux produits et services, développer des parts de marché, renforcer la relation clients, ...* »¹. En ce sens, Carrol et Shabana (2010) avancent que la mise en œuvre de la RSE améliorerait les relations de l'entreprise avec ses parties prenantes en même temps qu'elle améliorerait ses objectifs de rentabilité.

Bien que maintenant, les travaux autour de la RSE et de la gestion « durable » des opérations, ou plus généralement de la chaîne logistique (*sustainable supply chain management*) dans différentes disciplines scientifiques (management, logistique, génie industriel, etc.) abondent dans la littérature, il existe encore très peu de contributions qui prennent en compte les trois dimensions du développement durable (économie, environnement, société) suivant une approche réellement intégrée, en adéquation avec le principe du triple bilan (*three bottom line* ou TBL) (Elkington, 1998) qui vise à transposer le développement durable aux activités de l'entreprise et à équilibrer la performance de celle-ci suivant les trois angles économique, environnemental et social. En ce sens l'analyse et la quantification des impacts économiques, environnementaux et sociaux liés à la mise en place de pratiques relevant de la RSE ou résultant de la mise en œuvre de décisions de gestion des chaînes logistiques « plus classiques » sont des investigations encore rares. C'est dans ce cadre que s'inscrit notre problématique de recherche. Plus précisément, nous étudions deux problèmes typiques de la gestion stratégique et tactique de la chaîne logistique : *le problème de faire ou faire-faire* et *le problème de planification stratégique-tactique de la chaîne logistique*.

La décision de faire ou faire-faire se traduit au niveau stratégique par l'internalisation ou l'externalisation des activités de l'entreprise, en vue de se recentrer sur son cœur de compétences, i.e. ce qu'elle sait faire de mieux et qui lui

¹ « *Les rencontres Bref Rhône-Alpes de l'Entreprise Responsable* » (École de management de Lyon, 16 mai 2013).

procure un avantage concurrentiel. Or, dans le cas où la RSE est au cœur de la stratégie de l'entreprise et qu'elle constitue un instrument de différenciation, il convient d'analyser avec précaution les sources de l'avantage concurrentiel et de considérer la performance des activités au regard des trois dimensions économique, environnementale et sociale. Cette analyse stratégique permet d'identifier les activités à internaliser ou à ré-internaliser (externalisation initiale suivie d'une nouvelle internalisation, « *backsourcing* » en anglais), les activités à partager (i.e. à réaliser avec un ou plusieurs partenaires) et les activités à externaliser, d'un point de vue stratégie de l'entreprise.

Il conviendrait alors d'étudier la possibilité de mettre en œuvre ces décisions dans le temps et de les intégrer avec l'ensemble des décisions de la chaîne logistique pour garantir la cohérence et l'efficacité de l'ensemble. C'est ce que nous nous proposons de réaliser dans un second temps, en nous penchant sur le problème de planification stratégique-tactique de la chaîne logistique. Nous étudions alors la reconfiguration et l'exploitation « optimale » d'une chaîne logistique en considérant sa performance économique, environnementale et sociale et en intégrant la décision d'externalisation qui se traduit lors de sa planification, en vue de sa mise en œuvre, par la sous-traitance. Nous analysons dans ce cadre l'articulation entre les différentes dimensions de la performance durable et nous proposons au décideur un large panel de solutions présentant différents compromis (optimums de Pareto) afin de lui permettre de prendre une décision éclairée qui reflète le mieux sa stratégie RSE. Nous nous appuyons pour ce faire sur un cas réaliste issu de l'industrie canadienne du bois d'œuvre, où les préoccupations environnementales et sociales sont de première importance dans la filière.

Nous précisons dans la section suivante la décision de faire ou faire-faire ainsi que les décisions de planification de la chaîne logistique.

1.2 Les décisions de la chaîne logistique investies

La chaîne logistique fait référence à un réseau constitué de différentes unités d'affaire (fournisseurs, sous-traitants, fabricants, distributeurs, détaillants, etc.) visant à fournir un produit ou un service au client ultime, à partir du fournisseur de fournisseur en mettant en jeu trois types de flux ; physiques, informationnels et financiers (APICS², 2010). Les flux physiques concernent toutes les matières qui traversent la chaîne logistique d'amont en aval (matières premières, produits intermédiaires et produits finis). D'autres matières peuvent circuler d'aval en amont, tels que les conteneurs, les emballages, les palettes, les produits retournés ou encore les produits en fin de vie dans le cas de la logistique inverse³. Les flux

² American Production Inventory Control Society.

³ La chaîne logistique inverse est constituée de l'ensemble des processus de collecte, de tri, de recyclage et d'élimination des produits usagés.

d'informations concernent les échanges d'informations et de données entre les acteurs de la chaîne (niveau de stocks et des encours, demande du client, etc.) lesquels s'effectuent dans les deux sens. Enfin, les flux financiers sont les flux monétaires associés aux flux physiques (Babai, 2005).

Nous abordons dans notre travail, la chaîne logistique d'un point de vue centré sur une entreprise (Thierry, 2003). En ce sens, nous considérons une seule entreprise avec l'ensemble de ses fournisseurs (matières premières) et sous-traitants (produits intermédiaires) et l'ensemble de ses clients directs. De plus, nous nous focalisons uniquement sur les chaînes logistiques de production de biens et nous ne considérons pas la logistique inverse (nous précisons ce point dans les sections suivantes).

La principale mission de la chaîne logistique est de créer de la valeur. Pour ce faire, le cœur de compétences doit être clairement identifié et l'infrastructure du réseau doit être compétitive et exploitée de manière optimale tout en garantissant le meilleur niveau de performance pour l'ensemble de la chaîne logistique. Aussi différentes décisions doivent être prises et mises en œuvre en considérant la stratégie de l'entreprise d'une part, et sa performance ainsi que la performance globale de sa chaîne logistique d'autre part, dans le cadre de la gestion (ou du management) de la chaîne logistique. Le management de la chaîne logistique peut alors être défini comme « *la coordination systémique, stratégique des fonctions opérationnelles classiques et de leurs tactiques respectives à l'intérieur d'une même entreprise et entre partenaires au sein de la chaîne logistique, dans le but d'améliorer la performance à long terme de chaque entreprise membre et de l'ensemble de la chaîne* » (Mentzer et al., 2001).

Dans notre travail, nous considérons l'entreprise comme l'entité dominante (Thierry, 2003) qui prend l'ensemble des décisions de la chaîne logistique. Nous étudions la décision d'internalisation/externalisation (niveau stratégique) à l'intérieur de l'entreprise (une unité d'affaire de production), en nous focalisant sur la performance de ses activités internes et certaines activités initialement externalisées. Par ailleurs, nous étudions les décisions de planification stratégique-tactique, dont la décision de sous-traitance, de l'ensemble de la chaîne logistique, en nous focalisant cette fois-ci sur la performance de l'ensemble de la chaîne.

1.2.1 La décision de faire ou faire-faire

L'idée à la base de toute décision de faire ou faire-faire (externalisation, sous-traitance, achat) est qu'une organisation n'a pas toujours intérêt à tout réaliser elle-même (Bouchriha, 2002, 2009). Ainsi, l'entreprise est toujours prête à « externaliser » une activité interne jugée non performante et non stratégique ou à internaliser une activité externe jugée indispensable à une meilleure réalisation des

objectifs stratégiques (Lakhal, 1998). La stratégie des entreprises implique donc de faire évoluer régulièrement le périmètre des activités mises en œuvre pour accroître la valeur de l'ensemble. Or dans un environnement en constante évolution, l'entreprise doit s'adapter et se poser sans cesse les questions de « faire, acheter ou s'allier » (Quélin, 2003). Dans la littérature scientifique, plusieurs chercheurs issus des disciplines de l'économie, du management stratégique, des sciences de gestion, de la recherche opérationnelle (RO), etc. se sont penchés sur la question en vue d'éclairer les managers dans le processus de prise de décision. De ce fait, plusieurs définitions et approches ont été proposées. Nous synthétisons dans cette section les différents points de vue et nous précisons la définition que nous retenons dans le cadre de notre travail.

Du point de vue de la gestion, la décision de faire-faire revient à confier une activité à un prestataire ou à un fournisseur plutôt que de la réaliser en interne. On parle aussi d'impartition, d'externalisation, de sous-traitance ou de décision de « make or buy » (Barreyre, 1968). Stevens (1985) distingue 3 situations où l'entreprise peut être amenée à prendre la décision de faire ou faire-faire :

1. Dans le cadre d'un nouveau produit/service : serait-il plus intéressant de le faire en interne ou de confier sa réalisation à un (des) fournisseur(s) ?
2. Dans le cas d'un produit/service existant acheté par l'entreprise : peut-on le réaliser en interne, en totalité ou en partie ?
3. Dans le cadre d'un produit/service existant fabriqué initialement en interne : peut-on « l'acheter » en totalité ou en partie (par exemple la sous-traitance de capacité en réponse à une hausse ponctuelle de la demande).

La troisième situation ne correspondrait plus alors à une simple décision de « buy » (acheter) car la réalisation du produit/service était initialement assurée en interne (Quélin, 2003). La décision dans ce cas est plus complexe car l'entreprise doit se positionner par rapport à son cœur de compétences d'une part (les activités à « externaliser » apportent-elles un avantage concurrentiel ? y a-t-il un risque de perte de l'avantage concurrentiel et des savoir-faire ? etc.), et décider d'autre part si elle doit transférer ses ressources matérielles et/ou humaines vers les futurs prestataires. En ce sens, plusieurs chercheurs s'accordent pour définir la décision de faire-faire comme le fait de confier à un partenaire externe une activité qui était jusqu'alors internalisée (Foss, 1996 ; Quélin, 2003).

Fréry et Law-Kheng (2007) vont plus loin dans la prise en compte de l'aspect chronologique et considèrent que la ré-internalisation (i.e. externalisation initiale d'une activité suivie de son internalisation) peut également être rapprochée de la décision de faire ou faire-faire. Jahns et al. (2006) de leur côté, élargissent la décision de faire ou faire-faire à l'option de partage (faire ensemble) des activités (une situation hybride entre faire et faire-faire, comme par exemple les joint-

ventures⁴) alors que Poulin et al. (1994) considèrent en plus des options de faire, faire ensemble et faire-faire, l'option « ne pas faire ». Le première configuration décrite par Stevens (1985) est un cas particulier de l'option « ne pas faire » (cas d'un nouveau produit/service).

Sur un plan logistique, le glossaire de l'ASLOG⁵ (ASLOG, 2006) définit la décision de faire-faire comme « *une démarche consistant à rechercher chez un partenaire extérieur des compétences devenues insuffisantes en interne, afin de prendre en charge tout ou une partie des activités auparavant assurées par l'entreprise elle-même* ». Quant au Dictionnaire de l'APICS, il la définit comme « *le processus selon lequel des prestataires logistiques fournissent des biens ou des services qui étaient réalisés auparavant en interne* » (APICS, 2010).

Du point de vue de la RO (Bouchriha, 2002 ; Tlahig, 2009), la décision de faire ou faire-faire concerne la problématique de conception de la chaîne logistique et fait partie des problèmes de gestion à long terme de la chaîne : décider des installations (unités économiques internes et externes) et des liens (relations d'affaire et flux de produits) entre les installations (Bouchriha, 2002). Il s'agit pour D'Amours (1995) d'un processus de « réseautage » (networking) : « *un processus stratégique qui consiste à configurer le réseau en sélectionnant ses nœuds et en forgeant ses liens et à orchestrer pour remplir sa mission, selon les besoins et les aspirations des inter-acteurs qu'elle vise à satisfaire et selon les opportunités d'affaires* » (D'Amours, 1995).

Les termes externalisation (ou impartition au Canada) et sous-traitance sont souvent utilisés de manière interchangeable pour désigner la décision de faire-faire (par exemple, Bouchriha, 2002 ; Tlahig, 2009). Certains auteurs au contraire les dissocient (par exemple Grailles et Marcilloux, 2006 ; Quélin, 2003). Selon Grailles et Marcilloux (2006), la distinction principale réside dans les obligations fixées au prestataire. La sous-traitance impliquerait une obligation de moyens : le prestataire apporte des ressources alors que le client (le donneur d'ordres) conserve le management de l'activité sous-traitée. L'externalisation impliquerait une obligation de résultat : le prestataire apporte des ressources et assure également le management de l'activité externalisée. Il est fréquent néanmoins que l'entreprise qui « fait faire », transfère des ressources matérielles et/ou humaines vers le prestataire externe (Barthélemy et al., 2007 ; Quélin, 2003) alors même que le prestataire assure le management des activités externalisées. Certains auteurs distinguent les deux décisions en se basant sur les motivations et les objectifs de l'entreprise. Dans le cas de l'externalisation, l'objectif est de se recentrer sur le cœur de compétences. C'est donc une décision qui présente un enjeu stratégique

⁴ Dans le cadre d'une joint-venture, deux entreprises (ou plus) mettent en commun des ressources au sein d'une organisation commune et indépendante. Les profits générés sont ensuite répartis en fonction des investissements de chacun (Quélin, 2003).

⁵ Association Française pour la Logistique.

majeur qui a un impact sur le long terme. En ce sens, Quélin (2003) avance que l'externalisation se fonde généralement sur un contrat de long terme. Dans le cas de la sous-traitance, il s'agit de confier une tâche précise dont la réalisation reste encadrée par l'entreprise « donneur d'ordres », sur une durée plus ou moins longue (sous-traitance de capacité par exemple).

Dans le cadre de nos travaux, nous distinguons la décision d'externalisation de la sous-traitance sur la base de l'objectif stratégique de l'entreprise et de l'horizon temporel considéré (Quélin, 2003). La première est une décision à long terme et relève de la stratégie de l'entreprise. Nous l'abordons dans le chapitre 3 avec une approche orientée « stratégie de l'entreprise » en vue de diagnostiquer les activités stratégiquement internalisables, partageables, externalisables et ré-internalisables (options de faire, faire ensemble, faire-faire et refaire (ré-internaliser)), dans un contexte de stratégie de différenciation s'appuyant sur la RSE. La seconde est une décision qui peut relever du long ou du moyen terme sans présenter d'enjeux stratégiques majeurs (en termes de cœur de compétences), dans le sens où un diagnostic stratégique est supposé avoir été réalisé au préalable. Notre première analyse (Chapitre 3) peut alors être vue comme un filtre « stratégique » dont les outputs, i.e. les décisions et options préconisées devront subir un autre « traitement » en vue de la planification optimale de leur mise en œuvre dans le cadre de la conception et/ou l'exploitation de la chaîne logistique, où l'ensemble des décisions de planification (sites de production à exploiter, quantités de produits à approvisionner, quantités de produits à transporter, etc.) sont intégrées avec la décision de faire ou faire-faire (sous-traitance). Nous abordons ces aspects avec une approche orientée logistique et RO dans les chapitres 4 et 5, dans le cadre de la planification stratégique-tactique « durable » de la chaîne logistique.

1.2.2 Les décisions de planification de la chaîne logistique

La planification de la chaîne logistique est un aspect important de la gestion de la chaîne. On distingue habituellement trois niveaux suivant l'horizon de temps (Vidal et Goetschalckx, 1997) :

1. *Le niveau stratégique.* Il comprend un ensemble de décisions qui sont prises au plus haut niveau de l'entreprise (Thierry, 2003) et sur un horizon de plusieurs années. Elles nécessitent la mobilisation d'importants investissements et ont un impact à long terme sur la performance de la chaîne. De ce fait, elles sont difficilement réversibles. Les décisions stratégiques dictent généralement la configuration (ou la conception) de la chaîne (par exemple, le nombre et la localisation des sites de production, les types et les niveaux de capacité de chaque site, l'affectation de chaque zone de demande à une ou plusieurs localisations, la sélection de fournisseurs, etc.).

2. *Le niveau tactique.* Il comprend un ensemble de décisions destinées à obtenir la meilleure exploitation des moyens mis en œuvre (Thierry, 2003). La planification tactique considère un horizon de quelques mois. Les décisions prises à ce niveau dépendent des décisions prises au niveau stratégique, lesquelles sont intégrées comme des contraintes. Les décisions tactiques peuvent concerner la détermination des ressources à exploiter, les unités d'affaires à utiliser, la taille des lots à produire ou à approvisionner, le stock de sécurité, les délais de production/distribution etc. (D'Amours *et al.*, 2008).
3. *Le niveau opérationnel.* Il comprend des décisions relevant du court terme (quelques jours ou quelques heures). On s'intéresse généralement à un site de la chaîne en particulier. L'ordonnancement de différents produits et l'optimisation des tournées de véhicules sont des problèmes typiques de la planification opérationnelle (Renaud et Boctor, 2002).

Bien que généralement on considère les décisions stratégiques comme des décisions à long terme, les décisions tactiques comme des décisions à moyen terme et les décisions opérationnelles comme des décisions à court terme, il est difficile selon Thierry (2003) de déterminer en termes d'heures, de mois ou d'années ce que l'on entend par court, moyen ou long terme : « *si pour une entreprise le long terme correspond à un horizon de un an, pour une autre il peut être de un mois ou de deux ans* ». Dans le contexte de l'industrie du bois au Canada par exemple, un horizon de temps de 1 à 2 ans est approprié pour la (re)configuration d'une chaîne logistique, en raison de la limitation des droits d'exploitation de la matière première (le bois) laquelle est détenue majoritairement par l'Etat. Les projets d'extension de la capacité (la construction de nouvelles usines par exemple) sont de ce fait rares et les décisions stratégiques concernent essentiellement la reconfiguration des unités d'affaires existantes, la fermeture temporaires d'usines, la relocalisation de centres de distribution etc. en vue d'adapter les capacités de production à la demande, laquelle a la particularité d'être saisonnière (Vila, 2006).

Par conséquent, certaines décisions communément considérées comme relevant du niveau tactique (fermeture temporaire d'une usine par exemple) dans une industrie peuvent être considérées comme des décisions stratégiques dans d'autres industries. Par ailleurs, il n'est pas rare que certaines décisions plutôt stratégiques soient prises au niveau tactique (choix de fournisseurs, sélection de modes de transport, etc.). La frontière entre les différents niveaux de décision n'est donc pas claire. En ce sens, Gupta et Maranas (2003) considèrent les différents niveaux décisionnels comme un éventail, où les décisions stratégiques et opérationnelles sont les deux extrêmes entre lesquelles sont « rangées » les décisions tactiques : *“Tactical models fall in between these two extremes [strategic and operational models]. They (...) incorporate some features from both the strategic and operational models. For instance, they account for the carryover of inventory over*

time much like the scheduling models and, in spirit with the strategic planning models, they consider the presence of multiple facilities in the supply chain” (Gupta et Maranas, 2003).

Dans notre travail, nous nous focalisons sur la partie de « l'éventail » comprenant les décisions à l'intersection des « niveaux » stratégique et tactique. Dans la suite du manuscrit, nous parlons de *décisions de planification stratégique-tactique de la chaîne logistique*. Lorsque nous parlons de l'ensemble des décisions auxquelles nous nous intéressons dans cette thèse, i.e. l'internalisation/externalisation et l'ensemble des décisions de planification stratégique-tactique de la chaîne logistique (dont la décision de sous-traitance), nous employons le terme plus générique de *configuration et planification de la chaîne logistique*.

1.3 Le développement durable et la gestion de la chaîne logistique

Nous abordons dans cette section les concepts et définitions liés au développement durable, la RSE et la chaîne logistique durable. Nous présentons, par ailleurs, les critères qui caractérisent la performance des chaînes logistiques durables et nous exposons les méthodes d'évaluation de la performance multicritères les plus populaires dans la littérature, en vue d'analyser leur apport potentiel à notre travail de recherche.

1.3.1 Le concept de développement durable

La notion du développement durable trouve ses origines dès le 18^{ème} siècle avec les inquiétudes autour de la consommation des ressources de la Terre, exprimées par exemple dans les travaux de Malthus sur les rapports entre les dynamiques de croissance de la population et la production. Les origines plus récentes du développement durable remontent aux travaux du Club de Rome⁶ qui se fait mondialement connaître en 1972 par son célèbre rapport Meadows : « *The Limits to Growth* » (Halte à la croissance !). Le rapport qui apparaît à l'apogée de la période des Trente Glorieuses dénonce le danger que représente une croissance économique et démographique exponentielle pour la planète en termes de pollution, de surexploitation et d'épuisement des ressources naturelles.

Le terme « *sustainable development* » traduit en français par « *développement durable* », « *développement soutenable* » ou « *développement viable* » n'apparaît qu'au début des années 1980 dans le cadre de l'élaboration de la Stratégie Mondiale pour la Conservation. Les années 80 sont en effet caractérisées par la multiplication des catastrophes écologiques, l'accumulation de pollutions qualifiées de « globales » (pluies acides, détérioration de la couche d'ozone, augmentation de la concentration de gaz carbonique dans l'atmosphère, ...) et l'augmentation des menaces d'extinction de plusieurs espèces animales et végétales. L'ensemble de

⁶ <http://www.clubofrome.org/eng/home/>

Chapitre 1

ces phénomènes relayés par les médias touche le grand public. Ils mettent en jeu l'avenir des générations futures et menacent la survie de la planète et de l'espèce humaine. C'est dans ce contexte que la Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement (CMED) a publié en 1987 le premier rapport sur le développement durable intitulé : « *Our Common Future* » (Notre avenir à tous). Plus connu sous le nom de « Rapport Brundtland », le développement durable y est défini comme :

« Un développement qui satisfait les besoins actuels sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs ».

Le Québec, par l'adoption de sa *Loi sur le développement durable*, élargit sa définition à :

« Le développement durable s'appuie sur une vision à long terme qui prend en compte le caractère indissociable des dimensions environnementale, sociale et économique des activités de développement. »

L'accent est mis sur la durée du développement économique (viabilité économique), l'équité sociale (entre les générations et à l'intérieur des générations) et le respect des systèmes naturels, constituant ce que l'on désigne généralement par les « trois piliers » du développement durable (les 3P : Profit, Planet, People).

1.3.2 Les objectifs du développement durable

« Pour que le développement durable devienne une réalité au 21^{ème} siècle », un plan d'action baptisé « Agenda 21 », sans valeur juridique contraignante, comportant 40 chapitres et 115 actions a été proposé lors de la conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement qui s'est tenue à Rio de Janeiro en 1992. L'Agenda 21 aborde plusieurs thèmes dont la lutte contre la pauvreté, la modification des modes de consommation, la protection de l'atmosphère, la lutte contre le déboisement, la gestion des déchets dangereux, etc.

La conférence de Rio est à l'origine du protocole de Kyoto⁷ visant la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES, calculé en équivalent CO₂) signé en 1997 et rentré en vigueur en 2005. Pour compenser les objectifs « contraignants » de réduction de GES, l'accord offre la flexibilité aux pays sur les manières de les atteindre. Par exemple, il est possible de compenser partiellement les émissions de GES, en augmentant sur le territoire local ou dans des pays étrangers, les forêts qui

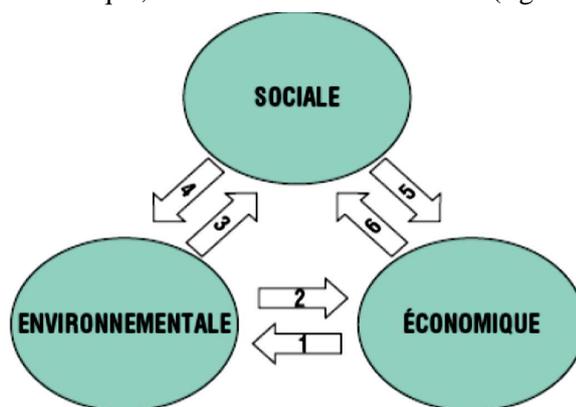
⁷ La principale caractéristique du protocole est qu'il dispose d'objectifs (et limitations) obligatoires sur les émissions de GES pour les pays économiquement forts qui l'ont accepté. Ces objectifs vont de -8% à +10% par rapport aux émissions individuelles des pays en 1990, en vue de réduire leurs émissions globales d'au moins 5% par rapport aux niveaux de 1990 dans la période d'engagement (2008 à 2012).

Chapitre 1

absorbent du dioxyde de carbone provenant de l'atmosphère. D'autres mécanismes comme la taxe carbone ou les quotas d'émission sont appliqués aujourd'hui dans plusieurs pays industrialisés (pays de l'Europe, Canada, Nouvelle-Zélande, etc.). La taxe carbone consiste à faire payer les « pollueurs » à proportion de leurs émissions de GES. Dans le cadre des quotas d'émissions, chaque Etat se voit allouer un quota d'émissions de CO₂ (équivalent CO₂), qu'il répartit ensuite sur ses sites industriels. Chaque site doit alors respecter le seuil d'émission qui lui a été fixé. S'il émet plus, il paie une taxe, s'il émet moins que ce qui était prévu, il pourra vendre sur un « marché carbone » les tonnes de CO₂ qu'il n'a pas émises.

Bien que beaucoup de rapports soient publiés et plusieurs conférences internationales soient organisées, la communauté internationale peine à mettre en pratique les principes du développement durable. En ce sens, le principal résultat du dernier « Sommet de la Terre » sur « l'économie verte » et le « cadre institutionnel du développement durable » qui s'est tenu du 20 au 22 juin 2012 à Rio de Janeiro est le lancement d'un processus devant conduire à l'établissement d'objectifs du développement durable !

Néanmoins, il est communément admis que le développement durable englobe trois dimensions : économique, environnementale et sociale (figure 1.1).



1. Effets de l'activité économique sur l'environnement (par exemple, utilisation des ressources, rejets de polluants, déchets).
2. Services apportés à l'économie par l'environnement (par exemple, ressources naturelles, fonctions de « puits », contributions à l'efficacité économique et à l'emploi).
3. Services apportés à la société par l'environnement (par exemple, accès aux ressources et aux aménités, contributions à la santé et aux conditions de vie et de travail).
4. Effets des variables sociales sur l'environnement (par exemple, changements démographiques, modes de consommation, éducation et information en matière d'environnement, cadres institutionnels et juridiques).
5. Effets des variables sociales sur l'économie (par exemple, structure de la main-d'œuvre, de la population et des ménages, éducation et formation, niveaux de consommation, cadres institutionnels et juridiques).
6. Effets de l'activité économique sur la société (par exemple, niveaux de revenu, équité, emploi).

Figure 1.1 : Les principales dimensions et synergies du développement durable (Stevens, 2006)

Chapitre 1

Baumann (2011) les caractérise en termes de trois types d'enjeux :

- *Les enjeux économiques*

Le développement durable devrait permettre d'intégrer des préoccupations autres que financières dans le fonctionnement des acteurs économiques. Du fait de la répartition inégale de la richesse produite entre les pays et entre les couches sociales d'un même pays, l'enjeu économique consisterait à redonner à l'économie sa place dans la société.

- *Les enjeux environnementaux*

Ils concernent essentiellement :

- Le réchauffement climatique et ses conséquences : montée du niveau de la mer, augmentation de la fréquence et de la puissance d'évènements climatiques violents (tempêtes, inondations, canicules, ...). Les scientifiques prévoient une augmentation de la température de 1.4 à 5.8 degrés d'ici 2100.
- L'érosion de la biodiversité : on estime que le rythme d'extinction des espèces est plusieurs centaines de fois plus rapide depuis l'époque contemporaine que celui habituellement observé à l'échelle géologique.
- L'épuisement des ressources naturelles et pollution : le calcul de l'empreinte écologique de l'humanité, par exemple la surface nécessaire pour produire toutes les ressources nécessaires à son fonctionnement, montre que l'homme exploite la Terre au-delà de ses capacités (si tous les habitants du monde vivaient comme un européen, il faudrait l'équivalent de deux autres Terre pour satisfaire leurs besoins).

- *Les enjeux sociaux*

Ils concernent entre autres, l'accroissement des inégalités au niveau mondial (20 % de la population concentre 80 % des richesses produites annuellement), la pauvreté et l'accès aux besoins fondamentaux (eau potable, nourriture, logement, travail, soins, éducation, etc.). A titre d'exemples, plus d'un milliard de personnes vivent avec moins de un dollar par jour et sont privées d'accès aux besoins fondamentaux et un européen sur six vit dans la pauvreté, les maladies hydriques provoquent 2,2 millions de morts par an (dont 1,5 million d'enfants), etc.

1.3.3 La RSE et la chaîne logistique durable

La transposition du développement durable aux activités industrielles (l'opérationnalisation du développement durable) se traduit par la RSE. Dans la

Chapitre 1

littérature, il n'existe pas une seule définition communément acceptée, ce qui contribue à la confusion sur les questions et thèmes compris dans le sujet de la RSE (Baumann, 2011). La Commission Européenne (2001) définit la RSE comme le concept selon lequel « *les entreprises intègrent les préoccupations sociales, environnementales, et économiques dans leurs opérations quotidiennes, et dans leurs interactions avec leurs parties prenantes sur une base volontaire* ». Cette définition met en avant six points importants (Baumann, 2011) :

- La RSE couvre les aspects sociaux et environnementaux contrairement au terme anglais « *Corporate Social Responsibility* » qui pourrait se focaliser uniquement sur la dimension sociale.
- La RSE ne devrait pas être séparée de la stratégie et des activités de l'entreprise.
- La RSE est un concept volontaire.
- Un aspect important de la RSE est la manière dont les entreprises interagissent avec leurs parties prenantes internes et externes (employés, clients, voisins, ONG, autorités publiques, ...).
- La RSE ne signifie pas seulement être en conformité avec la législation, mais aussi aller au-delà de la conformité et investir plus que demandé dans le capital humain, l'environnement et les relations avec les parties prenantes.
- Chaque entreprise s'implique dans la RSE à sa façon, ce qui ne dépend pas seulement de ses compétences centrales, de ses ressources et des intérêts des parties prenantes mais aussi des traditions culturelles du pays et de la zone où l'entreprise opère ses activités.

Nous adoptons cette définition de la RSE et nous la complétons avec les principes du concept du triple bilan (TBL) introduit par John Elkington (Elkington, 1998) qui met l'accent sur la performance « durable » (*sustainable performance*). En ce sens, le TBL stipule que :

- Une performance minimum doit être atteinte pour chacune des trois dimensions du développement durable : l'économie, l'environnement et la société.
- Un équilibre entre les 3 dimensions du développement devrait être satisfait.

La gestion « durable » de la chaîne logistique (*sustainable supply chain management*) peut alors être vue comme l'intégration des préoccupations environnementales et sociales à la gestion de la chaîne logistique, en vue d'améliorer et d'équilibrer les trois performances économique, environnementale et sociale. Nous employons indifféremment les termes *gestion durable de la chaîne logistique* ou *gestion de la chaîne logistique durable*. Lorsque seuls les aspects environnementaux et économiques sont considérés, sans prise en compte de la

dimension sociale, on parle de *chaîne logistique verte* ou de *logistique verte* (Sarkis et al., 2011 ; Dekker et al., 2012).

Par ailleurs, bien que les chaînes logistiques inverses et en boucle fermée (i.e. intégrant les flux de produits, d'amont en aval et les flux de retour de produits usagés d'aval en amont) soient largement considérées comme des chaînes logistiques vertes (voire durables), plusieurs chercheurs avancent que l'ajout de processus inverses et de boucles ne rend pas la chaîne systématiquement « verte » (Rubio et al., 2008 ; Quariguas Frota Neto et al., 2010 ; Dekker et al. 2012). Dans ce sens, Rubio et al. (2008) ont analysé plusieurs travaux sur les chaînes logistiques inverses et en boucle fermée sur une période de 10 années (1995-2005) et ont montré que dans la quasi-totalité des cas, l'objectif économique est la motivation principale. Dekker et al. (2012) affirment de leur côté, que les processus de recyclage peuvent être polluants et que, pour avoir suffisamment de volumes à recycler, beaucoup de transport serait nécessaire pour collecter les produits usagés. Il est, de plus, difficile de prévoir les retours des produits en fin de vie lesquels sont aléatoires (Bennekrouf et al., 2010).

1.3.4 Les critères de la performance « durable »

Traditionnellement, les critères pris en compte pour évaluer la performance de l'entreprise et des chaînes logistiques sont liés aux aspects financiers (coûts d'approvisionnement, coûts de distribution,...), la flexibilité (flexibilité de la production, flexibilité de la distribution,...), la réactivité (délais de conception, de mise sur le marché,...), la qualité (qualité de production,...) et la fiabilité (taux de service livraison, fiabilité des prévisions,...) (Gruat La Forme-Chretien 2007). Or, la prise en compte des préoccupations environnementales et sociales dans le cadre de la RSE modifie l'évaluation de cette performance (Baumann, 2011). Celle-ci doit être en effet élargie en vue de considérer l'ensemble des trois dimensions du développement durable, en adéquation avec les principes du triple bilan.

Il n'existe pas encore de consensus sur ce que devraient être les performances environnementale et sociale. Celles-ci dépendent en effet de plusieurs variables comme le secteur industriel et le pays de localisation des activités. Il est par conséquent difficile de caractériser la performance durable. Néanmoins, il existe plusieurs standards internationaux (référentiel SCOR, le GRI⁸, l'OCDE⁹, l'ISO

⁸ La Global Reporting Initiative a été créée en 1997 par l'association américaine Coalition for Environmentally Responsible Economies (CERES). Elle propose des lignes directrices pour mesurer la performance sociale et environnementale des entreprises.

⁹ L'Organisation de Coopération et de Développement Economique a élaboré en partenariat avec le Trade Union Advisory Committee (TUAC) (représentant du monde du travail) des principes directeurs qui s'appliquent aux firmes multinationales. Ces principes établis dans les années 1970 puis revisités en 2000 synthétisent l'ensemble des normes internationales édictées dans le domaine du droit du travail, de l'environnement, de la fiscalité, de la concurrence, des technologies, et de la transparence dans les affaires.

Chapitre 1

26000¹⁰, etc.) et travaux dans la littérature qui proposent des critères économiques, environnementaux et sociaux plus ou moins communs et génériques qui peuvent être adaptés.

Baumann (2011) a réalisé une large revue de la littérature en ce sens et a proposé de caractériser les critères de la performance durable par des enjeux et des sous-enjeux économiques, environnementaux et sociaux. Nous nous sommes inspirés de ses travaux de thèse et avons sélectionné 12 critères, répartis sur les trois volets du développement durable ; 5 critères pour la performance économique, 4 critères pour la performance environnementale et 3 critères pour la performance sociale (tableau 1.1). Ces critères ont été choisis en raison de leur pertinence dans la littérature scientifique et les standards internationaux. Ils regroupent l'ensemble des « enjeux » du développement durable pouvant être opérationnalisés au niveau des décisions de la chaîne logistique. Il est à noter que nous n'avons pas pris en considération des critères « basiques » relevant des droits de l'homme comme par exemple, l'exploitation des enfants, le travail forcé, etc. En ce sens, nous supposons que l'entreprise à laquelle on s'intéresse a atteint une certaine maturité en termes de RSE. Dans le reste du document, nous employons indifféremment les termes « critères » ou « objectifs » de la performance durable.

Tableau 1.1 : Les critères de la performance durable inspirés par Baumann (2011)

Dimension	Critère (objectif)
Economie (Eco)	Performance financière (PF)
	Réactivité (RC)
	Fiabilité (FB)
	Flexibilité (FL)
	Qualité (QL)
Environnement (Env)	Utilisation des ressources (UR)
	Pollution (PL)
	Emissions de gaz à effet de serre (GES)
	Matières dangereuses (MD)
Société (Soc)	Santé et sécurité (SS)
	Création d'emplois et de richesses (ER)
	Conditions de travail (CT)

¹⁰ L'ISO 26000, publiée en novembre 2010, donne des lignes directrices sur les questions centrales de la responsabilité sociale (les droits de l'homme, les relations et les conditions de travail, les bonnes pratiques des affaires, ...). Elle n'est cependant pas destinée à la certification.

1.3.5 Les méthodes d'évaluation de la performance multicritères

Les premières contributions dans le cadre de l'évaluation de la performance multicritères sont apparues dans les années 1980 (Clivillé, 2004). Par exemple, Globerson (1985) a proposé une approche structurée en 4 étapes: (1) choix de critères critiques vis-à-vis des clients, des employés et des dirigeants, (2) mise en place d'indicateurs suivant ces critères, (3) définition des objectifs (cibles) par étalonnage concurrentiel (benchmark) et (4) conception d'une boucle de pilotage pour corriger les écarts entre les performances réalisées et les objectifs. D'autres travaux ont été depuis proposés dans la littérature. Certains d'entre eux intègrent des critères environnementaux et/ou sociaux. Nous présentons une brève revue de la littérature en vue de rendre compte des contributions les plus significatives et d'étudier le potentiel apport de l'existant à notre problématique de recherche. Le lecteur intéressé peut se référer aux travaux de thèse de Clivillé (2004).

Basées sur les activités/processus de l'entreprise, les méthodes ABC/ABM (Activity-Based Costing et Activity-Based Management, respectivement) (Brimson, 1991) ont introduit le concept d'inducteurs de performance permettant d'identifier les facteurs qui peuvent améliorer la performance de l'activité/processus. La méthode ECOGRAI (Bitton, 1990) vise à concevoir et à implanter un système d'indicateurs de performance cohérents. Il se base sur le triplet (objectif, variable, indicateur) où « variable » est l'élément sur lequel le décideur peut agir pour atteindre les objectifs définis aux différents niveaux de la structure de pilotage de l'entreprise. Le balanced scorecard (BSC) (Kaplan et Norton, 1992) est un tableau de bord équilibré et prospectif qui a pour but de traduire les objectifs stratégiques de l'entreprise en actions opérationnelles. Il tente d'équilibrer la performance suivant 4 perspectives (financière, clients, processus internes, apprentissage organisationnel) en les reliant entre elles avec des liens de causalité. L'apprentissage permet l'amélioration des processus internes, cette amélioration génère à son tour la satisfaction des clients, qui permet à plus ou moins long terme l'atteinte des objectifs économiques et la satisfaction des actionnaires (Germain et Trébucq, 2004). Un tableau de bord est élaboré pour chaque perspective, associant à chaque indicateur son objectif, des variables d'action et les actions mises en œuvre (Clivillé, 2004).

Plusieurs auteurs ont proposé plus tard d'apporter des modifications au BSC pour intégrer des critères du développement durable (Dyllick et Hockerts, 2002 ; Bieker 2002 ; Supizet 2002, etc.). Dyllick et Hockerts (2002) ont proposé un exemple de « sustainability balanced scorecard » composé, pour partie, d'indicateurs mesurant les performances économique et environnementale. De son côté, (Bieker 2002) a suggéré d'ajouter une cinquième vue : la vue sociétale. Il propose des indicateurs propres à cette vue comme par exemple, les montants dépensés dans les campagnes de collaboration, de lobbying et de transferts technologiques.

Le modèle QMPMS (*Quantitative Model for the Performance Measurement System*) développé par Bititci (1995) permet d'identifier et de pondérer les facteurs qui influencent la performance globale de l'entreprise. Il est structuré en 4 étapes. La première concerne l'identification des effets simples et combinés deux à deux des facteurs affectant la performance globale. La deuxième étape consiste à hiérarchiser ces effets. La troisième permet de quantifier les effets et enfin la dernière étape consiste à mettre en place un tableau de bord. Le référentiel SCOR (SCC, 2008) a pour objectif d'évaluer et d'améliorer la performance de la chaîne logistique organisée autour de 5 processus (planifier, approvisionner, fabriquer, distribuer, retourner) en se basant sur des bonnes pratiques et 5 critères de la performance génériques (fiabilité, réactivité, agilité¹¹, coûts et actifs¹²) lesquels sont associés à chacun des processus. La mise en œuvre des bonnes pratiques permettrait alors d'améliorer la performance des processus, mesurée à l'aide d'indicateurs définis à l'intérieur de chaque critère de la performance et déclinés au niveau des processus. Dans la dernière version de SCOR, le Supply Chain Council (2008) a introduit le référentiel GreenSCOR mettant en avant des bonnes pratiques environnementalement responsables (implantation d'un système de management environnemental, identification des matières recyclables, maximisation des chargements des camions, etc.) ainsi qu'un ensemble d'indicateurs environnementaux comme par exemple la quantité de GES émise, le pourcentage de déchets recyclés, la quantité de déchets liquides générés, etc.

Au regard des approches proposées dans la littérature sur l'évaluation de la performance multicritères (incluant ou pas les critères de la performance durable), nous remarquons qu'elles s'appuient quasiment toutes sur 3 invariants formant un « triplet » (objectif, variable, mesure) :

1. *Les objectifs* : il s'agit des critères spécifiques à la performance devant être opérationnalisés. Les objectifs traduisent la stratégie de l'entreprise à différents niveaux de décisions. Un modèle d'évaluation de la performance adapté est un modèle de cohérence avec les objectifs globaux de l'entreprise (Lorino, 1993).
2. *Les variables* : il s'agit de l'ensemble des facteurs (inducteurs de performance, variables d'action, bonnes pratiques, etc.) qui impactent la performance.
3. *Les mesures* : il s'agit des indicateurs de performance qui mesurent et renseignent sur la réalisation des objectifs.

¹¹ Aptitude à répondre aux changements du marché pour gagner ou maintenir un avantage concurrentiel (SCC, 2008).

¹² Efficacité dans la gestion des actifs en vue de soutenir la satisfaction de la demande (SCC, 2008).

Conclusion

Nous avons introduit dans ce chapitre notre problématique et nos objectifs de recherche. Ceci nous a amenés à préciser les décisions de gestion de la chaîne logistiques auxquelles nous nous intéressons dans notre travail d'une part, et à introduire les concepts liés au développement durable et à la gestion des chaînes logistiques durables, d'autre part. Nous avons par ailleurs, caractérisé les critères de la performance durable en nous basant sur la littérature récente et introduit trois invariants qui sont à la base des méthodes d'évaluation de la performance (objectifs, variables et mesures). Dans les chapitres suivants, nous nous appuyons, entre autres, sur les critères de la performance durables que nous avons définis ainsi que sur les trois invariants de la mesure de la performance pour élaborer une approche intégrée en vue de répondre à notre problématique de recherche.

Chapitre 2 – Configuration et planification durables des chaînes logistiques : états de l’art et propositions

Introduction

La configuration et la planification de la chaîne logistique impactent profondément la stratégie des entreprises et la performance de celles-ci. Or, avec l’avènement des préoccupations environnementales et sociales, nombreuses sont les entreprises qui se sont engagées dans un processus de repositionnement stratégique et de redéfinition de la valeur. La RSE comme nous l’avons vu précédemment est un facteur de différenciation non seulement vis-à-vis des clients mais également vis-à-vis des autres parties prenantes (i.e. investisseurs, communautés locales, Etat, etc.). Par ailleurs, la performance n’est plus monodimensionnelle (économique) mais a évolué vers une performance tridimensionnelle (économique, environnementale et sociale) (Baumann, 2011). Cette réalité doit alors être prise en compte dans les modèles de (re)configuration et de planification de la chaîne logistique. Nous présentons dans ce chapitre une revue de la littérature que nous scindons en deux parties : la première est axée sur le problème de faire ou faire-faire et la seconde touche au problème plus large de planification stratégique-tactique des chaînes logistiques. A l’issue de ces deux états de l’art, nous proposons une approche conceptuelle générique pour l’intégration du développement durable aux décisions de la chaîne logistique. Le reste du chapitre est organisé comme suit :

2.1 Revue de la littérature sur le problème de faire ou faire-faire

2.1.1 Les modèles « classiques »

2.1.1.1 Les modèles conceptuels et méthodologiques

2.1.1.2 Les modèles mathématiques

2.1.1.3 Les modèles « durables »

2.1.2 Analyse de la littérature

2.2 Revue de la littérature sur les problèmes de planification stratégique-tactique de la chaîne logistique

2.2.1 Méthodologie suivie

2.2.2 Classification et analyse de la littérature

2.3 Proposition : une approche intégrée pour l’opérationnalisation de l’évaluation de la performance durable

Conclusion

2.1 Revue de la littérature sur le problème de faire ou faire-faire

En raison de la transversalité du problème de faire ou faire-faire, nous privilégions une analyse descriptive des différentes contributions pour rendre compte des différents points de vue. Par ailleurs, n'ayant recensé que très peu de modèles intégrant des critères du développement durable, nous avons élargi notre recherche aux travaux proposant des modèles plus « classiques », en vue d'étudier la possibilité de les adapter au contexte du développement durable. Nous restituons dans cette section les contributions les plus significatives. Nous proposons pour ce faire de les regrouper suivant deux catégories : les modèles traditionnels qui ne prennent pas en compte les aspects liés au développement durable et les modèles conçus dans un contexte de développement durable. Par abus de langage, nous employons le terme externalisation (plus utilisé que le terme sous-traitance) pour rendre compte des différentes contributions dans le cadre du problème de faire ou faire-faire.

2.1.1 Les modèles « classiques »

Ceux-ci peuvent être déclinés, dans le cadre des travaux recensés, en modèles conceptuels et méthodologiques (modèles qualitatifs issus de la théorie de l'économie, le management stratégique, la gestion, etc.) et en modèles mathématiques (quantitatifs) issus de la recherche opérationnelle (RO).

