

Planification Tactique de Chaîne d'Approvisionnement dans le contexte de Législations Environnementales

JULIEN TROCHU¹, AMIN CHAABANE², MUSTAPHA OUHIMMOU³

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE (ÉTS)

1100 rue Notre Dame Ouest, H3C 1K3, Montréal, CANADA.

¹Julien.Trochu.1@ens.etsmtl.ca

²Amin.Chaabane@etsmtl.ca

³Mustapha.Ouhimmou@etsmtl.ca

Résumé – Les grandes chaînes logistiques actuelles sont des acteurs majeurs des dommages causés à l'environnement. Ainsi, elles sont ciblées par un nombre croissant de réglementations gouvernementales et sont de plus en plus sujettes à la transparence et au contrôle de l'impact environnemental de leurs activités. Cet article présente l'étude d'un problème d'optimisation tactique de chaîne logistique soumise à la loi sur la compensation aux services de collecte dans la Province du Québec au Canada. La formulation mathématique linéaire développée dans ce travail permet l'étude des décisions optimales d'approvisionnement et de production dans le cas d'une entreprise assujettie à cette loi. Étant donné que le montant de la compensation payable est proportionnel au poids des produits mis sur le marché à la disposition des consommateurs, nous proposons l'introduction sur le marché d'une version alternative du produit fini standard. Le nouveau produit est assemblé sur une nouvelle technologie à partir d'une nomenclature comportant des composants éco-conçus plus légers que les précédents. Les résultats suggèrent que la nouvelle gamme de produits pourrait permettre de réduire la facture environnementale associée à la compensation tout en permettant à l'entreprise assujettie de rester compétitive.

Abstract – Large supply chains being a major player in the damage on the environment, they are targeted by an increasing number of environmental regulations. In this paper, we study the problem of procurement and manufacturing planning under environmental regulations. This work introduces an integer linear programming model (ILP) considering supply chain purchasing and manufacturing tactical decisions under the compensation regulation. The proposed model allows the use of clean production technologies to manufacture one product family based on two versions of bill of materials (BOM): standard and green. As the compensation regulation penalizes companies for the excessive weight of products sold on the market, this green version with lighter BOM is used to demonstrate the impact of this new regulation on the total supply chain cost for companies operating in the province of Quebec. The results may yield cost reduction through the development of eco designed products and the use of clean technologies. In this case, the compensation decreases significantly and the company remains competitive.

Mots clés – Chaîne logistique, optimisation, environnement, législations, compensation.

Keywords – Supply chain, optimization, environment, regulations, compensation.

1 INTRODUCTION

Les deux dernières décennies du 20^{ème} siècle ont marqué un tournant incontestable concernant la prise de conscience de la communauté internationale face à la menace environnementale des pratiques industrielles à travers le monde. Lors du troisième sommet de la terre qui a lieu en juin 1992 à Rio de Janeiro, pas moins de 182 états et plus d'un millier d'organisations non gouvernementales se rencontrent et débattent des mesures à adopter en vue de préserver l'environnement. Cette rencontre sans précédent dans l'histoire contribuera très largement à la prise de conscience collective et à la naissance du concept de « développement durable ». C'est d'ailleurs à l'issue de cette

rencontre que va émerger ce qui est aujourd'hui communément reconnu comme une définition du développement durable : « Un développement permettant de répondre aux besoins de la génération présente sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs ». Les premiers concepts tels celui de l'écoconception font leur apparition dans la littérature scientifique [Navin-Chandra, 1991], et seront bientôt repris par de nombreux auteurs [Ashley, 1993; Allenby et Richards, 1994; Lu et Huang, 1997]. Quelques années plus tard on commence à parler de chaîne logistique durable lorsque l'on rencontre à la fois les objectifs économiques, environnementaux et sociaux simultanément [Elkington, 1998].

De nos jours, même les multinationales les plus populaires et les plus influentes peuvent subir les conséquences de leur mauvaise attitude vis-à-vis de l'environnement. Ce fut par exemple le cas du géant de l'électronique Apple qui a dû faire face à plusieurs reprises aux critiques du groupe environnemental Greenpeace à propos de l'utilisation des batteries au lithium d'un de ces appareils de téléphonie. Ces accusations ayant provoqué une mauvaise publicité auprès des clients de la marque, cela a engendré un impact négatif immédiat sur les ventes de l'appareil en question, forçant ainsi la compagnie à prendre des mesures rapides et à modifier certains composants de son produit. De la même manière, la société fournisseur de carburant British Petroleum (BP) a souffert d'une mauvaise réputation après avoir été accusé d'activités industrielles causant une pollution aérienne massive. C'est pourquoi de nos jours beaucoup de managers de grandes chaînes logistiques sont obligés de prendre de nouvelles directions en faveur de pratiques plus durables en réponse aux pressions de leurs actionnaires.

Toutefois, une évolution dans les pratiques corporatives en faveur d'une réduction de l'impact environnemental peut se révéler être un avantage compétitif majeur dans certains secteurs. Ce fut le cas par exemple pour la compagnie Puma dans le secteur du textile, ayant choisi d'appliquer une politique de transparence totale envers ses clients. C'est ainsi que les rapports d'impacts environnementaux au sujet des émissions de gaz à effet de serre et de la consommation en eau sont publiés sur le site web de l'entreprise. Cependant le souci de se conformer aux réglementations gouvernementales demeure aujourd'hui la principale cause de remise en question pour les entreprises et les grandes chaînes d'approvisionnement. Tel a été le cas dans le secteur de l'industrie chimique et des solvants en général lorsque la directive européenne RoHS (Restriction of Hazardous Substance) a été appliquée en 2006. L'Europe représentant plus de 60% des ventes mondiales de solvants en tout genre, les multinationales de cette filière n'ont eu d'autre choix que de s'adapter aux nouvelles réglementations sur la composition chimique de leurs solvants sans quoi les pays de l'union européenne n'étaient plus autorisés à importer leurs produits.

Parmi les législations internationales les plus connues, plusieurs d'entre elles touchent le domaine de la logistique inverse, à savoir le traitement des produits après la fin de leur cycle de vie utile pour les consommateurs [Min et Kim, 2012]. En effet tout comme la législation sur la compensation étudiée dans ce travail, nombre d'entre elles s'inscrivent dans le cadre de ce que l'on appelle communément le principe de Responsabilité Élargie des Producteurs (REP). Cette démarche consiste simplement à tenir le producteur d'un bien pour responsable la gestion de ce dernier à la fin de son utilisation par le consommateur [Subramanian et al. 2009 ; Atasu et Wassenhove, 2010]. La loi sur les déchets des équipements électriques et électroniques (DEEE) impose par exemple la collecte et le recyclage d'une proportion minimale des produits disponibles sur le marché [Hammond et Beullens, 2007; Che et Wang, 2008]. Ces mesures existent aussi dans d'autres secteurs industriels tels que celui de l'automobile avec notamment la réglementation touchant les véhicules en fin de vie (ELV : end of life vehicle). Cette dernière encourage les constructeurs automobiles à utiliser des matières premières et des composants plus faciles à réutiliser et à recycler [Gerrard et Kandlikar, 2007].