2.1.1.1 Les modèles conceptuels et méthodologiques

La théorie des coûts de transaction et la théorie de la ressource sont sans doute les approches les plus étudiées dans la littérature :

La théorie des coûts de transaction (Coase, 1937 ; Williamson 1975, 1985, etc.) propose une analyse par les coûts des risques engendrés par le recours à l'externalisation. Une transaction est définie comme un transfert de produits ou de services entre deux entités techniquement séparées. Cette théorie soutient que la forme organisationnelle (internalisation ou externalisation) retenue pour organiser une transaction doit permettre de minimiser la somme des coûts de production et de transaction (rédaction et négociation des contrats, renégociation, ...).

La théorie de la ressource (Wernerfeldt, 1989 ; Barney, 1991, etc.), de son côté privilégie une approche par le cœur de compétences. Elle stipule que l'avantage concurrentiel est fonction, entre autres, des ressources que l'entreprise identifie, développe, déploie et protège. L'accès à ces ressources peut alors se faire de manière directe en internalisant les activités de l'entreprise, ou de manière indirecte par la mise en place de relations avec des partenaires, comme par exemple l'externalisation.

Welch et *al.* (1992) proposent un modèle de décision stratégique pour l'internalisation/externalisation (*Strategic Sourcing Model*) en considérant 3

Chapitre 2

facteurs : (1) le processus technologique et son rôle dans la compétitivité, (2) la maturité du processus technologique par rapport aux technologies disponibles sur le marché et (3) la position du processus technologique par rapport à celle des concurrents. Les auteurs obtiennent alors des règles de décision en croisant les 3 facteurs. Si par exemple, les technologies de l'entreprise rapportent des avantages compétitifs mais ne sont pas encore matures ni aisément disponibles sur le marché (chez les concurrents, les prestataires, ...), il serait préférable d'internaliser. Au contraire, si les technologies qui apportent un avantage concurrentiel sont matures et bien développées sur le marché, il serait préférable d'externaliser.

Poulin *et al.* (1994) proposent un Modèle d'Evaluation de la Décision d'Internalisation/Externalisation (MEDIE) en s'appuyant sur 3 critères représentés par des pastilles (Figure 2.1) : l'importance de l'activité dans la création de l'avantage concurrentiel, sa performance, et son potentiel à contribuer à l'avantage concurrentiel dans le futur.

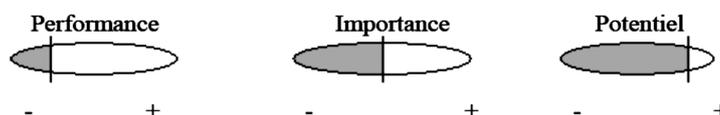


Figure 2.1 : Evaluation des activités basée sur un système de trois pastilles (Poulin *et al.*, 1994)

Les auteurs définissent pour chaque critère un niveau faible (-) (côté gauche de la pastille) et un niveau fort (+) (côté droit de la pastille). Une grille d'analyse (Tableau 2.1) permet alors d'envisager une ou plusieurs actions stratégiques (internaliser l'activité, confier l'activité à un prestataire externe, abandonner l'activité, la réaliser avec un prestataire plus performant, ...) pour chaque combinaison obtenue des 3 évaluations (+ + -, + - -, - - -, ...).

Tableau 2.1 : Un modèle stratégique d'aide à la décision pour la décision de faire ou faire-faire (Poulin *et al.*, 1994)

Evaluation des activités			Options stratégiques potentielles
Importance	Performance	Potentiel	
-	-	-	Ne plus faire l'activité
-	-	+	Ne plus faire l'activité Sous-traiter/Impartir l'activité Faire l'activité avec un partenaire pour qui l'activité est importante
-	+	-	Même solution que (- - +) Permettre que l'activité soit réalisable pour le compte d'autres nœuds externes
-	+	+	Même solution que (- + -) Externaliser les nœuds qui réalisent l'activité (créer une filiale)
+	-	-	Sous-traiter/Impartir l'activité Procéder à une réingénierie de l'activité en considérant la réaffectation à d'autres nœuds

				Fragmenter l'activité en plusieurs sous-activités et optimiser l'affectation de ces sous-activités à des nœuds internes ou externes
+	-	+		Même solution que (+ - -) Travailler à améliorer la performance de l'activité Améliorer les nœuds responsables de l'activité en vue d'améliorer la performance des activités
+	+	-		Maintenir et surveiller l'activité
+	+	+		Porter une attention stratégique constante à l'activité

Brandes (1994) évalue la décision d'internalisation/externalisation en analysant 3 critères de manière séquentielle : (1) l'importance stratégique de l'activité (appartenance au cœur de compétences), (2) le risque de dépendance avec le(s) prestataire(s) externe(s) et (3) le coût de réalisation de l'activité (interne versus externe). Une activité doit être internalisée dans trois cas : l'activité appartient au cœur de compétences, l'activité n'appartient pas au cœur de compétences mais présente un risque élevé, l'activité n'appartient pas au cœur de compétences et ne présente pas de risque important mais son coût de réalisation en externe excède le coût en interne. Dans la même perspective, Lakhali (1998) propose une approche séquentielle en s'appuyant sur trois types d'analyses (Figure 2.2) : une étude de la faisabilité opérationnelle de l'externalisation (problèmes de manutention et d'emballage, risques de détérioration du produit, etc.) suivie d'une analyse stratégique et enfin d'une analyse par les coûts. A l'issue de ces trois analyses, les activités techniquement, stratégiquement et économiquement « externalisables » sont identifiées.

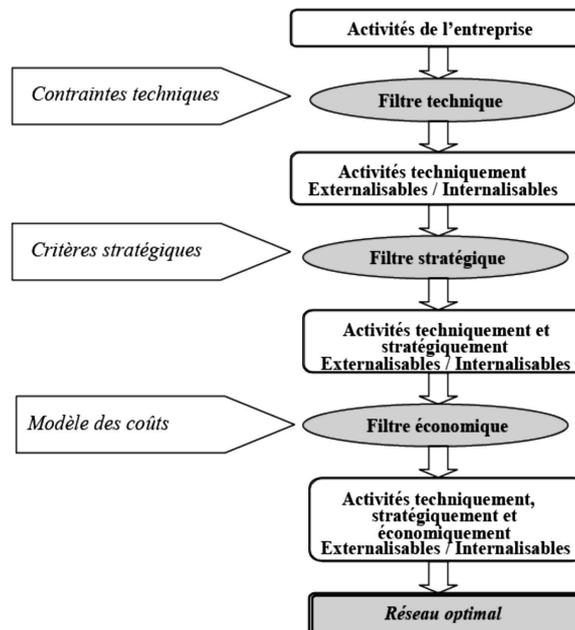


Figure 2.2 : Modèle de décision pour l'internalisation/externalisation d'une activité (Lakhali, 1998)

Chapitre 2

Momme et Hvolby (2002) présentent un processus pour l'externalisation en 6 étapes successives : (1) analyse des compétences, (2) évaluation et approbation, (3) négociation et contractualisation, (4) exécution du projet et transfert, (5) management du partenariat, (6) fin du partenariat. Les auteurs associent les variables : *activités clés*, *indicateurs de performance*, *résultats attendus (outputs)* à chaque étape du processus. Ainsi la méthode de Momme et Hvolby (2002) permet de traiter tout le cycle de vie du processus d'externalisation à travers 3 phases : la phase stratégique qui pose les questions : « Pourquoi », « Quoi » et « Qui », la phase de transition qui soulève la question du « Comment » et la phase opérationnelle qui interroge sur « Comment manager le partenariat ». La méthode permet par ailleurs d'intégrer la dimension temporelle dans ce sens que la ré-internalisation des activités externalisées peut être anticipée à travers par exemple l'étape « *fin du partenariat* ».

Wattky et al. (2006) se sont appuyés sur le référentiel SCOR pour modéliser les activités d'un grand groupe dans le secteur de la chimie en vue d'étudier l'externalisation des activités de logistique. Ils ont adopté une démarche de réorganisation des processus (BPR : Business Process Reengineering) et proposé une approche en 3 étapes : (1) Description et analyse de la situation initiale en vue d'identifier les activités à externaliser (« as is »). (2) Description et analyse de la situation future (attentes vis-à-vis du prestataire externe) (« to be »). (3) Mise en œuvre de l'externalisation et management du partenariat (« go live »).

Wagner et Nyhuis (2009) ont proposé une méthodologie pour la reconfiguration d'un système de production fournissant des produits haut de gamme et personnalisés dans un contexte international. Le système de production a été décomposé en trois types d'activités : *les activités d'approvisionnement* devant être localisées dans les pays présentant un avantage concurrentiel par les coûts, *les activités de fabrication de composants et produits standard* devant être internalisées et localisées dans le pays d'origine afin de protéger le cœur de compétences, et *les activités d'assemblage des produits finis personnalisés*, devant être localisées près des marchés de vente pour satisfaire au mieux les clients. La méthodologie se présente alors en 4 étapes : (1) analyse de la structure des produits en vue d'isoler le cœur de compétences et d'identifier les produits à sous-traiter, (2) étude de la coopération au niveau international pour identifier les ressources nécessaires à la communication et à la coordination entre les futurs partenaires, (3) analyse des moyens technologiques adaptés aux différentes localisations des sites de production et aux compétences et articulation des processus de production entre eux, (4) conception du système de production et de logistique permettant l'analyse et l'évaluation du réseau logistique. Les auteurs préconisent les méthodes du Global Value Stream Design (GVSD¹³) et du Total Cost of Ownership (coût total

¹³ Le GVSD est une méthode du Lean Management qui consiste à dresser la cartographie de l'ensemble des processus de production en remontant les flux de produits à partir du client. L'objectif est de localiser les activités à non-valeur ajoutée.

Chapitre 2

de possession, TCO¹⁴) pour décrire la situation initiale du système de production en vue de le simplifier (éliminer les activités à non-valeur ajoutée par exemple) avant de le reconfigurer.

2.1.1.2 Les modèles mathématiques

Layek et al. (2005) se sont appuyés sur une approche basée sur la théorie des files d'attente et les chaînes de Markov pour modéliser un réseau logistique constitué de l'entreprise donneur d'ordres et de ses sous-traitants de différents rangs (sous-traitants des sous-traitants). Ils ont évalué à l'aide de leur modèle l'impact de différentes stratégies d'externalisation (à long terme versus court terme) sur le coût annuel du stock de sécurité du donneur d'ordres dans l'optique de satisfaire au mieux le service client.

Bouchriha (2002, 2009) a élaboré une approche de configuration intégrée d'une chaîne logistique pour l'internalisation/externalisation optimale des activités de production. Cette approche permet de faire le lien entre l'analyse stratégique et l'optimisation mathématique d'une part, et entre les niveaux de planification stratégique et tactique, d'autre part. L'approche englobe trois étapes. La première consiste à établir le réseau potentiel. Celui-ci est constitué des maillons existants (activités internalisées et activités potentiellement externalisables) augmentés de maillons potentiels en vue de réaliser les activités externalisables. Celles-ci sont identifiées à l'issue d'une analyse technique (filtre technique) puis stratégique (filtre stratégique). Quant aux prestataires potentiels, ils sont sélectionnés à l'aide d'un algorithme basé sur la méthode AHP (Analytical Hierarchy Process) (Saaty, 1980). La deuxième étape consiste à concevoir le réseau logistique. Il s'agit de sélectionner les prestataires finaux devant réaliser les activités externalisées et de définir la quantité de produits qui leur est allouée ainsi que la quantité de produits devant être fabriqués par les ressources internes (activités internalisées). Pour ce faire, Bouchriha (2002) propose trois modèles mathématiques d'optimisation applicables dans différents contextes.

Le premier, linéaire en variables mixtes, multi-produits et multi-périodes, minimise le coût total d'internalisation/externalisation. Plusieurs scénarios ont été testés sur un exemple académique (Bouchriha et Ladet, 2001) (capacité interne insuffisante, fluctuation de la demande, augmentation des prix d'achat, etc.). Le modèle a été également appliqué dans le cadre de la négociation d'une commande en intégrant le délai de livraison (Bouchriha et Ladet, 2002). Le deuxième modèle est linéaire en variables mixtes, mono-période, bi-objectifs et prend en compte les contraintes de nomenclature ainsi que les incertitudes liées à la fiabilité des prestataires externes. Le premier objectif minimise le coût total d'internalisation/externalisation alors

¹⁴ Le Total Cost of Ownership est une méthode permettant de déterminer l'ensemble des coûts générés par un système de production et de les affecter ensuite aux différentes activités.

que le second maximise l'utilisation des ressources. Le troisième modèle est une extension du deuxième en vue de prendre en compte les économies d'échelles pouvant être proposées par les prestataires. La dernière étape de l'approche consiste à établir un lien entre les 3 modèles stratégiques avec un modèle de planification tactique. L'objectif est d'évaluer l'impact des politiques de pilotage de la chaîne logistique (gestion de stocks, approvisionnement, etc.) sur la performance de la chaîne configurée à l'aide des 3 premiers modèles, et de réajuster, si nécessaire, les décisions stratégiques en vue de garantir l'« optimalité » de la chaîne.

Tlahig et al. (2007) et Tlahing et al. (2008) ont étudié le problème de configuration de réseaux hospitaliers en considérant les alternatives d'internalisation, externalisation ou de mutualisation des services de stérilisation. Pour répondre au problème d'internalisation/externalisation (Tlahig et al., 2007), les auteurs ont d'abord décomposé le processus de stérilisation en un ensemble d'activités à l'aide de la chaîne de valeur. Ils ont ensuite identifié les activités potentiellement externalisables et proposé un modèle mathématique linéaire en variables mixtes, multi-produits et multi-périodes en vue de minimiser le coût total de fonctionnement du service de stérilisation. Il permet de déterminer la période à partir de laquelle il serait moins coûteux d'externaliser, les activités à externaliser ainsi que les prestataires à retenir. Le modèle a été appliqué sur un cas réel (Centre Hospitalier Régional de AIGLE, en France). Les auteurs ont analysé par ailleurs, la sensibilité du modèle (variation de la demande et variation des coûts) afin de déterminer les valeurs à partir desquelles il est plus intéressant de basculer de l'alternative d'internalisation à celle d'externalisation et vice-versa.

Dans (Tlahig et al., 2008), les auteurs ont conçu un modèle linéaire en variables mixtes, multi-périodes et multi-produits, pour répondre au problème d'internalisation ou de mutualisation (dans le cadre d'un partenariat) du service de stérilisation en minimisant le coût total de fonctionnement. Le modèle permet de déterminer la localisation du service de stérilisation dans le cas de mutualisation ainsi que sa capacité et d'allouer les ressources matérielles et humaines. Les auteurs ont considéré le cas réel d'un réseau constitué de trois hôpitaux réalisant la stérilisation de deux types de produits.

Barker (2010) a considéré 8 configurations possibles d'une chaîne logistique inverse pour la collecte, le tri (tests) et le traitement de produits en fin de vie. Les 8 alternatives résultent de la combinaison de plusieurs options possibles de collecte, de tri et de traitement des produits. La collecte des produits peut se faire par l'entreprise qui récolte uniquement ses produits ou par un autre organisme qui récolte les produits de plusieurs entreprises. Le tri des produits collectés peut se faire de manière centralisée (au niveau d'un seul point de collecte et de tri) ou de manière décentralisée (à l'intérieur de plusieurs sites de collecte ou à proximité de ceux-ci). Quant au traitement des produits valorisables à l'issue du tri, il peut se

Chapitre 2

faire dans le site de production d'origine appartenant à l'entreprise ou dans un site secondaire (pouvant appartenir à un prestataire externe).

Dans une première approche (Barker, 2010 ; Barker et Zabinsky, 2011), la méthode AHP a été appliquée pour sélectionner la « meilleure » configuration en considérant 2 critères principaux : les réductions de coûts et les relations d'affaires. Le premier critère regroupe 4 sous-critères : valorisation des produits recyclables (réutilisation comme matière première, remise à neuf, etc.), tri et tests (qualité des produits retournés, technologies nécessaires, etc.), traitement des déchets (transport, élimination, etc.), possibilité de traitement dans le site d'origine (capacité, technologie, main d'œuvre, etc.). Le second critère regroupe 2 sous-critères : contrôle et exclusivité des savoir-faire de l'entreprise (ex. composition des produits), interaction avec les clients et liens directs (relations via un service après-vente, garanties, etc.). Les différentes alternatives sont comparées entre elles par paires vis-à-vis des 6 sous-critères, eux-mêmes comparés entre eux ainsi que les critères qui les regroupent, à l'aide de matrices de jugement. Un traitement mathématique de ces matrices permet alors de calculer un score global pour chacune des alternatives. Le score le plus élevé désigne la « meilleure » alternative. Les auteurs ont testé leur approche sur 3 cas: le recyclage d'appareils médicaux, le recyclage de tapis résidentiels (ménages) et le recyclage de tapis commerciaux (entreprises).

Dans une seconde approche (Barker, 2010), un modèle linéaire en variables mixtes a été proposé pour la conception d'une chaîne logistique incluant les flux de produits directs et inverses (i.e. une chaîne logistique en boucle fermée) dans un contexte où la demande et le volume des produits retournés sont considérés comme des variables aléatoires. Le modèle a été résolu en utilisant plusieurs méthodes (modélisation déterministe et modélisations probabilistes) en vue de configurer la chaîne au coût minimum d'une part, et de tester l'impact des incertitudes sur la configuration de la chaîne d'autre part. L'auteur a également évalué à l'aide de ce modèle le coût de la meilleure configuration obtenue initialement avec la méthode AHP. L'approche a été testée sur un cas industriel issu des produits électroniques.

2.1.2 Les modèles « durables »

Très peu de contributions adaptées au contexte du développement durable ont été proposées dans la littérature. Nous avons recensé uniquement deux travaux : le premier présente un modèle multicritères pour la configuration d'une chaîne logistique inverse (Shiue et Lin, 2012), le second propose un programme mathématique pour la configuration d'une chaîne de distribution (Mallidis et al., 2012) :

Dans le même esprit que (Barker, 2010 ; Barker et Zabinsky, 2011), Shiue et Lin (2012) se sont appuyés sur une méthode d'aide à la décision multicritères, l'ANP¹⁵ (Analytical Network Process) pour évaluer 4 stratégies de collecte des produits dans le secteur de l'énergie solaire : collecte par l'entreprise elle-même (internalisation), partage des opérations avec d'autres partenaires, recours à un prestataire logistique externe, et recours à une organisation gouvernementale (système de consignation)¹⁶. Les auteurs ont considéré 4 critères en se basant sur le modèle « BOCR » (Bénéfice ou avantage, Opportunité, Coût, Risque) développé par Saaty et Ozdemir (2003) qu'ils ont déclinés en 20 sous-critères incluant des critères socio-environnementaux (image de l'entreprise, utilisation de l'énergie, qualité de vie, éducation à la culture de recyclage, sensibilisation à l'environnement, etc.). L'application à un cas d'étude a montré que l'option « internalisation » est la meilleure stratégie au regard des critères considérés et que le critère « avantage » est le plus important aux yeux des décideurs.

Mallidis et al. (2012) de leur côté ont examiné 4 alternatives de transport et d'entreposage pour la configuration et la planification optimale d'une chaîne logistique de distribution : utilisation dédiée du transport et de l'entreposage (i.e. internalisée), transport dédié et entreposage externalisé, transport externalisé et entreposage dédié, transport et entreposage externalisés. Le problème a été modélisé comme un programme linéaire en variables mixtes à plusieurs objectifs. Le premier objectif minimise le coût total de la chaîne de distribution et les autres minimisent la quantité de polluants (CO₂, CO, SO₂, particules, etc.) émis dans l'air par les activités de transport. Les auteurs ont appliqué leur modèle à un réseau de distribution de produits électroménagers en Europe de l'Est. Le modèle a été résolu en considérant d'une part chacune des 4 alternatives de transport et d'entreposage et d'autre part 3 objectifs (coût, CO₂ et particules) minimisés tour à tour (le coût, la quantité de CO₂ émise, la quantité de particules émise). 12 instances ont été ainsi testées. Les résultats montrent que dans la plupart des cas, l'externalisation de l'entreposage améliore à la fois le coût et la performance environnementale (les émissions de CO₂ et de particules).

2.1.3 Analyse de la littérature

A l'issue de notre revue de la littérature, nous pouvons tirer 5 conclusions majeures :

1. De manière générale, les modèles privilégiant une analyse du point de vue stratégie de l'entreprise (cœur de compétences, ressources clés, etc.) ne sont pas intégrés à une modélisation mathématique (l'optimisation par

¹⁵ L'ANP est la forme générique de l'AHP. Elle permet de prendre en compte les interdépendances entre les critères (Saaty, 1996).

¹⁶ Par exemple, un système obligeant les consommateurs à payer une caution au moment de l'achat du produit remboursable au retour du produit en fin de vie.

exemple) et vice-versa (Lakhal, 1998 ; Bouchriha, 2002, 2009, Tlahig et al., 2007 en sont les exceptions). Or comme le souligne Bouchriha (2009), l'analyse stratégique est le point de départ de toute décision de faire ou faire-faire car elle permet de tenir compte du noyau de compétences de l'entreprise, de sa position par rapport à ses concurrents et de ses facteurs clés de succès par rapport aux clients cibles. En ce sens, MacCormack (1994) préconise d'examiner la stratégie concurrentielle de l'entreprise, ainsi que les leviers sur lesquels elle se base (coût, qualité, innovation, flexibilité et réactivité, etc.) avant d'avoir recours à la modélisation mathématique pour décider de la meilleure option.

2. Au regard du contexte du développement durable, très peu de travaux ont été proposés. Nous avons recensé 2 contributions seulement. De plus, ces 2 dernières présentent des insuffisances : alors que Shiue et Lin (2012) intègrent uniquement des critères qualitatifs et intangibles (image de l'entreprise, sensibilisation à l'environnement, etc.), Mallidis et al. (2012) considèrent uniquement des critères environnementaux et économiques.
3. Ces 2 modèles sont issus tous les 2 de la RO et dans les 2 cas la stratégie de l'entreprise et son positionnement par rapport à sa politique RSE n'ont pas été pris en compte. A notre connaissance, il n'existe pas de modèles ayant analysé la stratégie de l'entreprise pour la décision de faire ou faire-faire dans le cadre de la RSE. Il serait pourtant intéressant d'étudier le problème d'un point de vue stratégie de l'entreprise en raison de la modification du paysage concurrentiel de l'entreprise et de la nécessité de son repositionnement. En effet, comme nous l'avons souligné dans le chapitre précédent, de plus en plus d'entreprises s'orientent vers des stratégies de différenciation basées sur des sources intangibles comme la réputation, la légitimité, la culture d'entreprise, l'innovation, etc. Ces sources viendraient de la mise en place de pratiques relevant de la RSE (Li et Toppinen, 2011).
4. Les décisions de partenariat et/ou de ré-internalisation n'ont pas assez investies dans la littérature, qu'il s'agisse de modèles conceptuels ou de modèles mathématiques. Ils peuvent constituer pourtant des leviers d'action non-négligeables en vue de réajuster ou d'atteindre les objectifs stratégiques de l'entreprise.
5. Enfin, la décision de faire ou faire-faire est, dans la plupart des travaux recensés, étudiée indépendamment des autres décisions de (re)configuration ou de planification de la chaîne logistique. Or, c'est une décision qui interagit avec l'ensemble des décisions de gestion de la chaîne (localisation de sites, dimensionnement des capacités de production et de

transport, sélection de technologies de production et de modes de transport, etc.). (Mallidis et al., 2012) est l'une des rares exceptions.

Nous présentons dans les sections suivantes les travaux qui ont abordé les problèmes de planification stratégique-tactique de la chaîne logistique de manière plus globale (i.e. n'intégrant pas nécessairement la décision de faire ou faire-faire) dans un contexte de développement durable. Nous approchons le problème du point de vue de la RO. En raison du nombre important de travaux recensés, nous proposons de réaliser notre revue de la littérature suivant une approche structurée, en vue de faciliter l'analyse tout en capturant les caractéristiques les plus importantes des modèles proposés.

2.2 Revue de la littérature sur les problèmes de planification stratégique-tactique de la chaîne logistique

Traditionnellement, en RO, les modèles de planification de la chaîne logistique se focalisent essentiellement sur la minimisation des coûts (Dekker et al., 2012). Même dans un contexte multicritères où plusieurs objectifs doivent être pris en compte simultanément, les critères économiques (réactivité, fiabilité, etc.) sont les plus étudiés. En effet, sur un total de 62 articles (apparus entre 1995 et début 2012) traitant du problème de planification stratégique-tactique de la chaîne logistique dans un contexte multicritères, seuls 30% intègrent des critères environnementaux et moins de 10% se sont intéressés aux critères sociaux (Boukherroub et al., 2012b). Nous présentons ici une revue de la littérature systématique axée exclusivement sur les modèles de planification stratégique-tactique de la chaîne logistique, dans un contexte de développement durable. Notre objectif est double :

1. Recenser l'existant en vue d'étudier la prise en compte des critères du développement durable et d'évaluer le degré de pénétration de la performance durable dans la littérature.
2. Analyser l'apport potentiel de la littérature à notre problème de recherche.

Notre démarche de recherche est présentée dans la section suivante.

2.2.1 Démarche de recherche suivie

Notre démarche se résume en 4 étapes comme le montre la figure 2.3.

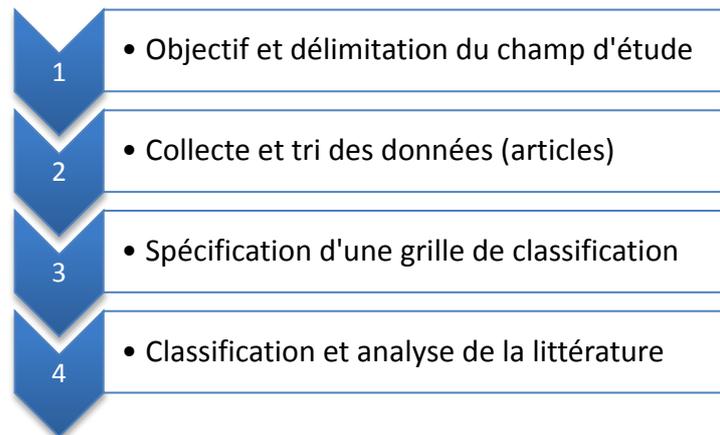


Figure 2.3 : Démarche de recherche bibliographique

- *Objectif et délimitation du champ d'étude*

Nous avons exposé nos objectifs dans la section précédente. Concernant le champ d'étude, nous avons restreint notre revue de la littérature aux publications parues entre 1998 et 2012. Nous avons choisi l'année 1998 comme date de référence car le Protocole de Kyoto a été signé à la fin de l'année précédente (le 11 décembre 1997) d'une part, et parce que le concept du triple bilan (TBL) n'a vu le jour qu'en 1998 (Elkington, 1998), d'autre part. Comme nous l'avons déjà mentionné, nous nous intéressons uniquement aux travaux ayant proposé des modèles mathématiques issus de la RO pour la planification stratégique-tactique de la chaîne logistique dans un contexte de développement durable. Aussi les travaux présentant des modèles tactiques-opérationnels ne sont pas inclus dans notre étude. Le lecteur intéressé peut se référer à (Bonney et Jaber, 2011 ; Bouchery et al., 2012). De plus, nous ne nous focalisons pas sur les chaînes logistiques inverses ou en boucle fermée. En effet, bien que celles-ci contribuent à une gestion plus durable au regard de la collecte des produits en fin de vie et de leur recyclage et réutilisation, plusieurs chercheurs avancent que le rajout de boucles et de processus inverses ne rend pas systématiquement la chaîne logistique « durable » ou « verte » (Quarigas Frota Neto et al., 2010 ; Dekker et al., 2012) (voir Chapitre 1). Le lecteur intéressé peut se référer aux travaux de Fleischmann et al. (1997), Rubio et al. (2008), Bennekrouf et al. (2010), Kenné et al. (2012), etc.

- *Collecte et tri des données (articles)*

Notre revue de la littérature couvre les articles parus dans des journaux de RO, de logistique et de management des opérations ainsi que des articles de conférences dans ces domaines. Nous avons interrogé la plupart des bases de données et les bibliothèques en ligne où ce type de littérature est répertorié : ScienceDirect (Springer), SpringerLink, Web of Science, Taylor & Francis online-Journals, Emerald Management eJournals, INFORMS Journals, etc. Nous avons utilisé les

Chapitre 2

mots clés « *supply chain strategic planning* », « *supply chain network design* », « *supply chain tactical planning* » que nous avons combinés avec les mots clés « *sustainable development* », « *sustainability* », « *green* » et « *corporate social responsibility* ». Notons que nous n'avons pas utilisé des mots clés liés à la chaîne logistique inverse ou en boucle fermée (ex. « *reverse logistics* », « *closed-loop supply chain* », « *recycling* », etc.). Néanmoins, nous n'avons pas écarté systématiquement tous les travaux ayant proposé des modèles de chaînes logistiques inverses ou en boucle fermée apparus dans nos résultats. Nous les avons rigoureusement analysés et vérifié leur pertinence vis-à-vis de l'intégration des aspects du développement durable. Notons également que nous avons complété notre recherche par des articles recensés dans d'autres travaux (ex. revues de la littérature) lorsque les articles en question sont pertinents mais qu'ils ne sont pas apparus dans nos résultats. Cette situation reste néanmoins rare. Au total, nous avons recensé 49 articles.

- *Spécification d'une grille de classification*

Nous avons classé les articles obtenus suivant les critères de la performance durable que nous avons spécifiés dans le chapitre 1 :

- Suivant la dimension économique nous avons retenu la performance financière (PF), la réactivité (RC), la fiabilité (FB), la flexibilité (FL), la qualité (QL).
- Suivant la dimension environnementale nous avons considéré l'utilisation des ressources (UR), la pollution (PL), les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) et les matières dangereuses (MD).
- Suivant la dimension sociale nous avons retenu la santé et la sécurité (SS), la création d'emplois et de richesses (ER) ainsi que les conditions de travail (CT).

- *Classification et analyse de la littérature*

Dans cette étape, les différents articles sont classés suivant les critères définis dans l'étape précédente. En nous appuyant sur la classification, nous relevons les critères de la performance durable les plus étudiés dans la littérature ainsi que les méthodes de mesure et les indicateurs les plus communément utilisés pour intégrer la performance durable dans la modélisation mathématique. Les résultats de notre classification et notre analyse sont présentés dans la section suivante.

2.2.2 Classification et analyse de la littérature

La classification de la littérature par référence est présentée dans le tableau 2.2.

Chapitre 2

Tableau 2.2 : Classification de la littérature suivant les critères de la performance économique, environnementale et sociale

Référence	Performance économique					Performance environnementale				Performance sociale		
	Performance financière (PF)	Réactivité (RC)	Fiabilité (FB)	Flexibilité (FL)	Qualité (QL)	Utilisation des ressources (UR)	Pollution (PL)	Emissions de GES (GES)	Matières dangereuses (MD)	Santé et sécurité (SS)	Création d'emplois et de richesses (ER)	Conditions de travail (CT)
Giannikos (1998)	X						X		X			
Nema and Gupta (1999)	X								X			
Luo et al. (2001)	X	X				X		X				
Krikk et al. (2003)	X					X	X					
Dotoli et al. (2005)	X		X	X	X	X		X				
Hugo et al. (2005)	X							X				
Hugo et Pistikopoulos (2005)	X					X	X	X	X	X		
Dotoli et al. (2006)	X	X				X		X				
Nagurney et al. (2006)	X							X				
Ferreti et al. (2007)	X						X					
Pati et al. (2008)	X				X	X	X					
Pourmouhammadi et al. (2008)	X					X	X					
Quariguasi Frota Neto et al. (2008)	X						X	X	X			
Bojarski et al. (2009)	X					X	X	X	X	X		
Gillen-Gosalbéz et Grossman (2009)	X					X	X	X	X	X		
Mele et al. (2009)	X						X					
Bouzemrak et al. (2010)	X							X				
Fonseca et al. (2010)	X						X					
Gillen-Gosalbéz et Grossman (2010)	X					X	X	X	X	X		
Nagurnay and Nagurney (2010)	X							X				
Subramarian et al. (2010)	X					X		X				
Corsano et al. (2011)	X					X	X					
Chaabane et al. (2011a)	X							X				
Chaabane et al. (2011b)	X							X				
Pinto-Varela et al. (2011)	X					X	X	X		X		
Pozo et al. (2011)	X					X	X	X	X	X		
Wang et al. (2011)	X							X				
You et al. (2011)	X							X			X	
You and Wang (2011)	X							X				
Abdallah et al. (2012)	X					X	X	X	X	X		
Achillas et al. (2012)	X					X	X					
Agkul et al. (2012)	X							X				
Amin et Zhang (2012a)	X					X	X					
Amin et Zhang (2012b)	X	X			X	X	X					
Bostel et al. (2012)	X							X				
Chaabane et al. (2012)	X							X				
Elhedhli and Merrick (2012)	X							X				
Eskandarpour et al. (2012)	X	X				X		X				
Giarola et al. (2012)	X							X				
Jamshidi et al. (2012)	X								X			
Mallidis et al. (2012)	X						X	X				
Paksoy et al. (2012)	X					X		X				
Pérez-Fortes et al. (2012)	X					X	X	X	X	X	X	
Pishvae et al. (2012a)	X						X			X	X	
Pishvae and Razmi (2012)	X					X	X			X		
Sabio et al. (2012)	X					X	X	X	X	X		
Shaw et al. (2012)	X		X		X			X				
Shiue et Lin (2012)	X					X						
Tekiner-Mogulkoc et al. (2012)	X						X	X				

Chapitre 2

Les figures 2.4., 2.5, 2.6 et 2.7 montrent les résultats de la classification suivant respectivement, les dimensions de la performance durable, ainsi que les critères à l'intérieur de chacune des 3 dimensions économique, environnementale et sociale.

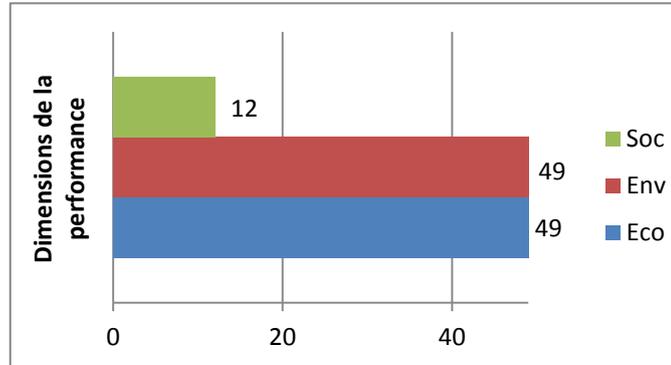


Figure 2.4 : La prise en compte des dimensions de la performance durable dans la littérature

Nous constatons un faible intérêt pour la performance sociale (figure 2.4). En effet, alors que l'ensemble des travaux ont pris en compte les dimensions économique et environnementale, seuls 12 travaux ont considéré la dimension sociale. Nous analysons dans ce qui suit les critères de la performance pris en compte à l'intérieur de chacune des 3 dimensions de la performance durable et discutons les méthodes et les indicateurs utilisés en vue de les intégrer dans les modèles mathématiques.

- *La modélisation des critères de la performance économique*

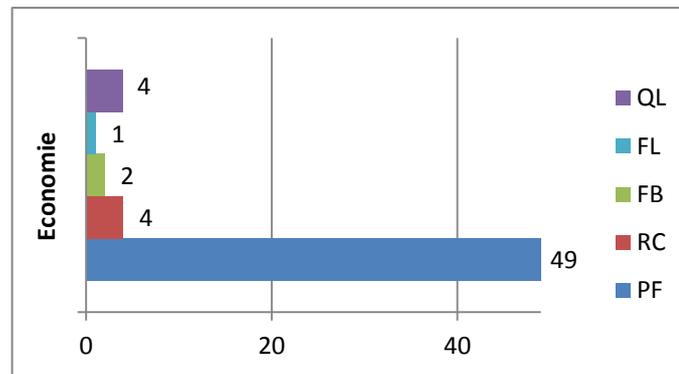


Figure 2.5 : La prise en compte des critères de la performance économique dans la littérature

A l'intérieur de la dimension économique (figure 2.5), la performance financière (PF) est sans surprise, prise en compte par l'ensemble des travaux. Celle-ci est mesurée par le coût total de la chaîne logistique (coûts fixes et coûts variables)

(dans 36 travaux sur 49), la valeur actuelle nette (VAN)¹⁷ ou le profit, lesquels sont modélisés comme des fonctions objectifs à minimiser ou à maximiser dans un modèle mono-objectif, bi-objectif ou multi-objectifs. Les autres critères économiques sont très peu investis dans la littérature. L'une des raisons qui peut expliquer ce constat est liée à la complexité qui se rajoute aux modèles mathématiques lorsque plusieurs critères sont pris en compte simultanément. Rappelons que l'ensemble des travaux recensés prennent déjà en compte au moins 2 critères répartis sur au moins 2 dimensions du développement durable.

Pour mesurer la réactivité (RC), Luo et al. (2001) et Dotoli et al. (2006) ont associé à chaque lien et acteur possibles dans une chaîne logistique potentielle, un temps de cycle. L'objectif est de configurer la chaîne en minimisant le temps de cycle total. Eskandarpour et al. (2012) ont considéré, de leur côté, la minimisation du retard lié à la réparation de produits retournés par les clients dans un système de service après-vente. Amin et Zhang (2012b) ont considéré le délai de livraison comme un critère d'évaluation de fournisseurs potentiels. Nous notons par ailleurs que les critères « Fiabilité » (FB), « Flexibilité » (FL) et « Qualité » (QL) ont été considérés dans la littérature comme des attributs (qualitatifs et quantitatifs) du produit ou du fournisseur. En effet, la sélection des fournisseurs est un problème multicritères, qui inclut des critères à la fois qualitatifs et quantitatifs (Jain et al., 2009).

Par exemple, Dotoli et al. (2005) ont évalué un ensemble de fournisseurs potentiels sur la base, entre autres, de la fiabilité des délais, la capacité d'adaptation aux exigences des clients, la qualité des produits et du service fournis. Pati et al. (2008) ont minimisé la quantité de papier usagé de mauvaise qualité collectée pour augmenter la qualité du papier recyclé, dans le cadre d'une chaîne logistique inverse (recyclage du papier usagé). Shaw et al. (2012) ont formulé la quantité de produits défectueux et la quantité de produits livrés en retard comme des fonctions objectifs à minimiser dans un problème de sélection de fournisseurs et d'affectation de commandes. Amin et Zhang (2012b) ont également considéré la quantité de produits défectueux comme un objectif à minimiser. Dotoli et al. (2005), Amin et Zhang (2012b) et Shaw et al. (2012) ont tous utilisé une méthode multi-attributs pour la pré-sélection de fournisseurs (Dotoli et al., 2005) ou pour évaluer leur importance traduite en termes de poids (Amin et Zhang, 2012b ; Shaw et al., 2012).

- *La modélisation des critères de la performance environnementale*

Concernant la dimension environnementale (figure 2.6), les émissions de GES est le critère le plus investi. Les critères « Utilisation des ressources » (UR) et « Pollution » (PL) ont reçu un intérêt moindre mais significatif contrairement au critère « Matières dangereuses » (MD). L'intérêt dans la littérature pour les critères

¹⁷ La VAN (Net Present Value en anglais) est un flux de trésorerie actualisé représentant l'enrichissement supplémentaire lié à un investissement par rapport à un minimum exigé par les investisseurs.

Chapitre 2

environnementaux est lié dans 21 cas à la réglementation. Nous avons en effet recensé 14 travaux ayant proposé des modèles de planification de la chaîne logistique dans le cadre de réglementations sur les émissions de GES, 4 dans le cadre de la réglementation sur les quotas de produits en fin de vie à collecter/recycler (Krikke et al., 2003 ; Quarigas Frota Neto et al., 2008 ; Fonseca et al., 2010 ; Achillas et al., 2012) et 3 travaux dans le cadre de la réglementation sur la pollution (rejets dans l'air et dans les eaux) (Ferreti et al., 2007 ; Pourmouhammadi et al., 2008 ; Corsano et al., 2011). Concernant les émissions de GES, deux types de réglementations ont été investis : la taxe carbone (Nagurney et al., 2006 ; Bouzembrak et al., 2010 ; Nagurney et Nagurney, 2010 ; Akgul et al., 2012 ; Elhedhli et al. 2012 ; Eskandarpour et al. 2012, Shaw et al., 2012) et le système d'échange de quotas (Bojarski et al., 2009 ; Subramarian et al., 2010 ; Chaabane et al., 2011a ; Chaabane et al., 2011b ; Abdallah et al., 2012 ; Chaabane et al. 2012 ; Giarola et al., 2012).

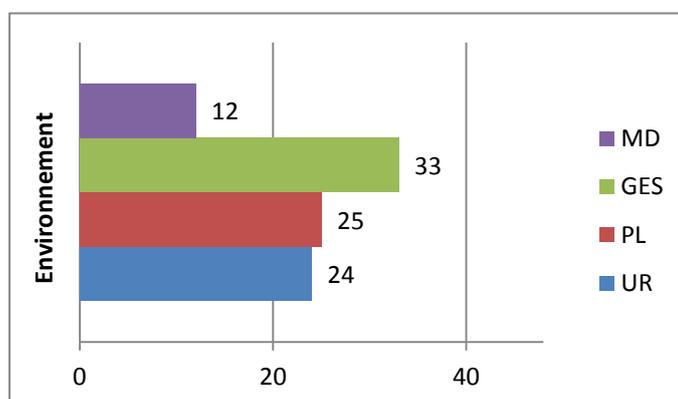


Figure 2.6 : La prise en compte des critères de la performance environnementale dans la littérature

Dans le cas de la taxe carbone par exemple, Bouzembrak et al. (2010) ont conçu un réseau logistique de traitement de sédiments fluviaux pollués qui minimise les coûts dont le coût des émissions de CO₂. Les auteurs ont considéré une somme pondérée et ont fait varier les poids pour étudier plusieurs configurations possibles présentant différentes performances économique et environnementale. Shaw et al. (2012) ont de leur côté intégré la limite d'émissions de carbone autorisée comme une contrainte. Chaabane et al. (2012) ont conçu une chaîne logistique en boucle fermée en considérant les crédits de carbone à acheter ou à vendre dans le cadre d'un système de quotas comme des variables de décision. Le coût/profit associé aux quantités achetées/vendues est alors intégré dans une fonction objectif de coût, alors qu'un second objectif permet de quantifier et de minimiser l'ensemble des émissions de GES de la chaîne. La limite d'émissions autorisée ainsi que le nombre maximum de crédits achetés/vendus autorisés sont modélisés comme des

contraintes. Il s'agit alors de trouver un compromis entre le coût de la chaîne logistique et les émissions totales de GES.

Dans le cadre de la réglementation sur la pollution, Ferreti et al. (2007) ont évalué l'impact de différents niveaux de limitations de polluants dans l'air (monoxyde de carbone (CO), oxydes d'azote (NOx), matières particulaires (MP) et composés organiques volatiles (COV)) sur la configuration du transport de l'aluminium (sous forme liquide ou solide) dans un réseau logistique. De leur côté, Corsano et al. (2011) ont intégré dans la fonction objectif de profit, les pénalités liées aux quantités des eaux usées de distillerie (vinasses) rejetées. Concernant la réglementation sur les quotas de produits en fin de vie à collecter/recycler, Krikke et al. (2003) ont évalué l'impact de différentes cibles de recyclage dans le cadre de la législation sur les déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) sur l'utilisation de l'énergie et les coûts de recyclage.

La méthode la plus communément utilisée dans la littérature pour quantifier les critères de la performance environnementale (émissions de GES, utilisation des ressources, pollution et matières dangereuses) est l'Analyse du Cycle de Vie (ACV). Cette méthode consiste à identifier et à quantifier l'énergie, les matières utilisées ainsi que l'ensemble des polluants et des rejets (CO₂, CO, NO_x, MP, COV, etc.) générés à chaque étape du cycle de vie du produit, depuis l'extraction des matières premières qui le composent jusqu'à son élimination finale (ISO 14040, 2006). Les informations recueillies (appelées inventaire du cycle de vie) sont ensuite traduites à l'aide de coefficients de pondération (facteurs d'impact) en termes d'impacts socio-environnementaux qui peuvent être rangés dans différentes catégories¹⁸. Lorsque la méthode de l'ACV est appliquée au flux de produits dans une chaîne logistique, les étapes du cycle de vie sont généralement limitées aux processus d'approvisionnement, de transport, de transformation, de stockage, de recyclage et d'élimination en fin de vie (l'usage n'est pas pris en compte). Les impacts environnementaux des produits dépendent des quantités achetées, transportées, fabriquées, stockées, etc. ainsi que de la provenance des produits (fournisseurs), des modes de transport utilisés, des technologies de production, des modalités de stockage, etc. Dans le cadre de la planification de la chaîne logistique, la performance environnementale est alors quantifiée en pondérant certaines variables de décision (quantités achetées, fabriquées, etc.) à l'aide de coefficients d'émissions, de consommation et de facteurs d'impact.

¹⁸ Il existe deux principales méthodes pour définir les catégories d'impacts. La première est orienté « problème », i.e. la quantification des impacts est limitée aux premiers stades de la chaîne de cause à effet (mid-point) comme par exemple la concentration de GES dans l'atmosphère. La seconde est orientée « dommage », i.e. la quantification des impacts est poussée jusqu'au dommage ultime dans la chaîne de cause à effet (end-point) comme par exemple les dommages sur la santé humaine causés par le réchauffement climatique lui-même causé par la concentration de GES dans l'atmosphère.