2 PROBLEMATIQUE DE RECHERCHE ET METHODOLOGIE

2.1 Définition de la problématique de recherche

Le présent travail de recherche propose l'étude d'une chaîne d'approvisionnement assujettie à la loi sur la compensation aux services de collectes, dont la figure 1 en page suivante récapitule les grandes lignes. Cette réglementation en vigueur depuis 2005 dans la province de Québec au Canada s'inscrit dans le cadre du principe de REP et cible les entreprises émettrices de certains contenants, emballages et imprimés (CEI). Cette loi a pour objectif de faire contribuer les entreprises aux coûts initialement supportés par les municipalités pour la récupération et la collecte des matières résiduelles des particuliers. Cette initiative du ministère de l'environnement et du développement durable fait intervenir plusieurs entités dans le processus de compensation aux services de collecte. L'organisme jouant le rôle prépondérant dans ce processus de collecte de fond auprès des entreprises se nomme Éco Entreprise Québec (ÉEQ). Dans un premier temps, ÉEQ reçoit pour chaque municipalité le bilan annuel des coûts de la collecte sélective des matières résiduelles ciblées par la loi. Par la suite, une comparaison est effectuée avec les quantités de CEI mises sur le marché selon la déclaration annuelle des entreprises. En effet chaque année un formulaire officiel doit être renseigné par les compagnies assujetties, précisant les quantités exactes de CEI visés par la loi mises sur le marché. Une comparaison est effectuée afin d'établir les tarifs exigibles pour chaque type de matière première qui permettront de compenser les dépenses des municipalités pour les services de collectes. Cette estimation de tarification est révisée puis transmise au ministère pour approbation officielle.

Aujourd'hui, plus de 3250 entreprises sont soumises à cette réglementation dans la province de Québec, et les montants de compensation annuels s'élèvent à plus de 130 millions de dollars. Basée sur les types de matières premières et de poids de CEI mis sur le marché à disposition des consommateurs, les tarifs appliqués permettent de déterminer le montant de la contribution due aux municipalités. Les types de matériaux visés par la loi sur la compensation sont les suivants: plastique, verre, acier, carton, l'aluminium et emballages de toute sorte. Ainsi, chaque matériau a un coût unitaire associé basé sur un kilogramme collecté par les services municipaux. Cette législation maintenant en vigueur depuis une décennie ne cesse d'être renforcée au fil des années. En effet si initialement les entreprises devaient contribuer seulement à hauteur de 60%, elles sont aujourd'hui responsables de la totalité des coûts encourus par les services municipaux de collecte. De plus chaque année de nouveaux CEI n'étant pas visés auparavant entrent dans le cadre de la loi sur la compensation. Si certaines compagnies ne sont pas ou que très peu touchées par cette réglementation, d'autres en revanche encourent des pénalités financières non négligeables. En effet sur la totalité du montant collecté par ÉEQ pour la compensation, presque 90% est financé par les 10% des entreprises les plus impactées, correspondant ainsi à une facture annuelle moyenne avoisinant les 350 000\$ si l'on considère les 325 entreprises en tête de liste. L'objectif de ce travail de recherche est d'analyser l'impact potentiel de cette législation sur les entreprises locales et de proposer une solution permettant de réduire la facture environnementale annuelle des entreprises les plus impactées. À notre connaissance, ce problème n'a fait l'objet d'aucun travail de recherche auparavant.

2.2 Méthodologie de résolution

Pour tenter de répondre à notre problème et ainsi mettre en place une approche d'aide à la décision aux entreprises assujetties à la loi sur la compensation, nous proposons l'étude d'une chaîne d'approvisionnement à trois échelons. Celle-ci se compose d'un ensemble de fournisseurs chez qui l'on s'approvisionne en matières premières, de plusieurs usines manufacturières au sein desquelles sont assemblés les produits finis, et d'un ensemble de centres de distribution permettant d'entreposer les produits dans l'attente d'une livraison prochaine vers les magasins de détails. Ces derniers approvisionnent donc les consommateurs et de cette manière les CEI visés par la loi arrivent sur le marché. Nous supposons que l'entreprise étudiée œuvre dans un secteur particulièrement touché par ce type de réforme, comme par exemple le secteur des biens de consommation rapides (Fast Moving Consumer Goods: FMCG) comme c'est le cas par exemple dans le domaine de l'agroalimentaire. En effet les entreprises et chaînes d'approvisionnement exerçant une activité dans ce secteur sont amenées à manipuler au quotidien des quantités impressionnantes de CEI de tous types. Ainsi on suppose initialement que l'entreprise met sur le marché une gamme de produits (ou famille de produits) dont les CEI sont fabriqués à partir d'un ensemble de matériaux selon une nomenclature particulière appelée « Bill Of Material » (BOM). Ce BOM est assemblé aux usines par les ouvriers sur une technologie de production standard et le produit fini est ensuite envoyé aux centres de distribution pour y être stocké puis ensuite distribué aux différents magasins de détails à travers le Québec. Étant donné l'assujettissement de la compagnie à la loi sur la compensation, notre travail d'analyse propose de s'intéresser à l'introduction d'une nouvelle gamme de produits dits « verts » au sein de la chaîne d'approvisionnement. Il s'agit en fait de la même famille de produit que celle proposée aux consommateurs actuellement, mais assemblée à partir de certains composants ayant fait l'objet d'un travail d'écoconception préalable. Ceci permet à la fois d'atteindre un poids final allégé pour nos CEI

présentant ainsi un avantage pour la compensation mais aussi de réduire le volume total occupé par ces derniers. Par la suite, nous émettons l'hypothèse selon laquelle ces composants sont assemblés au moyen d'une nouvelle technologie que l'on appellera aussi technologie propre, et dont l'utilisation requiert une formation particulière de nos ouvriers. Aussi nous supposons que la demande du consommateur ne tient pas compte de la version du produit fini : standard ou vert. Ce dernier souhaitant se procurer un produit fini sera donc aussi bien satisfait par un produit standard ou bien par un la nouvelle gamme de produit verts. Le but de cette étude est le suivant : l'entreprise possède déjà sa propre façon de faire, et elle applique son plan habituel d'approvisionnement et de production afin de mettre sur le marché la version standard du produit fini. Cependant, elle fait face à une législation environnementale qui pourrait s'avérer problématique dans un futur proche et elle s'interroge sur la possibilité d'introduire cette nouvelle version du produit (i.e. produit vert) sur le marché. Ainsi nous proposons d'étudier dans quelle mesure la loi sur la compensation aux services de collecte affecte aujourd'hui l'entreprise assujettie, et dans quelle mesure l'introduction de cette nouvelle gamme de produits verts sur le marché pourrait-elle agir sur la facture environnementale de l'entreprise. Aussi, nous émettons l'hypothèse qu'à l'image de ces dernières années cette loi est amenée à se durcir d'avantage et ainsi même si la situation est tolérable aujourd'hui, un renforcement de la législation pourrait se révéler problématique. Ainsi nous proposons de remettre en question le plan optimal d'approvisionnement et de production de la chaîne logistique concernée. Nous mettrons en évidence que l'introduction d'une gamme de produits verts présente un réel intérêt dépendamment du prix d'acquisition des composants éco-conçus, y compris dans le cadre d'un renforcement futur de la législation. Ainsi, la modélisation proposée dans la suite de ce travail pourrait aider certaines compagnies à repenser leurs pratiques habituelles et ainsi à diminuer leur facture environnementale de manière significative pour les plus touchées.