Une des catégories d'impacts les plus investies dans les travaux ayant adopté l'ACV concerne les émissions de GES qui est formulée comme un objectif à minimiser dans un programme mathématique bi-objectif (Hugo et al., 2005 ; You et Wang, 2012 ; Chaabane et al., 2012 ; Giarola et al., 2012) ou multi-objectifs (You et al., 2011). Lorsque plusieurs catégories d'impacts sont considérées simultanément, elles sont généralement agrégées en un seul indicateur normalisé qui mesure l'impact global sur l'environnement comme par exemple l'Eco-indicateur 99 (ex. Hugo et Pistikopoulos, 2005 ; Gillén-Gosalbéz et Grossman, 2009 ; Gillén-Gosalbéz et Grossman, 2010) ou l'IMPACT 2002+ (ex. Bojarski et al., 2009 ; Pérez-Fortes et al., 2012). Ces indicateurs agrégés sont ensuite formulés comme des fonctions objectifs dans des modèles bi-objectifs (ex. Hugo et Pistikopoulos, 2005 ; Gillén-Gosalbéz et Grossman, 2009 ; Gillén-Gosalbéz et Grossman, 2010) ou multi-objectifs (ex. Pérez-Fortes et al., 2012).

Sur l'ensemble des travaux que nous avons analysés, nous en avons recensé 19 qui ont privilégié l'approche de l'ACV. Sur ces 19 articles, 17 ont considéré le secteur industriel des matériaux dont les produits de la chimie (Hugo et Pistikopoulos, 2005 ; Gillén-Gosalbéz et Grossman, 2009 ; Gillén-Gosalbéz et Grossman, 2010, etc.), la production de l'hydrogène (Hugo et al., 2005 ; Sabio et al., 2012), la production de bio-carburants (Corsano et al. 2011 ; You et al., 2011 ; Ekgul et al., 2012, etc.), l'aluminium (Chaabane et al., 2012) et la production des pâtes et papier (Quarigas Frota Neto et al., 2008 ; Pinto-Varéla et al., 2011). En effet, ces types d'industries sont parmi les secteurs les plus polluants et les plus gourmands en énergie. Dès lors, il n'est pas surprenant que la méthode de l'ACV soit surtout utilisée pour ce type d'industries.

L'avantage de l'ACV est qu'elle permet de prendre en compte plusieurs critères environnementaux (utilisation des ressources, pollution, émissions de GES, matières dangereuses) à la fois, voire des critères sociaux (les dommages sur la santé humaine par exemple). Ceci est reflété dans le tableau 2.2 où les critères environnementaux et le critère social « Santé et Sécurité » (SS) sont, dans plusieurs travaux, pris en compte simultanément. Notons de plus que sur les 12 travaux où le critère social « Santé et Sécurité » est pris en compte, 10 ont utilisé la méthode de l'ACV pour le quantifier (catégorie d'impact « dommages sur la santé humaine »). Par ailleurs, la possibilité qu'offre la méthode de l'ACV en termes de quantification de l'impact global sur l'environnement à l'aide d'indicateurs agrégés (Eco-indicateur 99, l'IMPACT 2002+, etc.) facilite la modélisation mathématique. Néanmoins, la méthode de l'ACV présente quelques limites concernant la fiabilité et la disponibilité des données nécessaires à la réalisation de l'inventaire du cycle de vie ainsi que le calcul des différentes catégories d'impacts et leur agrégation.

En dehors des travaux ayant adopté la méthode de l'ACV pour calculer les émissions de GES, ce critère a été quantifié dans la littérature, en associant un coefficient d'émission aux quantités de produits transportées, fabriquées, stockées, etc. Le coefficient d'émission de GES dépend essentiellement du mode de transport

utilisé, de la distance parcourue, de la technologie sélectionnée et de la modalité de stockage. Le critère « Utilisation des ressources » (UR) a été dans la plupart des travaux mesuré en termes de quantité d'énergie utilisée à l'aide de coefficients de consommation associés à différentes variables de décisions (Luo et al., 2001 ; Krikke et al., 2003 ; Dotoli et al., 2005 ; Dotoli et al., 2006 ; Pourmouhammadi et al., 2008 ; Achillas et al., 2012 ; Shiue et al., 2012). De leur côté, Subramarian et al. (2010), Amin et Zhang (2012a), Amin et Zhang (2012b) et Paksoy et al. (2012) ont considéré la « recyclabilité » des produits. Pati et al. (2008) et Eskandarpour et al. (2012) quant à eux, ont considéré la quantité de déchets collectés et la quantité de produits éliminés (respectivement) comme des objectifs à maximiser. Le critère « pollution » (PL) a été mesuré essentiellement par la quantité de polluants émise dans l'air par le biais d'un facteur d'émission associé aux quantités fabriquées et/ou transportées par différentes technologies et/ou modes de transport (Ferreti et al., 2007 ; Pourmouhammadi et al., 2008 ; Achillas et al., 2012 ; Mallidis et al., 2012 ; Tekiner-Mogulkoc et al., 2012). Krikke et al. (2003) ont considéré la quantité de déchets à éliminer qu'ils ont formulée comme un objectif devant être maximisé. Fonseca et al. (2010) ont de leur côté considéré les effets indésirables (odeurs, bruits, ...) liés à la localisation de sites de traitement et d'élimination des déchets. Ils ont modélisé ce critère comme une fonction objectif, mesurée à l'aide du produit mathématique entre les variables binaires de localisation des sites, les facteurs d'émission des effets indésirables, les distances euclidiennes entre les sites à localiser et les zones d'habitation, les poids liés à l'importance de chaque zone d'habitation et les poids représentant l'atténuation des effets indésirables due aux bénéfices potentiels de la localisation des sites pour les populations, comme par exemple la création d'emplois. Ce critère a été aussi considéré par Giannikos (1998) comme une fonction objectif dans un modèle mathématique multi-objectifs. L'auteur a également modélisé les risques environnementaux liés au transport de matières dangereuses (critère « matières dangereuses » MD) comme deux fonctions objectif (i.e. le risque perçu par l'ensemble des zones d'habitation et le plus grand risque perçu individuellement par chaque zone d'habitation). Dans le même esprit, Nema et Gupta (1999) ont considéré le risque lié au transport et au traitement de matières dangereuses qu'ils ont modélisé comme une fonction objectif (i.e. produit mathématique entre les quantités transportées/traitées, le niveau de dangerosité des produits transportés, la probabilité d'occurrence d'un accident et la taille de la population potentiellement impactée). Nous avons par ailleurs, relevé dans le modèle d'évaluation des fournisseurs d'Amin et Zhang (2012b) plusieurs attributs environnementaux qualitatifs associés aux produits eux-mêmes ou aux processus de fabrication (ex. utilisation de technologies moins polluantes, génération de déchets, dangerosité des produits, recyclabilité des produits, etc.).

- *La modélisation des critères de la performance sociale*

Comme nous l'avons évoqué précédemment, l'intégration des critères de la performance sociale est très rare dans la littérature. Notons par ailleurs, que le

critère « Conditions de Travail » (CT) n'a reçu aucun intérêt. Nous rappelons que sur l'ensemble des 11 travaux recensés, 10 ont pris en compte le critère « Santé et Sécurité » (SS) dans le cadre de l'ACV, en le quantifiant comme le dommage à long terme sur la santé humaine potentiellement causé par le changement climatique, la pollution, etc. En dehors de ces travaux, nous avons recensé uniquement 3 articles (You et al., 2011 ; Pishvae et al., 2012 ; Pérez-Fortes et al., 2012) qui ont considéré la performance sociale.

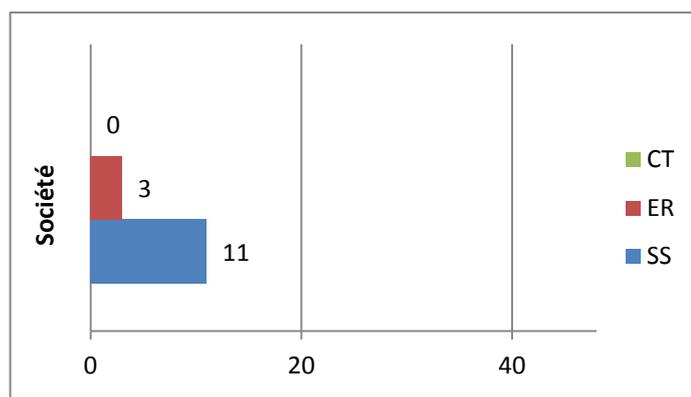


Figure 2.7: La prise en compte des critères de la performance sociale dans la littérature

You et al. (2011) ont proposé un modèle mathématique multi-objectifs pour la planification stratégique-tactique d'une chaîne de production de bio-carburants (à partir de biomasse) en considérant 3 objectifs : la minimisation des coûts de la conception et de l'exploitation du réseau logistique, la minimisation des émissions de GES le long de la chaîne (obtenues en appliquant la méthode de l'ACV) et la maximisation des emplois locaux créés lors de la construction et de l'exploitation des installations de la chaîne. Les auteurs ont quantifié l'objectif social en s'appuyant sur l'outil « JEDI » (Jobs and Economic Development Impact model)¹⁹ développé par le NREL (National Renewable Energy Laboratory). Conçu pour les industries de production de l'énergie et des carburants, cet outil permet d'estimer pour chaque dépense unitaire liée à la construction ou à l'exploitation des installations, le nombre d'emplois locaux générés directement (phases de construction et d'exploitation des installations) et indirectement dans les industries de support (fournisseurs, banques, etc.) par le biais de multiplicateurs d'entrée-sortie. You et al. (2011) ont ainsi formulé l'objectif social comme la somme des variables de décision binaires (localisation de sites) et continues (quantités transportées, quantités stockées, quantités achetées, quantités produites, etc.) pondérées par un coût et un multiplicateur d'entrée-sortie.

De leur côté, Pérez-Fortes et al. (2012) ont considéré le problème de planification stratégique-tactique d'un réseau de production d'électricité à partir de la biomasse.

¹⁹ <http://www.nrel.gov/analysis/jedi/>

Chapitre 2

Ils ont formulé un programme mathématique en considérant 3 fonctions objectifs : le coût de configuration et d'exploitation de la chaîne, l'impact environnemental global de la chaîne (IMPACT 2002+) et le nombre total d'emplois locaux créés. Pour quantifier l'objectif social, les auteurs maximisent le nombre de technologies de production installées dans l'ensemble des régions potentielles. Autrement dit, ils répartissent le plus largement possible les technologies à installer pour offrir le maximum d'opportunités d'emplois sur l'ensemble des régions. Pour ce faire, ils ont considéré la maximisation de la somme sur les indices *technologie*, *région* et *période* d'une variable binaire valant 1 si une technologie particulière est localisée dans une région candidate à une période donnée, 0 sinon.

Enfin, Pishvae et al. (2012) ont conçu une chaîne logistique en considérant deux objectifs : la minimisation des coûts et la maximisation de la "responsabilité sociale de la chaîne logistique". Le second objectif est une somme pondérée de 4 indicateurs mesurant 1 critère environnemental et 3 critères sociaux. Le critère environnemental concerne la quantité totale de déchets générés lors de la production des produits. Le premier critère social concerne la création d'emplois et de richesses (ER). Il est mesuré par le nombre total d'emplois créés, liés d'une part à l'utilisation d'une technologie de production donnée dans un site potentiel, et d'autre part à la localisation dans une région donnée d'un site de production ou d'un centre de distribution. Les deuxième et troisième critères sociaux concernent respectivement, la santé des consommateurs et la sécurité des employés. Le premier critère est mesuré par la part totale de matières potentiellement dangereuses contenue dans les produits fabriqués due à l'utilisation d'une technologie particulière. Le second critère est mesuré par le nombre total de jours perdus à l'issue d'un accident du travail, dû à l'utilisation d'une technologie en particulier.

- *Principales conclusions de la revue de la littérature sur la planification stratégique-tactique de la chaîne logistique*

A l'issue de l'analyse de la littérature nous pouvons tirer 3 conclusions :

1. Les travaux existants ont accordé très peu d'intérêt à la performance sociale. Ainsi, les modèles proposés dans la littérature ne reflètent pas le principe du triple bilan sur lequel repose l'opérationnalisation de la performance durable. A notre connaissance, il n'existe pas à ce jour dans la littérature sur la planification stratégique-tactique de la chaîne logistique d'approches réellement intégrées qui prennent en compte l'ensemble des dimensions du développement durable.
2. De notre point de vue, le manque d'intégration des aspects du développement durable dans la littérature est dû à l'absence de l'appréhension de la performance comme une composante multi-dimensionnelle et multicritères et au manque de recul vis-à-vis de

l'évaluation de la performance. En effet, à l'exception de Pishvae et al. (2012) qui ont d'abord spécifié un système d'évaluation de la performance (parties prenantes, attentes des parties prenantes, mesures, etc.) avant d'aborder la modélisation mathématique, dans tous les autres travaux, les auteurs s'attaquent directement à la programmation mathématique sans s'attarder sur la performance qu'ils souhaitent modéliser.

3. Par ailleurs, l'étude du front de Pareto en vue d'analyser l'articulation des différents critères de la performance durable entre eux et de proposer ainsi un large panel de solutions au décideur est une pratique encore rare dans la littérature. Nous avons recensé d'une part, 12 travaux qui ont eu recours à la modélisation mono-objectif, soit en ramenant les critères environnementaux en coût monétaire, soit en minimisant l'objectif économique et l'objectif environnemental tour à tour. D'autre part, lorsque le problème est approché avec la programmation bi-objectifs ou multi-objectifs, dans la plupart des cas, une simple agrégation pondérée (avec un seul jeu de poids) des objectifs ou des écarts de ces objectifs de leurs cibles respectives (goal programming) est adoptée. Or dans ce cas, les possibilités de choix de solutions sont très limitées et des solutions présentant des compromis plus intéressants peuvent être inexplorées. En particulier, sur l'ensemble des trois travaux qui ont intégré la performance sociale, seuls Pérez-Fortes et al. (2012) ont étudié les solutions de compromis entre les 3 dimensions de la performance durable.

2.3 Proposition : une approche intégrée pour l'opérationnalisation de l'évaluation de la performance durable

Notre revue de la littérature nous amène à conclure qu'il existe encore très peu de contributions scientifiques qui ont intégré aux décisions de la chaîne logistique l'approche de la RSE et qui ont opérationnalisé l'évaluation de la performance suivant ses trois dimensions économique, environnementale et sociale, qu'il s'agisse de la décision de faire ou faire-faire ou plus généralement des décisions de planification stratégique-tactique. L'une des raisons qui explique ce constat, à notre sens, est que la plupart des modèles proposés (conceptuels et mathématiques) ne s'inscrivent pas dans une réelle démarche d'évaluation de la performance. Il existe pourtant, comme nous l'avons vu dans le chapitre 1, plusieurs travaux dans la littérature sur l'évaluation de la performance qui proposent des approches cohérentes qu'il est possible d'adapter aux problèmes de planification (stratégique, tactique et opérationnelle) de la chaîne logistique. Plus précisément, un des points communs à la quasi-totalité des approches d'évaluation de la performance est le triplet (objectif, variable, mesure) (voir Chapitre 1). Il serait donc intéressant en vue d'assurer la cohérence de l'opérationnalisation de la performance durable de respecter la présence et l'articulation de ces 3 invariants. Nous proposons d'adapter

ce triplet au problème de configuration et de planification de la chaîne logistique (dont les décisions de faire ou faire-faire) comme suit (voir figure 2.8) :

1. *Définition des critères (ou objectifs) de la performance durable à intégrer dans les décisions de la chaîne logistique.* Il s'agit de l'invariant « objectif » du triplet. Nous nous appuyons sur les critères de la performance répartis sur les 3 volets du développement durable que nous avons spécifiés dans le chapitre 1 et que nous avons utilisés lors de la classification de la revue de la littérature dans la section précédente.
2. *Corrélation des critères de la performance durable avec les décisions de la chaîne logistique en vue d'analyser l'impact potentiel de celles-ci sur la performance.* Les décisions de la chaîne logistique correspondent à l'invariant « variable » du triplet. En particulier, nous avons recensé dans la littérature sur la planification stratégique-tactique de la chaîne logistique plusieurs travaux qui lient les variables de décision des modèles mathématiques (modes de transport sélectionnés, technologies installées, etc.) à la performance environnementale ou sociale (dans quelques rares cas) par le biais de facteurs de consommation (ex. énergie) et d'émission (polluants, GES, etc.). Néanmoins, les auteurs ne font pas de corrélation au préalable entre les critères de la performance durable et l'ensemble des variables de décisions. En vue d'améliorer l'intégration et l'opérationnalisation de la performance, nous proposons de réaliser cette analyse de manière systématique quel que soit le niveau de décisions auquel on s'intéresse. En effet, une décision prise à n'importe quel niveau peut avoir un impact direct ou indirect sur un ou plusieurs critères de la performance. Au niveau stratégique par exemple, la localisation d'un site de production dans une région donnée impacte entre autres, le coût de production, le délai de livraison, les distances parcourues et par conséquent les émissions de GES, le niveau de l'emploi dans la région, etc. Au niveau tactique, la fermeture d'une unité d'affaire pendant une ou plusieurs périodes impacte directement le niveau de l'emploi et la réactivité. Au niveau opérationnel, le choix d'un plan d'ordonnancement impacte entre autres le coût, les délais de livraison, la flexibilité et la stabilité de l'emploi (heures supplémentaires, embauche d'intérimaires, etc.).
3. *Spécification de mesures de la performance.* Il s'agit du troisième invariant du triplet (mesure). La corrélation des critères de la performance avec les décisions de la chaîne logistique devrait permettre de choisir et de concevoir des indicateurs de performance cohérents. Par exemple, dans le cadre de la programmation mathématique, l'étude de corrélation peut être formalisée par des expressions mathématiques mettant en jeu des variables de décisions et des facteurs de coût, d'émission, etc. (i.e. une somme pondérée par exemple) lesquelles pourraient être intégrées dans le modèle mathématique comme des fonctions objectifs ou des contraintes.

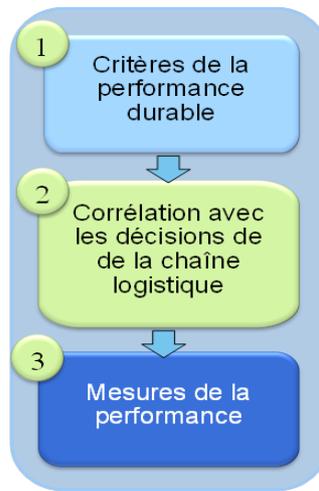


Figure 2.8 : Démarche d'intégration de la performance durable aux décisions de la chaîne logistique

Par ailleurs, en vue de capturer les caractéristiques des chaînes logistiques mises en œuvre et d'obtenir le bon niveau de précision de la mesure de la performance, il est important de modéliser la chaîne logistique (activités, flux de produits, etc.) avec le bon niveau d'abstraction. Nous avons en effet constaté dans la littérature une meilleure intégration de la performance durable dans les modèles qui considèrent d'une part, plusieurs processus de la chaîne logistique (approvisionnement, production, distribution, etc.) et une description plus fine des procédés manufacturiers, des modalités de transport, des caractéristiques des produits, etc. Nous pensons donc qu'il est nécessaire de s'interroger et de se positionner par rapport aux aspects :

- « Qualité » de la mesure de la performance qu'on souhaite obtenir.
- Niveau d'abstraction du modèle de la chaîne logistique.

Il est à noter que le niveau d'abstraction dépend également du niveau de décisions auquel on s'intéresse.

Enfin, étant donné que la performance durable est multi-dimensionnelle et multicritère, il nous semble pertinent de s'interroger également sur les outils les plus à même de prendre en compte ces particularités. Les méthodes d'aide à la décision multi-attributs telles que l'AHP, l'ANP, etc., la programmation multi-objectifs en RO sont particulièrement adaptées. Néanmoins d'autres méthodes telles que la simulation peuvent également être utilisées.

Nous sommes maintenant en mesure de proposer notre approche générique pour l'intégration de la performance durable aux décisions de la chaîne logistique (figure 2.9). Notre approche s'articule autour de 3 phases :

- **Phase I :** Spécification des critères de la performance durable, corrélation des critères de la performance avec les décisions de la chaîne logistique et spécification d'indicateurs de performance cohérents.
- **Phase II :** choix du niveau d'abstraction en fonction du niveau de décisions et de la qualité des mesures de la performance souhaitée.
- **Phase III :** Modélisation du problème (programmation mathématique, simulation, etc.)

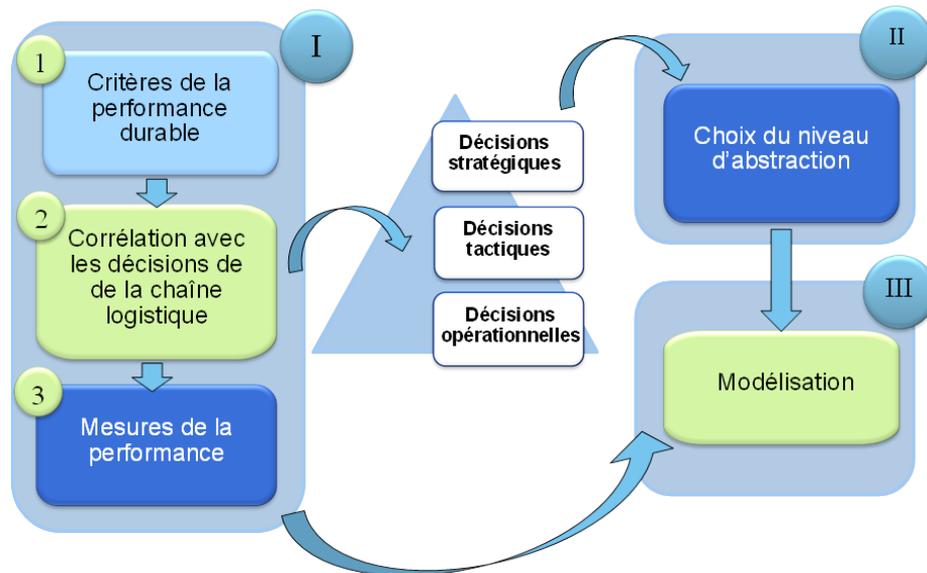


Figure 2.9 : Cadre conceptuel pour l'intégration de la performance durable aux décisions de la chaîne logistique

Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre un état de l'art sur la prise en compte de la RSE et de la performance du développement durable dans les modèles de faire ou faire-faire ainsi que dans les modèles de planification stratégique-tactique des chaînes logistiques. Notre analyse a révélé un manque évident d'approches permettant d'intégrer la RSE aux décisions de la chaîne logistique et d'opérationnaliser la performance durable, en adéquation avec le principe du triple bilan. Nous avons, par ailleurs, à l'issue de l'analyse de l'état de l'art, proposé une approche générique intégrée d'évaluation et d'opérationnalisation de la performance durable, applicable aux différents niveaux de décisions de la chaîne logistique. Dans les chapitres suivants nous montrons comment notre approche peut être déclinée au niveau stratégique pour répondre au problème de faire ou faire-faire (internalisation/externalisation) et au niveau stratégique-tactique pour répondre au problème de planification stratégique-tactique d'une chaîne logistique, dont la décision de sous-traitance (i.e. mise en œuvre de la décision d'externalisation).

Chapitre 3 – Approche intégrée pour l’internalisation/externalisation durable

Introduction

La stratégie de l’entreprise implique de faire évoluer régulièrement le périmètre des activités mises en œuvre pour accroître la valeur de l’ensemble (Quélin, 2003). Or, plusieurs entreprises ont d’ores et déjà commencé à réajuster leur stratégie en intégrant la RSE au cœur de la valeur qu’elles proposent. Nous avons pu constater à travers notre revue de la littérature présentée dans le chapitre 2, que les méthodes et les modèles d’aide à la décision pour le problème de faire ou faire-faire sont inadaptés à ce contexte. Nous proposons dans ce chapitre, de revisiter la décision de faire ou faire-faire en adoptant le point de vue stratégie de l’entreprise (internalisation/externalisation), dans le cadre d’une démarche RSE. Pour ce faire, nous appliquons notre approche intégrée pour l’opérationnalisation du développement durable au niveau de décision stratégique. Nous mobilisons alors d’une part, la chaîne de valeur et le référentiel SCOR pour modéliser les activités de l’entreprise (Phase II de notre approche) et un modèle d’aide à la décision multicritères inspiré de la littérature couplé à la méthode AHP d’autre part, pour l’évaluation de la décision d’internalisation/externalisation (Phase III de notre approche). Le reste du chapitre est organisé comme suit :

3.1 Synthèse de l’état de l’art

3.2 Application de notre approche intégrée pour l’internalisation/externalisation

3.2.1 Modélisation des activités avec la chaîne de valeur et le référentiel SCOR

3.2.1.1 Présentation de la chaîne de valeur

3.2.1.2 Présentation des référentiels SCOR/GreenSCOR

3.2.1.3 Instrumentation par la chaîne de valeur

3.2.2 Méthode d’aide à la décision multicritères pour l’internalisation/externalisation durable

3.2.2.1 Evaluation de l’importance stratégique des activités

3.2.2.2 Evaluation de la performance des activités

3.2.2.3 Evaluation du potentiel des activités

3.2.2.4 Confrontation des analyses et prise de décision

Conclusion

3.1 Synthèse de l'état de l'art

L'analyse de la littérature a montré qu'il existe à ce jour très peu de contributions pour la décision de faire ou faire-faire, adaptées au contexte du développement durable. La prise en compte de la stratégie de l'entreprise dans une démarche RSE, n'a pas été, à notre connaissance, soulevée dans les travaux existants. Or comme le souligne Bouchriha (2009), l'analyse stratégique est le point de départ de toute décision de faire ou faire-faire. Nous avons constaté, par ailleurs, que la plupart des méthodes et modèles proposées dans la littérature ne permettent pas de considérer les alternatives de partage des activités (joint-venture par exemple) ou de ré-internalisation des activités initialement externalisée (backsourcing).

Parmi les approches recensées dans la littérature, le Modèle d'Evaluation de la Décision d'Internalisation/Externalisation (MEDIE) de Poulin et al. (1994) nous paraît le plus proche de nos préoccupations. Il présente en effet, l'avantage de prendre en compte la stratégie de l'entreprise et sa possible évolution dans le temps à travers deux analyses : l'importance de l'activité dans la création actuelle de l'avantage concurrentiel et le potentiel de l'activité à contribuer à l'avantage concurrentiel dans le futur. Il permet par ailleurs, de prendre en compte la performance des activités à travers une troisième analyse. Enfin, plusieurs alternatives sont possibles à l'issue des trois analyses précédentes : abandon des activités, partage des activités, externalisation, etc. (voir Chapitre 2, section 2). Le MEDIE présente néanmoins quelques inconvénients en ce sens qu'il :

- Ne spécifie pas des méthodes ou des outils pour évaluer l'importance (ou le potentiel) d'une activité dans la création de l'avantage concurrentiel.
- Ne précise pas comment la performance d'une activité peut être évaluée (critères de la performance, indicateurs, système d'évaluation de la performance, ...).

Nous proposons alors de revisiter le MEDIE en vue de l'enrichir et de l'adapter au contexte de développement durable (stratégie s'appuyant sur la RSE et performance durable). Pour ce faire, nous appliquons notre approche intégrée en trois phases, au niveau de décisions stratégique (décision d'externalisation). Plus précisément, nous nous intéressons aux décisions d'internalisation, ré-internalisation, partage et externalisation des activités. Nous employons néanmoins dans le reste de ce chapitre le terme « internalisation/externalisation » afin d'alléger le texte. Nous présentons notre démarche dans la section suivante.

3.2 Application de notre approche intégrée pour l'internalisation/externalisation durable

Nous rappelons que notre approche intégrée s'articule autour de 3 phases. La première phase permet de spécifier les critères de la performance à prendre en compte, de corrélés ceux-ci avec les décisions de la chaîne logistique, et enfin, de spécifier des indicateurs de performance, en adéquation avec les critères de la

performance spécifiés et les corrélations obtenues. La deuxième phase permet de choisir le niveau d'abstraction en vue de la modélisation du problème de décision investi. Le niveau d'abstraction dépend entre autres, de la précision de la mesure de la performance qu'on souhaite obtenir et du niveau de décision lui-même (stratégique tactique, opérationnel). Enfin la dernière phase concerne le modèle d'aide à la décision qui permet l'évaluation de la performance et la prise de décision.

Nous appliquons notre approche au problème de faire ou faire-faire au niveau stratégique (internalisation/externalisation) comme le montre la figure 3.1. La phase I étant générique (voir section 2.3), nous ne la détaillons pas ici.

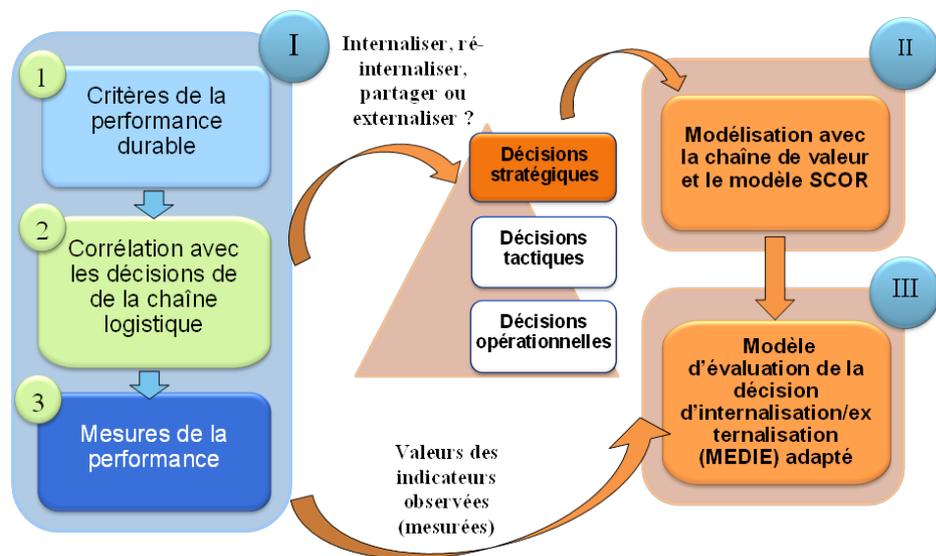


Figure 3.1 : Cadre conceptuel pour l'intégration de la performance durable à la décision d'internalisation/externalisation

En vue de rendre compte des activités de l'entreprise, nous proposons de les modéliser à l'aide de la chaîne de valeur et du modèle SCOR (SCC, 2008) (Phase II de l'approche). Nous nous intéressons en effet à un problème qui relève de la stratégie de l'entreprise. Or, la chaîne de valeur étant un outil d'analyse stratégique, il est particulièrement adapté. Par ailleurs, le modèle SCOR permet d'associer des bonnes pratiques (relevant de la RSE entre autres) ainsi que des critères et des indicateurs de performance (dont des indicateurs environnementaux) aux activités ce qui facilite, entre autres, l'évaluation de la performance.

Au niveau de la phase III, nous utilisons le MEDIE de Poulin et al. (1994) que nous adaptons en proposant de l'articuler avec la chaîne de valeur et le référentiel SCOR (évaluation de l'importance stratégique des activités et de leur potentiel à contribuer à l'avantage concurrentiel). Par ailleurs, en vue de mesurer la performance des activités, nous nous appuyons sur les principes d'évaluation de la

performance en 3 étapes de la phase I. En nous inspirant du travail de Krajnc et Glavic (2005), nous utilisons la méthode AHP pour pondérer les indicateurs de la performance suivant les dimensions économique, environnementale et social en vue de calculer un indice composite global pour les activités. Les valeurs de ces indicateurs sont supposés être disponibles et observées à une période donnée.

3.2.1 Modélisation des activités avec la chaîne de valeur et le référentiel SCOR

Nous présentons dans cette section la chaîne de valeur et les référentiels SCOR/GreenSCOR. Nous montrons qu'il est possible d'intégrer les processus et les activités issus du référentiel SCOR dans la chaîne de valeur et présentons l'intérêt de l'instrumentation par la chaîne de valeur.

3.2.1.1 Présentation de la chaîne de valeur

Elaborée par Michael Porter (1985), la chaîne de valeur est un instrument d'analyse qui permet à une entreprise de diagnostiquer son (ses) avantage(s) concurrentiel(s) et d'identifier les moyens de le(s) renforcer. Selon Porter (1999), une entreprise acquiert un avantage concurrentiel en exerçant ses activités à meilleur marché (stratégie basée sur les coûts) ou mieux (stratégie de différenciation) que ses concurrents. La chaîne de valeur décompose alors l'entreprise en activités pertinentes du point de vue stratégique, dans le but de comprendre le comportement des coûts et de saisir les sources existantes et potentielles de différenciation. Elle comprend les activités créatrices de valeur et la marge (figure 3.1). Les activités créatrices de valeur sont de 2 types : *les activités principales* et *les activités de soutien*. Dans les secteurs manufacturiers, les premières touchent à la création physique et la vente du produit, son transport jusqu'au client et le service après-vente. Les secondes viennent appuyer les activités principales en assurant l'achat des moyens de production, en fournissant les technologies et les ressources humaines,

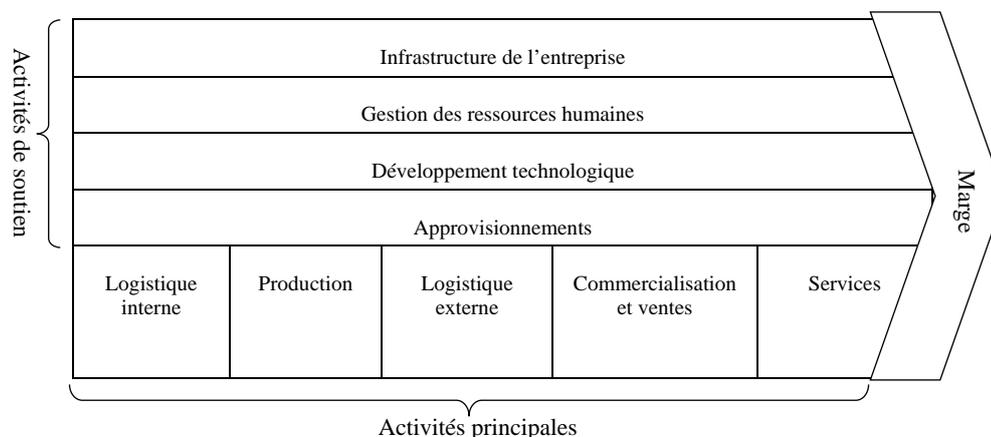


Figure 3.2 : La chaîne de valeur (Porter, 1985)

Selon Porter, n'importe quelle entreprise peut être décomposée en 5 catégories d'activités principales : logistique interne, production, logistique externe, commercialisation et vente, services (service après-vente) ; et 4 catégories d'activités de soutien : approvisionnements, développement technologique, gestion des ressources humaines, et infrastructure de l'entreprise. Par ailleurs chaque activité peut être décomposée en plusieurs sous-activités. Par exemple la commercialisation et vente regroupe la gestion des activités commerciales, la publicité, la gestion de la force de vente, etc. La chaîne de valeur a été utilisée par Tlahig (2009) dans le cadre de la reconfiguration de réseaux hospitaliers, en considérant les alternatives de faire, faire-faire ou de mutualisation des services de stérilisation.

3.2.1.2 Présentation des référentiels SCOR/GreenSCOR

SCOR (Supply Chain Operations Reference Model) est un modèle de référence des processus de la chaîne logistique développé par le Supply Chain Council (SCC) en 1996. Il décrit l'ensemble des activités concourant à la satisfaction des besoins du client. Il est organisé autour de 5 processus de base : *planifier, approvisionner, fabriquer, livrer et retourner*. Comme l'indique la figure 3.2, le modèle SCOR est hiérarchisé suivant trois niveaux. Le niveau stratégique est le plus agrégé et définit les types de processus (les 5 processus de base). Le niveau tactique permet de décliner les processus du niveau supérieur en sous-processus. Ceux-ci décrivent la configuration des processus de la chaîne logistique. Le processus « Fabriquer » par exemple, présente trois types de configuration : *Make-to-Stock* (fabriquer et stocker), *Make-to-Order* (fabriquer à la commande) et *Engineer-to-Order* (concevoir à la commande) (SCC, 2008). Le niveau opérationnel précise les activités mises en œuvre dans les sous-processus. A chaque sous processus et activité est alors associé un ensemble d'indicateurs de performance et de bonnes pratiques.

Dans sa dernière version (Version 9.0), le SCC a élargi le référentiel SCOR pour intégrer des bonnes pratiques et des indicateurs (voire des activités) relevant de la gestion environnementale. Il a alors donné naissance au GreenSCOR. Ce nouveau référentiel définit par exemple, une nouvelle activité « *Eliminer les déchets* » dans les sous-processus du processus « Fabriquer ». Il définit par ailleurs environ 100 bonnes pratiques et 5 indicateurs de performance dédiés à la gestion environnementale dans la chaîne logistique. Ainsi, des bonnes pratiques comme « utiliser des alternatives de transport consommant moins de carburant », « réduire l'utilisation des emballages », « réutiliser les emballages usagés », « sélectionner des transporteurs respectant les exigences environnementales » sont associées, par exemple, au processus « Livrer ». Les indicateurs de performance concernent la quantité de CO₂ et la quantité de particules polluantes émises dans l'air, la quantité de déchets liquides et la quantité de déchets solides générées ainsi que le pourcentage des déchets recyclés.

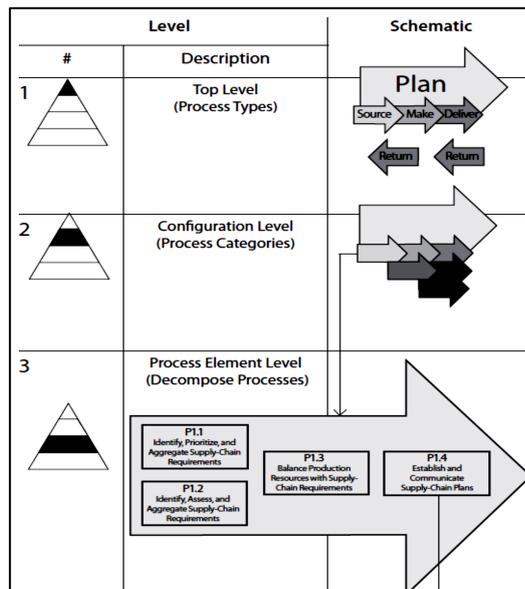


Figure 3.3 : Supply Chain Operations Reference Model (SCC, 2008)

3.2.1.3 Instrumentation par la chaîne de valeur

En faisant le parallèle entre la décomposition fonctionnelle de la chaîne de valeur et la décomposition par processus du référentiel SCOR, nous constatons que les processus SCOR peuvent être aisément représentés dans la chaîne de valeur. « Planifier » est compris dans « infrastructure de l'entreprise », « approvisionner » correspond à « approvisionnements » et « logistique interne », « fabriquer » équivaut à « production », « livrer » et « retourner » sont équivalents à « logistique externe ». Nous adoptons donc la chaîne de valeur pour modéliser les activités de l'entreprise en y intégrant les activités mises en œuvre par les processus SCOR (niveau 3). L'intérêt de notre démarche est triple :

1. Nous considérons d'une part des activités non-prises en compte dans la modélisation SCOR mais présentes dans la chaîne de valeur, comme par exemple le service après-vente, la gestion des ressources humaines etc. Or certaines de ces activités font souvent l'objet d'externalisations ;
2. Par ailleurs, la chaîne de valeur nous facilitera l'analyse stratégique des activités (diagnostic des sources de l'avantage concurrentiel, Sections 3.2.3.1, 3.2.3.2) ce que ne permet pas la modélisation SCOR ;
3. Enfin, nous pouvons facilement associer les indicateurs et bonnes pratiques SCOR/GreenSCOR aux activités des processus SCOR ainsi intégrées dans la chaîne de valeur.

Il est à noter que l'internalisation/externalisation peut porter sur tout ou partie d'un processus. Nous parlerons donc d'activités plutôt que de processus (un processus étant un ensemble d'activités). Par ailleurs, dans la pratique, quand

les décideurs sont confrontés à la décision d'internalisation/externalisation, ils ont une idée plus ou moins précise des produits, activités ou services concernés (Wattky, 2006 ; Ekelund et Pettersson, 2010). De ce fait, seules ces activités et les activités voisines sont considérées pour l'évaluation de la décision d'internalisation/externalisation. Nous désignons ces activités par (I/E) pour Internalisation/Externalisation.

3.2.2 Méthode d'aide à la décision multicritères pour l'internalisation-/externalisation durable

Nous proposons une méthode d'aide à la décision multicritères pour l'internalisation/externalisation dans le cadre d'une stratégie de développement durable qui fait le pont entre la chaîne de valeur, les référentiels SCOR/GreenSCOR et le modèle d'internalisation/externalisation de Poulin *et al* (1994). Nous construisons notre outil d'aide à la décision en considérant 3 évaluations des activités (I/E) :

1. *Evaluation de l'importance stratégique.* Ceci se traduit par l'analyse de la contribution des activités (I/E) dans la création de l'avantage concurrentiel. Nous nous appuyons sur la chaîne de valeur pour représenter l'ensemble des activités, dont les activités (I/E), ainsi que les sources de l'avantage concurrentiel ;
2. *Evaluation du potentiel des activités (I/E)* à contribuer à la création de l'avantage concurrentiel. Nous exploitons les bonnes pratiques issues des référentiels SCOR/GreenSCOR et de la littérature comme sources de l'avantage concurrentiel ;
3. *Evaluation de la performance agrégée (critères économiques, environnementaux et sociaux) des activités (I/E)*, à l'aide des indicateurs de performance issus des référentiels SCOR/GreenSCOR et de la littérature, avec la méthode AHP.

Il est important de débiter par l'évaluation de l'importance stratégique des activités car la chaîne de valeur utilisée à cet effet est nécessaire pour modéliser l'ensemble des activités et en identifier les activités (I/E). Les deux autres évaluations peuvent se faire dans un ordre ou dans l'autre. A l'issue de ces évaluations, nous confrontons les résultats entre eux afin de prendre une décision. Nous nous appuyons pour ce faire sur la grille d'analyse stratégique étendue de Poulin *et al.* (Chapitre 2).

3.2.2.1 Evaluation de l'importance stratégique des activités

La manière de réaliser cette analyse dépend de la stratégie suivie par l'entreprise. Dans le cas d'une stratégie basée sur les coûts, on analyse les coûts de réalisation des activités (Porter, 1999). L'analyse basée sur les coûts (ABC, Based Cost

Analysis en anglais) peut être utilisée dans ce sens (Dekker, 2003). Plus les coûts seront faibles, plus grande sera la contribution de l'activité à l'avantage concurrentiel. En ce qui nous concerne, nous focalisons notre attention sur la stratégie de différenciation. Une entreprise se différencie de ses concurrents quand elle offre quelque chose d'unique, qui dépasse la simple offre d'un prix peu élevé, et auquel les clients (et les parties prenantes) attachent de la valeur (Porter, 1999) comme par exemple les pratiques de la RSE. Nous nous intéressons alors aux particularités que présentent les activités (I/E) qui les rendent uniques. Quelques facteurs d'unicité (Porter, 1999) ainsi que des exemples sont présentés dans le tableau 3.1.

Tableau 3.1 : Quelques facteurs d'unicité (Porter, 1999) et exemples

Facteur d'unicité		Exemple
Mesures discrétionnaires	Caractéristiques et performance des produits/services	Produits issus du commerce équitable (achats/approvisionnement), produits recyclables (production), ...
	Technologie utilisée par l'activité	Moyens de transport peu polluants (distribution), technologie de rupture (production), ...
	Procédures de travail	Procédures garantissant un niveau élevé de sécurité pour les employés et les riverains (production, distribution, ...)
Liaisons dans la chaîne logistique	Liaisons avec les fournisseurs	Systèmes d'échange de données informatiques (EDI) (développement technologique)
	Liaisons entre les activités	Progiciels de gestion intégrée (ERP) (développement technologique)
	Liaisons avec les clients (distributeurs)	Système de gestion des relations avec les clients (CRM) (développement technologique)
Apprentissage	Employés formés et sensibilisés aux risques d'accidents (prévention, gestes à avoir en cas d'accident, ...) (Ressources humaines)	
Facteurs institutionnels	Dialogue social (syndicats, collectivités locales, ...) (infrastructure de l'entreprise)	

La figure 3.4 illustre la manière dont les sources de différenciation des activités *logistique interne*, *production*, *logistique externe*, *approvisionnement* peuvent être représentées avec la chaîne de valeur. Nous obtenons alors le niveau atteint par l'activité (I/E) pour le critère « Importance stratégique » : (+) si l'activité présente une (des) caractéristique(s) de différenciation et (-) si celle-ci n'en présente pas.