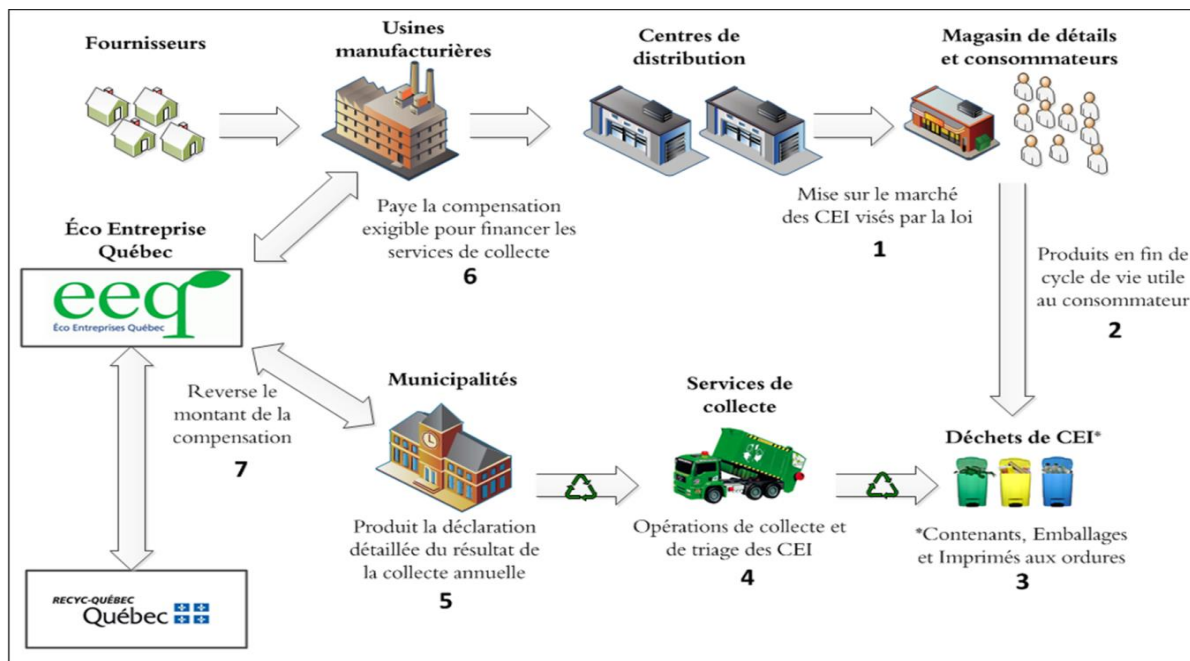


Figure 1. Chaîne d'approvisionnement assujettie à la loi sur la compensation

3 REVUE DE LA LITTÉRATURE

La logistique inverse est un domaine particulièrement étudié dans la littérature ces dernières années [V. D. R. Guide Jr and L. N. Van Wassenhove, 2009]. On utilise souvent le terme de chaîne d'approvisionnement en boucle fermée lorsque les produits arrivés à la fin de leur cycle de vie utile aux consommateurs sont pris en charge afin d'être désassemblés, triés, remis à neufs, recyclés, ou bien parfois enfouis. Si les décisions stratégiques se concentrent généralement sur la conception du réseau logistique, les questions opérationnelles portent plutôt sur des problèmes de tailles de lots, de tournées de véhicules ou encore sur la planification des opérations de désassemblage. Le niveau de décision tactique est quant à lui plutôt axé sur les flux entre les unités logistiques telles que les centres de collecte et de triage, centres de recyclage et sites d'enfouissement [G. C. Souza, 2012]. De ce fait les décisions de type tactique sont particulièrement affectées par les législations environnementales faisant partie du principe de REP telles que la directive sur les équipements électriques et électroniques (DEEE) ou encore la directive sur les véhicules usagés (End of Life Vehicle ELV) [S. Bernard, 2015]. Si certains auteurs supposent que le processus de revalorisation des produits usagés est de la responsabilité du fabricant, d'autres considèrent que cette tâche doit être partagée par les partenaires de la chaîne logistique [B. W. Jacobs et R. Subramanian, 2012]. Les auteurs modélisent deux types de flux du réseau logistique, les flux de produits neufs et de produits recyclés. Les résultats mènent à la conclusion que dans le cas où la chaîne d'approvisionnement est assujettie à la loi environnementale, il est plus rentable pour les partenaires industriels de collaborer dans le processus de logistique inverse. Quoi qu'il en soit, le principe de REP est aujourd'hui international et affecte les pratiques des chaînes logistiques à travers le monde [Lai et al., 2014]. Une étude récente utilise le concept de la théorie des jeux pour démontrer l'efficacité de la politique gouvernementale menée à travers le concept de REP [J. Cao et al., 2014].

Les thèmes d'approvisionnement durable et d'écoconception sont également très abordés dans la littérature. En effet les choix relatifs à l'approvisionnement vont engendrer un impact certain sur l'environnement à cause de facteurs multiples tels les émissions de carbone, le gaspillage ou encore la consommation en énergie nécessaire lors du processus de fabrication [Lu et al., 2007]. C'est dans cette optique qu'un nombre croissant d'entreprises collabore étroitement avec les fournisseurs et que certaines vont même jusqu'à mettre en place des politiques d'évaluation de ces derniers afin de garder un certain contrôle sur l'impact environnemental qui leur est associé [Chen et al., 2013]. Les modèles mathématiques étudiés portent surtout sur la gestion des déchets durant le processus de production [Q. Zhu et al., 2007] ainsi que sur l'utilisation de l'énergie dépendamment des matières premières sélectionnées chez les fournisseurs [D. Holt et A. Ghobadian, 2009]. Parmi les travaux plus récents, une formulation mathématique permet d'estimer le niveau des émissions de gaz à effet de serre (GES) d'un produit afin d'identifier les composants du BOM qui causent le plus de dommage sur l'environnement. Ainsi le produit peut être conçu de plusieurs façons en sélectionnant des composants différents avec des niveaux d'émissions plus faibles, les composants envisageables étant identifiés au moyen d'un algorithme de

sélection [Song et Lee, 2010]. Ce travail présente une étude réalisée dans le secteur des téléviseurs LCD et montre l'intérêt de considérer le design des produits finis durant la phase de conception de la chaîne d'approvisionnement. Plus tard une nouvelle formulation mathématique de minimisation des coûts considère le choix du design des produits avec des contraintes relatives aux capacités d'approvisionnement chez chaque fournisseur ainsi que des capacités d'accueil des infrastructures logistiques. Le travail démontre que le choix stratégique des fournisseurs peut être différent selon le design que l'on choisit pour notre produit [Tseng et al., 2013]. On trouvera par la suite l'étude simultanée des risques de la chaîne d'approvisionnement combinés aux risques de développement d'un nouveau design de produit. Le modèle mathématique linéaire développé tient compte de la fiabilité des fournisseurs ainsi que des délais de satisfaction de la demande [Claypool et al., 2014]. Pour finir, un récent travail développe une modélisation linéaire multi-objectifs permettant de considérer les tailles de lots de commandes optimales en parallèle avec le processus de sélection des fournisseurs [Azadnia et al., 2015].