3.2.2.2 Evaluation du potentiel des activités

L'évaluation du potentiel des activités (I/E) à contribuer à l'avantage concurrentiel est dynamique dans le sens où l'on s'intéresse à l'évolution stratégique des activités dans le futur. Dans le contexte d'une stratégie de différenciation par la RSE, il est possible, à notre sens, que certaines activités apportent de la valeur par la mise en place de bonnes pratiques de la RSE. Dans ce sens, le référentiel GreenSCOR et la littérature fournissent un nombre important de bonnes pratiques relevant de la RSE. Celles-ci peuvent être représentées avec la chaîne de valeur de manière analogue à la première évaluation (section 3.2.3.1). Nous avons ventilé une partie de celles-ci sur la figure 3.4, à titre d'exemple.

Chapitre 3

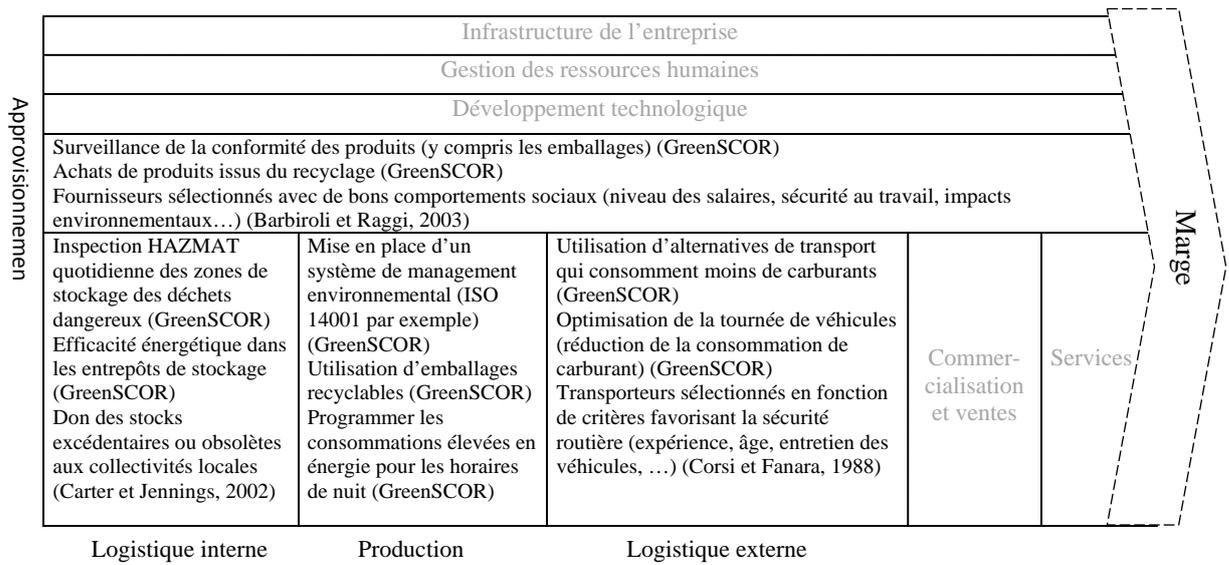


Figure 3.4 : Présentation des sources de différenciation des activités (i.e. bonnes pratiques de la RSE) avec la chaîne de valeur

Une manière d'évaluer le potentiel des activités consiste alors à analyser l'opportunité de mettre en place ces bonnes pratiques avec l'outil SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats ou Forces, Faiblesses, Opportunités, Menaces). A l'aide du SWOT il est possible d'analyser les facteurs internes et externes en faveur (forces/opportunités) et en défaveur (faiblesses/menaces) de la mise en place des bonnes pratiques de la RSE. Un département de R&D performant, des employés sensibilisés aux enjeux du développement durable sont des exemples de forces internes. La réglementation publique et la sensibilisation des clients en faveur du développement durable sont des exemples d'opportunités, les investissements qui peuvent être élevés ainsi que la résistance au changement peuvent être des faiblesses internes, etc. Nous obtenons alors le niveau atteint ((+) ou (-)) par les activités (I/E) pour le critère « Potentiel ».

3.2.2.3 Evaluation de la performance des activités

Pour évaluer la performance des activités nous avons appliqué les principes de l'évaluation de la performance en 3 étapes (Phase I de notre approche) :

- *Identification des critères de la performance durable à évaluer*

Nous déclinons les 12 critères de la performance durable spécifiés dans chapitre 1 au niveau des activités. Le tableau 3.2 fournit des exemples d'objectifs associés aux activités de production.

Tableau 3.2 : Objectifs et exemples d'indicateurs de performance durable associables aux activités de production

Dimension	Critère	Exemple d'objectifs (activité de production)	Exemple d'indicateurs
Economie (Eco)	Performance financière (PF)	Réduire le coût de production	Coût de production (SCOR)
	Réactivité (RC)	Réduire le délai de production	Délai de production (SCOR)
	Fiabilité (FB)	Augmenter la fiabilité des prévisions	Ecart entre les prévisions de production et les réalisations (SCOR)
	Flexibilité (FL)	Améliorer la flexibilité de la production	Nombre de jours requis pour réaliser une augmentation imprévue de 20% de la production normale (SCOR)
	Qualité (QL)	Améliorer la qualité de production	% de produits rebutés (Baumann, 2011)
Environnement (Env)	Utilisation des ressources (UR)	Réduire la consommation de l'énergie durant la fabrication du produit	Quantité d'énergie consommée durant la fabrication du produit (Tsulfas et Pappis, 2008)
	Pollution (PL)	Réduire la pollution de l'air due à la fabrication	Quantité de particules polluantes émises dans l'air due à la production
	Emissions de gaz à effet de serre (GES)	Réduire la quantité de CO ₂ émise lors de la fabrication	Quantité de CO ₂ émise durant la fabrication (GreenSCOR)
	Matières dangereuses (MD)	Éliminer les déchets de production dangereux	% des déchets dangereux éliminés (Krajnc et Klavic, 2005)
Société (Soc)	Santé et sécurité (SS)	Préserver la santé et assurer la sécurité des employés dans les ateliers de production	Fréquence des accidents du travail (Singh et al., 2007)
	Création d'emplois et de richesses (ER)	Augmenter le recrutement d'opérateurs au niveau local	% de salariés locaux embauchés affectés à la production (Baumann, 2011)
	Conditions de travail (CT)	Assurer de bonnes conditions de travail	Niveau de maintien des salaires en cas de maladie (Baumann, 2011)

- *Corrélation des critères (objectifs) de la performance durable avec les décisions d'internalisation/externalisation*

Nous nous interrogeons dans cette étape sur l'impact des décisions d'internalisation, ré-internalisation, partage et externalisation sur la performance des activités suivant les dimensions économique, environnementale et sociale. Par exemple, les coûts de production peuvent être réduits en externalisant les activités vers un prestataire moins cher mais les délais de production peuvent être plus longs et la qualité des produits détériorée. En termes de performance environnementale, le prestataire externe peut disposer de technologies de production plus propres (émettant moins de polluants ou utilisant moins d'énergie par exemple) mais peut alors être plus cher. Le recours à l'externalisation peut conduire à des licenciements alors que l'internalisation ou la ré-internalisation d'activités initialement externalisées peut favoriser le maintien et la création d'emplois, etc. Cette analyse peut donc être utile en vue de capturer les impacts liés à la décision d'internalisation/externalisation sur l'ensemble des aspects économique, environnemental et social et de concevoir des indicateurs de performance pertinents et cohérents. Nous supposons dans notre cas que les indicateurs de performance sont préétablis. Cette étape n'est donc pas nécessaire à ce niveau. Nous montrerons dans le chapitre 4, où les indicateurs de performance doivent être

Chapitre 3

construits, comment cette étape peut être appliquée et nous verrons alors la pertinence de l'étude de corrélation.

- *Mesure de la performance*

Dans le tableau 3.2, nous avons spécifié des indicateurs mesurant les objectifs de performance associés aux activités de production. En vue de mesurer la performance globale des activités (I/E) et de faciliter ainsi la prise de décision, les indicateurs doivent être agrégés en un seul indice. L'agrégation se fait à deux niveaux :

1. Agrégation des indicateurs à l'intérieur de chaque dimension du développement durable. Nous obtenons alors 3 sous-indices qui mesurent chacun la performance économique, environnementale et sociale de l'activité.
2. Agrégation des 3 sous-indices du développement durable. Nous obtenons alors l'indice composite global qui mesure la performance durable de l'activité.

Lors de l'agrégation nous sommes confrontés à deux difficultés. La première concerne l'hétérogénéité des échelles et unités de mesure des indicateurs d'où la nécessité de normaliser ceux-ci. La seconde touche à l'inégalité de l'importance des indicateurs (stratégie de l'entreprise, type d'industrie, ...) ce qui suggère de pondérer les indicateurs pour exprimer leur importance relative. Nous utilisons pour ce faire le principe de pondération de la méthode AHP (Saaty, 1980). La méthode AHP a été utilisée pour calculer l'indice composite de la performance durable (composite sustainability performance index) par Krajnc et Glavic (2005) ainsi que Singh et al. (2007). Dans ces deux travaux, l'indice composite est calculé de manière globale pour évaluer la performance durable à l'échelle de l'entreprise. En ce qui nous concerne, nous adoptons ces méthodes pour calculer un indice composite de la performance durable propre à la réalisation d'une activité donnée. Deux méthodes peuvent être utilisées pour agréger les indicateurs : l'analyse multi-variée issue des sciences statistiques et les méthodes d'aide à la décision multi-attributs (ADMA) agrégatives (qui présentent une fonction d'utilité) issues de la recherche opérationnelle (Singh et al., 2007). Dans la première approche, tous les indicateurs doivent être exprimés en termes économiques (coût monétaire). Or, comme le soulignent Singh et al., certains indicateurs environnementaux et sociaux ne peuvent être traduits en termes de coût, d'où le recours aux méthodes d'ADMA. Plusieurs méthodes peuvent alors être mobilisées (méthode d'enveloppement des données, AHP, etc.). La méthode AHP est simple d'utilisation et permet de prendre en compte à la fois des critères quantitatifs et qualitatifs. Par ailleurs, le manque d'objectivité dans l'évaluation de l'importance relative des critères est réduit (Forman et Gass, 2001).

Chapitre 3

En nous inspirant de la méthode de Krajnc et Glavic (2005), nous proposons une agrégation des indicateurs comme suit :

Soient :

I_{ikjt}^+ (I_{ikjt}^-) l'indicateur de la performance i de l'activité k , de la dimension j du développement durable, à la période t , qui améliore (détériore respectivement) la performance i quand sa valeur augmente. Tel que :

$$I_{ikjt}^+ \in [I_{ikjt,Inf}^+, I_{ikjt,Sup}^+] \quad I_{ikjt}^- \in [I_{ikjt,Inf}^-, I_{ikjt,Sup}^-].$$

$I_{ikjt,Sup}^+$ ($I_{ikjt,Inf}^-$) étant l'objectif cible à atteindre par l'indicateur I_{ikjt}^+ (I_{ikjt}^- respect.).

In_{ikjt}^+ (In_{ikjt}^-) l'indicateur normalisé de la performance i de l'activité k , de la dimension j du développement durable, à la période t , qui améliore (détériore respectivement) la performance i quand sa valeur augmente. Les valeurs de In_{ikjt}^+ et In_{ikjt}^- sont comprises entre 0 et 1.

Is_{kjt} le sous-indice de performance de l'activité k de la dimension j du développement durable, à la période t . Sa valeur est comprise entre 0 et 1. Une valeur inférieure à 0.5 présente une faible performance alors qu'une valeur supérieure à 0.5 présente une bonne performance.

Ig_{kt} l'indice global de performance de l'activité k , à la période t . Sa valeur est comprise entre 0 et 1. Une valeur inférieure à 0.5 présente une faible performance alors qu'une valeur supérieure à 0.5 présente une bonne performance.

w_{ij} le poids de l'indicateur normalisé In_{ikjt}^+ (In_{ikjt}^-) et W_j le poids du sous-indice Is_{kjt} .

Avec : $(i, j) \in \{(1, Eco), (2, Eco), (3, Eco), (4, Eco), (5, Eco), (1, Env), (2, Env), (3, Env), (4, Env), (1, Soc), (2, Soc), 3, Soc)\}$ et $k = 1, \dots, m / m = card$ (ensemble des activités (I/E)).

- **Etape 1 :** Identifier et trier les indicateurs I_{ikjt}^+ et I_{ikjt}^- .
- **Etape 2 :** Normaliser les indicateurs In_{ikjt}^+ (In_{ikjt}^-).

$$In_{ikjt}^+ = \frac{I_{ikjt}^+ - I_{ikjt,Inf}^+}{I_{ikjt,Sup}^+ - I_{ikjt,Inf}^+} \quad (1)$$

$$In_{ikjt}^- = 1 - \frac{I_{ikjt}^- - I_{ikjt,Inf}^-}{I_{ikjt,Sup}^- - I_{ikjt,Inf}^-} \quad (2)$$

- **Etape 3** : Pondérer les indicateurs normalisés In_{ikjt}^+ (In_{ikjt}^-).

- Pour chaque $j \in \{Eco, Env, Soc\}$, construire la matrice $A_j = (n \times n)$; $n \in \{5,4,3\}$ où les indicateurs de chaque dimension du développement durable (représentés en lignes et en colonnes) sont comparés 2 à 2 par le décideur. La préférence de celui-ci est exprimée sur une échelle de 1 à 9 où 1 indique l'égalité entre les deux indicateurs et 9 indique que le premier (en ligne) est 9 fois plus important que le deuxième (en colonne). Dans la matrice A_j si l'indicateur i est « p -fois » plus important que l'indicateur i' , alors i' est nécessairement « $1/p$ -fois » plus important que i . De ce fait, $a_{i'i} = 1/a_{ii'}$ et $a_{ii} = 1$.

- Le poids w_{ij} associé à l'indicateur de la performance i est donné par :

$$w_{ij} = \frac{\sum_{i'} \frac{a_{ii'}}{\sum_k a_{ki'}}}{n} \quad (3)$$

L'un des inconvénients de la méthode AHP soulignés dans la littérature (Dyer, 1990) est le problème d'intransitivité des préférences. En effet la comparaison par paires peut conduire à la non-transitivité qui ne peut être éliminée dans le cadre de la méthode AHP. Cependant, celle-ci permet de calculer (par expérimentation) un ratio de cohérence (RC) des jugements qui donne une idée de la distance existant entre ces jugements et le modèle idéal de la transitivité parfaite. Le ratio de cohérence ne doit pas dépasser la valeur de 0.05 si A_j est (3 x 3), 0.08 si la matrice est (4 x 4) et 0.1 si la matrice est supérieure ou égale à (5 x 5) (Saaty, 2000). Autrement la matrice A_j devra être réévaluée.

$$RC = IC/IA \quad (4)$$

IC est l'indice de cohérence calculé par : $IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1}$ où λ_{max} est la plus grande valeur propre de la matrice A_j . IA est un indice obtenu pour une matrice de mêmes dimensions où ses éléments $a'_{i'i} = 1/a'_{ii'}$ pour tous i et i' .

- **Etape 4** : Calculer les sous-indices Is_{kjt} .

$$Is_{kjt} = \sum_i w_{ij} \cdot In_{kijt}^+ + \sum_i w_{ij} \cdot In_{kijt}^- \quad (5)$$

Avec : $\sum_i w_{ij} = 1$ et $w_{ij} \geq 0$

- **Etape 5** : Pondérer les sous-indices Is_{kjt} à l'aide de la méthode AHP (même principe que l'étape 3).
- **Etape 6** : Calculer l'indice global Ig_{kt} .

$$Ig_{kt} = \sum_j W_j \cdot Is_{kjt} \quad (6)$$

Chapitre 3

$$\text{Avec : } \sum_j W_j = 1 \quad \text{et} \quad W_j \geq 0$$

En comparant la valeur de l'indice composite global calculé pour une activité avec l'objectif souhaité (valeur 1), nous obtenons le niveau atteint ((+) ou (-)) pour le critère « Performance ».

❖ Illustration avec un exemple académique

Nous considérons une activité de production dont les indicateurs de performance pour l'année 2011 ($t = 2011$) sont présentés dans le tableau 3.3. Les indicateurs (critères) de chaque dimension du développement durable ont été comparés deux à deux (tableau 3.4 (A, B, C, D) et tableau 3.5) et un poids a été calculé pour chacun d'entre eux (voir Annexe 3A). Après normalisation de ceux-ci, un sous-indice de performance a été obtenu pour chaque dimension (tableau 3.3). Une comparaison par paires des sous-indices nous a permis alors de leur attribuer des poids et de calculer l'indice composite global de performance durable de l'activité. La cohérence des deux matrices de jugements a été par ailleurs vérifiée. Les valeurs obtenues pour les sous-indices montrent la performance atteinte pour chaque dimension du développement durable par l'activité.

Tableau 3.3 : Exemple d'évaluation de l'indice de performance durable d'une activité de production

Indicateurs I_{ikjt}^-	Valeur	$[I_{ikjt,Inf}^- ; I_{ikjt,Sup}^-]$	Indicateur normalisé In_{ikjt}^-	Poids des indicateurs w_{ij}	Sous-indice Is_{kjt}	Poids des sous-indices W_j	Indice global Ig_{kt}	
ECONOMIE								
Coût de production	100 eur/u.p	[80 ; 130]	0.600	0.084	0.445	0.633	0.414	
Délai de production	14 jours/u.p	[7 ; 20]	0.460	0.472				
Nombre de jours requis pour réaliser une augmentation de 20% de la production normale	5 jours	[2 ; 7]	0.400	0.444				
ENVIRONNEMENT								
Quantité d'énergie non renouvelable consommée	0.024 tep/u.p	[0.010 ; 0.030]	0.300	0.082	0.595	0.175		
Quantité de CO ₂ émise	0.145 t/u.p	[0.115 ; 0.180]	0.540	0.343				
Quantité de déchets dangereux à éliminer	4 kg/u.p	[1 ; 10]	0.670	0.575				
SOCIETE								
Fréquence des accidents du travail	1.7/ million d'heures travaillées	[0 ; 5]	0.660	0.857	0.148	0.192		
Indicateur I_{ikjt}^+	Valeur	$[I_{ikjt,Inf}^+ ; I_{ikjt,Sup}^+]$	Indicateur normalisé In_{ikjt}^+	Poids des indicateurs w_{ij}				
% de salariés locaux embauchés	47 %	[40 ; 100]	0.470	0.143				

eur : euros, u.p : unité de produit, tep : tonne équivalent pétrole, t : tonne

Chapitre 3

Dans l'exemple considéré, la valeur du sous-indice environnemental est la plus élevée et dépasse la moyenne (0.500) ce qui indique que l'activité est performante du point de vue environnemental. Globalement la valeur de l'indice de performance agrégé de l'activité est inférieure à la moyenne. Le niveau de performance est insuffisant (-).

Tableaux 3.4 : Matrices des jugements

A : Critères économiques

Dimension économique			
	PF	RC	FL
PF	1	1/6	1/5
RC	6	1	1
FL	5	1	1

RC = 0,0032

B : Critères environnementaux

Dimension environnementale			
	UR	PL	MD
UR	1	1/5	1/6
PL	5	1	1/2
MD	6	2	1

RC = 0,0079

C : Critères sociaux

Dimension sociale		
	SS	ER
SS	1	1/6
ER	6	1

RC = 0

D : Dimensions du développement durable

Dimension	Economique	Environnementale	Sociale
Economique	1	4	3
Environnementale	1/4	1	1
Social	1/3	1	1

RC = 0,0079

3.5 : Description des préférences

Facteur de préférence	Description
1	Préférence identique
3	Préférence modérée d'un critère par rapport à l'autre
5	Préférence forte d'un critère par rapport à l'autre
7	Préférence très forte d'un critère par rapport à l'autre
9	Préférence extrême d'un critère par rapport à l'autre
2, 4, 6, 8	Valeurs intermédiaires

3.2.2.4 Confrontation des analyses et prise de décision

Nous confrontons les résultats des évaluations obtenues par les activités (I/E) pour les 3 critères « Importance stratégique », « Potentiel » et « Performance ». Nous prenons alors une décision en nous appuyant sur la grille de décision modifiée de Poulin et *al.* (tableau 3.6).

Tableau 3.6 : Grille d'analyse stratégique pour l'internalisation/externalisation modifiée (Poulin et al., 1994)

Evaluation des activités			Décisions stratégiques potentielles	Options stratégiques potentielles
Importance	Performance	Potentiel		
-	-	-	Externaliser	Externaliser l'activité si elle est indispensable Ne plus faire l'activité
-	-	+	Externaliser Partager	Externaliser l'activité Faire l'activité avec un partenaire pour qui l'activité est importante
+	-	-	Externaliser Partager Internaliser	Externaliser l'activité Procéder à une réingénierie de l'activité/fragmenter/réaffecter l'activité à un autre service, site, ... ou à des prestataires externes Travailler à améliorer la performance de l'activité
-	+	+	Partager Internaliser	Faire l'activité avec un partenaire pour qui l'activité est importante Créer une filiale
-	+	-	Internaliser	Réaliser l'activité pour le compte d'autres unités d'affaires (de la même entreprise ou pour des entreprises externes) Ne plus faire l'activité
+	-	+	Internaliser	Travailler à améliorer la performance de l'activité
+	+	-	Internaliser	Maintenir et surveiller l'activité
+	+	+	Internaliser/ré-internaliser	Porter une attention stratégique constante à l'activité

Conclusion

L'inadaptation des méthodes recensées dans la littérature pour répondre au problème d'internalisation/ré-internalisation/partenariat/externalisation dans le contexte du développement durable est la principale motivation qui a guidé notre recherche. Nous avons appliqué notre approche intégrée pour l'opérationnalisation du développement durable au niveau de décision stratégique. Nous avons alors proposé une méthode d'aide à la décision multicritères qui permet de prendre en compte à la fois la stratégie à long terme de l'entreprise à travers deux analyses qualitatives (contribution des activités à la création de l'avantage concurrentiel et leur potentiel à évoluer dans le temps) et la performance durable des activités, à l'aide d'une méthode quantitative. Les options stratégiques possibles, à l'issue de ces analyses permettent de prendre en compte la stratégie de l'entreprise avant de planifier leur mise en œuvre. Notre analyse peut alors être vue comme un filtre dont l'objectif est d'identifier les activités potentiellement ré-internalisables/externalisables/partageables d'un point de vue stratégique. Nous abordons dans le chapitre suivant le problème de planification stratégique-tactique d'une chaîne logistique où la décision de sous-traitance (mise en œuvre de la décision d'externalisation) est traitée simultanément avec d'autres décisions de la chaîne relevant du niveau stratégique-tactique.

Chapitre 4 – Approche intégrée pour la planification stratégique-tactique durable de la chaîne logistique : le cas de procédés convergents

Introduction

Nous avons analysé dans le chapitre 3 la décision de faire ou faire-faire d'un point de vue stratégique (internalisation/externalisation). Nous nous sommes par ailleurs intéressés à une unité d'affaire de l'entreprise, en nous focalisant sur la performance des activités. Dans ce chapitre nous abordons le problème de planification stratégique-tactique de l'ensemble de la chaîne logistique de l'entreprise. Nous nous intéressons à un ensemble de décisions qui interagissent entre elles, dont la décision de faire ou faire-faire qui se traduit alors par la sous-traitance. Nous étudions la performance de l'ensemble de la chaîne logistique que nous proposons d'optimiser suivant ses dimensions économique, environnementale et sociale. Pour ce faire, nous appliquons notre approche intégrée au niveau stratégique-tactique. Nous modélisons alors la chaîne logistique comme un réseau d'activités et nous mobilisons la programmation mathématique multi-objectifs. Ce chapitre est structuré comme suit :

4.1 Synthèse de l'état de l'art

4.2 Application de notre approche intégrée pour la planification stratégique-tactique de la chaîne logistique

4.2.1 Modélisation de la chaîne comme un réseau d'activités

4.2.2 Programmation mathématique multi-objectifs

4.3 Modèle mathématique multi-objectifs pour la planification stratégique-tactique durable d'une chaîne logistique

4.3.1 Identification des critères de la performance durable à évaluer

4.3.2 Corrélation des critères de la performance durable avec les décisions de la chaîne logistique

4.3.3 Mesure de la performance

Conclusion

4.1 Synthèse de l'état de l'art

Notre analyse de la littérature présentée dans le chapitre 2 nous a amené à conclure que malgré l'apparition de nombreux modèles mathématiques pour la planification stratégique-tactique de chaînes logistiques dites « durables », la prise en compte des trois dimensions économique, environnementale et sociale reste encore très rare. En effet, la performance sociale est marginalisée par rapport aux deux autres dimensions du développement durable. De plus, très peu de travaux proposent d'analyser le front de Pareto au regard des performances économique, environnementale et social. L'articulation entre les trois performances et les compromis possibles ne peuvent donc pas être étudiés ce qui peut « frustrer » le décideur, dans le sens où il n'a qu'une vision partielle des possibilités qui s'offrent à lui. Or, les décisions stratégiques-tactiques nécessitent la mobilisation d'importants investissements, elles sont difficilement réversibles et ont un impact déterminant et à long terme sur la compétitivité de l'entreprise et l'efficacité de ses opérations.

Il est, de notre point de vue, nécessaire d'élargir les approches classiques de la RO en les intégrant avec les approches issues de la littérature sur l'évaluation de performance. En ce sens, nous proposons d'appliquer notre approche intégrée pour l'opérationnalisation des principes du développement durable au niveau de décision stratégique-tactique de la chaîne logistique, en nous appuyant sur la programmation mathématique multi-objectifs. Nous présentons notre démarche dans les sections suivantes.

4.2 Application de notre approche intégrée pour la planification stratégique-tactique de la chaîne logistique

La figure 4.1 montre comment notre approche peut être appliquée aux décisions stratégiques-tactiques dans le cadre du problème de planification de la chaîne logistique. Pour capturer les caractéristiques du système de production mis en œuvre dans la chaîne logistique nous proposons de modéliser celle-ci comme un réseau d'activités (Phase II de la figure 4.1). Ceci nous permettra par ailleurs, d'obtenir une mesure précise des performances économique, environnementale et sociale de la chaîne. En phase III, nous transposons les principes de l'évaluation de la performance en 3 étapes (Phase I, voir section 2.3) à un programme mathématique multi-objectifs qui modélise le problème de planification stratégique-tactique de la chaîne logistique, compte tenu de ses caractéristiques modélisées en phase II. La programmation mathématique permet alors d'optimiser la configuration et l'exploitation de la chaîne logistique en considérant simultanément les performances économique, environnementale et sociale.

Ainsi, les méthodes de la RO et de l'évaluation de la performance articulées entre elles s'enrichissent mutuellement. Alors que les méthodes d'évaluation de la performance assurent la cohérence de l'opérationnalisation de la performance

(durable), les outils de la RO permettent de mesurer avec précision la performance et de l'optimiser. Plus précisément, la programmation mathématique multi-objectifs permet :

- De quantifier les indicateurs de la performance et de les relier aux décisions de la chaîne logistique (lesquelles impactent la performance) à l'aide d'expressions mathématiques.
- De déterminer la cible à atteindre pour chaque critère de la performance en la fixant à son meilleur niveau possible (par exemple la valeur optimale).
- De prédire la performance (économique, environnementale et sociale) de la chaîne logistique potentielle (avant la mise en œuvre des décisions), d'analyser le profil de la performance et de l'ajuster en fonction du souhait du décideur. Il s'agit pour le décideur d'analyser plusieurs compromis possibles entre les performances économique, environnementale et sociale (i.e. optimums de Pareto) avant de prendre sa décision.

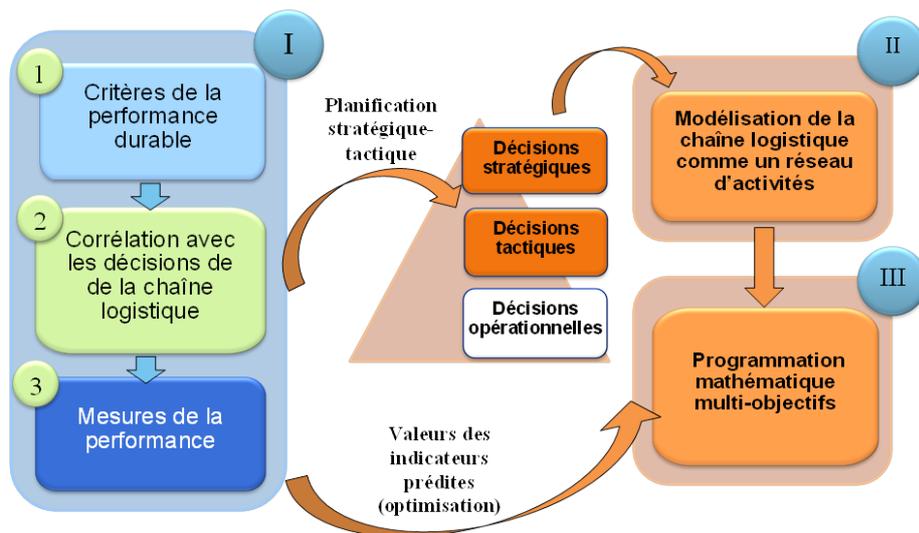


Figure 4.1 : Cadre conceptuel pour l'intégration de la performance durable aux décisions de planification stratégique-tactique de la chaîne logistique

Nous présentons dans les sections suivantes l'approche de modélisation par activités et notre programme mathématique multi-objectifs qui nous ont permis d'instrumenter les phases II et III de notre approche intégrée (respectivement), pour le problème de planifications stratégique-tactique durable de la chaîne logistique.

4.2.1 Modélisation de la chaîne logistique par réseau d'activités

Pour évaluer la performance de la chaîne logistique et planifier les opérations de celle-ci, il est nécessaire de décrire le système de production mis en œuvre. Le niveau d'abstraction du modèle décrivant ce système de production dépend alors, comme nous l'avons vu dans le chapitre 2, de ses caractéristiques, du niveau de décisions auquel on s'intéresse, des éléments que l'on souhaite étudier et de la précision de la mesure de la performance que l'on veut obtenir. Plusieurs approches de modélisation sont adoptées dans la littérature parmi lesquelles nous pouvons citer, l'approche par bilan de matières et l'approche par activités (Hammami et al., 2009).

Suivant la première approche, plutôt classique, les besoins en matières premières et produits intermédiaires sont calculés sans tenir compte des spécificités des procédés (ou technologies) qui les transforment. D'un autre côté, l'approche par activités considère qu'une activité consomme plusieurs ressources telles que la main d'œuvre, l'énergie, l'eau etc. pour transformer un produit entrant en produit(s) sortant(s) en utilisant un certain type de technologie (plusieurs technologies alternatives peuvent être utilisées) qui spécifie comment les inputs sont transformés en outputs (Lakhal et al., 2001; Hammami et al. 2009; Chaabane et al., 2012). Des produits indésirables tels que les déchets, le CO₂ et autres émissions peuvent également être générés (figure 4.2).

Nous retenons l'approche par activités car elle permet d'avoir une modélisation plus fine et plus réaliste du système de production. Les caractéristiques de ce dernier sont mieux prises en compte d'une part, et la qualité de la mesure de la performance est améliorée, d'autre part. De plus, comme dans (Hammami et al., 2009), nous associons à chaque technologie alternative une activité unique. Nous définissons ainsi une relation de bijection entre la technologie et l'activité et nous considérons autant d'activités distinctes qu'il existe de technologies.

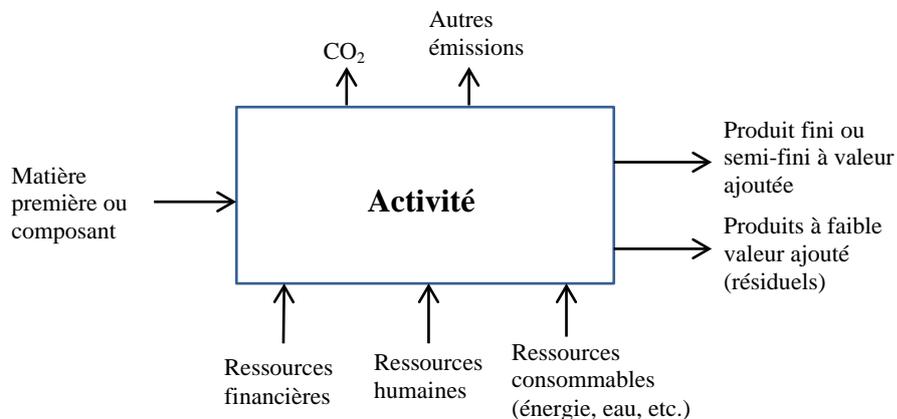


Figure 4.2 : Description de l'activité

4.2.2 Programmation mathématique multi-objectifs

Notre objectif ici n'est pas de réduire les trois aspects de la performance durable à un seul indice ou mesure. Nous privilégions plutôt une démarche multi-objectifs dans le sens où nous souhaitons obtenir une performance économique, une performance environnementale et une performance sociale exprimée chacune dans sa propre unité de mesure (unités monétaires, nombre d'emplois créés, etc.), en vue d'étudier comment celles-ci s'articulent entre elles. Par exemple, le décideur peut être amené à se poser des questions du type :

- Les trois dimensions de la performance durable vont-elles toutes dans le même sens ou sont-elles opposées ?
- Si les trois performances sont opposées, est-il possible d'obtenir une solution (une certaine configuration de la chaîne logistique par exemple) qui présente un équilibre satisfaisant ?
- Comment évolue la performance économique (le coût par exemple) lorsqu'on souhaite améliorer la performance environnementale et/ou sociale, et vice-versa ?

La programmation mathématique multi-objectifs est une extension de la programmation mono-objectif classique. Contrairement à la programmation mono-objectif, la notion de solution optimale n'existe pas dans le cadre de la programmation multi-objectifs. En effet, plusieurs objectifs, souvent conflictuels, doivent être optimisés simultanément (Doumpos and Zopounidis, 2005). La recherche de solutions conduit alors plutôt à des « compromis » entre les différents objectifs, connus sous le nom de « solutions de Pareto ». Parmi ces solutions, certaines sont non-dominées, c.-à-d. qu'elles ne peuvent être améliorées suivant un objectif sans être détériorée suivant au moins un des objectifs restants. Ces solutions sont dites « Optimums de Pareto ». Nous présentons dans la section suivante notre formulation mathématique multi-objectifs pour la planification stratégique-tactique durable d'une chaîne logistique.

4.3 Modèle mathématique multi-objectifs pour la planification stratégique-tactique durable d'une chaîne logistique

Nous montrons, à l'aide d'un problème typique de planification stratégique-tactique d'une chaîne logistique, comment notre méthode d'évaluation de la performance (Phase I de la figure 4.1) peut être transposée à la programmation mathématique multi-objectifs. Le problème considéré est formulé comme suit :

La demande des clients et la capacité des ressources (matières, machines, main d'œuvre, stockage, etc.) étant connues, comment le réseau logistique pourrait être

Chapitre 4

reconfiguré et exploité (fermeture de sites, gestion des approvisionnements, planification de la production, politique de recrutement, etc.) de manière optimale, en vue de satisfaire la demande des clients sans excéder la capacité des ressources disponibles, tout en garantissant de « bonnes » performances économique, environnementale et sociale ?

Nous considérons le cas d'une chaîne logistique multi-échelons composée de plusieurs fournisseurs et sous-traitants potentiels, plusieurs sites de production et plusieurs clients. A l'intérieur de chaque site de production sont implantées différentes technologies (activités) alternatives avec des capacités variables. Ces activités sont différenciées également par le procédé de fabrication mis en œuvre, la consommation de ressources (énergie, eau, main d'œuvre, etc.) et les émissions de polluants (gaz, liquides, produits solides etc.) (figure 4.2). De plus nous considérons que les procédés sont de type convergent : plusieurs produits entrants sont mélangés entre eux ou assemblés pour obtenir le produit sortant (industrie de l'automobile par exemple). Par ailleurs, différents modes de transport (train, camion, etc.) peuvent être utilisés entre les maillons de la chaîne. Enfin, nous considérons plusieurs régions où les sites de production peuvent recruter de la main œuvre (figure 4.3). Les hypothèses du modèle mathématique sont comme suit :

1. Le réseau logistique est géré de manière centralisée par une seule entité qui coordonne l'ensemble des opérations d'approvisionnement, de transport et de transformation des produits suivant le mode de production « make-to-stock » (MTS).
2. L'horizon de planification est multi-périodes. Une période peut correspondre à un mois ou plusieurs mois (un trimestre par exemple). L'horizon de planification peut être découpé par exemple suivant la saisonnalité de la demande ou de l'approvisionnement des matières premières.
3. Une partie de la production peut être sous-traitée sur une ou plusieurs périodes si la capacité en interne est insuffisante ou si la sous-traitance coûte moins cher. Il est néanmoins possible de fabriquer en interne même si la production est sous-traitée et ce dans les 2 situations. Il arrive en effet que la capacité de production pour une période donnée (dû à la saisonnalité par exemple) ne soit pas suffisante pour satisfaire la demande. Il est possible alors d'avoir recours à la sous-traitance de capacité pour éviter la rupture de stock. Dans d'autres cas, il peut être opportun d'un point de vue économique, de confier une partie de la production à un prestataire externe si le coût de sous-traitance est faible comparé au coût de production en interne.
4. Les fournisseurs et sous-traitants sont supposés être des partenaires logistiques habituels de l'entreprise. Il est alors possible de passer des ordres d'approvisionnement durant l'horizon de planification sans passer par le

processus de sélection et de contractualisation. De ce fait, les coûts fixes (coûts de contractualisation, audits, etc.) et les variables binaires liés au choix des fournisseurs et sous-traitants sont exclus de notre formulation mathématique. Par ailleurs, la politique d’approvisionnement est supposée être du type multiple-sourcing. Plusieurs partenaires peuvent alors être sollicités pour les mêmes produits durant la même période, leur capacité étant limitée.

5. L’entreprise ne possède pas sa propre flotte de transport (activité non-cœur de compétence) et a recours à des prestataires externes (3PL : third-party logistics providers). Par ailleurs, les modes de transport possibles et les transporteurs potentiels sont connus et sélectionnés avant le début de l’horizon de planification. Les variables binaires liés au choix des transporteurs sont également exclus de notre formulation. Les coûts de transport sont uniquement liés aux volumes transportés.
6. Les employés sont polyvalents et peuvent réaliser toute activité de production dans les sites du réseau logistique.
7. Le transfert des employés d’un site à un autre durant l’horizon de planification est autorisé si la distance entre le lieu de résidence et le site de destination est raisonnable (i.e. la distance ne dépasse pas une certaine limite définie par l’entreprise).
8. Les procédés de production sont de type convergent : plusieurs produits entrants sont mélangés entre eux ou assemblés pour obtenir le produit sortant.

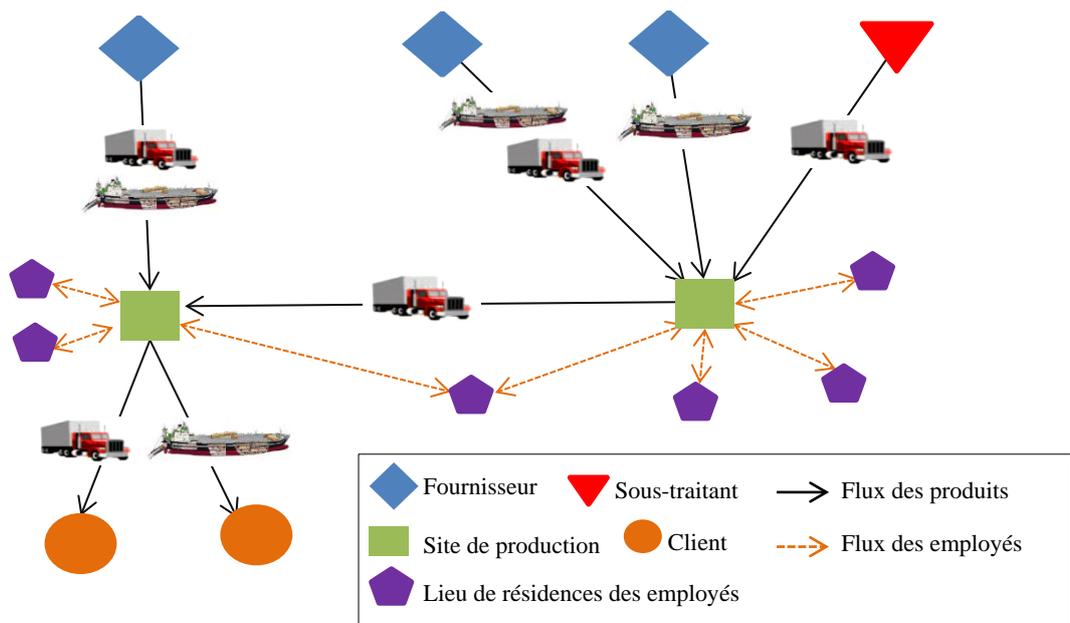


Figure 4.3 : Exemple d’un réseau logistique

4.3.1 Identification des critères de la performance durable à évaluer

A titre d'exemple, nous avons sélectionné 1 critère économique, 1 critère environnemental et 2 critères sociaux (la modélisation de la dimension sociale étant le point le plus faible dans la littérature) :

- Réduction des coûts (PF) pour la dimension économique.
- Réduction des émissions de GES (GES) pour la dimension environnementale.
- Création d'emplois locaux (ER.1) et stabilité de l'emploi (ER.2) pour la dimension sociale.

4.3.2 Corrélation des critères de la performance durable avec les décisions de la chaîne logistique

Nous analysons les corrélations possibles entre les critères du développement durable sélectionnés (PF, GES, ER.1, ER.2) et les variables de décision du modèle mathématique, en vue de formuler des expressions mathématiques qui formalisent et mesurent la valeur de ces critères. L'évaluation de la performance est ainsi opérationnalisée de manière cohérente.

- *Les variables de décision du modèle mathématique*

Soient les ensembles d'indices :

P : ensemble des produits.

$P = RM \cup MP$ avec RM : ensemble des matières premières et MP : ensemble des produits fabriqués.

$MP = MP_{sf} \cup MP_f$ avec MP_{sf} : ensemble des produits fabriqués semi-finis et MP_f : ensemble des produits fabriqués finis.

$OMP_{sf} \subset MP_{sf}$: ensemble des produits semi-finis fabriqués pouvant être sous-traités.

R : ensemble des régions de résidence des employés.

N : ensemble des maillons de la chaîne logistique avec $N = S \cup SC \cup F \cup C$.

S : ensemble des fournisseurs potentiels pour les matières premières RM .

SC : ensemble des sous-traitants potentiels pour les produits semi-finis OMP_{sf} .

F : ensemble des sites de production.

C : ensemble des clients.

$RS(i)$: ensemble des régions où le site i peut recruter des employés. Ces régions sont localisées à des distances jugées acceptables par l'entreprise, des sites de production..

$FR(j)$: ensemble des sites qui peuvent recruter dans la région j .

A : ensemble des activités qui fabriquent les produits.

$Asite(i)$: ensemble des activités disponibles au site i .

Chapitre 4

$P^{out}(a)$: ensemble des produits fabriqués par l'activité a .

$MP^{out}(p)$: ensemble des produits fabriqués à partir du produit p .

$Ain(p)$: ensemble des activités qui consomment le produit p .

$Aout(p)$: ensemble des activités qui fabriquent le produit p .

K : ensemble des modes de transport avec $K = KSF \cup KscF \cup KFF \cup KFC$.

KSF : ensemble des modes de transport entre les fournisseurs et les sites de production.

$KscF$: ensemble des modes transport entre les sous-traitants et les sites de production.

KFF : ensemble des modes transport entre les sites de production.

KFC : ensemble des modes transport entre les sites de production et les clients.

$T = \{1, 2, \dots, n\}$: ensemble des périodes de l'horizon de planification.

Les variables de décision du modèle mathématique sont les suivantes :

X_{pait} : quantité du produit p fabriquée par l'activité a au site i , à la période t .

I_{pit} : quantité en stock du produit p au site i à la fin de la période t .

QS_{pfit} : quantité du produit p achetée au fournisseur f par le site i , à la période t .

QSC_{psit} : quantité du produit p achetée au sous-traitant s par le site i , à la période t .

YSF_{pfit}^k : quantité du produit p transportée du fournisseur f vers le site i en utilisant le mode de transport k , à la période t .

$YSCF_{psit}^k$: quantité du produit p transportée du sous-traitant s vers le site i en utilisant le mode de transport k , à la période t .

YF_{piit}^k : quantité du produit p transportée du site i vers le site i' en utilisant le mode de transport k , à la période t .

YFC_{pict}^k : quantité du produit p transportée du site i vers le client c en utilisant le mode de transport k , à la période t .

Lab_{jit} : nombre d'employés résidant dans la région j et travaillant au site i , à la période t

LH_{jit} : nombre d'employés résidant dans la région j embauchés au site i , à la période t

LF_{jit} : nombre d'employés résidant dans la région j licenciés au site i , à la période t

LT_{jiit} : nombre d'employés résidant dans la région j transférés du site i au site i' à la période t

- *Corrélation des objectifs avec les variables de décision*

Le tableau 4.1 montre l'impact potentiel des variables de décision sur chacun des critères de la performance durable : (PF) , (GES) , $(ER.1)$, $(ER.2)$. Notre analyse n'est pas exhaustive. Notre objectif ici est d'illustrer comment cette analyse de la

corrélation peut guider d'une manière cohérente l'opérationnalisation de la performance durable.

Tableau 4.1: Corrélation des variables de décision avec les critères de la performance durable

		Variables de décision											
		X_{pait}	I_{pit}	QS_{pfit}	QSC_{psit}	YSF_{pfit}^k	$YSCF_{psit}^k$	$YF_{pit/t}^k$	YFC_{pict}^k	L_{abjit}	LH_{jit}	LF_{jit}	LT_{jivt}
Critères de la performance durable	PF	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
	GES	x				x	x	x	x	x	x	x	x
	ER.1	x		x	x					x	x	x	x
	ER.2	x	x							x	x	x	x

✓ Réduction des coûts (PF)

Les quantités de produits fabriquées, les quantités stockées, les quantités approvisionnées chez les fournisseurs et les sous-traitants ainsi que les quantités de produits transportées entre les entités du réseau impactent directement le coût. En effet, chaque produit (matière première, produit semi-fini, produit fini) présente un ou plusieurs coûts unitaires d'acquisition, de transport, de transformation et de stockage. Par ailleurs, le nombre d'employés par région impacte le coût en ce sens que le nombre total d'employés opérant dans les sites, lequel dépend des quantités fabriquées, présente un coût de main d'œuvre. Les coûts unitaires par produit et par employé sont définis ci-après :

CM_{pait} : coût unitaire de fabrication du produit p par l'activité a au site i à la période t .

CI_{pit} : coût unitaire de possession de stock du produit p au site i à la période t .

CA_{pft} : coût unitaire d'acquisition du produit p chez le fournisseur f à la période t .

CS_{pst} : coût unitaire d'acquisition du produit p chez le sous-traitant s à la période t .

CTU_{pfit}^k : coût unitaire de transport du produit p (par kilomètre parcouru) entre le fournisseur f et le site i avec le mode de transport k à la période t .

CTU_{psit}^k : coût unitaire de transport du produit p (par kilomètre parcouru) du produit p entre le sous-traitant s et le site i avec le mode de transport k à la période t .

CTU_{piit}^k : coût unitaire de transport du produit p (par kilomètre parcouru) du produit p entre le site i et le site i' avec le mode de transport k à la période t .

Chapitre 4

CTU_{pict}^k : coût unitaire de transport du produit p (par kilomètre parcouru) du produit p entre le site i et le client c avec le mode de transport k à la période t .

CL_t : coût unitaire de la main d'œuvre à la période t .

✓ Réduction des émissions de GES (GES)

Les quantités de produits fabriquées, les quantités de produits transportées entre les maillons du réseau logistique ainsi que le nombre d'employés par région sont des variables qui peuvent impacter la quantité de GES émise. Les technologies alternatives pour la transformation des produits peuvent en effet générer des GES. D'autre part, le transport des produits en utilisant différents modes (camion, train, etc.) génère des quantités non négligeable de GES, d'autant plus si les distances parcourues sont importantes. Enfin le transport des personnes entre leur lieu de résidence et leur lieu de travail génère également des GES en fonction de la distance qu'elles parcourent. D'autres variables telles que le nombre de recrutements, le nombre de licenciements et le nombre de transferts entre sites peuvent également impacter les émissions de GES puisqu'elles déterminent le nombre d'employés travaillant dans chaque site (les employés émettent des GES en se déplaçant entre leur lieu de résidence et leur lieu de travail). Nous définissons alors des facteurs d'émission de GES pour les technologies, les modes de transport ainsi que les personnes comme suit :

β_{ap} : facteur d'émission de GES de l'activité a par unité de produit p transformée (en tonnes équivalent CO_2).

μ_{kp} : facteur d'émission de GES du mode de transport k pour une unité de poids du produit p transportée et par kilomètre parcouru (en tonnes équivalent $\text{CO}_2/\text{kg.km}$).

α : facteur d'émission de GES d'une personne par kilomètre parcouru (en tonnes équivalent CO_2/km).

✓ Création d'emplois locaux (ER.1)

Le niveau de l'emploi dans une région donnée (collectivité locale par exemple) est impacté par le nombre total d'employés (résidant dans cette région ou ailleurs) travaillant dans les sites qui y sont implantés. Par conséquent, les nombres d'employés recrutés, licenciés ou transférés qui déterminent le nombre d'employés dans un site donné, vont impacter également le niveau de l'emploi local. La quantité de produits fabriquée par les activités, la quantité de matières premières et de composants achetée chez les fournisseurs et les sous-traitants sont des variables qui impactent par ailleurs le niveau de l'emploi local. En ce sens, une activité de production peut utiliser une technologie plus ou moins automatisée, nécessitant des nombres variables d'employés. De ce fait, le besoin en main d'œuvre peut varier en fonction des quantités de produits transformées par les différentes technologies. Du point de vue approvisionnement, le recours à des fournisseurs et sous-traitants locaux peut favoriser l'emploi local contrairement à la situation où des prestataires

Chapitre 4

étrangers seraient sollicités. De plus la sous-traitance (quand il ne s'agit pas de la sous-traitance de capacité) génère un manque d'opportunité de création d'emplois. Dans notre formulation mathématique, nous avons défini un paramètre spécifiant la consommation d'une activité donnée en main d'œuvre:

L_a : quantité de main d'œuvre nécessaire pour une heure machine de l'activité a (en heures).

✓ Stabilité de l'emploi (ER.2)

Le nombre d'employés recrutés et le nombre d'employés licenciés impactent directement la stabilité de l'emploi. De plus, comme les quantités de produits fabriquées et les quantités disponibles en stock déterminent la charge de travail et donc le nombre d'employés nécessaires dans les sites de production pour chaque période, ces deux variables impactent la stabilité de l'emploi en précisant pour chaque période, le nombre de recrutements et le nombre de licenciements. Finalement, le nombre d'employés transférés entre sites permet de réduire le nombre de licenciements dans les sites d'origine et de limiter le nombre de recrutements dans les sites de destination ce qui impacte la stabilité de l'emploi.

L'ensemble des paramètres du programme mathématique (en dehors des facteurs de coût) sont définis ci-dessous :

D_{pct} : demande du produit p par le client c à la période t .

Cap_{ait} : capacité de l'activité a en nombre d'heures au site i à la période t .

$ICap_{it}$: capacité de stockage (en volume) du site i , à la période t .

I_{pit}^{min} : quantité de stock minimum du produit p au site i à la fin de la période t .

I_{pi}^{init} : stock initial du produit p au site i .

$SCap_{pft}$: capacité du fournisseur f pour le produit p à la période t (en quantité de produits).

$SCCap_{pst}$: capacité du sous-traitant s pour le produit p à la période t (quantité de produits).

θ_{pa}^{out} : quantité du produit p fabriquée en 1 heure avec l'activité a .

$\tau_{app'}$: quantité du produit p consommée par l'activité a pour fabriquer une unité du produit p' .

L_a : quantité de main d'œuvre nécessaire pour une heure machine de l'activité a (en heures).

$LUCap_t$: capacité d'un employé à la période t (en nombre d'heures).

$LabCap_j$: capacité en main d'œuvre de la région j à la période t (en nombre d'employés).

Lab_{ji}^{init} : nombre initial d'employés résidant dans la région j et travaillant au site i .

$VtrCap^k$: capacité de transport du mode k en volume.

$MtrCap^k$: capacité de transport du mode k en poids.

d_{fi}^k : distance entre le fournisseur f et le site i en utilisant le mode de transport k (en km).

d_{si}^k : distance entre le sous-traitant s et le site i en utilisant le mode de transport k (en km).

$d_{ii'}^k$: distance entre le site i et le site i' en utilisant le mode de transport k (en km).

d_{ic}^k : distance entre le site i et le client c en utilisant le mode de transport k (en km).

dRS_{ji} : distance entre la région j et le site i .

ρ_p : volume d'une unité du produit p .

ν_p : poids d'une unité du produit p .

β_{ap} : facteur d'émission de GES de l'activité a par unité de produit p transformée (en tonnes équivalent CO_2).

μ_{kp} : facteur d'émission de GES du mode de transport k pour une unité de poids du produit p transportée et par kilomètre parcouru (en tonnes équivalent $CO_2/kg.km$).

α : facteur d'émission de GES d'une personne par kilomètre parcouru (en tonnes équivalent CO_2/km).

4.3.3 Mesure de la performance

Les critères de la performance durable sont mesurés et optimisés à l'aide des fonctions objectives du modèle mathématique :

- Le critère économique (PF) est mesuré par le coût total de la chaîne logistique, exprimé en termes d'unités monétaires (*u.m.*). La fonction objective (F_1) permet de calculer ce coût et de le minimiser.

$$\begin{aligned}
 F_1 = \sum_t [& \sum_{i \in F} (\sum_{a \in A_{site}(i)} \sum_{p \in P^{out}(a)} CM_{pait} \cdot X_{pait} + CL_t \sum_{j \in RS(i)} Lab_{jit} + \\
 & \sum_{p \in P} CI_{pit} \cdot I_{pit}) \\
 & + \sum_{f \in S} \sum_{p \in RM} CA_{pft} \sum_{i \in F} QS_{pfit} + \sum_{s \in SC} \sum_{p \in OMP_{sf}} CS_{pst} \sum_{i' \in F} QSC_{psit} \\
 & + \sum_{k \in KSF} \sum_{f \in S} \sum_{i \in F} d_{fi}^k \sum_{p \in RM} CTU_{pfit}^k \cdot \rho_p \cdot YSF_{pfit}^k \\
 & + \sum_{k \in KSCF} \sum_{s \in SC} \sum_{i \in F} d_{si}^k \sum_{p \in OMP_{sf}} CTU_{psit}^k \cdot \rho_p \cdot YSCF_{psit}^k \\
 & + \sum_{k \in KFF} \sum_{i \in F} \sum_{i' \in F, i' \neq i} d_{ii'}^k \sum_{p \in MP_{sf}} CTU_{pii't}^k \cdot \rho_p \cdot YF_{pii't}^k \\
 & + \sum_{k \in KFC} \sum_{i \in F} \sum_{c \in C} d_{ic}^k \sum_{p \in MP_f} CTU_{pict}^k \cdot \rho_p \cdot YFC_{pict}^k] \quad (1)
 \end{aligned}$$

- Le critère environnemental (GES) est mesuré par la quantité totale de GES (*kg équivalent CO_2*) émise le long de la chaîne logistique. La fonction objective (F_2) permet de calculer les émissions de GES et de les minimiser.

$$\begin{aligned}
 F_2 = \sum_t [& \sum_{i \in F} (\sum_{a \in A_{site}(i)} \sum_{p \in P^{out}(a)} \beta_{ap} \cdot X_{pait} + \alpha \sum_{j \in RS(i)} dRS_{ji} Lab_{jit}) \\
 & + \sum_{k \in KSF} \sum_{f \in S} \sum_{i \in F} d_{fi}^k \sum_{p \in RM} \mu_{kp} \cdot \nu_p \cdot YSF_{pfit}^k \\
 & + \sum_{k \in KSCF} \sum_{s \in SC} \sum_{i \in F} d_{si}^k \sum_{p \in OMP_{sf}} \mu_{kp} \cdot \nu_p \cdot YSCF_{psit}^k
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \sum_{k \in KFF} \sum_{i \in F} \sum_{i' \in F, i \neq i'} d_{ii'}^k \sum_{p \in MP_{sf}} \mu_{kp} \cdot \nu_p \cdot YF_{pii't}^k \\
 & + \sum_{k \in KFC} \sum_{i \in F} \sum_{c \in C} d_{ic}^k \sum_{p \in MP_f} \mu_{kp} \cdot \nu_p \cdot YFC_{pict}^k] \quad (2)
 \end{aligned}$$

- Le critère social (ER.1) est mesuré par le pourcentage d'employés résidant dans la collectivité locale et travaillant dans les sites localisés dans la collectivité. Si on considère par exemple la collectivité j et l'ensemble des sites i localisés à proximité de j , l'emploi local est mesuré par :

$$\left[\frac{\sum_i \sum_t Lab_{jit}}{\sum_j \sum_i \sum_t Lab_{jit}} \right].$$

Cette mesure est obtenue à *posteriori* après résolution du programme mathématique. L'emploi local est maximisé à l'aide de la fonction objectif ($F_{3'}$) (à minimiser).

$$F_{3'} = \sum_t \sum_{i \in F} \sum_{j \in RS(i)} dRS_{ji} Lab_{jit} \quad (3')$$

Comme nous avons déjà intégré la minimisation des émissions de GES liées au déplacement des personnes, qui est proportionnelle à la distance parcourue dans l'expression de (F_2) ($\alpha \sum_t \sum_{i \in F} \sum_{j \in RS(i)} dRS_{ji} Lab_{jit}$), la fonction objectif ($F_{3'}$) peut ne pas être considérée explicitement.

- La stabilité de l'emploi est mesurée par le nombre total de recrutements et de licenciements pendant l'horizon de planification. Sa valeur est calculée à l'aide de la fonction objectif (F_3), à minimiser :

$$F_3 = \sum_t \sum_{i \in F} \sum_{j \in RS(i)} (LH_{jit} + LF_{jit}) \quad (3)$$

- *Contraintes du programme mathématique*

La capacité de production est limitée.

$$\sum_{a \in A_{site(i)}} \sum_{p \in P^{out}(a)} \frac{X_{pait}}{\theta_{pa}^{out}} \leq Cap_{it} \quad \forall i \in F, \quad \forall t \in T \quad (4)$$

Un produit ne peut être fabriqué dans un site que si l'activité qui le fabrique est implantée dans ce site.

$$X_{pait} = 0 \quad \forall i \in F, \quad \forall a \in A \setminus A_{site(i)}, \quad \forall p \in P^{out}(a), \quad \forall t \in T \quad (5)$$

La capacité de stockage est limitée.

$$\sum_{p \in P} \rho_p \cdot I_{pit} \leq ICap_{it} \quad \forall i \in F, \quad \forall t \in T \quad (6)$$

Une quantité de stock minimum doit être disponible à la fin de chaque période.

$$I_{pit}^{min} \leq I_{pit} \quad \forall p \in P, \quad \forall i \in F, \quad \forall t \in T \quad (7)$$

Chapitre 4

Le nombre d'employés travaillant dans chaque site doit couvrir la totalité de la charge de travail.

$$\sum_{j \in RS(i)} Lab_{jit} = (\sum_{a \in ASite(i)} L_a \sum_{p \in P^{out}(a)} \frac{X_{pait}}{\theta_{pa}}) / LUCap_t \quad \forall i \in F, \quad \forall t \in T \quad (8)$$

Un site donné ne peut recruter que dans les régions qui lui sont assignées.

$$\sum_{j \in R \setminus RS(i)} Lab_{jit} = 0 \quad \forall i \in F, \quad \forall t \in T \quad (9)$$

Le nombre d'employés résidant dans une région donnée et travaillant à un site pendant une période est donné par :

$$Lab_{ji1} = Lab_{ji}^{init} + LH_{ji1} + \sum_{i' \in SR(j), i' \neq i} LT_{ji'i1} - LF_{ji1} - \sum_{i' \in SR(j), i' \neq i} LT_{jii'1} \quad (10)$$

$$\forall j \in R, \quad \forall i \in SR(j)$$

$$Lab_{jit} = Lab_{ji(t-1)} + LH_{jit} + \sum_{i' \in SR(j), i' \neq i} LT_{ji'it} - LF_{jit} - \sum_{i' \in SR(j), i' \neq i} LT_{jii't} \quad (11)$$

$$\forall j \in R, \quad \forall i \in FR(j), \quad \forall t \in T \setminus 1$$

Le nombre total d'employés licenciés à un site et transférés vers d'autres sites pendant une période ne peut dépasser le nombre total d'employés travaillant à ce site à la période précédente.

$$LF_{ji1} + \sum_{i' \in SR(j), i' \neq i} LT_{jii'1} \leq Lab_{ji}^{init} \quad \forall j \in R, \quad \forall i \in SR(j) \quad (12)$$

$$LF_{jit} + \sum_{i' \in SR(j), i' \neq i} LT_{jii't} \leq Lab_{ji(t-1)} \quad \forall j \in R, \quad \forall i \in SR(j), \quad \forall t \in T \setminus 1 \quad (13)$$

Le nombre d'employés recrutés dans chaque région ne doit pas dépasser la capacité disponible.

$$\sum_{i \in SR(j)} Lab_{jit} \leq LabCap_j \quad \forall j \in R, \quad \forall t \in T \quad (14)$$

La quantité de produits achetée chez un fournisseur (ou sous-traitant) ne doit pas dépasser sa capacité.

$$\sum_{i \in F} QS_{pfit} \leq SCap_{pit} \quad \forall p \in RM, \quad \forall f \in S, \quad \forall t \in T \quad (15)$$

$$\sum_{i \in F} QSC_{psit} \leq SCCap_{pit} \quad \forall p \in OMP_{sf}, \quad \forall s \in SC, \quad \forall t \in T \quad (16)$$

Les quantités de produits livrées aux clients doivent satisfaire la demande.

$$\sum_{k \in KFC} \sum_{i \in F} YFC_{pict}^k = D_{pct} \quad \forall c \in C, \quad \forall p \in MP_f, \quad \forall t \in T \quad (17)$$

La somme de la quantité d'un produit livrée aux clients pendant une période et de la quantité du même produit stockée à la fin de la période doit être égale à la somme de la quantité fabriquée pendant la période et de la quantité stockée au début de la période.

$$\sum_{a \in Aout(p)} X_{pai1} + I_{pi}^{init} = \sum_{k \in KFC} \sum_{c \in C} YFC_{pic1}^k + I_{pi1} \quad (18)$$

$$\forall p \in MP_f, \quad \forall i \in F$$

$$\sum_{a \in Aout(p)} X_{pait} + I_{pi(t-1)} = \sum_{k \in KFC} \sum_{c \in C} YFC_{pict}^k + I_{pit} \quad (19)$$

$$\forall p \in MP_f, \quad \forall i \in F, \quad \forall t \in T \setminus 1$$

La somme des quantités d'un produit approvisionnées à partir d'autres sites pendant une période, des quantités fabriquées par le site pendant la même période et des quantités stockées au début de la période doit être égale à la somme des quantités des produits fabriqués à partir de ce produit, des quantités transportées vers d'autres sites pendant la période et des quantités stockées à la fin de la période.

$$\begin{aligned} & \sum_{k \in KFF} \sum_{i' \in F, i' \neq i} YF_{pi'i1}^k + \sum_{a \in Aout(p)} X_{pai1} + I_{pi}^{init} \\ &= \sum_{a \in Ain(p)} \sum_{p' \in MP^{out}(p)} \tau_{app'} \cdot X_{p'ai1} + \sum_{k \in KFF} \sum_{i'} YF_{pii'1}^k + I_{pi1} \\ & \forall p \in MP_{sf} \setminus OMP_{sf}, \quad \forall i \in F \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{k \in KFF} \sum_{i' \in F, i' \neq i} YF_{pi'it}^k + \sum_{a \in Aout(p)} X_{pait} + I_{pi(t-1)} \\ &= \sum_{a \in Ain(p)} \sum_{p' \in MP^{out}(p)} \tau_{app'} \cdot X_{p'ait} + \sum_{k \in KFF} \sum_{i'} YF_{pii't}^k + I_{pit} \\ & \forall p \in MP_{sf} \setminus OMP_{sf}, \quad \forall i \in F, \quad \forall t \in T \setminus 1 \end{aligned} \quad (21)$$

La somme des quantités d'un produit pouvant être sous-traité, approvisionnées à partir d'autres sites, et de sous-traitants pendant une période et des quantités stockées au début de la période doit être égale à la somme des quantités des produits fabriqués à partir de ce produit, des quantités transportées vers d'autres sites pendant la période et des quantités stockées à la fin de la période.

$$\begin{aligned} & \sum_{k \in KFF} \sum_{i' \in F, i' \neq i} YF_{pi'i1}^k + \sum_{s \in SC} QSC_{psi1} + \sum_{a \in Aout(p)} X_{pai1} + I_{pi}^{init} \\ &= \sum_{a \in Ain(p)} \sum_{p' \in MP^{out}(p)} \tau_{app'} \cdot X_{p'ai1} + \sum_{k \in KFF} \sum_{i'} YF_{pii'1}^k + I_{pi1} \\ & \forall p \in OMP_{sf}, \quad \forall i \in F \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{k \in KFF} \sum_{i' \in F, i' \neq i} YF_{pi'it}^k + \sum_{s \in SC} QSC_{psit} + \sum_{a \in Aout(p)} X_{pait} + I_{pi(t-1)} \\ &= \sum_{a \in Ain(p)} \sum_{p' \in MP^{out}(p)} \tau_{app'} \cdot X_{p'ait} + \sum_{k \in KFF} \sum_{i'} YF_{pii't}^k + I_{pit} \\ & \forall p \in OMP_{sf}, \quad \forall i \in F, \quad \forall t \in T \setminus 1 \end{aligned} \quad (23)$$

La somme des quantités d'un produit achetées chez les fournisseurs pendant une période et des quantités stockées au début de la période doit être égale à la somme des quantités de produits fabriqués pendant la période et des quantités stockées à la fin de la période.

$$\begin{aligned} & \sum_{f \in S} QS_{pfi1} + I_{pi}^{init} = \sum_{a \in Ain(p)} \sum_{p' \in MP^{out}(p)} \tau_{app'} \cdot X_{p'ai1} + I_{pi1} \\ & \forall p \in RM, \quad \forall i \in F \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{f \in S} QS_{pfit} + I_{pi(t-1)} = \sum_{a \in Ain(p)} \sum_{p' \in MP^{out}(p)} \tau_{app'} \cdot X_{p'ait} + I_{pit} \\ & \forall p \in RM, \quad \forall i \in F, \quad \forall t \in T \setminus 1 \end{aligned} \quad (25)$$

La quantité de produits achetée chez un fournisseur (ou sous-traitant, respectivement) par un site donné est égale à la somme des quantités transportées du fournisseur (sous-traitant) vers le site en utilisant les différents modes de transport possibles.

$$\begin{aligned} QS_{pfit} &= \sum_{k \in KSF} YSF_{pfit}^k \quad \forall p \in RM, \forall a \in Ain(p), f \in S, \forall i \in F, \forall t \in T \quad (26) \\ QSC_{psit} &= \sum_{k \in KscF} YSCF_{psit}^k \end{aligned}$$

$$\forall p \in OMP_{sf}, \forall a \in Ain(p), \forall s \in SC, \forall i \in F, \forall t \in T \quad (27)$$

La capacité de transport ne doit pas être dépassée en termes de volume et de poids.

$$\sum_p \rho_p \cdot YFC_{pict}^k \leq VtrCap^k \quad \forall i \in F, \forall c \in C, \forall k \in KFC, \forall t \in T \quad (28)$$

$$\sum_p \rho_p \cdot YF_{piit}^k \leq VtrCap^k \quad \forall i \in F, \forall i' \in F, i \neq i', \forall k \in KFF, \forall t \in T \quad (29)$$

$$\sum_p \rho_p \cdot YSF_{pfit}^k \leq VtrCap^k \quad \forall f \in S, \forall i \in F, \forall k \in KSF, \forall t \in T \quad (30)$$

$$\sum_p \rho_p \cdot YSCF_{psit}^k \leq VtrCap^k \quad \forall s \in SC, \forall i \in F, \forall k \in KscF, \forall t \in T \quad (31)$$

$$\sum_p \nu_p \cdot YFC_{pict}^k \leq MtrCap^k \quad \forall i \in F, \forall c \in C, \forall k \in KFC, \forall t \in T \quad (32)$$

$$\sum_p \nu_p \cdot YF_{piit}^k \leq MtrCap^k \quad \forall i \in F, \forall i' \in F, i \neq i', \forall k \in KFF, \forall t \in T \quad (33)$$

$$\sum_p \nu_p \cdot YSF_{pfit}^k \leq MtrCap^k \quad \forall f \in S, \forall i \in F, \forall k \in KSF, \forall t \in T \quad (34)$$

$$\sum_p \nu_p \cdot YscF_{psit}^k \leq MtrCap^k \quad \forall s \in SC, \forall i \in F, \forall k \in KscF, \forall t \in T \quad (35)$$

Les variables de décision sont continues et positives.

$$X_{pait}, I_{pit}, QS_{pfit}, QSC_{psit}, YSF_{pfit}^k, YSCF_{psit}^k, YF_{piit}^k, YFC_{pict}^k, Lab_{jit}, LH_{jit}, LF_{jit}, LT_{jiit} \geq 0 \quad (36)$$

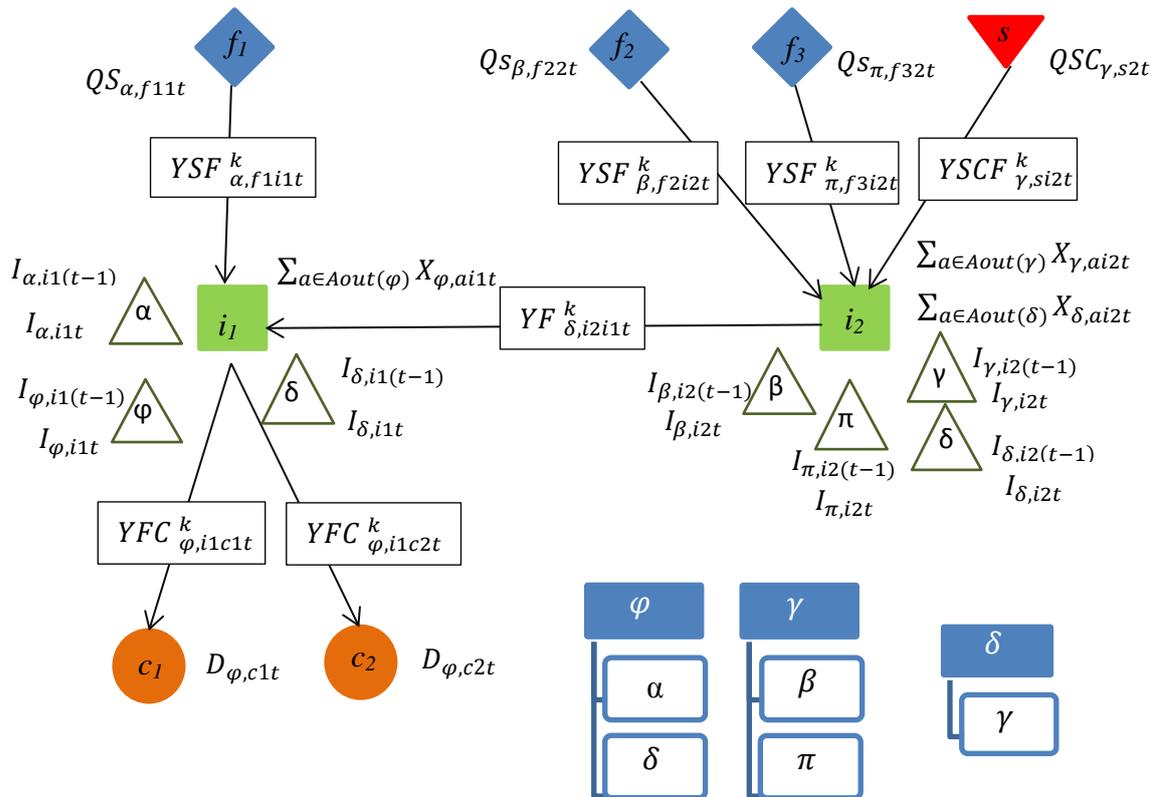


Figure 4.4 : Flux de produits dans un réseau logistique

La figure 4.4 illustre avec un cas de réseau logistique simple (3 fournisseurs f_1, f_2, f_3 , 1 sous-traitant s , 2 sites de production i_1, i_2 et 2 clients c_1, c_2), le lien entre variables de décisions représentant le flux de produits. Nous considérons un seul produit fini φ , fabriqué à partir d'un produit acheté α et d'un produit fabriqué en interne δ . Le produit δ est fabriqué à partir du produit γ qui peut être soit fabriqué en interne soit sous-traité. Lorsqu'il est fabriqué, deux produits achetés sont requis, β et π . Plusieurs activités sont implantées dans les deux sites, et différents modes de transport peuvent être utilisés entre les nœuds du réseau.

Conclusion

Nous avons montré dans ce chapitre comment notre approche intégrée pouvant être instrumentée à l'aide de la modélisation par activités et de la programmation mathématique multi-objectifs au niveau de décisions stratégique-tactique. Nous avons alors pu prendre en compte chacune des trois dimensions de la performance durable, que nous avons modélisées comme des fonctions objectifs. Nous avons considéré la performance financière (PF) pour la dimension économique mesurée par le coût total de la chaîne logistique, les émissions de GES (GES) pour la performance environnementale, mesurées par la quantité totale de GES émise le long de la chaîne, dont les émissions liées au déplacement des employés. Enfin, pour la performance sociale, nous avons considéré la création d'emplois et de richesses (ER) que nous avons mesurée en utilisant deux indicateurs : le nombre total d'emplois locaux créés et le nombre total de recrutements et de licenciements. Notre programme mathématique peut être facilement résolu à l'aide d'une technique multi-objectifs (goal programming, somme pondérée, etc.). De plus il est linéaire et en variables continues (pas de variables binaires ou entières). Il peut donc être résolu avec la méthode du simplex. Nous présentons dans le chapitre suivant un cas d'application issu de l'industrie canadienne du bois d'œuvre en vue de résoudre notre programme mathématique et de valider notre proposition.

Chapitre 5 – Application à l'industrie canadienne du bois d'œuvre : le cas de procédés divergents

Introduction

Nous avons considéré dans le chapitre 4, le cas d'une chaîne logistique mettant en œuvre des procédés de fabrication de type convergent: plusieurs produits entrants sont mélangés entre eux ou assemblés pour obtenir le produit sortant. Bien que le cas convergent soit le plus étudié dans la littérature, dans la réalité il existe plusieurs secteurs industriels comme par exemple l'industrie de la viande ou l'industrie du bois d'œuvre où la nomenclature des produits est du type divergent : plusieurs produits sortants peuvent être obtenus à partir d'un seul produit entrant. Nous étudions dans ce chapitre une chaîne logistique présentant des procédés de fabrication de type divergent. Il s'agit d'un cas réaliste issu de l'industrie québécoise du bois d'œuvre. Nous adaptons d'abord notre modèle mathématique, formulé pour le cas convergent, au cas divergent, puis nous résolvons le modèle résultant en utilisant deux techniques d'aide à la décision multi-objectifs : la somme pondérée et le goal programming. Différents aspects du modèle (optimums de Pareto, profil de la performance, etc.) seront alors analysés. Ce chapitre est organisé comme suit :

5.1 Contexte de l'industrie canadienne des produits forestiers

5.1.1 Les chaînes logistiques des produits forestiers

5.1.2 Planification des chaînes logistiques des produits forestiers

5.2 La chaîne logistique de l'industrie du bois d'œuvre

5.2.1 Description des processus de fabrication et des flux de produits

5.2.2 Programmation mathématique multi-objectifs pour le cas de procédés divergent

5.3 Etude de cas : « Virtu@l Lumber »

5.3.1 Description du cas d'étude et modélisation avec réseau d'activités

5.3.2 Calculs et expérimentations

5.3.2.1 Résolution avec la méthode de la somme pondérée

5.3.2.2 Résolution avec la méthode du goal programming

Conclusion

5.1 Contexte de l'industrie canadienne des produits forestiers

La forêt a un rôle à la fois écologique (filtration de l'eau, séquestration du carbone, habitat pour la faune, etc.), social (source d'activités en plein air, lieu de subsistance pour les Amérindiens, source d'emplois etc.) et économique (profit économique pour l'industrie forestière, source de richesse pour les collectivités territoriales, etc.) de première importance au Canada (CSPAF²⁰, 2009). La reconnaissance de ces enjeux renforcée par les conséquences des crises forestières qui ont sévi au Canada dans les dernières années (fermeture d'usines, perte d'emplois et fragilisation des communautés rurales) ont amené la société, les clients, les investisseurs, le gouvernement et les autres parties prenantes à exiger une gestion de la forêt qui puisse fournir des produits à la fois compétitifs, respectueux de l'environnement et contribuant à leur bien-être et à celui des générations futures. Or, les entreprises forestières canadiennes ont préconisé jusqu'à ces dernières années, l'efficacité comme seul espoir pour leur survie. Elles sont dès lors amenées à redéfinir leur stratégie en adoptant une vision plus large qui doit prendre en compte les aspects à la fois économiques, environnementaux et sociaux de la performance de leurs chaînes logistiques. Nous présentons dans les deux sections suivantes un aperçu des chaînes logistiques de la filière bois canadienne et le problème lié à leur planification (respectivement).

5.1.1 Les chaînes logistiques des produits forestiers

Les chaînes logistiques des produits forestiers commencent par la forêt. Au Canada, elle couvre une superficie de 4 021 000 km². Dans la province du Québec, elle couvre 761 100 km² sur un total de 1,7 million km². La partie de la forêt exploitable et accessible au Québec représente 42,4 millions d'hectares dont 84% environ appartiennent à la province. Les chaînes logistiques sont constituées de l'ensemble des unités d'affaires qui transforment graduellement la matière ligneuse (le bois) en provenance de la forêt, en produits finis qu'elles acheminent vers les clients pour satisfaire leur demande. Elle peut être divisée en quatre parties (D'Amours et al., 2008). La première constitue le réseau d'approvisionnement du bois à partir de la forêt (aménagement et opérations forestières, construction de routes, etc.). La deuxième est le réseau de transformation du bois en produits commercialisables. La troisième partie est le réseau de distribution de ces produits vers les commerçants et détaillants. Enfin, les commerçants et les détaillants constituent avec les clients finaux le réseau de vente. Les quatre réseaux sont reliés entre eux avec différents modes de transport (camion, train, bateau) qui transportent les flux de matière d'un réseau à un autre de la chaîne (D'Amours et al., 2008). Trois chaînes de produits forestiers principales peuvent être distinguées (Figure 5.1) : la chaîne des pâtes et papiers (pâte industrielle, papier journal, papier à écrire, etc.), la chaîne des produits en bois (bois d'œuvre, panneaux et bois d'ingénierie), et la chaîne de la bioénergie.

²⁰ Comité Sénatorial Permanent de l'Agriculture et des Forêts.

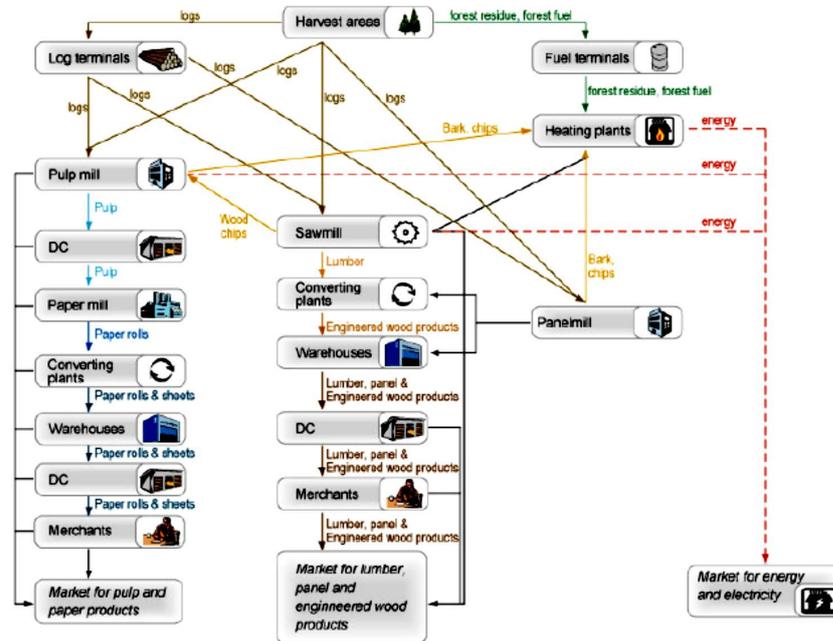


Figure 5.1 : Les différentes chaînes logistiques de l'industrie des produits forestiers (D'Amours et al., 2008)

Les activités de transformation le long du réseau mettent en jeu des procédés de fabrication de plusieurs-à-plusieurs qui consomment des produits intrants pour en fabriquer des produits sortants suivant plusieurs procédés, méthodes et recettes (technologies alternatives, différents patrons de tronçonnage et de sciage, plusieurs recettes pour les pâtes à papier, etc.). De plus les procédés peuvent présenter des nomenclatures divergentes ou convergentes. Dans le premier cas, la matière première est découpée (tronçonnage des tiges, sciage des billes, découpe des rouleaux de papiers...) pour en fabriquer plusieurs produits de dimensions variables. Dans le second, les matières premières sont mélangées ou assemblées (copeaux issues de différentes essences de bois par exemple avec des produits chimiques) pour obtenir des produits avec différentes compositions (pâte, panneaux, ...). Par ailleurs, les produits résultants peuvent être de deux types : les coproduits que l'on cherche à valoriser et dont la production est tirée par la demande des clients (pâte, papier, bois d'œuvre, etc.) et les sous-produits présentant moins de valeur et générés en même temps que les coproduits (copeaux, écorces, sciures, etc.). Ces derniers sont utilisés en interne (production d'énergie par exemple) ou écoulés sur d'autres marchés.

5.1.2 Planification des chaînes logistiques des produits forestiers

La planification des chaînes logistiques des produits forestiers concerne le réseau amont d'approvisionnement du bois et les chaînes logistiques aval de transformation. La planification du réseau d'approvisionnement comprend les

décisions d'aménagement de la forêt, la construction de routes, les traitements sylvicoles, etc. et se fait généralement, dans le contexte canadien, sans l'intégration des réseaux logistiques aval (Gunn, 2008 ; D'Amours et al. (2008). La possibilité forestière est estimée par les autorités (MRNF au Québec) suivant le principe du rendement soutenu²¹ en considérant l'état de l'ensemble des ressources forestières. Un plan général d'aménagement forestier est alors créé sur un horizon de 80 à 150 dont la mise en œuvre conduit à la réalisation d'un plan quinquennal d'aménagement et d'un plan annuel d'intervention forestière. Le premier d'ordre tactique détermine les secteurs de coupe et la séquence selon laquelle ils devront être traités ainsi que les méthodes de coupe et les traitements sylvicoles à appliquer. Le second est opérationnel et décrit les activités d'aménagement à exécuter pour l'année en cours. Ces plans d'aménagement forestier permettent d'attribuer la ressource forestière aux différentes entreprises autorisées à récolter le bois (i.e. entreprises détentrices d'un C.A.A.F : Contrat d'Approvisionnement et d'Aménagements Forestiers).

Bien que trois horizons de planification (stratégique, tactique et opérationnel) des chaînes logistiques des produits forestiers aval soient habituellement considérés dans la littérature, il est dans la réalité, très rare que des décisions telles que la construction de nouvelles unités d'affaire (scieries, papetières, centres de distribution etc.) ou l'extension des capacités soient envisagées dans le contexte canadien (Vila, 2006). Ceci est dû à la limitation de la matière première laquelle est, comme nous l'avons vu précédemment, majoritairement détenue par l'Etat.

De ce fait, les décisions stratégiques et tactiques sont très liées. En ce sens, les décisions stratégiques sont généralement prises sur un horizon de temps de 1 à 2 et concernent la reconfiguration des unités d'affaires existantes (fermeture temporaires d'usines, relocalisation de centres de distribution etc.) en vue d'adapter les capacités aux quantités de la matière première disponibles et à la demande, lesquelles sont saisonnières. Or, ce type de décision relève aussi du niveau tactique. La saisonnalité des approvisionnements et de la demande est liée aux changements climatiques qui ont lieu au cours de l'année : le dégel du printemps réduit le transport des tiges et des billes de bois, de la forêt aux sites de production et les activités de construction sont réduites pendant les périodes d'hiver.

Dans la littérature, les travaux sur la planification et la gestion des chaînes logistiques forestières sont abondants (D'Amours et al., 2008). Des revues de la littérature approfondies sont présentées, entre autres, dans (D'Amours et al., 2008), (Weintraub et Romero, 2006), (Rönnqvist 2003). D'amours *et al.* (2008) constatent

²¹ Tel que défini dans la Loi sur les forêts, la possibilité annuelle de coupe à rendement soutenu correspond au volume maximum des récoltes annuelles de bois par essence ou groupe d'essences que l'on peut prélever à perpétuité dans une unité d'aménagement donnée sans diminuer la capacité productive du milieu forestier (L.R.Q., chap. F-4.1 art. 35.5.) (Gouvernement du Québec).

néanmoins quelques lacunes concernant certains problèmes de planification des chaînes logistiques, très peu étudiés par les chercheurs. C'est notamment le cas des chaînes mettant en jeu des procédés de fabrication divergents, comme par exemple l'industrie du bois d'œuvre. Nos revues de la littérature présentées dans (Boukherroub et al., 2012b) et dans le chapitre 2 confirment ce constat d'une part, et montrent par ailleurs que l'intégration des trois dimensions du développement durable aux décisions de planification des chaînes logistiques des produits forestiers est rare.

Nous abordons dans la section suivante la chaîne logistique de l'industrie du bois d'œuvre et nous présentons notre modèle mathématique multi-objectifs pour la planification stratégique-tactique durable d'une chaîne logistique présentant des procédés de fabrication divergents.

5.2 La chaîne logistique de l'industrie du bois d'œuvre

L'industrie du bois d'œuvre est un secteur d'activité très important au Canada car il génère plusieurs milliers d'emplois directs dans le pays. 80% du bois récolté au Canada sert en effet à fabriquer du bois d'œuvre (MRNF²²). En 2007 par exemple, on recensait au Québec 208 usines de sciage (CIFQ²³) produisant du bois d'une qualité mondialement reconnue. La scierie occupe par ailleurs une position importante dans la chaîne logistique des produits forestiers car c'est l'entité qui est le plus souvent bénéficiaire du C.A.A.F, l'entente qui lui permet de s'approvisionner en bois sur les terres de l'État. Les papetières ainsi que de nombreuses usines de deuxième et troisième transformation (usines à granules, usines de panneaux, usines de cogénération, etc.) s'approvisionnent essentiellement à partir de la scierie, qu'il s'agisse des produits finis (bois d'œuvre) ou des sous-produits générés (écorces, sciures, copeaux, etc.).

5.2.1 Description des processus de fabrication et des flux de produits

La chaîne logistique de l'industrie du bois d'œuvre commence par la récolte du bois. Cette opération se fait souvent de deux manières : en régie ou sous contrat de sous-traitance. Dans le premier cas, l'entreprise planifie, supervise et exécute la récolte, le transport et la voirie forestière. Dans le second cas, des entrepreneurs forestiers (sous-traitants) sont responsables, dans le secteur de récolte qui leur est alloué, de la planification annuelle de la récolte, du transport jusqu'aux usines du donneur d'ordres ainsi que de la voirie forestière (chemins d'opération et jetées). Les activités sont supervisées par le donneur d'ordres et doivent respecter les plans produits et approuvés par le MRNF. Les arbres sont abattus et ébranchés avant d'être acheminés vers les cours à bois (espaces de stockage) des usines. En forêt,

²² Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune au Québec (<http://www.mrn.gouv.qc.ca/>).

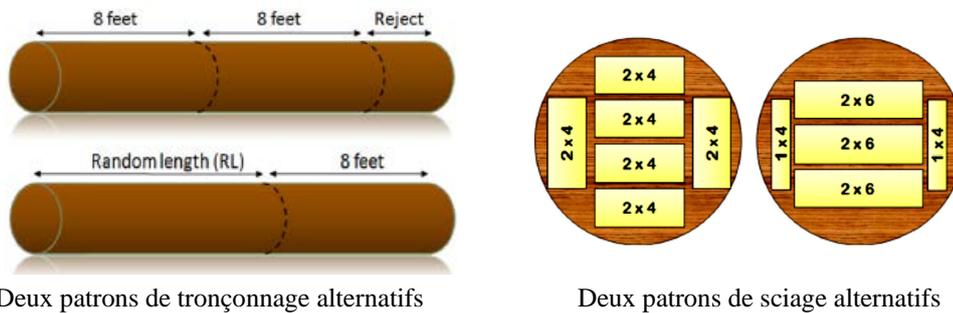
²³ Conseil de l'Industrie Forestière du Québec.

Chapitre 5

les tiges de bois peuvent également être triées et classées suivant l'essence, la taille etc. et/ou tronçonnées entièrement ou en partie avant d'être transportées. Les modes de transport les plus communément utilisés sont les camions conventionnels et les camions hors normes. Ces derniers permettent de transporter un plus gros volume de bois.

Les tiges en provenance de la forêt sont d'abord tronçonnées si cette opération n'a pas été réalisée en forêt. Les billots obtenus sont ensuite écorcés avant d'être sciés. Le bois d'œuvre résultant du sciage, encore appelé bois vert est alors embouté pour corriger les longueurs puis déligné pour corriger les largeurs avant d'être envoyé au séchage. Le bois sec est alors raboté pour augmenter la rectitude de la surface et/ou diminuer l'épaisseur. Les pièces sont ensuite triées (suivant la qualité, les dimensions etc.) avant d'être expédiées aux clients. Environ la moitié de la production annuelle du bois d'œuvre est vendue sur le marché local, le reste est exporté, principalement vers les États-Unis. Les usines de bois d'ingénierie, l'industrie de la construction résidentielle et industrielle ainsi que les grossistes et détaillants de bois d'œuvre sont les principaux clients des scieries. Les écorces résultant de l'écorçage et les sciures provenant du tronçonnage, sciage, éboutage, délignage et rabotage peuvent être utilisées en interne pour produire de l'énergie. Quant aux rabotures résultant des opérations de tronçonnage, sciage, éboutage et délignage, elles sont déchiquetées et les copeaux obtenus sont vendus à des papeteries ou à des usines de granules. Des échanges de matière première (tiges, billots) ou résiduelle (copeaux, sciures et rabotures) peuvent également avoir lieu entre différentes usines de sciage. Les modes de transport utilisés entre les usines d'une part, et entre les usines et les clients d'autre part sont variables : camion, train et/ou bateau.