De nombreux travaux de recherche récents étudient également l'optimisation des systèmes de production. Dans l'industrie du textile, cette fois deux modélisations différentes sont étudiées pour une optimisation de planification de production sous incertitudes. Les deux modèles s'inscrivent sous le thème de prévention de la pollution, l'un permet de maximiser le profit réalisé tandis que l'autre minimise le risque de pollution [Radulescu et al., 2009]. Plus tard une comparaison entre deux scénarios sera effectuée: le premier considère le cas d'une compagnie dont la production est sujette à des législations environnementales strictes tandis que le second analyse le cas d'une politique de production avec un objectif environnemental fixé volontairement [Chen et Monahan, 2010]. Parmi les travaux les plus récents, certains auteurs prennent en considération les technologies de production en parallèle avec les émissions de gaz à effet de serre. Cette analyse considère dans un premier temps le commerce des crédits de carbone pour revenir par la suite à une simple taxe applicable selon le niveau d'émissions. La modélisation mise en place et dont l'objectif est de maximiser les profits de l'entreprise donne le choix entre l'utilisation d'une ou plusieurs technologies de production pouvant être standard ou propre [Drake et al., 2012]. Les différentes politiques de gestion du carbone sont reprises et comparées, incluant les émissions des processus manufacturiers de la chaîne d'approvisionnement [Jaber et al., 2013]. La littérature sera enrichie par un modèle d'optimisation qui tient compte de la sélection de la technologie, des quantités de production optimales ainsi que de la variation des prix applicables aux produits finis selon la nature de la demande des clients [Krass et al., 2013]. Ensuite deux modèles d'optimisation sont mis en place, considérant d'une part le choix de la technologie de production et des matières premières mais il modélise également pour la première fois la corrélation entre la demande et la nature des produits manufacturés, selon s'il s'agit de produits standards ou de produits verts [Nouira et al., 2014]. D'autres outils intéressants comme la méthodologie AHP (Analytical Hierarchy Process) sont utilisés dans le but d'évaluer les meilleurs plans de production basés sur l'analyse quantitative de facteurs environnementaux. On tient compte des émissions de GES, du gaspillage en production, ainsi que des limitations d'utilisation des matériaux dangereux [Shojaeipour et al., 2015].

4 FORMULATION DU MODELE D'OPTIMISATION

On modélise notre chaîne logistique à l'aide d'une formulation mathématique linéaire en nombres entiers. La structure proposée permet à l'entreprise assujettie d'adapter ses décisions tactiques d'approvisionnement et de production comme expliqué dans la section précédente afin de réduire la facture annuelle de compensation. On appelle nœuds du réseau chaque fournisseur, infrastructure logistique (usines de production et entrepôts) ainsi que les clients représentant ici les magasins de détail qui s'approvisionnent avec nos produits. Le modèle est formulé comme suit :

Ensembles

- $\{i, j\} \in N$ Nœuds du réseau
- $s \in S \subset N$ Ensemble des fournisseurs
- $u \in U \subset N$ Ensemble des usines
- $w \in W \subset N$ Ensemble des entrepôts
- $c \in C \subset N$ Ensemble des clients
- $p \in P$ Ensemble des produits
- $r \in R \subset P$ Ensemble des matières premières
- $f \in F \subset P$ Ensemble des produits finis
- $t \in T$ Périodes de temps
- $m \in M$ Technologies de production

Paramètres

- b_{rf} = Nombre de composants $r \in R$ dans le produit fini $f \in F$
- z_{fct} = Demande pour le produit fini $f \in F$ par le client $c \in C$ durant la période $t \in T$
- p_p = Poids du produit $p \in P$ (kg)
- v_p = Volume du produit $p \in P$ (m^3)
- θ_{fm} = Temps nécessaire à l'assemblage du produit fini $f \in F$ avec la technologie $m \in M$ (heures)
- v^{ij} = Capacité volumique des camions entre les nœuds $i \in N$ et $j \in N$ (m^3)
- w^{ij} = Capacité de charge des camions entre les nœuds $i \in N$ et $j \in N$ (kg)
- α_{rst} = Coût d'acquisition du matériau $r \in R$ chez le fournisseur $s \in S$ à la période $t \in T$ (\$)
- β_{fut} = Coût de production du produit fini $f \in F$ à l'usine $u \in U$ à la période $t \in T$ (\$)
- δ_{fwt} = Coût de possession du produit fini $f \in F$ à l'entrepôt $w \in W$ à la période $t \in T$ (\$)
- n_{ij} = Nombre de camions disponibles pour les livraisons entre les nœuds $i \in N$ et $j \in N$ (UN)
- c_p^{ij} = Coût de transport unitaire du produit $p \in P$ entre les nœuds de type $i \in N$ et $j \in N$ (\$/km)
- d_{ij} = Distance entre les nœuds $i \in N$ et $j \in N$ (km)
- φ = Coût de formation d'un ouvrier régulier sur la nouvelle technologie (\$)
- g = Capacité de travail d'un ouvrier par période (h)
- e_m = Taux horaire d'un ouvrier travaillant sur la technologie $m \in M$ (\$/h)
- a_{mut} = Coût d'une opération de maintenance sur la technologie $m \in M$ à l'usine $u \in U$ à la période $t \in T$ (\$)

- ε_{mut} = Pénalité financière causée par l'arrêt de la production durant une opération de maintenance sur la technologie $m \in M$ à l'usine $u \in U$ à la période $t \in T$ (\$)
- o_{mut} = Capacité de production de la technologie $m \in M$ à l'usine $u \in U$ à la période $t \in T$ avant laquelle une opération de maintenance est requise (UN)
- Ω_{srt} = Capacité du fournisseur $s \in S$ à fournir le composant de type $r \in R$ à la période $t \in T$ (UN)
- ψ_{rt} = Tarif de compensation exigé pour un kilogramme du matériau $r \in R$ mis sur le marché à la période $t \in T$
- h_{pit} = Coût de stockage du produit $p \in P$ au nœud $i \in N$ à la période $t \in T$
- ξ_{it} = Capacité d'accueil au nœud $i \in N$ à la période $t \in T$ (kg)

Variables de décision

- E_{umt} = Nombre d'ouvriers requis pour la production sur la technologie $m \in M$ à l'usine $u \in U$ à la période $t \in T$
- X_{ijpt} = Flux de produits $p \in P$ entre les nœuds $i \in N$ et $j \in N$ à la période $t \in T$
- I_{pit} = Niveau de stock du produit $p \in P$ au nœud $i \in N$ à la période $t \in T$
- K_{fmut} = Quantité de produits $f \in F$ assemblés sur la technologie $m \in M$ à l'usine $u \in U$ à la période $t \in T$ (UN)

Fonction objectif (FO)

Min FO = Coûts d'acquisition + Coûts de production + Coûts de manutention + Coûts de formation des ouvriers + Maintenance + Salaires des ouvriers + Coûts de transports + Coûts de stockage + Compensation aux services de collecte.

Soit :

$$\begin{aligned}
 \text{Min} \quad & \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} \sum_{u \in U} \alpha_{rst} \cdot X_{fwt} + \sum_{t \in T} \sum_{f \in F} \sum_{u \in U} \sum_{m \in M} \beta_{fut} \cdot K_{fmut} \\
 & + \sum_{t \in T} \sum_{f \in F} \sum_{w \in W} \sum_{c \in C} \delta_{fwt} \cdot X_{wft} \\
 & + \sum_{u \in U} \sum_{t \in T} E_{u2t} \cdot \varphi \sum_{m \in M} \sum_{u \in U} \sum_{t \in T} \left[\frac{\sum_f K_{fmut} (a_{mut} + \varepsilon_{mut})}{o_{mut}} \right. \\
 & \left. + E_{umt} \cdot e_m \cdot g \right] + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} \frac{p_p c_p^{ij} d_{ij}}{w^{ij}} X_{ijpt} \\
 & + \sum_{t \in T} \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} I_{pit} \cdot h_{pit} + \sum_{r \in R} \sum_{t \in T} \psi_{rt} \sum_{f \in F} \sum_{u \in U} (X_{fwt} \cdot p_r)
 \end{aligned}$$

Soumis aux contraintes :

$$\sum_{u \in U} X_{surt} \leq \Omega_{srt} \quad \forall s \in S, \forall r \in R, \forall t \in T \quad (1)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{w \in W} X_{wcf t} = z_{fct} \quad \forall c \in C, \forall f \in F, \forall t \in T \quad (2)$$

$$\sum_{s \in S} X_{surt} + I_{ru(t-1)} = \sum_{w \in W} X_{uwft} \sum_{f \in F} b_{rf} + I_{rut} \quad \forall r \in R, \forall u \in U, \forall t \in T \quad (3)$$

$$\sum_{u \in U} X_{uwft} + I_{fw(t-1)} = \sum_{c \in C} X_{wcf t} + I_{fw t} \quad \forall f \in F, \forall w \in W, \forall t \in T \quad (4)$$

$$\sum_{m \in M} K_{fmut} = \sum_{w \in W} X_{uwft} \quad \forall f \in F, \forall u \in U, \forall t \in T \quad (5)$$

$$\sum_{r \in R} \sum_{s \in S} (X_{surt} + I_{rut}) p_r + \sum_{f \in F} \sum_{w \in W} [X_{uwft} \cdot p_f] \leq \xi_{ut} \quad \forall u \in U, \forall t \in T \quad (6)$$

$$\sum_{f \in F} \sum_{u \in U} X_{uwft} \cdot p_f + \sum_{f \in F} \sum_{c \in C} [X_{wcf t} + I_{fw t}] p_f \leq \xi_{wt} \quad \forall w \in W, \forall t \in T \quad (7)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} [X_{ijpt} \cdot p_p] \leq n_{ij} \cdot w^{ij} \quad \forall t \in T \quad (8)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} [X_{ijpt} \cdot v_p] \leq n_{ij} \cdot v^{ij} \quad \forall t \in T \quad (9)$$

$$K_{12ut} = K_{21ut} = 0 \quad \forall u \in U, \forall t \in T \quad (10)$$

$$E_{umt} \leq \sum_{f \in F} \frac{K_{fmut} \cdot \theta_{fm}}{g} \quad \forall u \in U, \forall t \in T, \forall m \in M \quad (11)$$

$$X_{ijpt}, E_{umt}, I_{pit}, K_{fmut} \in \mathbb{N} \quad (12)$$

La première contrainte assure que les capacités des fournisseurs ne sont pas excédées. La contrainte (2) garantie que la demande des clients est satisfaite à 100%, tandis que les contraintes (3) et (4) représentent les traditionnelles contraintes de flux aux usines et aux entrepôts respectivement en considérant les stocks. La contrainte (5) interdit le stockage de produits finis aux usines de telle manière que chaque lot de production est immédiatement envoyé dans un centre de distribution. Les contraintes (6) et (7) définissent les capacités maximales de production aux usines manufacturières ainsi que les capacités d'accueil totales des infrastructures logistiques. Les contraintes (8) et (9) s'assurent que l'on n'excède pas la capacité des camions aussi bien en termes de poids qu'en termes de volume. La contrainte (10) impose que chacun de nos produits finis, standard comme vert, est assemblé au moyen d'une unique technologie de production aux usines. La contrainte (11) définit le nombre minimal d'ouvriers nécessaires pour assurer les activités de production tandis que l'intégrité des variables de décisions est garantie par la contrainte (12). Le solveur commercial Lingo 15.0 a été utilisé pour résoudre notre formulation mathématique. Cette dernière se compose de 6 680 variables, 3 360 entiers, 36 497 non-zéros ainsi que de 4 077 contraintes.

5 EXPERIMENTATIONS ET RESULTATS

5.1 Structure des données

Nous allons maintenant tester notre modèle mathématique en considérant une application dans le domaine de l'industrie agroalimentaire. En effet, ce type de secteur industriel est particulièrement affecté par la loi sur la compensation du fait des quantités importantes de CEI de toute sorte impliqués et mis sur le marché à la disposition des consommateurs. Nous considérons que les matières premières ($r_1 \dots r_8$) nécessaires à la fabrication des CEI viennent d'un ensemble de 8 fournisseurs. L'assemblage se fait ensuite au sein de 4 usines manufacturières potentielles, avant que les produits finis soient ensuite acheminés vers un ensemble de 8 entrepôts potentiels. Enfin, ces derniers sont finalement envoyés aux 25 magasins de détails pour satisfaire la demande des consommateurs qui ne tient pas compte des préférences entre produits standards et verts. Nous étudions ce scénario selon un horizon de planification d'une année, décomposée en 4 périodes d'un trimestre chacune. Bien que la version verte du produit fini soit différente de la version initiale, il s'agit de la même famille de produit et les deux BOMs partagent des composants comme le montre la figure 2.

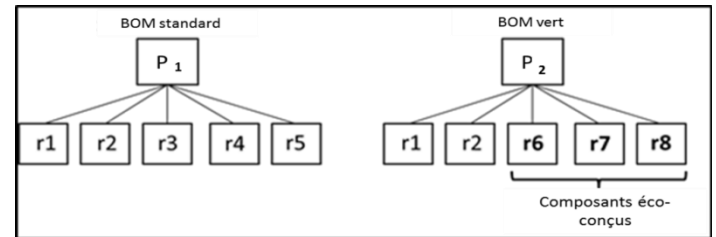


Figure 2. BOM standard versus BOM vert

Les composants standards (r_3, r_4, r_5) étant remplacés par les composants éco-conçus (r_6, r_7, r_8) au sein du BOM vert, la nouvelle version du produit fini est sensiblement plus légère et moins volumineuse comme le récapitule le tableau 1 ci-après.