Les activités de tronçonnage et de sciage sont deux opérations clé dans l'industrie du bois d'œuvre car les procédés mis en œuvre sont divergents, une particularité partagée par exemple avec les industries utilisant des matières premières d'origine animale comme l'industrie de viande (Vila, 2006). On peut en effet, à partir d'un seul produit entrant (tige ou billot), obtenir plusieurs produits sortants (billots pour le tronçonnage et planches pour le sciage) de dimensions différentes et présentant des rendements variables (i.e. la quantité de rejets résultant est variable). De plus, plusieurs patrons de coupe peuvent être appliqués aux produits entrants, en fonction de la technologie utilisée et des caractéristiques des produits eux-mêmes (taille, diamètre, etc.). La figure 5.2 présente deux exemples de patrons de coupe pour les procédés de tronçonnage et de sciage.



Deux patrons de tronçonnage alternatifs

Deux patrons de sciage alternatifs

Figure 5.2 : Exemples de patrons de coupe (tronçonnage et sciage)

Le choix d'une technologie et/ou d'un patron de coupe est dès lors crucial : la demande des clients doit être satisfaite et l'utilisation de la matière première optimisée. Ces caractéristiques doivent donc être prises en compte avec précaution dans la modélisation mathématique. Dans la section suivante, nous allons montrer comment nous avons adapté notre programme mathématique formulé dans le chapitre 5, à un type d'industrie présentant des procédés divergents et plusieurs patrons de coupe alternatifs. Il est à noter, que là aussi, nous avons retenu l'approche par activité (voir Chapitre 4) pour modéliser le système de production mis en œuvre. Cette approche est particulièrement appropriée dans le cas de procédés divergents, compte tenu des caractéristiques qu'ils présentent : plusieurs technologies et patrons de coupe alternatifs avec des rendements différents.

5.2.2 Programmation mathématique multi-objectifs pour le cas divergent

Nous considérons un problème de planification stratégique-tactique d'une chaîne logistique analogue à celui présenté dans le chapitre 4. Néanmoins, les types de procédés de fabrication mis en œuvre dans les deux cas étant différents, deux modèles mathématiques distincts doivent être formulés. Le premier qui tient compte du type de procédés convergent a été présenté dans le chapitre 4, le second qui tient compte du type divergent sera présenté dans cette section. Ce second modèle est tout comme le premier, générique. Il peut être appliqué à n'importe quel secteur industriel présentant des procédés divergents dont l'industrie du bois d'œuvre.

Nous rappelons que le problème de planification de la chaîne considéré est formulé comme suit : la demande des clients et la capacité des ressources (matières, machines, main d'œuvre, stockage, etc.) étant connues, comment le réseau logistique pourrait être exploité à moyen terme (gestion des approvisionnements, planification de la production, politique de recrutement, etc.) de manière optimale, en vue de satisfaire la demande des clients sans excéder la capacité des ressources disponibles, tout en garantissant une performance minimale pour l'ensemble des trois piliers du développement durable (économie, environnement et société) ?

La chaîne logistique considérée est multi-échelons. Elle est composée de plusieurs fournisseurs et sous-traitants potentiels, plusieurs sites de production et plusieurs clients. A l'intérieur de chaque site de production sont implantées différentes technologies alternatives présentant plusieurs patrons de coupe possibles (ou plus généralement des recettes), chaque technologie étant liée avec une relation de bijection à une activité distincte (voir figure 5.3). Ces activités sont différenciées également par leur consommation en ressources (énergie, eau, main d'œuvre, etc.), leurs émissions (gaz, liquides, produits solides etc.) ainsi que leurs capacités (voir figure 4.2, Chapitre 4). Par ailleurs, différents modes de transport (train, camion, etc.) peuvent être utilisés entre les maillons de la chaîne. Enfin, nous considérons plusieurs régions où les sites de production peuvent recruter de la main d'œuvre (Figure 4.3, Chapitre 4).

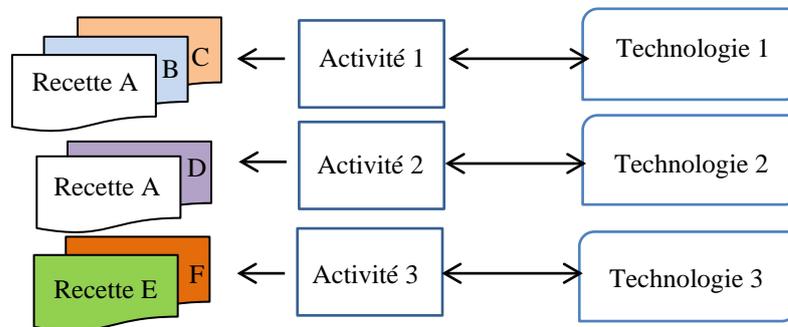


Figure 5.3 : Liens entre recette, activité et technologie

Nous retenons les hypothèses de 1 à 7 formulées dans le chapitre 4 et nous modifions l'hypothèse 8 :

1. Le réseau logistique est géré de manière centralisée par une seule entité qui coordonne l'ensemble des opérations d'approvisionnement, de transport et de transformation des produits suivant le mode de production « make-to-stock » (MTS).
2. L'horizon de planification est multi-périodes. Une période peut correspondre à un mois ou plusieurs mois (un trimestre par exemple). L'horizon de planification peut être découpé par exemple suivant la saisonnalité de la demande ou de l'approvisionnement des matières premières.
3. Une partie de la production peut être sous-traitée sur une ou plusieurs périodes si la capacité en interne est insuffisante ou si la sous-traitance coûte moins cher. Il est néanmoins possible de fabriquer en interne même si la production est sous-traitée et ce dans les 2 situations. Il arrive en effet que la capacité de production pour une période donnée (dû à la saisonnalité par exemple) ne soit pas suffisante pour satisfaire la demande. Il est possible alors d'avoir recours à la sous-traitance de capacité pour éviter la rupture de stock. Dans d'autres cas, il peut être opportun d'un point de vue économique, de confier une partie de la production à

un prestataire externe si le coût de sous-traitance est faible comparé au coût de production en interne.

4. Les fournisseurs et sous-traitants sont supposés être des partenaires logistiques habituels de l'entreprise. Il est alors possible de passer des ordres d'approvisionnement durant l'horizon de planification sans passer par le processus de sélection et de contractualisation. De ce fait, les coûts fixes (coûts de contractualisation, audits, etc.) et les variables binaires liés au choix des fournisseurs et sous-traitants sont exclus de notre formulation mathématique. Par ailleurs, la politique d'approvisionnement est supposée être du type multiple-sourcing (i.e. plusieurs partenaires peuvent être sollicités pour les mêmes produits durant la même période, leur capacité d'approvisionnement pouvant être limitée).
5. L'entreprise ne possède pas sa propre flotte de transport (activité non-cœur de compétence) et a recours à des prestataires externes (3PL : third-party logistics providers). Par ailleurs, les modes de transport possibles et les transporteurs potentiels sont connus et sélectionnés avant le début de l'horizon de planification. Les coûts fixes (salaires, entretien de la flotte, contractualisation avec les transporteurs, etc.) et les variables binaires liés au choix des transporteurs sont également exclus de notre formulation. Les coûts de transport sont uniquement liés aux volumes transportés.
6. Les employés sont polyvalents et peuvent réaliser toute activité de production dans les sites du réseau logistique.
7. Le transfert des employés d'un site à un autre durant l'horizon de planification est autorisé si la distance entre le lieu de résidence et le site de destination est raisonnable (i.e. la distance ne dépasse pas une certaine limite définie par l'entreprise).
8. Les procédés de production mis en œuvre sont de type divergent : plusieurs produits sortants peuvent être obtenus à partir d'un seul produit commun. De plus, différentes recettes peuvent être appliquées (par exemple des patrons de coupe).

Nous décrivons dans ce qui suit notre programme mathématique multi-objectifs adapté aux procédés divergents. **Les modifications majeures sont surlignées en gras.**

- *Ensemble des indices*

P : ensemble des produits. $P = RM \cup MP$ avec RM l'ensemble des matières premières et MP l'ensemble des produits fabriqués. $MP = MP_{sf} \cup MP_f$, MP_{sf} étant l'ensemble des produits fabriqués semi-finis et MP_f l'ensemble des produits

Chapitre 5

fabriqués finis. Par ailleurs, $OMP_{sf} \subset MP_{sf}$ est l'ensemble des produits semi-finis fabriqués pouvant être sous-traités.

N : ensemble des maillons du réseau logistique. $N = S \cup SC \cup F \cup C$.

S : ensemble des fournisseurs potentiels pour les matières premières $p \in RM$.

SC : ensemble des sous-traitants potentiels pour les produits semi-finis $p \in OMP_{sf}$.

F : ensemble des sites de production.

C : ensemble des clients.

K : ensemble des modes de transport. $K = KSF \cup KscF \cup KFF \cup KFC$ avec KSF l'ensemble des modes de transport entre les fournisseurs et les sites de production,

$KscF$ l'ensemble des modes de transport entre les sous-traitants et les sites de production, KFF l'ensemble des modes transport entre les sites de production et

KFC l'ensemble des modes transport entre les sites de production et les clients.

A : ensemble des activités de fabrication.

$As(i)$: ensemble des activités implantées dans le site i .

CP : ensemble des recettes.

$CPa(a)$: ensemble des recettes r pouvant être utilisées par l'activité a .

$ACP(r)$: ensemble des activités a utilisant la recette r .

$Pr^{in}(r)$: ensemble des produits utilisés par la recette r .

$MP^{in}(p)$: ensemble des produits $p' \in RM \cup MP_{sf}$ utilisés pour fabriquer les produits $p \in MP$.

$CP^{in}(p)$: ensemble des recettes applicables sur le produit $p \in RM \cup MP_{sf}$.

$CP^{out}(p)$: ensemble des recettes pouvant être utilisées pour obtenir le produit $p \in MP$.

R : ensemble des régions de recrutement des employés.

$RS(i)$: ensemble des régions où le site i peut recruter des employés. Ces régions sont localisées à des distances jugées acceptables par l'entreprise, des sites de production.

$SR(j)$: ensemble des sites qui peuvent recruter dans la région j .

$T = \{1, 2, \dots, n\}$: ensemble des périodes de l'horizon de planification.

- *Variables de décision*

X_{prait} : quantité du produit p transformée par l'activité a (**produit entrant**) en utilisant la recette r au site i à la période t .

I_{pit} : quantité en stock du produit p au site i à la fin de la période t .

QS_{pfit} : quantité du produit p achetée au fournisseur f par le site i à la période t .

QSC_{psit} : quantité du produit p achetée au sous-traitant s par le site i à la période t .

YSF_{pfit}^k : quantité du produit p transportée du fournisseur f vers le site i en utilisant le mode de transport k à la période t .

$YSCF_{psit}^k$: quantité du produit p transportée du sous-traitant s vers le site i en utilisant le mode de transport k à la période t .

Chapitre 5

YF_{piit}^k : quantité du produit p transportée du site i vers le site i' en utilisant le mode de transport k à la période t .

YFC_{pict}^k : quantité du produit p transportée du site i vers le client c en utilisant le mode de transport k à la période t .

Lab_{jit} : nombre d'employés résidant dans la région j et travaillant au site i à la période t .

LH_{jit} : nombre d'employés résidant dans la région j recrutés par le site i à la période t .

LF_{jit} : nombre d'employés résidant dans la région j licenciés au site i à la période t .

LT_{jiit} : nombre d'employés résidant dans la région j transférés du site i au site i' à la période t .

- *Paramètres du modèle*

CM_{pait} : coût unitaire de transformation du produit p (**produit entrant**) par l'activité a au site i , à la période t .

CI_{pit} : coût unitaire de possession de stock du produit p au site i , à la période t .

CA_{pft} : coût unitaire d'acquisition du produit p chez le fournisseur f , à la période t .

CS_{pst} : coût unitaire d'acquisition du produit p chez le sous-traitant s , à la période t .

CTU_{pfit}^k : coût unitaire de transport (par kilomètre parcouru) du fournisseur f au site i avec le mode de transport k , à la période t .

CTU_{psit}^k : coût unitaire de transport (par kilomètre parcouru) du produit p du sous-traitant f au site i avec le mode de transport k , à la période t .

CTU_{piit}^k : le coût unitaire de transport (par kilomètre parcouru) du produit p entre le site i et le site i' avec le mode de transport k , à la période t .

CTU_{pict}^k : coût unitaire de transport (par kilomètre parcouru) du produit p du site i au client c avec le mode de transport k , à la période t .

CL_t : coût unitaire de la main d'œuvre, à la période t .

β_{ap} : facteur d'émission de GES de l'activité a par unité de produit p transformée (**produit entrant**) (en tonnes équivalent CO₂).

μ_{kp} : facteur d'émission de GES du mode de transport k pour une unité de poids du produit p transporté et par kilomètre parcouru (en tonnes équivalent CO₂/kg.km).

α : facteur d'émission de GES d'une personne par kilomètre parcouru (en tonnes équivalent CO₂/km).

L_a : quantité de main d'œuvre nécessaire pour une heure machine de l'activité a (en heures).

$LUCap_t$: capacité d'un employé à la période t (en nombre d'heures).

D_{pct} : demande du produit p par le client c , à la période t .

Cap_{ait} : capacité de l'activité a en nombre d'heures au site i à la période t .

$ICap_{it}$: capacité de stockage (en volume) du site i , à la période t .

- I_{pit}^{min} : quantité de stock minimum du produit p au site i à la fin de la période t .
- I_{pi}^{init} : stock initial du produit p au site i .
- $SCap_{pft}$: capacité du fournisseur f pour le produit p , à la période t (en quantité de produits).
- $SCCap_{pst}$: capacité du sous-traitant s pour le produit p , à la période t (quantité de produits).
- θ_{pra}^{in} : capacité de l'activité a (en nombre d'heures) requise pour transformer une unité du produit p en utilisant la recette r .
- τ_{rapr} : quantité du produit p fabriqué (produit sortant) par l'activité a en utilisant la recette r à partir d'une unité du produit p' (produit entrant).
- $LabCap_j$: capacité en main d'œuvre de la région j , à la période t (en nombre d'employés).
- Lab_{ji}^{init} : nombre initial d'employés résidant dans la région j et travaillant au site i .
- $VtrCap^k$: capacité de transport du mode k en volume.
- $MtrCap^k$: capacité de transport du mode k en poids.
- d_{fi}^k : distance entre le fournisseur f et le site i en utilisant le mode de transport k .
- d_{si}^k : distance entre le sous-traitant s et le site i en utilisant le mode de transport k .
- $d_{ii'}^k$: distance entre le site i et le site i' en utilisant le mode de transport k .
- d_{ic}^k : distance entre le site i et le client c en utilisant le mode de transport k .
- dRS_{ji} : distance entre la région j et le site i .
- ρ_p : volume d'une unité du produit p .
- ν_p : poids d'une unité produit p .

• *Fonctions objectifs*

✓ *Objectif économique : minimisation des coûts (PF)*

$$\begin{aligned}
 F_1 = \sum_t [& \sum_{i \in F} (\sum_{a \in As(i)} \sum_{r \in CPa(a)} \sum_{p \in Pr^{in}(r)} \mathbf{CM}_{pait} \cdot \mathbf{X}_{prait} \\
 & + CL_t \sum_{j \in RS(i)} Lab_{jit} + \sum_{p \in P} CI_{pit} \cdot I_{pit}) + \sum_{f \in S} \sum_{p \in RM} CA_{pft} \sum_{i \in F} QS_{pfit} \\
 & + \sum_{s \in SC} \sum_{p \in OMP_{sf}} CS_{pst} \sum_{i \in F} QSC_{psit} \\
 & + \sum_{k \in KSF} \sum_{f \in S} \sum_{i \in F} d_{fi}^k \sum_{p \in RM} CTU_{pfit}^k \cdot \rho_p \cdot YSF_{pfit}^k \\
 & + \sum_{k \in KSCF} \sum_{s \in SC} \sum_{i \in F} d_{si}^k \sum_{p \in OMP_{sf}} CTU_{psit}^k \cdot \rho_p \cdot YSCF_{psit}^k \\
 & + \sum_{k \in KFF} \sum_{i \in F} \sum_{i' \in F} i' \neq i d_{ii'}^k \sum_{p \in MP_{sf}} CTU_{pii't}^k \cdot \rho_p \cdot YF_{pii't}^k \\
 & + \sum_{k \in KFC} \sum_{i \in F} \sum_{c \in C} d_{ic}^k \sum_{p \in MP_f} CTU_{pict}^k \cdot \rho_p \cdot YFC_{pict}^k] \quad (1)
 \end{aligned}$$

✓ *Objectif environnemental : minimisation des GES (GES)*

$$\begin{aligned}
 F_2 = & \sum_t [\sum_{i \in F} (\sum_{a \in As(i)} \sum_{r \in CPa(a)} \sum_{p \in Pr^{in}(r)} \beta_{ap} \cdot \mathbf{X}_{prait} + \alpha \sum_{j \in RS(i)} dRS_{ji} Lab_{jit}) \\
 & + \sum_{k \in KSF} \sum_{f \in S} \sum_{i \in F} d_{fi}^k \sum_{p \in RM} \mu_{kp} \cdot \nu_p \cdot YSF_{pfit}^k \\
 & + \sum_{k \in KSCF} \sum_{s \in SC} \sum_{i \in F} d_{si}^k \sum_{p \in OMP_{sf}} \mu_{kp} \cdot \nu_p \cdot YSCF_{psit}^k
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \sum_{k \in KFF} \sum_{i \in F} \sum_{i' \in F, i' \neq i} d_{ii'}^k \sum_{p \in MP_{sf}} \mu_{kp} \cdot \nu_p \cdot YF_{pii't}^k \\
 & + \sum_{k \in KFC} \sum_{i \in F} \sum_{c \in C} d_{ic}^k \sum_{p \in MP_f} \mu_{kp} \cdot \nu_p \cdot YFC_{pict}^k] \quad (2)
 \end{aligned}$$

✓ *Objectif social : Maximisation de l'emploi local (ER.1)*

$$F_{3'} = \sum_t \sum_{i \in F} \sum_{j \in RS(i)} dRS_{ji} Lab_{jit} \quad (3')$$

✓ *Objectif social : Maximisation de la stabilité de l'emploi (ER.2)*

$$F_3 = \sum_t \sum_{i \in F} \sum_{j \in RS(i)} (LH_{jit} + LF_{jit}) \quad (3)$$

- *Contraintes du modèle*

C'est essentiellement au niveau des contraintes que le cas divergent se différencie du cas convergent, plus précisément au niveau des contraintes liées à la conservation des flux de matières le long du réseau. Ici nous nous focalisons sur les quantités transformées par les activités, autrement dit les produits entrants, et non plus sur les quantités fabriquées (i.e. les produits sortants) comme dans le cas convergent. Nous présentons d'abord l'ensemble des contraintes mathématiques suivies de commentaires explicatifs. Un exemple simple sera ensuite présenté pour illustrer la modélisation de la conservation des flux.

$$\sum_{r \in CPa(a)} \sum_{p \in Pr^{in}(r)} \theta_{pra}^{in} \cdot X_{prait} \leq Cap_{ait} \quad \forall i \in F, \quad \forall a \in As(i), \quad \forall t \in T \quad (4)$$

$$X_{prait} = 0 \quad \forall i \in F, \quad \forall a \in A \setminus As(i), \quad \forall r \in CPa(a), \quad \forall p \in Pr^{in}(r), \quad \forall t \in T \quad (5)$$

$$\sum_{p \in P} \rho_p \cdot I_{pit} \leq ICap_{it} \quad \forall i \in F, \quad \forall t \in T \quad (6)$$

$$I_{pit}^{min} \leq I_{pit} \quad \forall p \in P, \quad \forall i \in F, \quad \forall t \in T \quad (7)$$

$$\sum_{j \in RS(i)} Lab_{jit} = \left(\sum_{a \in As(i)} L_a \sum_{r \in CPa(a)} \sum_{p \in Pr^{in}(r)} \theta_{pra}^{in} \cdot X_{prait} \right) / LUCap_t \quad \forall i \in F, \quad \forall t \in T \quad (8)$$

$$\sum_{j \in R \setminus RS(i)} Lab_{jit} = 0 \quad \forall i \in F, \quad \forall t \in T \quad (9)$$

$$Lab_{ji1} = Lab_{ji}^{init} + LH_{ji1} + \sum_{i' \in SR(j), i' \neq i} LT_{ji'i1} - LF_{ji1} - \sum_{i' \in SR(j), i' \neq i} LT_{jii'1} \quad \forall j \in R, \quad \forall i \in SR(j) \quad (10)$$

$$Lab_{jit} = Lab_{ji(t-1)} + LH_{jit} + \sum_{i' \in SR(j), i' \neq i} LT_{ji'it} - LF_{jit} - \sum_{i' \in SR(j), i' \neq i} LT_{jii't} \quad \forall j \in R, \quad \forall i \in SR(j), \quad \forall t \in T \setminus 1 \quad (11)$$

$$LF_{ji1} + \sum_{i' \in SR(j), i' \neq i} LT_{jii'1} \leq Lab_{ji}^{init} \quad \forall j \in R, \quad \forall i \in SR(j) \quad (12)$$

$$LF_{jit} + \sum_{i' \in SR(j), i' \neq i} LT_{jii't} \leq Lab_{ji(t-1)} \quad \forall j \in R, \quad \forall i \in SR(j), \quad \forall t \in T \setminus 1 \quad (13)$$

$$\sum_{i \in SR(j)} Lab_{jit} \leq LabCap_j \quad \forall j \in R, \quad \forall t \in T \quad (14)$$

$$QS_{pfit} = \sum_{k \in KSF} YSF_{pfit}^k \quad \forall p \in RM, \quad \forall f \in S, \quad \forall i \in F, \quad \forall t \in T \quad (15)$$

$$QSC_{psit} = \sum_{k \in KSCF} YSCF_{psit}^k \quad \forall p \in OMP_{sf}, \forall s \in SC, \forall i \in F, \forall t \in T \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \sum_{f \in S} QS_{pfi1} + I_{pi}^{init} &= \sum_{r \in CPin(p)} \sum_{a \in As(i) \cap ACP(r)} X_{prai1} + I_{pi1} \\ \forall p \in RM, \forall i \in F \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \sum_{f \in S} QS_{pfit} + I_{pi(t-1)} &= \sum_{r \in CPin(p)} \sum_{a \in As(i) \cap ACP(r)} X_{prait} + I_{pit} \\ \forall p \in RM, \forall i \in F, \forall t \in T \setminus 1 \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} &\sum_{k \in KFF} \sum_{i' \in F, i' \neq i} YF_{pi'i1}^k \\ &+ \sum_{r \in CPout(p)} \sum_{a \in As(i) \cap ACP(r)} \sum_{p' \in MPin(p)} \tau_{rap'p} \cdot X_{p'rai1} + I_{pi}^{init} \\ &= \sum_{r \in CPin(p)} \sum_{a \in As(i) \cap ACP(r)} X_{prai1} + \sum_{k \in KFF} \sum_{i'} YF_{pii'1}^k + I_{pi1} \\ \forall p \in MP_{sf} \setminus OMP_{sf}, \forall i \in F \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} &\sum_{k \in KFF} \sum_{i' \in F, i' \neq i} YF_{pi'it}^k \\ &+ \sum_{r \in CPout(p)} \sum_{a \in As(i) \cap ACP(r)} \sum_{p' \in MPin(p)} \tau_{rap'p} \cdot X_{p'rait} + I_{pi(t-1)} \\ &= \sum_{r \in CPin(p)} \sum_{a \in As(i) \cap ACP(r)} X_{prait} + \sum_{k \in KFF} \sum_{i'} YF_{pii't}^k + I_{pit} \\ \forall p \in MP_{sf} \setminus OMP_{sf}, \forall i \in F, \forall t \in T \setminus 1 \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} &\sum_{k \in KFF} \sum_{i' \in F, i' \neq i} YF_{pi'i1}^k \\ &+ \sum_{r \in CPout(p)} \sum_{a \in As(i) \cap ACP(r)} \sum_{p' \in MPin(p)} \tau_{rap'p} \cdot X_{p'rai1} + \sum_{s \in SC} QSC_{psi1} \\ &+ I_{pi}^{init} = \sum_{r \in CPin(p)} \sum_{a \in As(i) \cap ACP(r)} X_{prai1} + \sum_{k \in KFF} \sum_{i'} YF_{pii'1}^k + I_{pi1} \\ \forall p \in OMP_{sf}, \forall i \in F \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} &\sum_{k \in KFF} \sum_{i' \in F, i' \neq i} YF_{pi'it}^k + \\ &\sum_{r \in CPout(p)} \sum_{a \in As(i) \cap ACP(r)} \sum_{p' \in MPin(p)} \tau_{rap'p} \cdot X_{p'rait} + \sum_{s \in SC} QSC_{psit} \\ &+ I_{pi(t-1)} = \sum_{r \in CPin(p)} \sum_{a \in As(i) \cap ACP(r)} X_{prait} + \sum_{k \in KFF} \sum_{i'} YF_{pii't}^k + I_{pit} \\ \forall p \in OMP_{sf}, \forall i \in F, \forall t \in T \setminus 1 \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} &\sum_{r \in RCPout(p)} \sum_{a \in As(i) \cap ACP(r)} \sum_{p' \in MPin(p)} \tau_{rap'p} \cdot X_{p'rai1} + I_{pi}^{init} \\ &= \sum_{k \in KFC} \sum_{c \in C} YFC_{pic1}^k + I_{pi1} \quad \forall p \in MP_f, \forall i \in F \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} &\sum_{r \in CPout(p)} \sum_{a \in As(i) \cap ACP(r)} \sum_{p' \in MPin(p)} \tau_{rap'p} \cdot X_{p'rait} + I_{pi(t-1)} \\ &= \sum_{k \in KFC} \sum_{c \in C} YFC_{pict}^k + I_{pit} \quad \forall p \in MP_f, \forall i \in F, \forall t \in T \setminus 1 \end{aligned} \quad (24)$$

$$\sum_{k \in KFC} \sum_{i \in F} YFC_{pict}^k = D_{pct} \quad \forall c \in C, \forall p \in MP_f, \forall t \in T \quad (25)$$

$$\sum_{i \in F} QS_{pfit} \leq SCap_{pft} \quad \forall p \in RM, \forall f \in S, \forall t \in T \quad (26)$$

$$\sum_{i \in F} QSC_{psit} \leq SCCap_{pst} \quad \forall p \in OMP_{sf}, \forall s \in SC, \forall t \in T \quad (27)$$

$$\sum_p \rho_p \cdot YFC_{pict}^k \leq VtrCap^k \quad \forall i \in F, \forall c \in C, \forall k \in KFC, \forall t \in T \quad (28)$$

$$\sum_p \rho_p \cdot YF_{pii't}^k \leq VtrCap^k \quad \forall i \in F, \quad \forall i' \in F, i \neq i', \quad \forall k \in KFF, \quad \forall t \in T \quad (29)$$

$$\sum_p \rho_p \cdot YSF_{pfit}^k \leq VtrCap^k \quad \forall f \in S, \quad \forall i \in F, \quad \forall k \in KSF, \quad \forall t \in T \quad (30)$$

$$\sum_p \rho_p \cdot YSCF_{psit}^k \leq VtrCap^k \quad \forall s \in SC, \quad \forall i \in F, \quad \forall k \in KSCF, \quad \forall t \in T \quad (31)$$

$$\sum_p \nu_p \cdot YFC_{pict}^k \leq MtrCap^k \quad \forall i \in F, \quad \forall c \in C, \quad \forall k \in KFC, \quad \forall t \in T \quad (32)$$

$$\sum_p \nu_p \cdot YF_{piit}^k \leq MtrCap^k \quad \forall i \in F, \quad \forall i' \in F, i \neq i', \quad \forall k \in KFF, \quad \forall t \in T \quad (33)$$

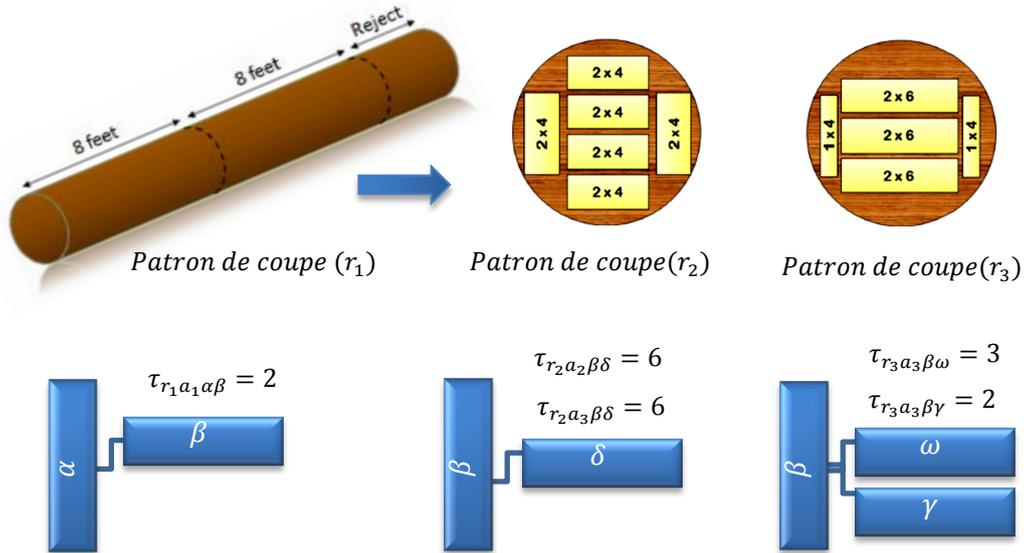
$$\sum_p \nu_p \cdot YSF_{pfit}^k \leq MtrCap^k \quad \forall f \in S, \quad \forall i \in F, \quad \forall k \in KSF, \quad \forall t \in T \quad (34)$$

$$\sum_p \nu_p \cdot YSCF_{psit}^k \leq MtrCap^k \quad \forall s \in SC, \quad \forall i \in F, \quad \forall k \in KSCF, \quad \forall t \in T \quad (35)$$

$$X_{prait}, I_{pit}, QS_{pfit}, QSC_{psit}, YSF_{pfit}^k, YSCF_{psit}^k, YF_{piit}^k, YFC_{pict}^k, LH_{jit}, LF_{jit}, Lab_{jit}, LT_{jiit} \geq 0 \quad (36)$$

L'ensemble des contraintes (4) précisent que la capacité de production disponible est limitée. L'ensemble des contraintes (5) indiquent qu'aucun produit (entrant) ne peut être consommé dans un site si l'activité qui le transforme n'y est pas implantée. L'ensemble des contraintes (6) précisent que la capacité de stockage est limitée, et l'ensemble des contraintes (7) qu'une quantité de stock minimum doit être disponible à la fin de chaque période. Les équations (8) spécifient que le nombre d'employés travaillant dans chaque site doit couvrir la totalité de la charge de travail. Les contraintes (9) précisent qu'un site donné ne peut recruter que dans les régions qui lui sont assignées. Les ensembles de contraintes (10) et (11) précisent pour chaque période, le nombre d'employés résidant dans une région donnée et travaillant à un site. Les ensembles de contraintes (12) et (13) spécifient que le nombre total d'employés licenciés ou transférés vers d'autres sites pendant une période ne peut dépasser le nombre total d'employés travaillant à ce site à la période précédente. Les contraintes (14) précisent que le nombre d'employés recrutés dans chaque région ne doit pas dépasser la capacité disponible dans cette région. Les contraintes de (15) à (25) garantissent la conservation des flux de produits le long du réseau logistique tout en satisfaisant le demande des clients (contraintes (25)) et en respectant la capacité des fournisseurs et des sous-traitants (contraintes (26) et (27) respectivement) : les ensembles de contraintes (17) et (18) modélisent le flux des matières premières entre les fournisseurs et les sites de production tandis que les ensembles de contraintes (19) et (20) modélisent les flux des produits non sous-traitables entre les sites. Quant aux ensembles de contraintes (21) et (22), ils spécifient le flux des produits sous-traitables échangés entre les sites. Enfin, les contraintes (23) et (24) représentent les flux des produits finis entre les sites de production et les clients. Le réseau logistique présenté dans la figure 5.5 retrace pas à pas les flux de matières, du fournisseur jusqu'au client. Nous avons pour ce faire, considéré un exemple d'activités et de produits inspiré de l'industrie

du bois d'œuvre (Figure 5.4). Dans un souci de simplicité, nous avons retenu uniquement les activités de tronçonnage et de sciage pour cet exemple.



α : tige, β : billot 8 pieds, δ : planche 2x4 pieds, ω : planche 2x6 pieds, γ : planche 1x4 pieds

Figure 5.4 : Un exemple inspiré de l'industrie du bois d'œuvre avec deux procédés divergents

Nous avons considéré des tiges (α) achetées chez un fournisseur (f) (l'Etat par exemple, via la collecte du bois dans la forêt), 2 sites (i_1) et (i_2) où les tiges sont d'abord tronçonnées en utilisant une activité (technologie) (a_1) présentant un seul plan de coupe (1 recette) (r_1) qui permet d'obtenir un seul type de billots (β) (nous négligeons ici les rejets, qui sont normalement transformés en copeaux ou en biomasse). Ce type de billots peut également être fourni par un sous-traitant (s). Les billots sont alors sciés en utilisant l'activité (a_2) implantée dans le site (i_1) et l'activité (a_3) implantée dans le site (i_2). Un patron de sciage (r_2) est applicable en utilisant (a_2) et 2 patrons de coupe (r_2) et (r_3) sont applicables en utilisant (a_3). Un seul type de planche (δ) est obtenu en utilisant (r_2) et 2 types (ω) et (γ) sont obtenus en utilisant (a_3). Différents modes de transport (k) peuvent par ailleurs être utilisés entre les maillons du réseau. Les produits finis (i.e. les planches) (δ), (ω), et (γ) sont transportés vers 3 clients (c_1), (c_2), et (c_3) (Figure 5.5).

Les contraintes de (28) à (31) précisent que la capacité de transport en termes de volume est limitée alors les contraintes (32) to (35) limitent la capacité de transport en termes de poids. Finalement, les contraintes (36) précisent que toutes les variables de décision sont continues et positives.

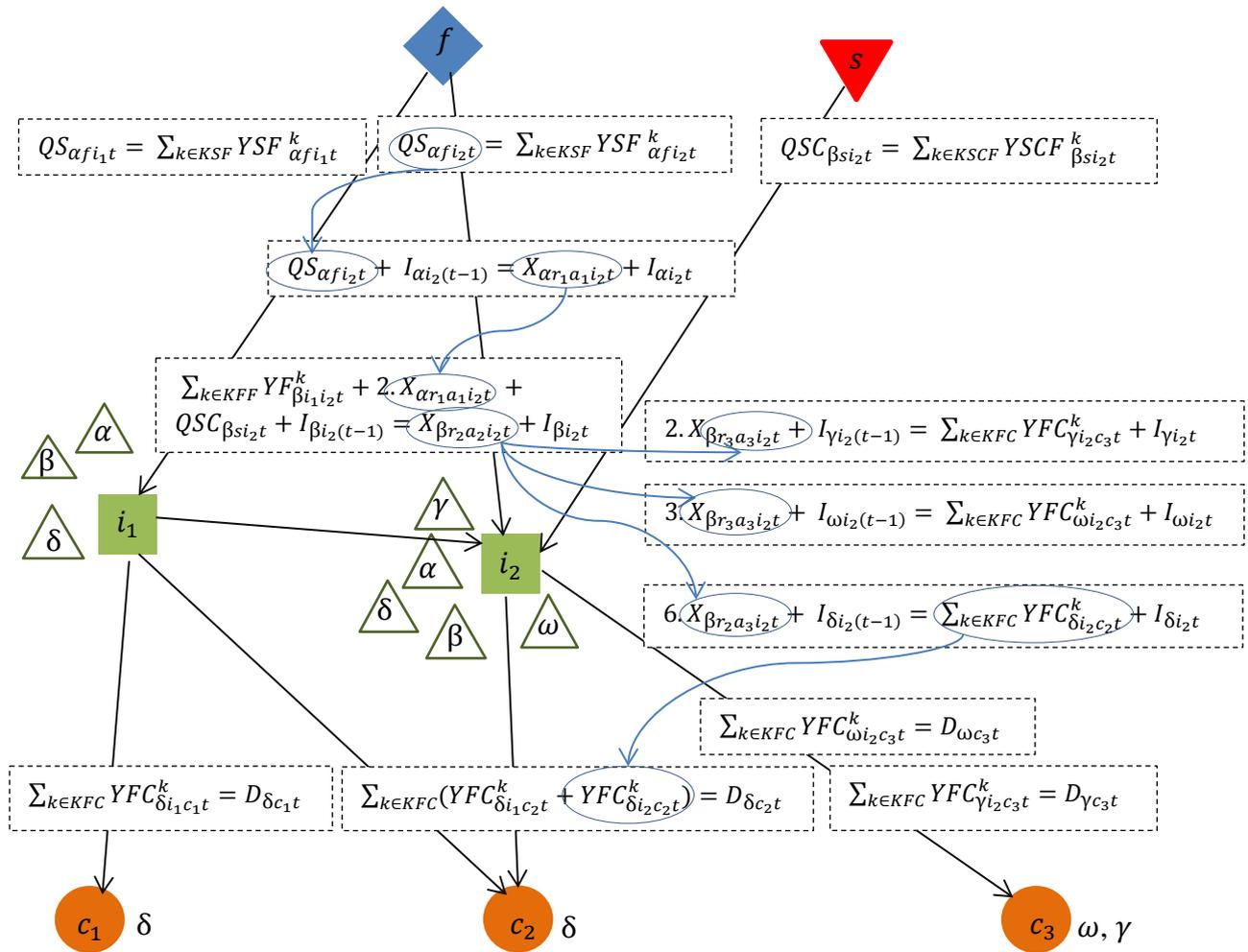


Figure 5.5 : Les flux de matières le long d'un réseau logistique: cas de processus divergents

5.3 Etude de cas : « Virtu@l Lumber »

Afin de valider notre formulation mathématique (et notre approche intégrée), nous avons considéré un cas d'application issu de l'industrie québécoise du bois d'œuvre. Il s'agit d'un cas virtuel mais réaliste ; « Virtu@l Lumber » développé par Vila (2006) conjointement avec les trois plus grands acteurs canadiens de l'industrie du bois d'œuvre (Domtar, Kruger et Tembec), deux centres de recherche canadiens sur l'industrie forestière (FOR@c et Forintek) et le MRNF (Vila *et al.*, 2006). Nous avons exploité la base de données du cas Virtu@l Lumber²⁴ ainsi que d'autres données mises à disposition par le For@c, la plateforme Logilab²⁵, notamment, et le site du MRNF. Nous avons dû mettre à jour certaines données

²⁴ La base de données est disponible au For@c.

²⁵ Logilab est un logiciel développé par le For@c qui permet de modéliser et d'optimiser un réseau logistique à partir de la forêt jusqu'au client final, en minimisant les coûts ou en maximisant les profits.

liées aux coûts par exemple, omettre certaines données peu pertinentes, et en rajouter d'autres telles que la consommation des technologies en ressources humaines, les coefficients de génération de GES, etc. qui étaient inexistantes dans la base. Notre démarche était orientée de manière à obtenir un niveau d'abstraction qui soit un bon équilibre entre réalisme et simplicité (Vila , 2006).

5.3.1 Description du cas d'étude et modélisation avec un réseau d'activités

Nous avons considéré un réseau logistique constitué de 3 scieries québécoises s'approvisionnant à partir de 3 forêts (fournisseurs) et de 2 sous-traitants potentiels. Nous avons en effet pris en compte les deux modes de collecte du bois, en régie (exploitation directe de la forêt) ou sous contrat (sollicitation d'entrepreneurs forestiers). Nous avons par ailleurs considéré 5 clients dont une papetière québécoise pour les copeaux et 2 clients américains ainsi que 2 autres clients canadiens pour le bois d'œuvre. Pour pouvoir étudier l'impact environnemental et économique lié au transport, nous avons envisagé deux modes possibles : le camion et/ou le train, et ce pour chacun des couples (forêt-scierie), (sous-traitant-scierie), (scierie-scierie) et (scierie-client). Pour simplifier le processus de production tout en capturant les caractéristiques importantes des scieries, nous avons retenu quatre procédés clés : le tronçonnage, le sciage, le déchiquetage et le séchage. Il nous a semblé par ailleurs pertinent de prendre en compte l'inventaire de la matière première et des produits intermédiaires et finis en raison des coûts élevés de possession de stock d'une part et de la saisonnalité de la demande et des approvisionnement, d'autre part. Une fois la structure du réseau spécifiée et les procédés clés définis, nous avons identifié :

- les technologies alternatives pour chaque procédé,
- les patrons de coupes possibles pour chaque technologie,
- les produits intrants et sortants,
- les coefficients de rendement lié à l'utilisation des différents patrons de coupe,
- les capacités d'approvisionnement, de production, de stockage, de transport et de main d'œuvre,
- les coûts d'approvisionnement, de production, de stockage et de transport,
- les coefficients d'émission de GES,
- les régions de recrutement des employés,
- la demande de chaque client pour chaque produit,
- etc.

Concernant les régions de recrutement des employés, nous en avons défini 3 à 6 par site. Nous avons considéré pour ce faire des régions situées autour des scieries et des forêts (rayons de 0 à 60 km).

Nous décrivons maintenant le système de production mis en œuvre dans la chaîne logistique de manière plus détaillée, en modélisant la chaîne comme un réseau d'activités (Figure 5.6)

- *Modélisation de la chaîne logistique du bois d'œuvre comme un réseau d'activités*

L'activité de récolte (abattage, ébranchage et chargement des tiges de bois) se fait dans les trois forêts du réseau (Figure 5.6). L'activité de tronçonnage se fait partiellement et en totalité dans deux des 3 forêts (forêts 1 et 3 dans la figure 5.6, respectivement) tandis que dans la troisième forêt (forêt 2), seul l'abattage est réalisé. Les tiges et/ou billes sont alors acheminées vers les scieries (cours à bois) par camion et/ou par train. Au niveau des scieries, les tiges sont tronçonnées si elles ne l'ont pas été en forêt (scierie 2 et scierie 3). Pour l'activité de tronçonnage (réalisée en forêt ou dans la scierie), nous avons considéré une seule technologie et lui avons associé 3 patrons de coupes alternatifs. Un patron de coupe ne peut être appliqué qu'à certains types de tiges présentant une taille et un diamètre spécifiques. Nous avons constitué suivant ces deux derniers critères 5 catégories de tiges représentatives des types de tiges récoltées dans les forêts québécoises.