Tableau 1. Caractéristiques des produits finis

Produit	Volume (m ³)	Poids (kg)
Standard	0.005	0.5
Vert	0.0043	0.36

La chaîne d'approvisionnement considérée dans notre exemple est donc soumise à la loi sur la compensation. Le tableau 2 ci-dessous donne les tarifs en vigueur selon les types de matériaux.

Tableau 2. Tarifs de compensation (données réelles 2014)

Type de matériaux	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Tarifs (cents par kg)	26.47	68.13	18.78	9.71	11.49

(1) représente le carton, (2) le plastique, (3) l'aluminium, (4) l'acier et finalement (5) correspond à la catégorie du verre. La section suivante présente les résultats de nos différentes expérimentations. L'objectif premier de cette étude de cas est de comprendre comment les managers devraient ajuster leur plan d'approvisionnement et de production pour réduire la facture annuelle de compensation aux services de collecte tout en restant compétitifs dans leur secteur d'activité.

5.2 Résultats

La figure 3 montre la structure de coûts de la chaîne logistique assujettie à la loi sur la compensation dans le scénario de base (i.e. année de référence), c'est-à-dire le cas où la nouvelle gamme de produit vert n'est pas encore utilisée par l'entreprise.

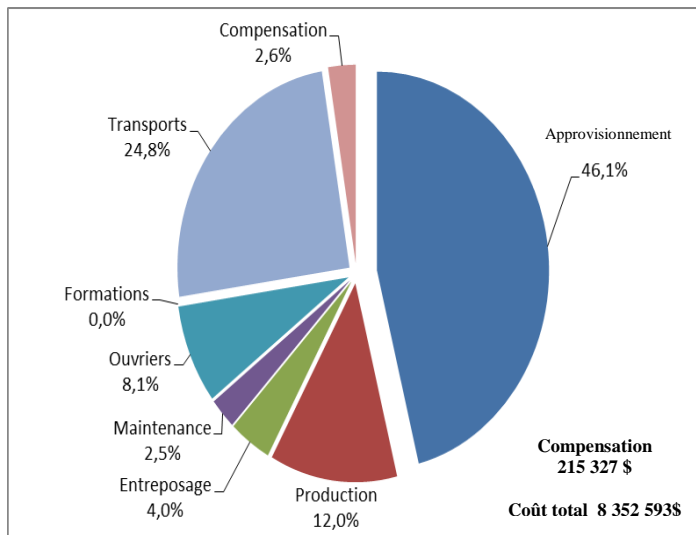


Figure 3. Structure des coûts logistiques: Scénario de base

Nous pouvons constater que le montant de la compensation payable à ÉEQ s'élève à 215 327\$ soit 2.6% des coûts de la chaîne logistique étudiée. Dans le cas présent, nous rappelons que la demande des consommateurs est satisfaite uniquement au moyen des produits de type standards. À l'aide de la composition du BOM standard nous sommes en mesure de dresser un bilan des quantités de matières premières impliquées dans la facture de compensation. La figure 4 ci-après synthétise cette information.

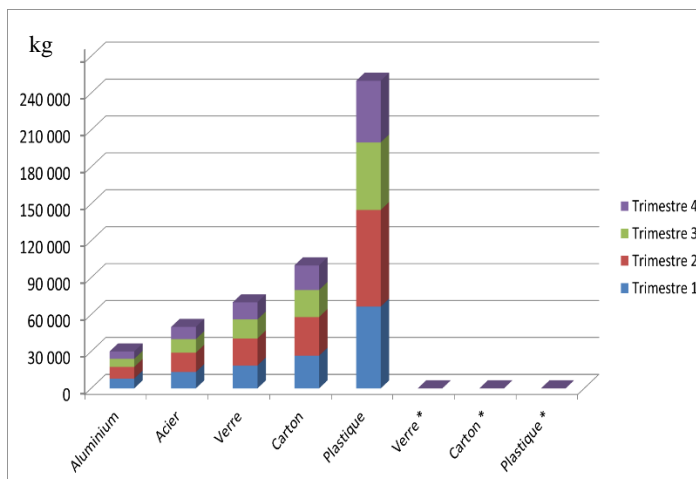


Figure 4. Quantités de matières premières impliquées Scénario de base

On peut voir que dans notre exemple la matière première qui pose problème semble être le plastique présent dans les CEI visés par la loi. En effet non seulement la quantité de plastique représente quasiment 50% du poids total de CEI mis sur le marché mais de plus c'est le matériau ayant le tarif le plus élevé par kilogramme collecté par les services de collecte (voir le tableau 2). Nous supposons donc que pour l'année suivante

(année $n+1$) l'entreprise assujettie décide de revoir son plan de production dans le but de réduire sa facture environnementale. La figure 5 ci-dessous montre le gain potentiel maximal réalisable sur la compensation dans le cas du scénario vert (i.e. 100% de la demande satisfaite avec les produits verts).

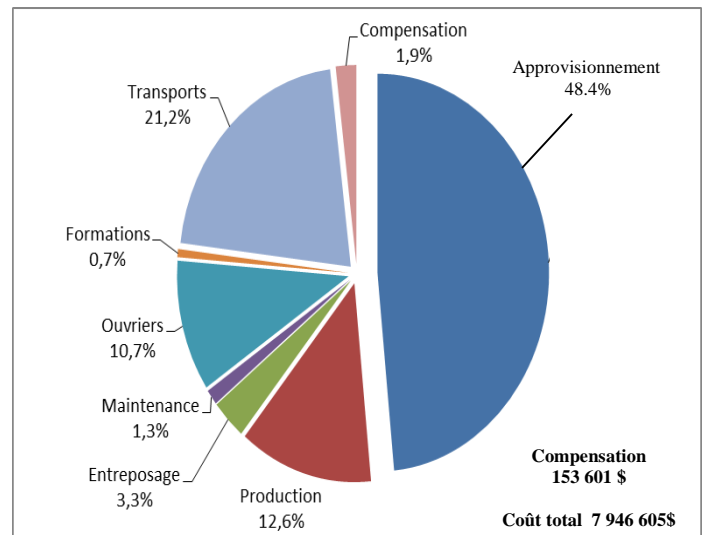


Figure 5. Structure des coûts logistiques: Scénario vert

On remarque dans un premier temps que la structure de coûts de la chaîne d'approvisionnement est un peu différente de l'année précédente. En effet on utilise dans ce scénario le BOM avec les composants éco-conçus ainsi que la nouvelle technologie de production, ce qui implique la formation de certains ouvriers sur la nouvelle machine, et ces derniers sont mieux rémunérés une fois formés. On remarque également une baisse des coûts d'entreposage liée au fait que le poids et le volume total des produits à gérer dans ce scénario est inférieur au premier cas étudié. C'est aussi la raison pour laquelle on note une baisse significative des coûts de transports, le nombre de livraisons requises pour satisfaire la demande étant désormais de 1 018 contre 1 169 dans le scénario de base.

Ainsi, nous parvenons à réduire la facture annuelle de la compensation à 153 601\$ (soit de 28.7%) tout en diminuant le coût global de la chaîne logistique de 4.9%. La figure 6 montre les nouvelles quantités de CEI impliquées.