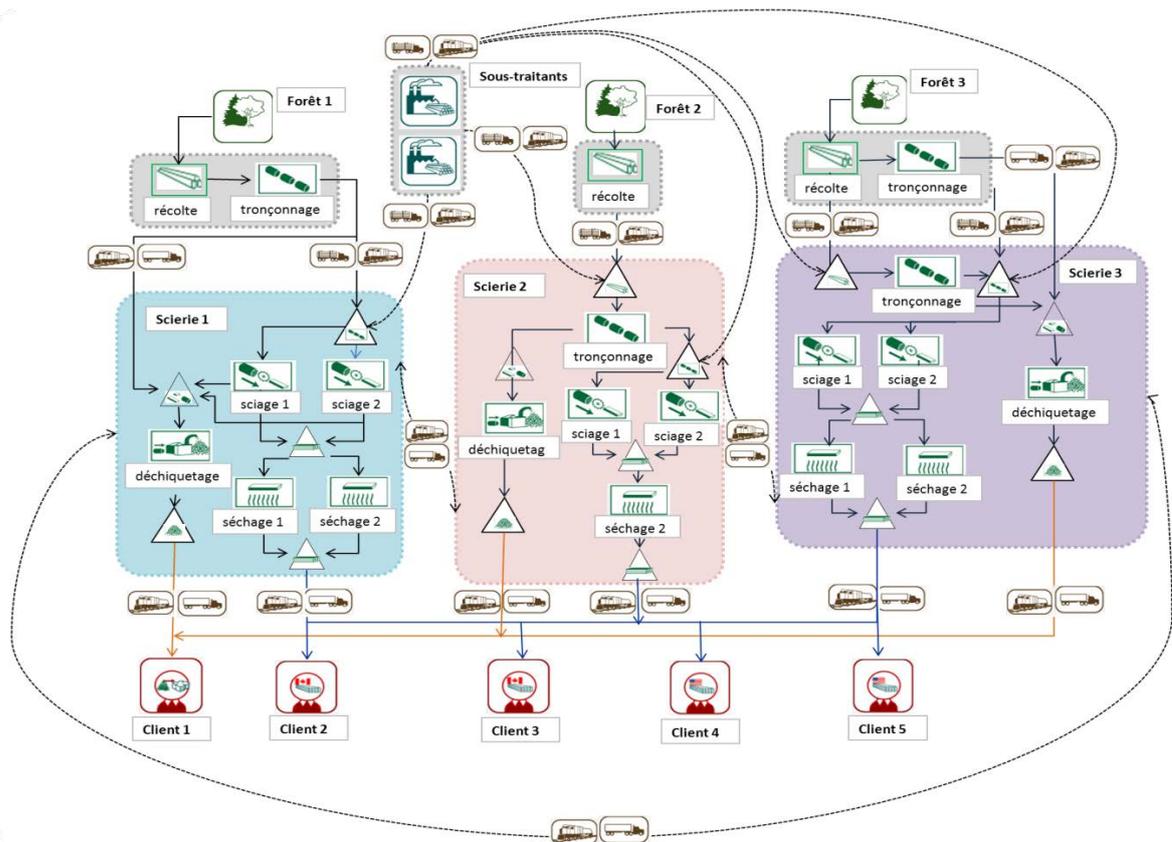


Figure 5.6 : Modélisation d'une chaîne logistique de l'industrie du bois d'œuvre par réseau d'activités

Suivant l'ensemble des patrons de coupe pouvant être appliqués, 6 catégories de billes au total peuvent être obtenues. Deux technologies alternatives peuvent alors être utilisées pour scier les billes. Nous avons associé à la première 5 patrons de coupe possibles et à la seconde 4. Ici encore, le choix d'un patron de coupe dépend des caractéristiques des billes en entrée (taille, diamètre, etc.). Lors du tronçonnage et du sciage, des résidus peuvent être générés, ceux-ci sont utilisés pour obtenir des copeaux (activité de déchetage). Les planches de bois obtenues à l'issue du sciage peuvent présenter 6 dimensions différentes. Celles-ci sont ensuite séchées suivant 2 procédés alternatifs dans 2 des 3 scieries (scierie 1 et scierie 3) et suivant 1 procédé dans la troisième. Le premier procédé (scierie 1 et scierie 3) consiste à diminuer la teneur en humidité du bois à l'air libre suivi d'une seconde déshumidification à l'intérieur d'un grand séchoir. Suivant le second procédé (scieries 1, 2 et 3), seul le séchage en séchoir est réalisé. Un stock en entrée et en sortie de chaque activité est considéré au niveau des scieries. Les 3 forêts et les 2 fournisseurs potentiels peuvent approvisionner l'ensemble des 3 scieries. Par ailleurs, les échanges de produits intermédiaires (billes, bois vert et résidus) entre scieries sont permis et l'ensemble des clients peuvent être livrés en camion et/ou en train à partir de n'importe quel site.

5.3.2 Calculs et expérimentations

Plusieurs techniques de résolution des problèmes multi-objectifs existent dans la littérature. Les plus communément utilisés sont : la somme pondérée (SP), le goal programming (GP) et le ϵ -constraint (Boukherroub *et al.*, 2012b). Nous avons résolu notre programme mathématique (cas divergent) en utilisant les deux premières techniques. Dans un premier temps nous avons considéré uniquement l'objectif économique (F_1) : minimisation des coûts) et l'objectif environnemental (F_2) : minimisation des émissions de GES et maximisation de l'emploi local) en utilisant la méthode de la SP (Boukherroub *et al.*, 2013a). Dans un second temps, nous avons résolu le modèle en prenant en compte l'ensemble des trois objectifs, économique, environnemental et social (F_3) : maximisation de la stabilité de l'emploi), à l'aide de la méthode du GP (Boukherroub *et al.*, 2013b).

Pour réaliser nos expérimentations nous avons considéré un horizon de planification de 18 mois avec 6 périodes, chacune présentant une durée de 3 mois. Nous avons ainsi pris en compte la saisonnalité de la demande et de l'approvisionnement. Nous avons implémenté notre programme mathématique en utilisant CPLEX OPL 12.2 et réalisé toutes nos expérimentations sur une machine munie d'un processeur Intel-Pentium M PC à 1.73 Ghz et 2 GB de mémoire RAM.

5.3.2.1 Résolution avec la méthode de la somme pondérée

Le principe de la SP consiste à agréger l'ensemble des fonctions objectifs en une seule fonction en associant un poids à chacun des objectifs. On se ramène alors à un

problème d'optimisation mono-objectif. Les poids peuvent être choisis à priori par le décideur, s'il a une idée précise de ses préférences vis-à-vis des objectifs. Dans notre cas, nous supposons que le décideur ne dispose pas de suffisamment d'informations lui permettant d'exprimer ses préférences a priori. Nous adoptons alors une démarche de recherche, a posteriori, de la solution. Nous offrons ainsi au décideur, la possibilité d'explorer un éventail plus large de solutions potentielles. Pour ce faire, nous faisons varier les valeurs des poids associés aux objectifs. Il est à noter qu'il n'a pas été nécessaire de normaliser les 2 objectifs car leurs valeurs sont du même ordre de grandeur. Nous avons affecté un couple de poids (w_1, w_2) dont la somme est égale à 1 aux deux fonctions économique et environnementale (F_1) et (F_2) (respectivement) et avons fait varier chacun des 2 poids entre 0 et 1 en augmentant l'un et en diminuant l'autre simultanément avec un pas de 0.1. Quant à l'objectif social (F_3), nous lui avons associé un poids nul. La fonction objectif du modèle mathématique devient alors :

$$F_{SP} = w_1 \cdot F_1 + w_2 \cdot F_2 \tag{I}$$

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 5.1. La Figure 5.7 montre graphiquement les optimums de Pareto (valeur de l'objectif environnemental versus valeur de l'objectif économique, pour chaque couple de poids) et la figure 5.8 présente les écarts relatifs (en %) entre toutes les valeurs des objectifs économique et environnemental obtenues et les optimums respectifs (F_1^*) et (F_2^*) (voir Tableau 5.1). Nous avons calculé individuellement chacune des solutions en fonction des différents couples de poids. Nous avons alors réalisé cette opération 11 fois. Moins de 30 secondes furent nécessaires pour chaque calcul. Nous avons obtenu pour chaque itération, 14553 variables.

Tableau 5.1 : Solutions obtenues avec la méthode de la somme pondérée

w_1	F_1 (x10 ⁷ \$)	w_2	F_2 (x10 ⁷ kg éq.CO ₂)	$(F_1 - F_1^*) / F_1^*$ (%)	$(F_2 - F_2^*) / F_2^*$ (%)
1	2,5775*	0	20,474	0,00	10,08
0,9	2,5915	0,1	18,751	0,54	0,81
0,8	2,5969	0,2	18,724	0,75	0,67
0,7	2,6054	0,3	18,702	1,08	0,55
0,6	2,6189	0,4	18,674	1,61	0,40
0,5	2,6343	0,5	18,655	2,20	0,30
0,4	2,6724	0,6	18,625	3,68	0,13
0,3	2,7046	0,7	18,608	4,93	0,04
0,2	2,7098	0,8	18,606	5,13	0,03
0,1	2,7302	0,9	18,603	5,92	0,02
0	2,8877	1	18,600*	12,03	0,00

Ensemble 1

Ensemble 2

Ensemble 3

F_1^* et F_2^* sont les valeurs optimales de F_1 et F_2 (respectivement) quand les deux objectifs sont optimisés seuls, i.e. $w_1 = 1, w_2 = 0$ et $w_1 = 0, w_2 = 1$ (respectivement).

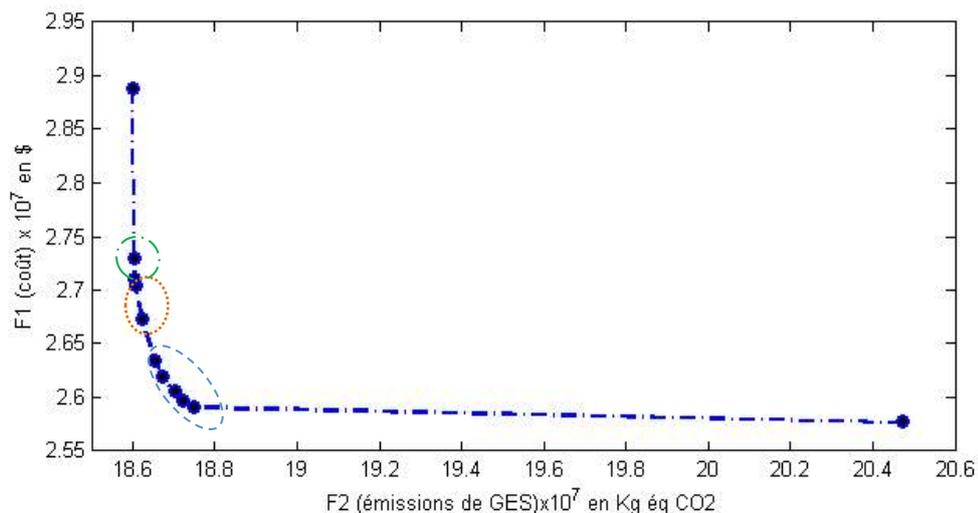


Figure 5.7 : Optimums de Pareto (méthode de la somme pondérée)

Toutes les solutions obtenues permettent de chiffrer en termes monétaires différents niveaux de performance environnementale de la chaîne logistique (niveaux de GES émis). Il est possible alors de choisir une solution en particulier qui reflète le compromis que souhaite opérer le décideur en fonction de sa stratégie ou de sa politique RSE. 2 solutions représentant 2 situations extrêmes peuvent être dégagées. La première correspond à la situation où l'on retient uniquement l'objectif économique ($w_1 = 1, w_2 = 0$) et la seconde à la situation où l'on retient uniquement l'objectif environnemental ($w_1 = 0, w_2 = 1$). En comparant ces 2 solutions, on s'aperçoit que les écarts relatifs entre les valeurs optimales des objectifs économique et environnemental ($w_1 = 1$ puis $w_2 = 1$) et leurs pires valeurs ($w_2 = 0$ puis $w_1 = 0$) sont quasiment de la même amplitude : 12.03% et 10.08%, respectivement (Tableau 5.1 et Figure 5.7).

Par ailleurs, en diminuant d'un pas le poids de l'objectif économique à partir de sa valeur optimale et en augmentant d'autre part du même pas le poids de l'objectif environnemental (Figure 5.8), on améliore significativement la valeur de l'objectif environnemental et on dégrade légèrement (0.54%) la valeur optimale de l'objectif économique. Cette solution peut être donc intéressante pour le décideur car une légère augmentation du coût apporte une nette amélioration de la performance environnementale. De la même manière, à partir de la valeur optimale de l'objectif environnemental, en passant d'un poids de 1 à 0.9 et d'un poids de 0 à 0.1 pour l'objectif économique, on détériore très légèrement la valeur de l'objectif environnemental (0.02%) tandis que la valeur de l'objectif économique est significativement améliorée (on passe d'un écart de 12.03% à un écart de 5.92%).

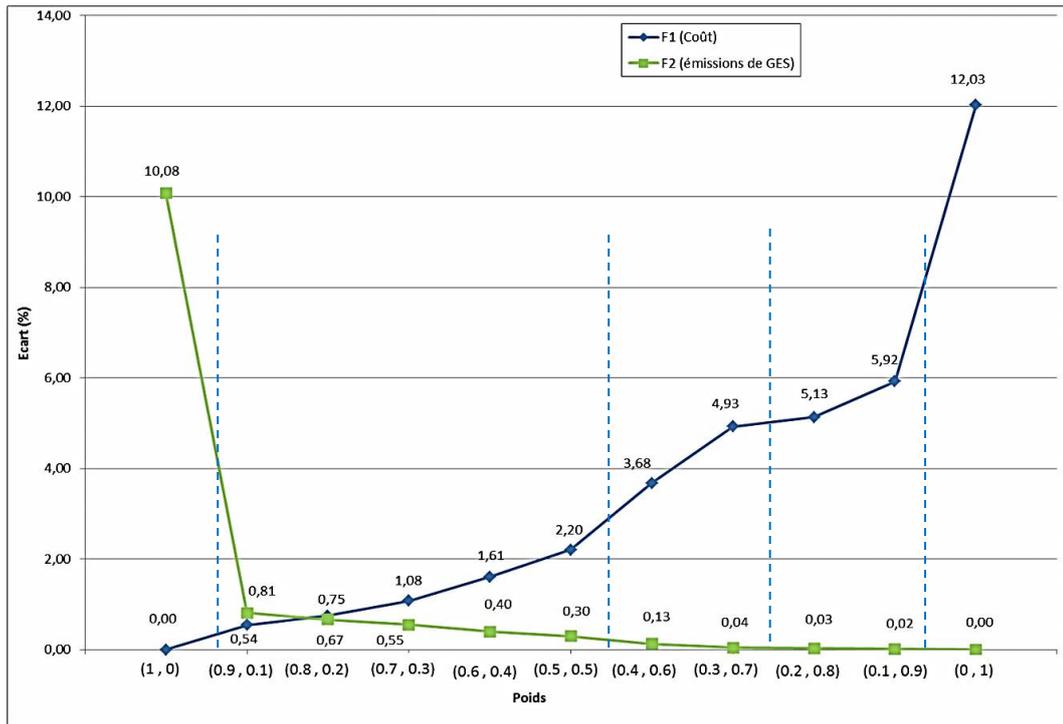


Figure 5.8 : Ecarts relatifs des optimums (méthode de la somme pondérée)

Mises à part les solutions extrêmes, globalement, on arrive à des niveaux de performance environnementale proches du niveau « idéal » (l'optimum) sans que ça ne coûte plus de 5.92% du coût minimum. Les solutions comprises entre les 2 solutions extrêmes peuvent être regroupées en trois sous-ensembles distincts (Tableau 5.1 et Figures 5.7, 5.8). Le premier contient les solutions qui améliorent de manière quasi-linéaire et décroissante (avec un pas de 0,13% en moyenne en termes d'écart relatif) la performance environnementale et qui dégradent simultanément de manière quasi-linéaire et croissante la performance économique. Ces solutions vont de $(2.5915 \times 10^7 \$; 18.751 \times 10^7 \text{ kg } \text{eq.CO}_2)$ à $(2.6343 \times 10^7 \$; 18.655 \times 10^7 \text{ kg } \text{eq.CO}_2)$. C'est sans doute l'ensemble qui contient les compromis entre performance économique et performance environnementale les « mieux équilibrées ». Le deuxième sous-ensemble contient 2 solutions qui marquent un « virage » dans l'évolution des valeurs des 2 objectifs. La valeur de l'objectif économique passe en effet brusquement d'un écart de 2.2% à un écart de 3.68%, puis de 3.68% à 4.93% ce qui est relativement élevé comparé aux détériorations présentées dans le premier sous-groupe. Quant à la valeur de l'objectif environnemental, elle se rapproche très vite de la valeur optimale. La détérioration et l'amélioration des 2 objectifs économique et environnemental (respectivement) sont ensuite moins marquées au niveau du troisième sous-groupe. Ces deux derniers groupes contiennent les solutions les moins bien équilibrées.

- *Remarque*

Ces conclusions qui s'appuient sur l'analyse des écarts relatifs doivent être prises avec précaution car leur valeur absolue peut représenter plusieurs millions de dollars ou plusieurs tonnes d'équivalent CO₂.

5.3.2.2 *Résolution avec la méthode du goal programming*

Le principe de la méthode du GP (ou but programmé) consiste à définir un but à atteindre pour chacune des fonctions objectifs et à minimiser ensuite la somme (pondérée) des déviations par rapport à chaque but (Charnes et Cooper, 1968).

Nous avons résolu à l'aide de la méthode du GP notre programme mathématique en considérant les 3 objectifs économique, environnemental et social (F_1, F_2, F_3 respectivement). Pour définir les buts à atteindre, nous avons calculé l'optimum (F_1^*, F_2^*, F_3^*) pour chaque fonction objectif, en considérant à chaque fois un seul objectif dans le modèle mathématique. Chaque but représente alors le niveau de performance idéal que le décideur souhaiterait atteindre. Il s'agit ensuite de chercher les solutions dont les niveaux de performance économique, environnementale et sociale se rapprochent le plus (ou s'éloignent le moins) des valeurs idéales (optimums).

Comme dans notre cas l'ordre de grandeur des valeurs prises par l'objectif social (plusieurs dizaines ou centaines d'employés) est très différent de celui des valeurs prises par les deux autres objectifs (plusieurs millions de dollars et plusieurs milliers de tonnes d'éq. CO₂), nous avons considéré des déviations normalisées :

$d_1 = \frac{F_1 - F_1^*}{F_{1,Sup} - F_1^*}$, $d_2 = \frac{F_2 - F_2^*}{F_{2,Sup} - F_2^*}$ et $d_3 = \frac{F_3 - F_3^*}{F_{3,Sup} - F_3^*}$ telles que : $d_1 \geq 0$, $d_2 \geq 0$, $d_3 \geq 0$ et ($F_{1,Sup}, F_{2,Sup}, F_{3,Sup}$) des bornes supérieures de (F_1, F_2, F_3) respectivement.

Celles-ci ont été calculées sur la base des « pires » valeurs obtenues pour chaque objectif (i.e. lorsque le poids associé est nul).

Les équations et inégalités précédents ont été rajoutées comme des nouvelles contraintes à notre formulation mathématique, tandis que la fonction objectif à optimiser devient la somme pondérée des déviations relatives. Nous adoptons ici également une approche de recherche des solutions potentielles, a posteriori, en associant différents poids aux 3 déviations économique, environnementale et sociale.

$$F_{GP} = w_1 d_1 + w_2 d_2 + w_3 d_3 \quad (\text{II})$$

Avec (w_1, w_2, w_3) un vecteur de poids tels que : $0 \leq w_1 \leq 1, 0 \leq w_2 \leq 1, 0 \leq w_3 \leq 1$ et $w_1 + w_2 + w_3 = 1$. Les valeurs des poids varient entre 0 et 1, avec un pas de 0.1. Nous avons généré l'ensemble des solutions (soit 66 en tout) en un seul calcul ce qui a nécessité 6 minutes de temps. Nous avons obtenu pour chaque itération, 14684 variables. Les optimums de Pareto obtenus sont présentés graphiquement dans la figure 5.9.

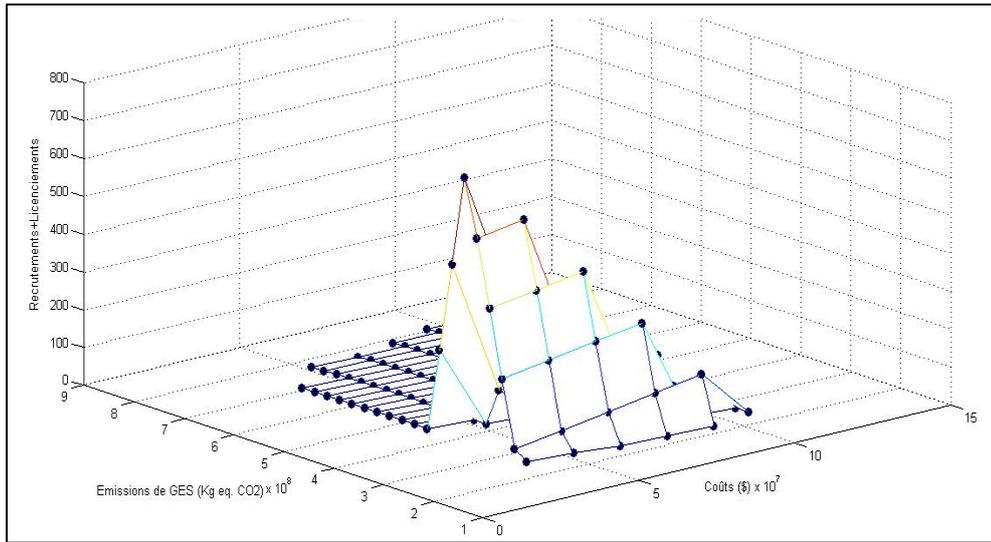


Figure 5.9 : Optimums de Pareto (objectifs économique, environnemental et social)

Le tableau des résultats (valeurs des optimums de Pareto et des déviations correspondantes) ainsi que le graphe représentant l'ensemble des déviations économiques, environnementales et sociales sont présentés dans les annexes 5A et 5B, respectivement. A titre d'exemple, nous avons zoomé sur l'intervalle : $0.1 \leq w_2 \leq 0.7, 0.1 \leq w_3 \leq 0.7$, tel que $w_1 = 0.2$ et $w_1 + w_2 + w_3 = 1$ comme le montre la figure 5.10.

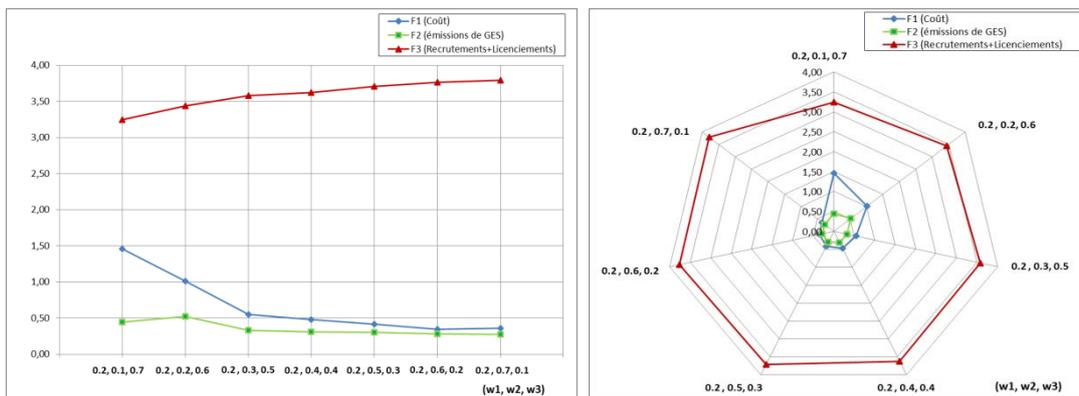


Figure 5.10 : Déviations (en %) par rapport aux valeurs optimales des objectifs économique, environnemental et social pour les combinaisons de poids $w_1 = 0.2, 0.1 \leq w_2 \leq 0.9, 0.1 \leq w_3 \leq 0.9, w_1 + w_2 + w_3 = 1$

Globalement, les solutions obtenues présentant de bons compromis. Sur la figure 5.10 par exemple, les déviations par rapport aux objectifs économique, environnemental et social sont comprises entre 0.35% et 1.46%, 0.27% et 0.52%, 3.24% et 3.79%, respectivement. Il est donc possible d'améliorer les performances environnementale et sociale sans que ça ne nécessite un surcoût excessif. Il est intéressant de noter que les déviations par rapport aux objectifs économique et environnemental sont plus faibles que les déviations par rapport à l'objectif social. De plus les déviations des objectifs économique et environnemental sont très proches.

Nous analysons maintenant les déviations par rapport aux valeurs optimales des objectifs économique, environnemental et social pris 2 à 2 (i.e. F_1 et F_2 puis F_1 et F_3 et enfin F_2 et F_3) en vue de représenter différentes stratégies de RSE (i.e. point de vue écologique, point de vue sociétal et point de vue socio-écologique). Pour ce faire nous associons un poids nul à l'objectif qu'on veut omettre et on fait varier les poids des 2 objectifs restants entre 0 et 1. Les figures 5.11, 5.12 et 5.13 illustrent les résultats obtenus.

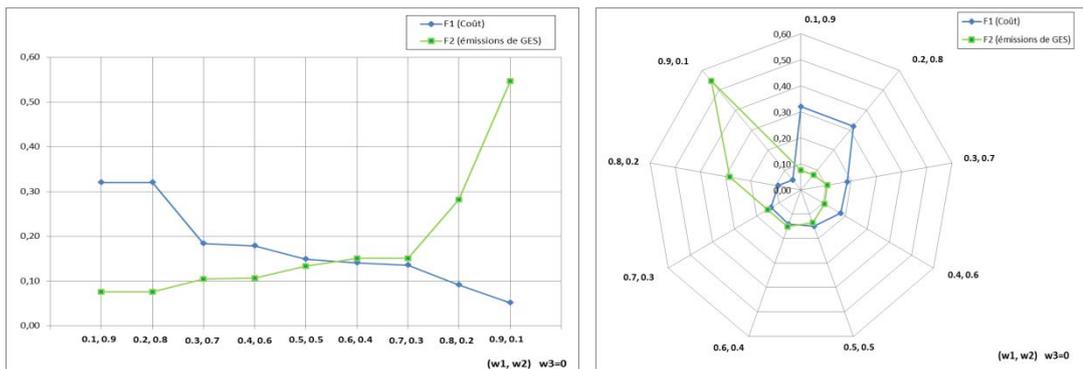


Figure 5.11 : Déviations (en %) par rapport aux valeurs optimales des objectifs économique et environnemental pour les combinaisons de poids : $0.1 \leq w_1 \leq 0.9$, $0.1 \leq w_2 \leq 0.9$, $w_1 + w_2 = 1$ ($w_3 = 0$)

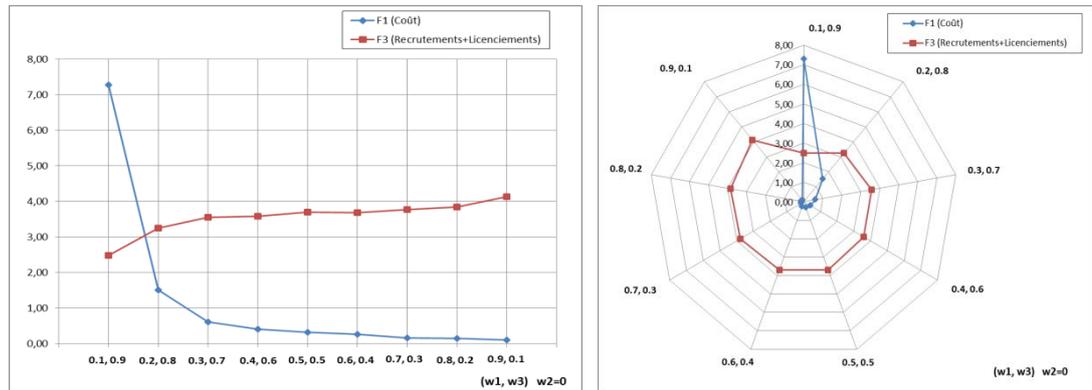


Figure 5.12 : Déviations (en %) par rapport aux valeurs optimales des objectifs économique et social pour les combinaisons de poids : $0.1 \leq w_1 \leq 0.9$, $0.1 \leq w_3 \leq 0.9$, $w_1 + w_3 = 1$ ($w_2 = 0$)

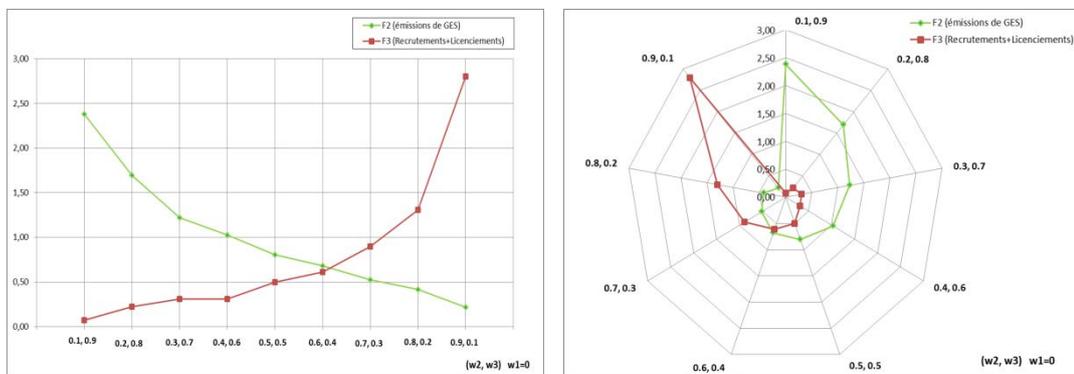


Figure 5.13 : Déviations (en %) par rapport aux valeurs optimales des objectifs environnemental et social pour les combinaisons de poids : $0.1 \leq w_2 \leq 0.9$, $0.1 \leq w_3 \leq 0.9$, $w_2 + w_3 = 1$ ($w_1 = 0$)

La figure 5.11 présentent de « bons » compromis entre les performances économique et environnementale. En effet les déviations varient entre 0,05% et 0,32% pour l’objectif économique, et entre 0,08% et 0,32% pour l’objectif environnemental. Il est à noter que nous n’avons pas représenté les valeurs extrêmes (i.e. $w_1 = 1, w_2 = 0$ et $w_1 = 0, w_2 = 1$). Nous relevons 3 solutions qui peuvent être particulièrement intéressantes pour le décideur. Elles correspondent à des solutions « éco-efficientes ». Elles présentent les déviations (0,149% ; 0,1336%), (0,140% ; 0,1509%) et (0,136% ; 0,1513%) pour les couples de poids (0,5 ; 0,5), (0,6 ; 0,4) et (0,7 ; 0,3) respectivement. Nous pouvons conclure que les performances économiques et environnemental, bien que globalement contradictoires, sont fortement « corrélées » entre elles. Ceci peut être expliqué par le fait que pour certaines activités de la chaîne logistique, le transport notamment, les deux performances vont dans le même sens, ce qui compense les situations où les 2 performances s’opposent. Si l’on considère le transport par exemple, les coûts et les émissions de GES augmentent tous les deux avec la distance parcourue. Nous

remarquons par ailleurs, que pour les mêmes poids, nous avons obtenu des solutions très différentes avec la méthode de la somme pondérée.

Quand on considère les 2 objectifs économique et social (Figure 5.12) on obtient des compromis peu équilibrés comparés à la situation précédente. En effet, alors que les déviations de l'objectif économique varient entre 0.10% et 7.28%, les déviations de l'objectif social varient entre 2.48% et 4.13%. On en conclut alors que les objectifs économique et social sont faiblement corrélés entre eux. En effet, dans notre formulation mathématique, nous n'avons pas considéré des coûts de licenciement et de recrutement. C'est une situation réaliste dans certains contextes, comme au Canada par exemple où ces coûts sont négligeables. Néanmoins, dans d'autres contextes (en France par exemple), ces coûts peuvent être conséquents. Il est très facile d'adapter notre modèle à cette situation, auquel cas, les objectifs économique et social (stabilité de l'emploi) devraient être mieux corrélés (la minimisation du nombre total de licenciements et de recrutements conduiraient à la minimisation des coûts et vice-versa).

Enfin, quand on considère uniquement les 2 objectifs environnemental et social (Figure 5.13), nous obtenons une situation intermédiaire au regard de la qualité des compromis, comparée aux deux situations précédentes. Les déviations par rapport à l'objectif environnemental varient entre 0.22% et 2.38% et les déviations par rapport à l'objectif social varient entre 0.07% et 2.80%. Les performances environnementale et sociale ne sont pas fortement corrélée entre elles, mais sont mieux corrélées que ne le sont les performances économique et sociale. Nous relevons 3 solutions présentant de bons compromis. Elles présentent les déviations (0.80% ; 0.50%), (0.68% ; 0.61%) et (0.52% ; 0.90%) correspondant respectivement aux couples de poids (0.5 ; 0.5), (0.6 ; 0.4) et (0.7 ; 0.3), respectivement.

Conclusion

Nous nous sommes intéressés dans ce chapitre à un cas industriel réaliste issu de la filière bois canadienne. Nous avons d'une part adapté notre modèle mathématique au cas de procédés de fabrication divergents (un à plusieurs) et validé par ailleurs notre approche et notre formulation mathématique. Nous avons montré comment la modélisation de la chaîne logistique par un réseau d'activités pouvait nous aider à mieux capturer les caractéristiques du système de production mis en œuvre et améliorer la qualité de la mesure de la performance. A l'issue de la résolution du modèle mathématique, à l'aide de la technique de la somme pondérée, puis du goal programming, nous avons montré qu'il était possible d'obtenir des solutions présentant plusieurs compromis. Nous avons analysé comment s'articulaient les performances économique, environnementale et sociale entre elles. Le décideur peut alors prendre une décision éclairée et adaptée à sa vision ou politique dans le cadre d'une démarche RSE.

Conclusions et perspectives de recherche

Conclusions

En réponse aux problèmes socio-environnementaux occasionnés par les activités industrielles, le passage aux technologies dites de rupture (i.e. technologies consommant moins d'énergie et générant moins de polluants, dont le développement et la mise au point créeraient de nouvelles compétences et généreraient des emplois) est l'une des solutions préconisées par les chercheurs et les instances gouvernementales. Néanmoins, bien que cette piste soit considérée comme une « *obligation vitale* », elle ne peut être mise en application que sur un horizon de temps lointain et incertain pour un coût financier élevé (Jolly, 2006). En attendant l'émergence de telles technologies, la réorganisation des activités industrielles et la mise en place d'un management des opérations différent nous paraît être une solution réaliste et à la portée des grands groupes et des petites et moyennes entreprises. Plus qu'une nécessité, « un effet de mode » et/ou une contrainte législative ou morale, la prise en compte des préoccupations environnementales et sociales dans la gestion des activités industrielles est aujourd'hui considérée par les entreprises visionnaires comme un instrument de différenciation vis-à-vis des clients mais également des autres parties prenantes (actionnaires, collectivités locales, salariés, Etat, etc.).

L'application des principes du développement durable à la gestion industrielle, autrement dit la RSE (Responsabilité Sociale des Entreprises) est néanmoins une tâche difficile. En ce sens, les entreprises disposent de très peu de connaissances et d'outils et les cabinets de conseils sont souvent désarmés face aux demandes des entreprises qui veulent s'engager dans la RSE. Nous avons eu l'opportunité de tâter le terrain à l'occasion des *Rencontres Bref Rhône-Alpes de l'Entreprise Responsable* qui ont réuni le 16 mai 2013 près de 250 professionnels et ce constat n'a fait que se renforcer. Côté recherche, bien que plusieurs travaux soient apparus dans la littérature ces dernières années, il existe encore à ce jour très peu de contributions qui ont abordé le problème de l'opérationnalisation du développement durable avec une perspective réellement intégrée, en prenant en compte l'ensemble des dimensions économique, environnementale et sociale. C'est dans ce contexte que nous avons mené nos travaux de thèse, entamés en octobre 2010.

Nous avons présenté nos travaux de recherche tout au long du mémoire, organisé autour de 5 chapitres. Dans le chapitre 1, nous avons exposé la problématique de recherche et précisé d'une part, les décisions de la chaîne logistique investies et d'autre part, les concepts du développement durable et de la RSE. Par ailleurs, en

Conclusions et perspectives de recherche

nous appuyant sur la littérature sur l'évaluation de la performance, nous avons caractérisé la performance durable et mis en évidence trois invariants de la mesure de la performance. Dans le chapitre 2, nous avons présenté 2 états de l'art : le premier sur les méthodes et modèles d'aide à la décision pour le problème de faire ou faire-faire et le second sur les modèles mathématiques pour la planification stratégique-tactique des chaînes logistiques durables. A l'issue de ce chapitre nous avons proposé une approche intégrée pour l'opérationnalisation de la performance durable en vue de la gestion des chaînes logistiques, aux niveaux de décisions stratégique, tactique et opérationnel, en nous appuyant sur les trois invariants de l'évaluation de la performance présentés au chapitre 1, et sur nos revues de la littérature.

Nous avons montré dans le chapitre 3 comment notre approche intégrée se décline au niveau stratégique et nous avons proposé un modèle d'aide à la décision multicritères pour l'internalisation/externalisation durable. Nous avons mobilisé, entre autres, la chaîne de valeur, le référentiel SCOR et la méthode AHP. Dans le chapitre 4, nous avons déployé notre approche au niveau de décisions stratégique-tactique et proposé un programme mathématique multi-objectifs pour le problème de configuration et d'exploitation optimale d'une chaîne logistique durable lequel a été résolu avec les méthodes de la somme pondérée et du goal programming.

Finalement, nous avons considéré dans le chapitre 5 le cas réaliste d'une chaîne logistique issue de l'industrie canadienne du bois d'œuvre, lequel nous a servi de cadre d'application pour notre programme mathématique. Nous avons résolu notre modèle facilement (temps de calcul très court) en mobilisant dans un premier temps la méthode de la somme pondérée et en considérant seuls les objectifs économique et environnemental. Dans un second temps, nous avons utilisé la technique du goal programming et avons considéré l'ensemble des objectifs économique, environnemental et social. Nous avons alors, dans les deux cas, obtenu plusieurs solutions présentant différents niveaux de performances économique et environnementale (premier cas) et sociale (second cas) (optimums de Pareto) permettant ainsi au décideur de choisir celle qui reflète le mieux le compromis qu'il souhaite faire, autrement dit, la stratégie RSE qu'il souhaite mettre en œuvre.

Apports académiques

Nos apports en termes de recherche peuvent être résumés comme suit :

1. Nous avons proposé une approche intégrée et générique pour l'opérationnalisation des principes du développement durable (spécification de critères de la performance durable, intégration avec les décisions de la chaîne logistique, mesure des performances économique, environnementale et sociale, niveau d'abstraction, etc.) en vue de la

Conclusions et perspectives de recherche

- gestion durable de la chaîne logistique, applicable aux niveaux de décisions stratégique, tactique et opérationnel.
2. Nous avons articulé des outils et des méthodes qualitatifs et quantitatifs issus de disciplines scientifiques différentes (management stratégique, sciences de gestion, recherche opérationnelle, informatique), en vue de répondre à des problématiques transverses, multidisciplinaires et multicritères, dans le cadre de l'approche intégrée mais aussi dans le cadre de notre proposition pour l'internalisation/externalisation durable et la planification stratégique-tactique durable de la chaîne logistique, contribuant ainsi à l'enrichissement des méthodes du Génie Industriel.
 3. Nous avons réalisé une revue de la littérature approfondie et systématique sur le problème de planification stratégique-tactique des chaînes logistiques durables et proposé des critères de classification centrés sur la performance durable de la chaîne logistique, en mettant l'accent sur les critères les plus investis et les indicateurs les plus communément utilisés ainsi que sur leur modélisation. Une telle revue de la littérature n'a pas été, à notre connaissance, présentée dans le domaine.
 4. Nous avons, dans le cadre de notre proposition pour l'internalisation/externalisation durable, investi un problème plus large qui touche aux décisions d'internalisation/ré-internalisation/partage/externalisation des activités de l'entreprise. Un tel problème a été très peu abordé dans la littérature. Nous avons par ailleurs analysé la valeur sous un nouvel angle de vue, en considérant les pratiques de la RSE comme des facteurs d'unicité, à l'origine de l'avantage concurrentiel et de la création de valeur. Nous nous sommes appuyés sur la littérature et le référentiel SCOR pour proposer des bonnes pratiques relevant de la RSE et des critères de la performance durable (économique, environnementale et sociale) pouvant être associés à chaque activité créatrice de valeur, en vue d'évaluer sa contribution actuelle et potentielle à la création de l'avantage concurrentiel et de mesurer sa performance durable.
 5. Nous avons réussi à formuler un programme mathématique multi-objectifs linéaire qui optimise les performances économique, environnementale et sociale lors de la planification stratégique-tactique de la chaîne logistique d'une manière cohérente. L'intégration de ces trois dimensions simultanément est très rare dans la littérature. De plus, les unités de mesure de chaque critère ont été conservées. Par ailleurs, notre modèle mathématique met en jeu uniquement des variables de décision continues (donc solvable avec la méthode du simplexe) tout en capturant les caractéristiques du système de production mis en œuvre (à travers la modélisation par réseau d'activités) et en fournissant des mesures de performance avec un "bon niveau" de précision.

6. Nous avons par ailleurs formulé un programme mathématique pour le cas de procédés divergents (i.e. plusieurs produits sortants différents sont obtenus à partir d'un seul produit commun entrant) présentant plusieurs recettes (patrons de coupes concernant l'industrie du bois d'œuvre). Ce type d'industrie est rarement investi dans la littérature (Vila, 2006 ; D'Amours et al., 2008). De plus, notre second modèle présente les mêmes caractéristiques de modélisation que le premier modèle (cas convergent) en termes d'objectifs (économique, environnemental et social), de linéarité et de continuité des variables de décisions.
7. La résolution du programme mathématique pour le cas divergent sur la base d'un cas réaliste issu de l'industrie canadienne du bois d'œuvre nous a permis de valider notre formulation et de juger son efficacité en termes de temps de calculs. Nous avons obtenu plusieurs optimums de Pareto et nous avons analysé l'articulation entre les différents critères économique, environnemental et social, deux à deux, puis tous les trois, permettant de répondre aux besoins du décideur en termes de choix. Ce type d'analyses est peu répandu dans la littérature, notamment lorsque la dimension sociale est considérée (ce qui est en soi extrêmement rare).

Apports pour les industriels et la société

En termes d'apports industriels, nous fournissons au décideur un ensemble d'outils d'aide à la décision multicritères lui permettant :

1. D'analyser la valeur actuelle et potentielle des activités mises en œuvre et d'envisager des actions visant à renforcer cette valeur comme par exemple, la mise en place de bonnes pratiques de la RSE, et à améliorer les performances économique, environnementale et sociale. Cette analyse lui permet par ailleurs de redéfinir le périmètre des activités et d'envisager plusieurs options à cette fin, comme par exemple l'externalisation, la ré-internalisation, etc., dans le cadre d'une stratégie de différenciation par la RSE.
2. D'analyser le profil des performances économique, environnementale et sociale lié aux décisions de la chaîne logistique, durant la phase de planification et de choisir la configuration de la chaîne et la manière de l'exploiter (approvisionnement, production, transport, etc.) de manière anticipée et optimisée en vue de garantir des niveaux de performance cibles. Ces niveaux de performance économique, environnementale et sociale définissent alors la stratégie ou la politique RSE que le décideur souhaite mettre en œuvre.

Conclusions et perspectives de recherche

3. De connaître avec précision l'investissement supplémentaire, en termes monétaires, qu'il doit engager pour atteindre les niveaux de performance environnementale et sociale souhaités (analyse des optimums de Pareto).
4. Et enfin, de disposer d'indicateurs de performance quantitatifs lui permettant de piloter la chaîne logistique d'une part et à des fins de communication et de marketing d'autre part.

En termes de société, nous avons proposé des alternatives de recrutement des employés, en favorisant l'emploi local et la stabilité de l'emploi (stabilisation des recrutements et des licenciements par le recrutement interne, i.e. transfert d'employés d'un site à un autre). Ces politiques ont des répercussions positives sur les collectivités locales (création de richesses, réduction du chômage, etc.). Par ailleurs, les managers peuvent dans ce contexte négocier des aides (des subventions par exemple) chiffrées, « justes » et justifiées avec les collectivités ou l'Etat dans le cas où ces politiques coûteraient excessivement cher pour l'entreprise.

Perspectives de recherche

Plusieurs perspectives de recherche peuvent être dégagées de nos travaux de thèse, les plus notables sont présentées ci-après :

1. Nous avons montré que notre approche intégrée pouvait être appliquée aux niveaux de décisions stratégique (internalisation/externalisation) et stratégique-tactique. Il serait alors intéressant de l'appliquer au niveau opérationnel. Par ailleurs, nous avons considéré un critère économique, un critère environnemental et 2 critères sociaux. Il serait pertinent de considérer d'autres critères, sociaux notamment, en raison de leur faible prise en compte dans la littérature (ex. santé et sécurité des employés, diversité social au travail, etc.)
2. Nous nous sommes intéressés dans le cadre de la planification stratégique-tactique à une chaîne logistique où plusieurs décisions sont supposées avoir été prises avant le début de l'horizon de planification. Cette hypothèse n'est pas adaptée dans certaines situations (par exemple dans le cas de la construction de nouveaux sites de production ou de sites de distribution, la sélection de nouveaux fournisseurs, etc.). Nous envisageons d'étendre notre modèle mathématique en vue de prendre en considération ces décisions qui se traduiraient alors par des variables binaires. Le modèle deviendrait un programme mathématique en variables mixtes.
3. Une analyse plus poussée des résultats obtenus en termes de corrélation entre les critères de la performance économique, environnementale et sociale d'une part, et entre les variables de décision et les critères de la

performance d'autre part, nous paraît pertinente en vue d'identifier les politiques de gestion (par exemple les politiques d'approvisionnements, les politiques de recrutement, ...) les plus efficaces au regard de chaque critère, de chaque couple de critères et des trois critères pris ensemble. Une analyse de sensibilité à l'aide du dual du simplexe, par exemple, nous permettrait d'apporter des éléments de réponse.

4. Nous avons considéré dans notre modèle les employés comme étant polyvalents et possédant tous les mêmes compétences. Or dans la réalité ce n'est pas toujours le cas car les différentes activités manufacturières présentent toutes des spécificités et nécessitent par conséquent des compétences particulières. Dans l'industrie du bois par exemple, l'abattage des arbres nécessite des compétences très spécifiques (et rares) que ne possède pas nécessairement un employé travaillant dans une scierie. De plus, notre modèle ne permet pas de prendre en compte la préférence des employés vis-à-vis de leur éventuel transfert vers d'autres sites, ce qui n'est pas très réaliste. Il serait donc intéressant d'étendre notre modèle mathématique en vue de l'adapter à cette situation.
5. Nous avons concentré nos efforts sur une chaîne logistique centrée sur une entreprise et en considérant ses propres unités d'affaires et ses partenaires directs (fournisseurs, clients, sous-traitants, etc.). Par ailleurs, nous avons considéré que la chaîne logistique est gérée par une entité dominante qui prend les décisions pour l'ensemble de la chaîne logistique. Il serait intéressant d'étendre nos recherches à une chaîne logistique collaborative où l'ensemble de entités de la chaîne (pas nécessairement centrée sur une entreprise, i.e. les fournisseurs peuvent eux-mêmes avoir leurs propres fournisseurs et les clients peuvent être fournisseurs d'autres clients) participeraient à la prise de décision dans un processus de coordination, de collaboration et de coopération (Thierry, 2003). Nous avons constaté à travers notre revue de la littérature sur la planification stratégique-tactique des chaînes logistiques durables l'absence totale de travaux intégrant ce type de gestion. Or, dans la pratique, la chaîne logistique est souvent soumise à l'existence et à la mise au point de processus de coordination et de coopération complexes entre entreprises (Thierry, 2003 ; Botta-Genoulaz et al., 2010). Par ailleurs, un des principes du développement durable met l'accent sur les relations avec les partenaires industriels et les règles dans les affaires (ISO 26000, 2010) (ex. paratage du risque, répartition équitable des revenus, etc.).

Bibliographie

- Abdallah, T., A. Farhat, A. Diabat & S. Kennedy (2012). Green supply chains with carbon trading and environmental sourcing: Formulation and life cycle assessment. *Applied Mathematical Modelling*. 36, p. 4271-4285.
- Achillas, C., D. Aidonis, Ch. Vlachokostas, N. Moussiopoulos, G. Banias & D. Triantafillou (2012). A multi-objective decision-making model to select waste electrical and electronic equipment transportation media. *Resources, Conservation and Recycling*. 66, p. 76-84.
- Akgul, O., N. Shah & L.G. Papageorgiou (2012). An optimisation framework for a hybrid first/second generation bioethanol supply chain. *Computers and Chemical Engineering*. 42, p. 101-114.
- Amin, S.H. & G. Zhang (2012). A multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return. *Applied Mathematical Modelling*. 37(6), p. 4165-4176.
- Amin, S.H. & G. Zhang (2012). An integrated model for closed-loop supply chain configuration and supplier selection: Multi-objective approach. *Expert Systems with Applications*. 39, p. 6782-6791.
- APICS (2010). APICS Dictionary. 13th Edition.
- ASLOG (2006). *Le référentiel logistique de l'ASLOG - Guide de l'excellence logistique*, ASSociation française pour la LOGistique.
- Babai M.Z. (2005). *Politiques de pilotage de flux dans les chaînes logistiques : impact de l'utilisation des prévisions sur la gestion de stocks*. Thèse de doctorat. Ecole Centrale Paris. France.
- Barbiroli, G. & A. Raggi (2003). A method for evaluating the overall technical and economic performance of environmental innovations in production cycles. *Journal of Cleaner Production*. 11(4), p. 365-374.
- Barker, T.J. (2010). Reverse logistics: A multicriteria decision model with uncertainty. Thèse de doctorat. University de Washington, Etats-Unis.
- Barker, T.J. & Z.B. Zabinsky (2011). A multicriteria decision making model for reverse logistics using an analytical hierarchy process. *Omega*. 39. p. 558-573.

Bibliographie

- Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*. 17, p. 99-120.
- Barthélemy, G. & C. Danoda (2007). Décision et gestion de l'externalisation. *Revue Française de Gestion, dossier l'externalisation un choix stratégique*. Editions Lavoisier, Paris, France.
- Barreyre, P.Y. (1968). *L'Impartition. Politique pour une entreprise compétitive*. Editions Hachette, Paris. France.
- Baumann E. (2011). *Modèles d'évaluation des performances économique, environnementale et sociale dans les chaînes logistiques*. Thèse de doctorat. Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, France.
- Bennekrouf, M., L. Benyoucef & Z. Sari (2010). Problèmes de conception et pilotage des chaînes logistiques inverses et globales : Etat de l'art. In *8th International Conference of Modeling and Simulation (MOSIM'10)*. 10-12 Mai, Hammamet, Tunisia.
- Bieker, T. (2002). Managing corporate sustainability with the Balanced Scorecard: Developing a Balanced Scorecard for Integrity Management. *5th International Summer Academy on Technology Studies*. Deutschlandsberg, Austria.
- Bititci, U.S. (1995). Measuring the integrity of your business. *Management Decision*. 33(7), p.10-18.
- Bitton, M. (1990). *ECOGRAI : méthode de conception et d'implantation de systèmes de mesure de performances pour organisations industrielles*. Thèse de doctorat. Université de Bordeaux I, France.
- Bojarski, A.D. J.M. Laínez, A Espuna & L. Puigjaner (2009). Incorporating environmental impacts and regulations in a holistic supply chains modeling: An LCA approach. *Computers and Chemical Engineering*. 33, p. 1747-1759.
- Bostel, N., P. Dejax & Sawadogo M. (2012). A modeling framework for procurement of a retail distribution system with economic and environmental goals. *9th International Conference on Modeling Optimization and Simulation*. June 6-8, Bordeaux, France.
- Botta-Genoul az, V., J.P. Campagne, D. Llerena & C. Pellegrin (2010). *Supply Chain Performance : Collaboration, Alignment and Coordination*. John Wiley & Sons, New Jersey.

Bibliographie

- Bouchery, Y., A. Ghaffari, Z. Jemai & Y. Dallery (2012). Including sustainability criteria into inventory models. *European Journal of Operational Research*, 222, p. 229-240.
- Bouchriha, H. & P. Ladet (2001). Une modélisation mathématique du problème d'aide à la décision de faire ou faire-faire, *3^e Conférence Francophone de Modélisation et Simulation*. Troyes, France.
- Bouchriha, H. (2002). *Faire ou faire-faire dans la conception d'une chaîne logistique : un outil d'aide à la décision*. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Grenoble, France.
- Bouchriha H. & P. Ladet (2002). Une modélisation mathématique de la décision de faire ou faire-faire. *Journal Européen des Systèmes Automatisés, Conception et planification des chaînes logistiques*. 36.
- Bouchriha H. (2009). *Aide à la décision pour la conception et le pilotage des systèmes de production de biens et de services*. Habilitation à diriger des recherches. Ecole Nationale d'Ingénieur de Tunis, Tunisie.
- Boukherroub, T., A. Guinet & J. Fondrevelle, (2012a). Méthode d'aide à la décision multicritères pour l'internalisation/externalisation "durable". *9th International Conference on Modeling Optimization and Simulation*. June 6-8, Bordeaux, France.
- Boukherroub, T., J. Fondrevelle, A. Guinet & A. Ruiz (2012b). Multi-criteria decision making for the supply chain design: A review with emphasis on sustainable supply chains, *4th International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain*. August 26-29, Quebec, Canada.
- Boukherroub, T., A. Ruiz, A. Guinet & J. Fondrevelle (2013a). An Integrated Approach for the Optimization of the Sustainable Performance: a Wood Supply Chain. *IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management, and Control (MIM'2013)*. June 19-21, Saint-Petersburg Russia.
- Boukherroub, T., A. Ruiz, A. Guinet & J. Fondrevelle (2013b). Sustainable Wood Supply Chain Management: An Integrated Approach. *15^e Symposium Systems Analysis in Forest Resources (SSAFR'2013)*. 19-21 August, Québec, Canada.
- Bonney, M. & M.Y. Jaber (2011). Environmentally responsible inventory models: nonclassical models for a non-classical era. *International Journal of Production Economics*. 133(1), p. 43-53.

Bibliographie

- Bouzembrak, Y, H. Allaoui, E. Masson, H. Bouchriha & M. Baklouti (2010). Sustainable multimodal supply chain design for recycling waterways sediments. In 8th *International Conference of Modeling and Simulation (MOSIM'10)*. 10-12 Mai, Hammamet, Tunisia.
- Brandes, H. (1994). Strategic changes in purchasing, two main tracks. *European Journal of Purchasing and Supply Chain*, 1(2), p.77-87.
- Brimson, J.A. (1991). *Activity accounting: An Activity Based Costing approach*. John Wiley & Sons, New York.
- Carroll, A.B. & Shabana, K.M. (2010). The business case for corporate social responsibility: A review of concepts, research and practice. *International Journal of Management Reviews*. 12(1), p. 85-105.
- Carter, C.R. & M.M. Jennings (2002). Logistics social responsibility: An integrative framework. *Journal of Business Logistics*. 23(1), p.145-178.
- Chaabane, A., A. Ramudhin, M. Kharoune & M. Paquet (2011a). Trade-off model for carbon market sensitive sustainable supply chain network design. *International Journal of Operational Research*. 10, p. 416-441.
- Chaabane, A., A. Ramudhin & M. Paquet (2011b). Designing supply chains with sustainability considerations. *Production Planning and Control Journal*. 22, p. 727-741.
- Chaabane, A., A. Ramudhin & M. Paquet (2012). Design of sustainable supply chains under the emission trading scheme. *International Journal of Production Economics*. 135. p. 37-49.
- Charnes, A. & W.W. Cooper. (1968). *Management models and the industrial applications of linear programming*. John Wiley & Sons, New York.
- Collette, Y. & P. Siarry (2002). *Optimisation multiobjectif*. Editions Eyrolles, Paris, France.
- Clivillé, V. (2004). *Approche systémique et méthode multicritère pour la définition d'un système d'indicateurs de performance*. Thèse de doctorat. Annecy le Vieux : Université de Savoie, France.
- CMED (1987). *Notre avenir à tous*, Oxford, United Kingdom: Oxford University Press. 432 p.
- Coase, R.H. (1937). The nature of the firm, *Economica*, 4, p. 386-405.

Bibliographie

- Commission européenne (2001). *Promouvoir un cadre européen pour la responsabilité sociale des entreprises-Livre vert*, Luxembourg : Communautés européennes, 31 p.
- Corsano, G., A.R. Vecchiotti & J.M. Montagna (2011). Optimal design for sustainable bioethanol supply chain considering detailed plant performance model. *Computers and Chemical Engineering*. 35, p. 1384 - 1398.
- Corsi, T. & Fanara, P. (1988). Driver management policies and motor carrier safety. *Logistics Transport*. 24(2), p.153 - 163.
- D'Amours, S. (1995). *La planification des opérations en réseaux manufacturiers Symbiotiques*. Thèse de doctorat. École Polytechnique de Montréal.
- D'Amours, S., M. Rönnqvist & A. Weintraub (2008). Using Operational Research for Supply Chain Planning in the Forest Products Industry. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 46(4), p. 265-281.
- Dekker, H.C. (2003). Value Chain analysis in interfirm relationships: a field study. *Management Accounting Research*. 14, p. 1-23.
- Dekker, R., J. Bloemhof & I. Mallidis (2012). Operations Research for green logistics – An overview of aspects, issues, contributions and challenges. *European Journal of Operational Research*. 219, p. 671 - 679.
- Dotoli, M., M.P. Fanti, C. Meloni & M.C. Zhou (2005). A Multi-level approach for network design of integrated supply chains. *International Journal of Production Economics*. 43(20). p. 4267-4287.
- Dotoli, M., M.P. Fanti, C. Meloni & M.C. Zhou (2006). Design and optimization of integrated e-supply chain for agile and environmentally conscious manufacturing. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*. 36(1). p. 62-75.
- Doumpos, M. & C. Zopounidis (2005). *Multicriteria Decision Aid classification methods*, ed. P.M. Pardalos and D. Hearn, University of Florida, U.S.A.: Kluwer Academic.
- Dreyer, L.C., A.L. Niemann & M.Z. Hauschild (2003). Comparison of three different LCIA methods: EDIP97, CML2001 and Eco-indicator 99. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 8(4). p. 191-200.
- Dyer, J.S. (1990). Remarks on the analytic hierarchy process. *Management Science*, vol. 36, p. 249-258.

Bibliographie

- Dyllick, T. & K. Hockerts (2002). Beyond the Business Case for Corporate Sustainability. *Business Strategy and the Environment*. 11, p. 130-141.
- Ekelund, M. & E. Pettersson (2010). *Make or Buy? Developing a generic framework for decisions at Cardo AB*. Master thesis. Linköping University, Sweden.
- Elhedhli, S. & R. Merrick (2012). Green supply chain network design to reduce carbon emissions. *Transportation Research Part D*. 17, p. 370-379.
- Elkington, J. (1998). *Cannibals with Forks: the Triple Bottom Line of 21st Century Business*, News Society Publishers.
- Eskandarpour, M., S.H. Zegordi, & E. Nikbakhsh (2012). A parallel variable neighborhood search for the multi-objective sustainable post-sales network design problem. *International Journal of Production Economics*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.10.013>.
- Ferretti, I., S. Zanoni, L. Zavanella & A. Diana (2007). Greening the aluminium supply chain. *International Journal of Production Economics*. 108, p. 236-245.
- Fleishmann, M., J.M. Bloemhof-Ruwaard & R. Dekker (1997). Quantitative models for reverse logistics: A review. *European Journal of Operational Research*. 103, p. 1 - 17.
- Fonseca, M.C., A. García-Sánchez, M. Ortega-Mier & F. Saldanha-da-Gama (2010). A stochastic bi-objective location model for strategic reverse logistics. *Top*. 18, p. 158-184.
- Forman, E.H. & S.I. Gass (2001). The analytic hierarchy process-an exposition. *Journal of Operations Research*. 49, p. 469-486.
- Foss, N. (1996). Capabilities and the Theory of the Firm. *Revue d'Economie Industrielle*, 77, p. 7-27.
- Fréry, F. et Law-Kheng F. (2007). La ré-intériorisation, chaînon manquant des théories de la firme. *Revue Française de Gestion*, Editions Lavoisier, Paris.
- Germain C. & S. Trébucq (2004). La performance globale de l'entreprise et son pilotage : quelques réflexions. *Semaine sociale Lamy –18 octobre, numéro 1186*.
- Giannikos, I. (1998). A multiobjective programming model for locating treatment sites and routing hazardous wastes. *European Journal of Operation Research*. 104, p. 330-342.

Bibliographie

- Giarola, S., S. Shah & F. Bezzo (2012). A comprehensive approach to the design of ethanol supply chains including carbon trading effects. *Bioresource Technology*. 107, p. 175-185.
- Globerson, S. (1985). Issues in developing a performance criteria system for an organization. *International Journal of Production Economics*. 23(4), p. 639-646.
- Grailles B. & P. Marcilloux (2006). Caesar pontem fecit : formes, logiques et enjeux du faire faire. *halshs-00331878, version 1*.
- GRI (2007). *Sustainability Reporting Guidelines (G3)*, 45 p. The Netherlands: Global Reporting Initiative.
- Gruat La Forme-Chretien, F. (2007). *Référentiel d'évaluation de la performance d'une chaîne logistique - Application à une entreprise de l'ameublement*. Thèse de doctorat. Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, France.
- Guillén-Gosalbez, G. & I.E. Grossmann (2009). Optimal design and planning of sustainable chemical supply chains under uncertainty. *AIChE Journal*. 55(1), p. 99-121.
- Guillén-Gosálbeza, G. & I. Grossmann (2010). A global optimization strategy for the environmentally conscious design of chemical supply chains under uncertainty in the damage assessment model. *Computers and Chemical Engineering*. 34, p. 42-58.
- Gupta, A. & C.D. Maranas (2003). Managing demand uncertainty in supply chain planning. *Computers and Chemical Engineering*. 27(8-9), p. 1219-1227.
- Gunn, E. (2008). Perspectives on strategic Forest Management Models and the Forest Products Supply Chain. *Working paper*. Department of industrial Engineering, Dalhousie University.
- Hammami, R., Y. Frein, & A.B Hadj-Alouane (2009). A strategic-tactical model for the supply chain design in the delocalization context: Mathematical formulation and a case study. *International Journal of Production Economics*. 122, p. 351-365.
- Hoffmann, G. & Saulquin, J.Y. (2009). Quand la RSE revisite la chaîne de valeur. *Management & Avenir*, 28.
- Hugo, A. & E.N. Pistikopoulos (2005). Environmentally conscious long-range planning and design of supply chain networks. *Journal of Cleaner Production*. 13, p. 1471-1491.

Bibliographie

- Hugo, A., P. Rutter, S. Pistikopoulos, A. Amorelli & G. Zoia (2005). Hydrogen infrastructure strategic planning using multi-objective optimization. *International Journal of Hydrogen Energy*. 30, p. 1523-1534.
- ISO (2004). ISO 14001. Environmental management, 25p. Geneva: ISO.
- ISO (2006). ISO 14040. Environmental management - Life Cycle assessment - Goal and scope definition, 20p. Geneva: ISO.
- ISO (2010). ISO 26000. Guidance on social responsibility, 127 p. Geneva: ISO.
- Jahns C., E. Hartmann, and L. Bals, 2006. Offshoring: Dimensions and diffusion of a new business concept. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 12(4), p. 218-231.
- Jain, V., L. Benyoucef & S.G. Deshmukh (2009). Strategic supplier selection: some emerging issues and challenges. *International Journal of Logistics Systems and Management*. 5, p. 61-88.
- Jamshidi, R., S.M.T. Fatemi Ghomi & B. Karimi (2012). Multi-objective green supply chain optimization with a new hybrid memetic algorithm using the Taguchi method. *Scientia Iranica, Transactions E: Industrial Engineering*. doi:10.1016/j.scient.2012.07.002.
- Jolly C. (2006). *L'entreprise responsable, sociale éthique, "verte"... et bénéficiaire?* Editions du Félin, Paris, France.
- Kaplan, R.S. & D.P. Norton (1992). The balanced Scorecard-Measures that Drive Performance. *Harvard Business Review*, January- February, p. 71-79.
- Kenné, J.P., P. Dejax & A. Gharbi (2012). Production planning of a hybrid manufacturing–remanufacturing system under uncertainty within a closed-loop supply chain. *International Journal of production Economics*. 135, p. 81-93.
- Krajnc, D. and P. Glavic (2005). A model for integrated assessment of sustainable development. *Resources, Conservation and Recycling*. 43(2), p. 189-208.
- Krikke, H., J. Bloemhof-Ruwaard & L.N. Van Wassenhove (2003). Concurrent product and closed-loop supply chain design with an application to refrigerators. *International Journal of Production Research*. 41(16), p. 3689-3719.
- Lakhal, S. (1998). *Vers une approche formelle d'aide à la décision dans l'entreprise réseau*. Thèse de doctorat, Université Laval, Québec, Canada.

Bibliographie

- Lakhal, S., Martel, A., Kettani, O. and Oral, M. (2001). On the optimization of supply chain networking decisions. *European Journal of Operational Research*. 129(2), p. 259-270.
- Layek, A-M., T.Kullpattaranirun & S. Nanthavanij (2005). A framework for comparing outsourcing strategies in multi-layered supply chains. *International Journal of Production Economics*. 97, p. 318-328.
- Li N. & Toppinen, A. (2011). Corporate responsibility and sustainable competitive advantage in forest-based industry: Complementary or conflicting goals? *Forest Policy and Economics*, 13, p. 113-123.
- Lorino, P. (2003). *Méthodes et pratiques de la performance*. Editions d'Organisation, Paris, France.
- Luo, Y., M.C. Zhou & R.J. Caudill (2001). An Integrated e-supply chain model for agile and environmentally conscious manufacturing. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*. 6(4). p. 377-386.
- MacCormack, A.D., L.J., Newman III & D.B. Rosenfield (1994). The new dynamics of global manufacturing site location. *Sloan management review*. p. 69-80.
- Mallidis, I., R. Dekker & D. Vlachos (2012). The impact of greening on supply chain design and cost: a case for a developing region. *Journal of Transport Geography*. 22, p. 118-128.
- Mele, F.D., G. Guillén-Gosálbeza & L. Jiménez (2009). Optimal Planning of Supply Chains for Bioethanol and Sugar Production with Economic and Environmental Concerns. in *19th European Symposium on Computer Aided Process Engineering – ESCAPE19*. Cracow, Poland.
- Mentzer, J.T., W. Dewitt, J.S. Keebler, S. Min, N.W. Nix, C.D. Smith & Z.G. Zacharia (2001). Defining supply chain management. *Journal of business logistics Management*. 22(2).
- Momme J. & Hvolby H-H. (2002). An outsourcing framework: action research in the heavy industry sector. *European Journal of Purchasing & Supply Management*. 8, p.185-196.
- Nagurney, A., Z. Liub & T. Woolley (2006). Optimal endogenous carbon taxes for electric power supply chains with power plants. *Mathematical and Computer Modelling*. 44, p. 899-916.

Bibliographie

- Nagurney, A. & L.S. Nagurney (2010). Sustainable supply chain network design: a multicriteria perspective. *International Journal of Sustainable Engineering*. 3(3), p. 189-197.
- Nema, A.K. & S.K. Gupta (1999). Optimization of regional hazardous waste management systems: an improved formulation. *Waste Management*, 19, p. 441-451.
- OECD (2000). Text of the OECD Guidelines for Multinational Enterprises, Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development. 65 p.
- Paksoy, T., N.Y. Pehlivan & E. Özceylan (2012). Fuzzy Multi-Objective Optimization of a Green Supply Chain Network with Risk Management that Includes Environmental Hazards. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 18(5), p. 1120 - 1151.
- Pati, R.K., P. Vrat, & P. Kumarc (2008). A goal programming model for paper recycling system. *Omega*. 36, p. 405-417.
- Pérez-Fortes, M., et al. (2012). Design of regional and sustainable bio-based networks for electricity generation using a multi-objective MILP approach. *Energy*. 44, p. 79-95.
- Pinto-Varela, T., A.P.F.D. Barbosa-Póvoa & A.Q. Novais (2011). Bi-objective optimization approach to the design and planning of supply chains: Economic versus environmental performances. *Computers and Chemical Engineering*. 35, p. 1454-1468.
- Pishvae, M.S., J. Razmi & S.A. Torabi (2012). Robust possibilistic programming for socially responsible supply chain network design: A new approach. *Fuzzy Sets and Systems*. 206, p. 1 - 20.
- Pishvae, M.S. & J. Razmi (2012). Environmental supply chain network design using multi-objective fuzzy mathematical programming. *Applied Mathematical Modelling*. 36, p. 3433 - 3446.
- Porter M. (1985). *The Competitive advantage of nations*. Free Press, New York.
- Porter M. (1999). *L'avantage concurrentiel, Comment devancer ses concurrents et maintenir son avance*, Editions DUNOD, Paris.
- Poulin D., E. Montreuil, et S. Gauvin, 1994. *L'entreprise réseau, bâtir aujourd'hui l'organisation de demain*. Publi-Relais.

Bibliographie

- Pourmohammadi, H., M. Rahimi & M. Dessouky (2008). Sustainable Reverse Logistics for Distribution of Industrial Waste/Byproducts: A Joint Optimization of Operation and Environmental Costs. *Supply Chain Forum: An International Journal*. 9, p. 2 - 17.
- Pozo, C., R. Ruiz-Femenia, J. Caballero, G. Guillèn-Gosalbez & L. Jimenez (2012). On the use of Principal Component Analysis for reducing the number of environmental objectives in multi-objective optimization: Application to the design of chemical supply chains. *Chemical Engineering Science*. 69(1), 146-158.
- Quélin, B. (2003). Externalisation stratégique et partenariat : de la firme patrimoniale à la firme contractuelle ? *Revue Française de Gestion*. 2(143), p. 13-26. Edition Lavoisier, Paris.
- Quariguas Frota Neto, J., J.M. Bloemhof, J.A.E.E. Van Nunen & E. Van Heck (2008). Designing and evaluating sustainable logistics network. *International Journal of Production Economics*. 111, p. 195-208.
- Quariguasi Frota Neto, J., G. Waltherb & J.M. Bloemhof (2010). From closed-loop to sustainable supply chains: the WEEE case. *International Journal of Production Research*. 48 (15), p. 4463-4481.
- Renaud, J. & F.F. Boctor (2002). A sweep-based algorithm for the fleet size and mix vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*. 140(3), p. 618-628
- Rönnqvist, M. (2003). Optimization in forestry, *Mathematical Programming*, 97, p. 267-284.
- Rubio, S., A. Chamorro & F.J. Miranda (2008). Characteristics of the research on reverse logistics (1995 - 2005). *International Journal of Production Research*. 46(4), p. 1099 - 1120.
- Saaty TL. 1980 *Analytical Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill, NewYork.
- Saaty, T.L. (2000). *Fundamentals of Decision making and Priority theory*, second edition, RWS Publications, Pittsburgh, PA.
- Saaty T.L. & M. Ozdemir (2003). Negative priorities in the analytic hierarchy process. *Mathematical and Computer Modelling*. 37, p. 1063-1075.
- Sabio, N., et al., (2012). Holistic minimization of the life cycle environmental impact of hydrogen infrastructures using multi-objective optimization and principal component analysis. *International Journal of hydrogen energy*. 37, p. 5385-5405.

Bibliographie

- Sarkis, J., Q. Zhu & K. Lai (2011). An organizational theoretic review of green supply chain management literature. *International Journal of Production Economics*.130, p. 1-15.
- SCC, 2008. *Supply Chain Operations Reference Model, 651 p.* Cypress, Texas, Etats-Unis: Supply Chain Council. Available at: <http://supply-chain.org/>.
- Singh, R.K., H.R. Murty, S.K. Gupta & A.K. Dikshit (2007). Development of composite sustainability performance index for steel industry. *Ecological Indicators*.7(3), p. 565 - 588.
- Shaw, K., S.S. Yadav & L.S. Thakur (2012). Supplier selection using fuzzy AHP and fuzzy multi-objective linear programming for developing low carbon supply chain. *Expert Systems with Applications*. 39, p. 8182 - 8192.
- Shiue, Y. & C. Lin (2012) Applying analytic network process to evaluate the optimal recycling strategy in upstream of solar energy industry. *Energy and Buildings*. 54, p. 266 - 277.
- Stevens, J. (1985). The make or buy decision. *The purchasing Mix*. p 207-219.
- Stevens, C. (2006). Mesurer le développement durable. *Cahiers statistiques*. 10, 1-8.
- Subramanian, R., B. Talbot & S. Gupta (2010). An Approach to Integrating Environmental Considerations Within Managerial Decision-Making. *Journal of Industrial Ecology*. 14, p. 378 - 398.
- Supizet, J. (2002). Total Balanced Scorecard, un pilotage aux instruments. *L'Informatique Professionnelle*. 209, 15-20.
- Tekiner-Mogulkoc, H., D.W. Coit & F.A. Felder (2012). Electric power system generation expansion plans considering the impact of Smart Grid technologies. *Electrical Power and Energy Systems*. 42, p. 229-239.
- Thierry, C. (2003). *Gestion de chaînes logistiques : Modèles et mise en œuvre pour l'aide à la décision à moyen terme*. Habilitation à diriger des recherches. Université Toulouse II Le Mirail, France.
- Tlahig H., H. Bouchriha, A. Jebali & P. Ladet (2007). A mathematical model for the « make » or « buy » decision in the hospital sterilization. *The 33rd International Conference on Operational Research Applied to Health Service*. Saint Etienne, France.

Bibliographie

- Tlahig H., A. Jebali, H. Bouchriha & P. Ladet (2008). Centralized Versus Distributed Sterilization Service: A Location-Allocation Decision Model, *International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain (ILS'08)*. Madison, WI, USA.
- Tlahig H. (2009). *Vers un outil d'aide à la décision pour le choix entre internalisation/externalisation ou mutualisation des activités logistiques au sein d'un établissement de santé : cas du service de stérilisation*. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Grenoble, France.
- Tsoulfas, G.T. & C.P. Pappis (2008). A model for supply chains environmental performance analysis and decision making. *Journal of Cleaner Production*. 16(15), p. 1647-1657.
- Vila, D., Martel, A. & R. Beauregard (2006). Designing logistics networks in divergent industries: A methodology and its application to the lumber industry. *International Journal of Production Economics*, 102(21), p. 358-378.
- Weintraub, A. & C. Romero (2006). Operations Research Models and the Management of Agricultural and Forestry Resources: A Review and Comparison, *Interfaces*. 36(5), p. 446-457.
- Vidal, C. & M. Goetschalckx (1997). Strategic production distribution models: a critical review with emphasis on global supply chain model. *European Journal of Operational Research*. 98. p. 1-18.
- Wagner C. & P. Nyhuis (2009). A systematic approach to analysis and design of global production network, *Production Engineering Research Development*. 3, 295-303.
- Wang, F., X. Lai & N. Shi (2011). Multi-objective optimization for green supply chain network design. *Decision Support Systems*. 51(2). p. 262-269.
- Wattky Crestan, A. (2006). *Modélisation et Réorganisation des Processus dans le Cadre de l'Externalisation*. Thèse de doctorat, Université Lumière Lyon 2, France.
- Welch J.M., A.D. Little and P.R. Nayak (1992). Strategic Sourcing: A progressive approach to make or buy decision. *Academy Of Management Executive*, 6(1), p. 23-31.
- Wernerfeldt, B. (1989). From critical resources to corporate strategy. *Journal of General Management*, 14, p. 4-12.
- Williamson, O.E. (1975). *Markets and hierarchies: analysis and antitrust implications*. Free Press, New York.

Bibliographie

- Williamson, O.E. (1985). *The Economic Institutions of Capitalism*. Free Press, New York.
- You, F., et al. (2011). Optimal Design of Sustainable Cellulosic Biofuel Supply Chains: Multiobjective Optimization Coupled with Life Cycle Assessment and Input–Output Analysis. *AIChE Journal*. 58, p. 1157-1180.
- You, F. & B. Wang (2011). Life Cycle Optimization of Biomass-to-Liquids Supply Chains with Distributed-Centralized Processing Networks. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 50, p. 10102-10127.

Annexes

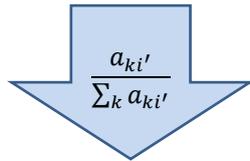
Annexe 3A : Calcul des poids des critères et des dimensions de la performance durable à l'aide de la méthode AHP.

Annexe 5A : Tableau des résultats (optimums de Pareto et déviations) obtenus avec la méthode du goal programming.

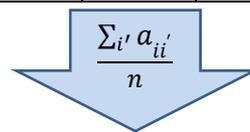
Annexe 5B : Graphe représentant les déviations économiques, environnementales et sociales pour chaque triplet de poids.

Annexe 3A : Calcul des poids des critères et des dimensions de la performance durable à l'aide de la méthode AHP

Critères économiques			
$k \backslash i'$	PF	RC	FL
PF	1	1/6	1/5
RC	6	1	1
FL	5	1	1
$\sum_k a_{ki'}$	12	2,167	2,20



$i \backslash i'$	PF	RC	FL
PF	0,083	0,077	0,091
RC	0,500	0,462	0,455
FL	0,417	0,462	0,455

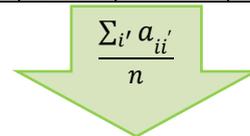


w (PF)	0,084
w (RC)	0,472
w (FL)	0,444

Critères environnementaux			
$k \backslash i'$	UR	PL	MD
UR	1	1/5	1/6
PL	5	1	1/2
MD	6	2	1
$\sum_k a_{ki'}$	12	3,2	1,667

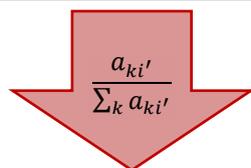


$i \backslash i'$	UR	PL	MD
UR	0,083	0,063	0,100
PL	0,417	0,313	0,300
MD	0,500	0,625	0,600

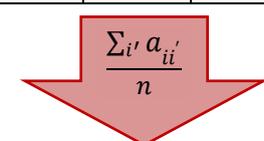


w (UR)	0,082
w (PL)	0,343
w (MD)	0,575

Critères sociaux		
$k \backslash i'$	SS	ER
SS	1	1/6
ER	6	1
$\sum_k a_{ki'}$	7	1,167



$i \backslash i'$	SS	ER
SS	0,143	0,143
ER	0,857	0,857

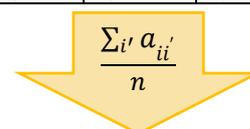


w (SS)	0,143
w (ER)	0,857

Dimensions du développement durable			
$k \backslash i'$	Eco	Env	Soc
Eco	1	4	3
Env	1/4	1	1
Soc	1/3	1	1
$\sum_k a_{ki'}$	1,583	6	5



$i \backslash i'$	Eco	Env	Soc
Eco	0,632	0,667	0,600
Env	0,158	0,167	0,200
Soc	0,211	0,167	0,200



w (UR)	0,633
w (PL)	0,175
w (MD)	0,192

Annexe 5A : Tableau des résultats (optimums de Pareto et déviations) obtenus avec la méthode du goal programming

w_1	w_2	w_3	F_1 ($\times 10^7$ \$)	F_2 ($\times 10^7$ kg éq.CO ₂)	F_3 (nombre d'employés arrondi)	$(F_1 - F_1^*) / (F_{1,sup} - F_1^*)$ (%)	$(F_1 - F_1^*) / (F_{1,sup} - F_1^*)$ (%)	$(F_1 - F_1^*) / (F_{1,sup} - F_1^*)$ (%)
0	0	1	13,42	81,72	15*	94,8825	88,4035	0,0595
0	0,1	0,9	10,82	20,30	15	72,1084	2,3838	0,0728
0	0,2	0,8	9,65	19,81	16	61,8828	1,6950	0,2246
0	0,3	0,7	8,61	19,47	17	52,6968	1,2227	0,3074
0	0,4	0,6	8,47	19,33	17	51,4717	1,0265	0,3117
0	0,5	0,5	7,82	19,18	19	45,7684	0,8050	0,4983
0	0,6	0,4	7,27	19,09	20	40,9776	0,6817	0,6131
0	0,7	0,3	6,89	18,97	22	37,6865	0,5235	0,8963
0	0,8	0,2	6,56	18,90	26	34,7278	0,4185	1,3084
0	0,9	0,1	4,50	18,76	39	16,6872	0,2171	2,8008
0	1	0	3,10	18,60*	625	4,4089	0,0000	68,9029
0,1	0	0,9	3,43	72,37	36	7,2770	75,3092	2,4818
0,1	0,1	0,8	2,99	18,92	40	3,4915	0,4464	2,8964
0,1	0,2	0,7	2,91	19,07	41	2,7043	0,6620	3,0537
0,1	0,3	0,6	2,88	18,98	42	2,4869	0,5252	3,0922
0,1	0,4	0,5	2,85	18,89	42	2,1870	0,4071	3,1246
0,1	0,5	0,4	2,75	18,80	44	1,3109	0,2841	3,4020
0,1	0,6	0,3	2,69	18,78	46	0,8088	0,2454	3,6113
0,1	0,7	0,2	2,68	18,77	47	0,7151	0,2331	3,6776
0,1	0,8	0,1	2,67	18,75	48	0,6753	0,2122	3,7866

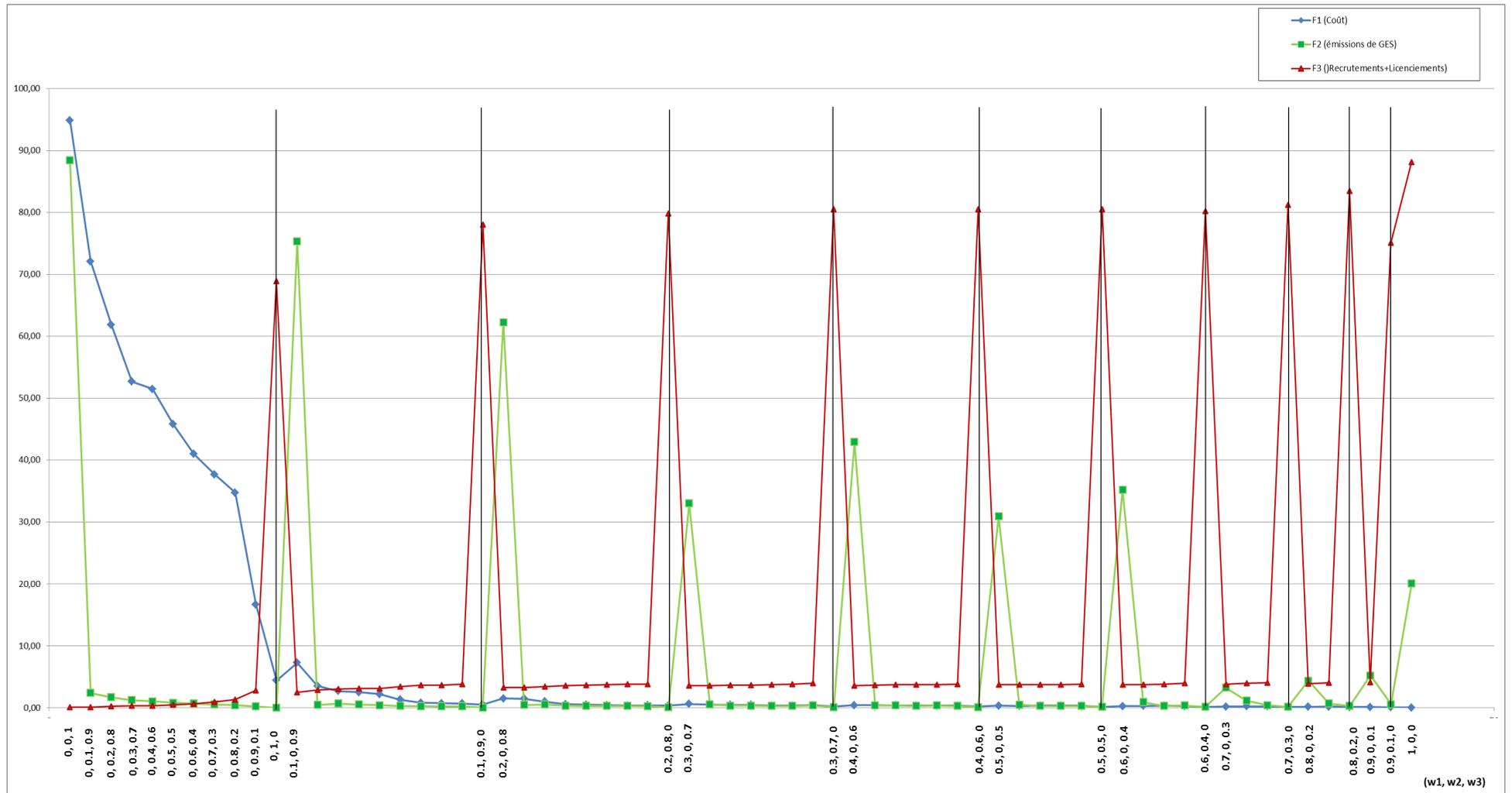
Annexes

0,1	0,9	0	2,66	18,63	706	0,5380	0,0373	78,0541
0,2	0	0,8	2,77	63,05	43	1,5032	62,2571	3,2511
0,2	0,1	0,7	2,76	18,92	43	1,4604	0,4427	3,2434
0,2	0,2	0,6	2,71	18,97	45	1,0095	0,5185	3,4367
0,2	0,3	0,5	2,66	18,84	46	0,5484	0,3294	3,5774
0,2	0,4	0,4	2,65	18,82	46	0,4794	0,3087	3,6237
0,2	0,5	0,3	2,64	18,82	47	0,4170	0,3017	3,7048
0,2	0,6	0,2	2,64	18,80	48	0,3468	0,2810	3,7642
0,2	0,7	0,1	2,64	18,80	48	0,3585	0,2726	3,7905
0,2	0,8	0	2,63	18,65	721	0,3198	0,0757	79,8196
0,3	0	0,7	2,67	42,17	46	0,6048	33,0175	3,5570
0,3	0,1	0,6	2,65	18,98	46	0,5093	0,5321	3,5944
0,3	0,2	0,5	2,65	18,84	46	0,4519	0,3307	3,6239
0,3	0,3	0,4	2,65	18,83	47	0,4405	0,3185	3,6379
0,3	0,4	0,3	2,64	18,82	48	0,3436	0,3043	3,7495
0,3	0,5	0,2	2,63	18,81	48	0,3318	0,2908	3,7631
0,3	0,6	0,1	2,64	18,86	49	0,4197	0,3595	3,9234
0,3	0,7	0	2,62	18,68	727	0,1835	0,1045	80,4870
0,4	0	0,6	2,64	49,25	46	0,4033	42,9263	3,5804
0,4	0,1	0,5	2,65	18,87	46	0,4376	0,3788	3,6232
0,4	0,2	0,4	2,64	18,86	47	0,3811	0,3656	3,6921
0,4	0,3	0,3	2,63	18,82	48	0,3287	0,3055	3,7530
0,4	0,4	0,2	2,64	18,87	48	0,3408	0,3741	3,7580

Annexes

0,4	0,5	0,1	2,63	18,80	48	0,3271	0,2860	3,7816
0,4	0,6	0	2,62	18,68	727	0,1782	0,1070	80,4894
0,5	0	0,5	2,63	40,68	47	0,3221	30,9195	3,6958
0,5	0,1	0,4	2,63	18,93	47	0,3029	0,4681	3,7291
0,5	0,2	0,3	2,63	18,82	48	0,3242	0,3036	3,7496
0,5	0,3	0,2	2,63	18,82	48	0,3243	0,3027	3,7499
0,5	0,4	0,1	2,63	18,81	48	0,3212	0,2906	3,7886
0,5	0,5	0	2,61	18,70	728	0,1493	0,1336	80,5305
0,6	0	0,4	2,63	43,70	47	0,2639	35,1509	3,6871
0,6	0,1	0,3	2,63	19,26	48	0,2917	0,9204	3,7471
0,6	0,2	0,2	2,63	18,82	48	0,3197	0,3105	3,7620
0,6	0,3	0,1	2,63	18,85	50	0,2711	0,3544	3,9884
0,6	0,4	0	2,61	18,71	725	0,1408	0,1509	80,2259
0,7	0	0,3	2,62	20,91	48	0,1656	3,2376	3,7729
0,7	0,1	0,2	2,62	19,41	49	0,2162	1,1323	3,9206
0,7	0,2	0,1	2,62	18,89	50	0,2316	0,4008	4,0400
0,7	0,3	0	2,61	18,71	733	0,1356	0,1513	81,1961
0,8	0	0,2	2,61	21,73	48	0,1466	4,3786	3,8453
0,8	0,1	0,1	2,62	19,10	50	0,1795	0,6984	4,0469
0,8	0,2	0	2,61	18,80	754	0,0916	0,2825	83,5016
0,9	0	0,1	2,61	22,34	51	0,0981	5,2320	4,1331
0,9	0,1	0	2,60	18,99	679	0,0512	0,5465	75,0687
1	0	0	2,60*	32,96	795	0,0205	20,1100	88,1362

Annexe 5B : Graphe représentant les déviations économiques, environnementales et sociales pour chaque triplet de poids



FOLIO ADMINISTRATIF

THESE SOUTENUE DEVANT L'INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE LYON

NOM : BOUKHERROUB

DATE de SOUTENANCE : 10/09/2013

Prénoms : Tassedra

TITRE : Intégration des objectifs du développement durable dans la gestion stratégique et tactique de la chaîne logistique

NATURE : Doctorat

Numéro d'ordre : 2013ISAL0080

Ecole doctorale : InfoMaths

Spécialité : Productique

RESUME :

Nous abordons le problème de la gestion des chaînes logistiques dans le cadre d'une démarche RSE (Responsabilité Sociale des Entreprises). Nous proposons une approche intégrée qui permet d'opérationnaliser l'évaluation de la performance suivant les dimensions économique, environnementale et sociale aux niveaux de décisions stratégique, tactique et opérationnel. Nous déclinons notre approche aux niveaux stratégique et tactique, pour le problème d'internalisation/externalisation « durable » des activités de la chaîne de valeur d'une part (décision stratégique), et pour le problème de la planification stratégique-tactique durable de la chaîne logistique, d'autre part. Nous réalisons dans le premier cas une analyse de la valeur que nous couplons à l'évaluation de la performance en utilisant une méthode d'aide à la décision multicritères agrégative : l'AHP (Analytical Hierarchy Process). Dans le second cas, nous formulons le problème comme un programme mathématique multi-objectifs que nous résolvons sur la base d'un cas réaliste issu de l'industrie canadienne du bois d'œuvre. Nous obtenons, à l'issue de la résolution mathématique, plusieurs solutions de compromis (optimums de Pareto) présentant différents niveaux de performances économique, environnementale et sociale, permettant au décideur de choisir la solution qui correspond le mieux à sa stratégie RSE. Cette application illustre la méthode proposée et met en avant la valeur pratique de notre approche.

MOTS-CLES : chaîne logistique, internalisation/externalisation, planification stratégique-tactique, développement durable, Responsabilité Sociale des Entreprises (RSE), évaluation de la performance, optimisation multi-objectifs, industrie du bois d'œuvre.

Laboratoire (s) de recherche : Laboratoire Décision & Information pour les Systèmes de Production (DISP), INSA de Lyon, Bât. Léonard de Vinci, 21, avenue Jean Capelle, 69621 Villeurbanne cedex

Directeur de thèse: Professeur Alain GUINET

Président de jury : C. Thierry, Professeur (Université Toulouse II le Mirail)

Composition du jury :

L. Benyoucef Professeur (Université Aix-Marseille), Examineur

F.F. Boctor Professeur (Université Laval), Rapporteur

P. Dejax Professeur (Ecole des Mines de Nantes), Rapporteur

J. Fondrevelle Maître de Conférences (INSA de Lyon), Co-directeur

A. Guinet Professeur (INSA de Lyon), Directeur de thèse

A. Ruiz Professeur (Université Laval), Examineur

C. Thierry Professeur (Université Toulouse II le Mirail), Examineur