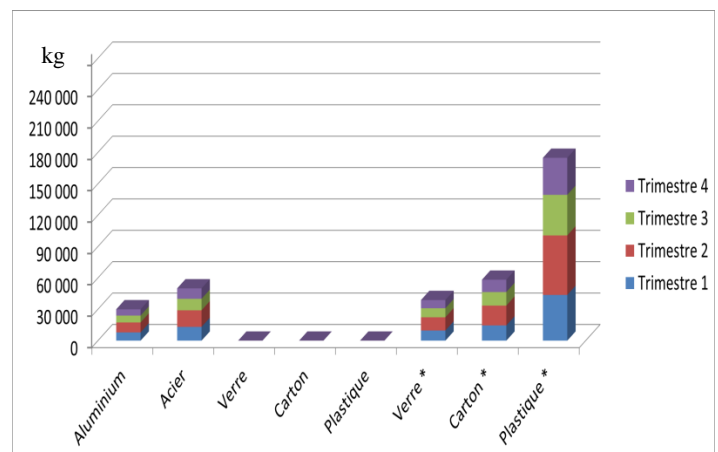


Figure 6. Quantités de matières premières impliquées Scénario vert

Effectivement on peut voir en figure 6 que les composants éco-conçus du BOM vert permettent des économies intéressantes par rapport au poids total des CEI mis sur le marché. Dans le scénario initial on atteint les 500 tonnes lors de la déclaration annuelle tandis que le scénario vert permet à l'entreprise de passer sous les 360 tonnes déclarées. On remarque notamment que pour une quantité de plastiques au-dessus de 240 tonnes initialement, nous descendons désormais sous la barre des 180 tonnes au cours de l'année $n+1$, principal vecteur de la réduction des coûts de compensation aux services de collecte. Bien entendu, il est à prévoir que le travail d'écoconception implique une hausse du prix d'achat des composants chez nos fournisseurs. Ainsi une analyse de sensibilité a été conduite sur le facteur Ω représentant la hausse moyenne du prix d'achat des composants. Le tableau 3 ci-après en résume les grandes lignes.

Tableau 3. Plan de production optimal en fonction de la hausse moyenne du prix d'achat des composants éco-conçus

scénario vert optimal	production verte dominante	niveaux égaux 50/50	production standard dominante	Scénario standard optimal
$\Omega < 6\%$	$6\% \leq \Omega < 16,5\%$	$\Omega = 16,5\%$	$16,5\% < \Omega < 39,5\%$	$\Omega \geq 39,5\%$

On remarque que si la hausse du prix d'achat des composants est inférieure à 6%, alors le remplacement total des produits standards par la nouvelle gamme de produits est recommandé. Entre 6 et 16.5%, la production de la nouvelle gamme de produit reste dominante. Néanmoins un compromis est suggéré entre BOM standard et BOM vert jusqu'à 16.5%, auquel cas le plan optimal suggère une production équitable entre les anciens et les nouveaux produits. Si la hausse du prix d'achat moyen excède les 16.5%, la production standard et l'utilisation de l'ancienne technologie deviennent à nouveau prédominantes. À partir d'un accroissement de 39.5% du prix en revanche, il est recommandé de ne plus utiliser le BOM vert et d'arrêter la production de la nouvelle gamme de produits. Selon la situation, l'entreprise assujettie peut donc être amenée à ajuster son plan de production en fonction du prix d'achat des composants. Bien entendu, plus le niveau de production verte augmente et plus la compensation payable à ÉEQ décroît comme le montre la figure 7.

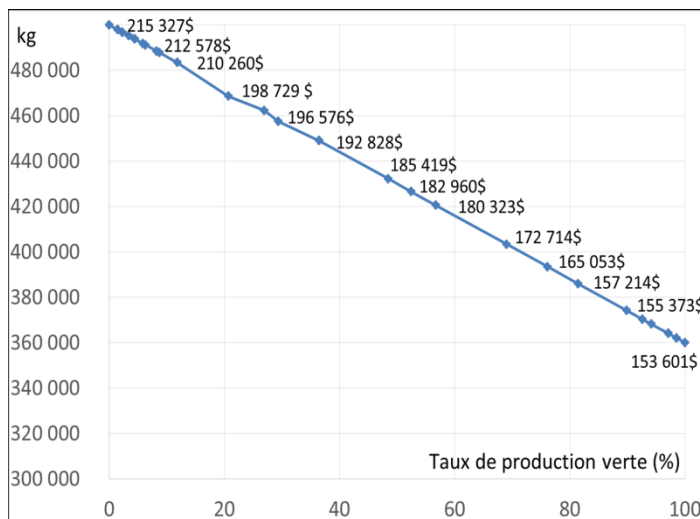


Figure 7. Montant de la compensation exigible en fonction du taux de production verte

En l'état actuel des choses, la compensation annuelle payable par la compagnie assujettie aux services de collecte varie donc dans l'intervalle [153 601\$; 215 327\$]. Les bornes de l'intervalle étant atteintes respectivement pour le scénario vert et le scénario standard. Cependant ces dernières années ont montré que cette législation a tendance à se renforcer progressivement. Non seulement les CEI visés par la loi sont de plus en plus nombreux, mais de plus les tarifs déjà en vigueur augmentent d'une année sur l'autre. C'est depuis peu que les entreprises québécoises sont responsables à hauteur de 100% de la compensation aux services de collecte (Janvier 2013), et déjà la tarification moyenne montre une augmentation de 3.2% pour l'année 2014. Basé sur ce constat et en émettant l'hypothèse d'une hausse identique dans les prochaines années, le tableau 4 présente une approximation des tarifs de compensation potentiels d'ici 10 ans.

Tableau 4. Estimation des tarifs de compensation d'ici 10 ans

Type de matériaux	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Tarifs (cents par kg)	36.3	93.4	25.7	13.3	15.7

À l'aide de ces nouveaux tarifs, la figure 8 montre la nouvelle structure de coûts de la même chaîne logistique pour l'année d'assujettissement 2024.

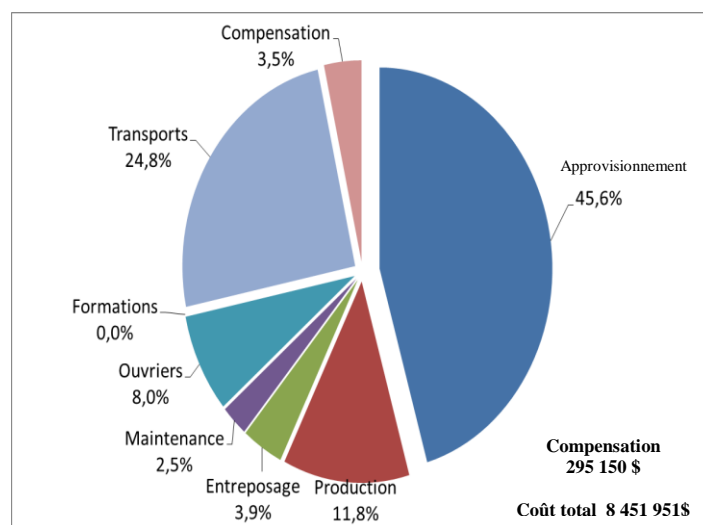


Figure 8. Structure estimée des coûts pour l'année 2024

Dans le cas de notre entreprise, on s'attend d'ici une dizaine d'années à une augmentation de la compensation de 215 327\$ à 295 150\$, soit 27%. De plus le coût total des opérations de la chaîne logistique subit également une légère hausse, dont 3.5% du total sont dus à la compensation aux services de collecte. Cependant plus tôt nous avons montré que l'utilisation du modèle d'optimisation proposé en section 4 permet d'atteindre jusqu'à 28.7% de réduction notre facture environnementale dans le cas du scénario vert. De cette manière l'entreprise assujettie pourrait stabiliser sa facture de compensation à une valeur proche du montant actuel et ce malgré un renforcement de la législation sur les 10 prochaines années. Bien entendu comme nous l'avons mentionné précédemment, le scénario vert pourrait ne pas être optimal si le prix d'achat des composants éco-conçus est trop élevé. Ainsi un partenariat solide avec les fournisseurs présente un atout non négligeable qui permettrait à long terme de favoriser l'entrée de la gamme de produits verts sur le marché.

6 CONCLUSION

Dans ce travail de recherche nous nous sommes intéressés à une chaîne d'approvisionnement assujettie à une réglementation environnementale en vigueur depuis 2005 dans la province de Québec au Canada. La loi sur la compensation aux services de collecte entre dans le cadre du principe de responsabilité élargie des producteurs qui tient le manufacturier pour responsable, financièrement dans notre cas d'étude, des activités de logistique inverse reliées aux produits de type CEI mis sur le marché à la disposition des consommateurs finaux. Cette législation a pour but ultime de réduire la quantité annuelle moyenne de déchets par habitants en imposant aux entreprises un certain niveau de contrôle sur l'impact environnemental associé à leurs activités industrielles, sans quoi elles se voient pénalisées financièrement. Si certaines entreprises québécoises de par leur taille et/ou secteur d'activité ne sont que peu ou pas touchées par cette réglementation gouvernementale, d'autres en revanche accusent une facture environnementale trop élevée et souhaitent amorcer un processus de changement.

6.1 Contribution de l'article

Dans ce travail nous avons développé un modèle d'optimisation mathématique linéaire proposant l'étude de la planification tactique d'approvisionnement et de production d'une chaîne logistique dans le cadre d'un assujettissement à la loi sur la compensation. Nous avons étudié la possibilité d'introduire sur le marché une nouvelle gamme de produits verts assemblée à partir d'un BOM alternatif comportant des composants éco-conçus. Ces nouveaux produits verts, bien qu'appartenant à la même famille que les anciens, sont sensiblement plus légers et moins volumineux que les produits standards, ce qui les rends plus intéressant au regard du fonctionnement du principe de compensation. Partant de ces hypothèses nous avons réalisé une série d'expérimentations afin d'évaluer dans quelles mesures l'introduction de cette nouvelle gamme de produit pourrait s'avérer bénéfique pour l'entreprise assujettie. Bien que l'étude du plan optimal de production soit prépondérante dans les résultats présentés, elle est étroitement connectée aux décisions tactiques d'approvisionnement puisque les deux types de produits finis sont assemblés à partir de deux BOM différents. De plus, chacun des deux BOMs est associé à une technologie manufacturière de production unique: l'ancienne technologie assemble uniquement le BOM standard et la nouvelle technologie est réservée au BOM vert.

Les résultats de nos diverses expérimentations suggèrent que l'introduction de la nouvelle gamme de produits verts permet des économies plus ou moins importantes en fonction du prix d'acquisition des composants éco-conçus. En effet la proportion considérable occupée par les coûts d'approvisionnement au sein de la chaîne logistique nous a dans un premier temps conduit à effectuer une analyse de sensibilité sur la hausse du prix moyen d'achat des composants éco-conçus présents dans le BOM vert. Ce travail d'analyse nous a permis d'évaluer les meilleurs décisions d'approvisionnement et par extension de trouver le plan tactique optimal de production pour chacun des scénarios envisagés. Ces multiples expérimentations nous ont permis d'estimer dans le même temps l'impact de notre plan de production sur la facture environnementale de l'entreprise pour laquelle nous avons précisé les coûts de compensation associés sur une base annuelle. Ce qui ressort principalement cette

réflexion nous encourage à introduire la nouvelle gamme de produits avec précaution. En effet si les composants verts se vendent trop cher chez nos fournisseurs, toutes les économies réalisées tant sur le bilan purement logistique que sur la facture environnementale s'avèrent inutiles puisqu'ils sont surpassés par des coûts d'approvisionnement trop élevés. En revanche si le travail d'écoconception ne se vend pas trop cher, l'introduction de la gamme de produit vert se révèle être une bonne alternative pour réduire l'impact environnemental de la compagnie tout en réduisant le coût global de la chaîne d'approvisionnement dans le même temps. Par la suite nous avons envisagé un probable durcissement de la loi sur la compensation au cours des prochaines années dans la province de Québec comme le suggère la tendance de ces dernières années. Les résultats montrent que si cette loi continue à se durcir, notre modèle d'optimisation pourrait se révéler efficace et permettrait à l'entreprise assujettie de diminuer ses coûts environnementaux en adaptant son plan de production progressivement. Ainsi de cette manière l'entreprise assujettie pourrait stabiliser sa facture annuelle de compensation et demeurer compétitive sur le marché tout en bénéficiant d'une bonne réputation quant à ses pratiques environnementales.

6.2 Perspectives de recherche

De notre point de vue, ce travail de recherche constitue un bon point de départ dans le processus d'aide aux entreprises souhaitant réduire leur facture de compensation aux services de collecte. Cependant les pistes de recherche à ce sujet sont encore nombreuses et il pourrait s'avérer intéressant de pousser encore plus loin le travail d'analyse présenté dans cet article. En effet nous avons pu constater que le secteur des transports présente un bon potentiel de réduction des coûts lorsque le poids total et le volume des produits transportés diminue. Ce constat nous pousse à envisager une étude plus poussée au niveau de la consolidation et de l'optimisation du chargement des véhicules de livraisons dans le cas où l'on considère plusieurs familles de produits simultanément. Aussi, l'organisme ÉEQ accorde aujourd'hui jusqu'à 20% de rabais sur le montant de compensation payable dans le cas où l'entreprise met sur le marché un certain taux de CEI déjà recyclés post-consommation. Ceci pourrait aisément être intégré dans le modèle d'optimisation présenté dans ce travail. Aussi, l'utilisation de la programmation stochastique dans la modélisation permettrait de prendre en considération certaines incertitudes comme la demande des clients ou encore les futurs tarifs applicables. Enfin il pourrait s'avérer pertinent d'envisager dans un second travail une certaine corrélation entre la demande des consommateurs et la nature des produits. En effet de plus en plus de citoyens responsables se positionnent en faveur de l'environnement et accordent lors de leurs achats une importance croissante aux produits verts et aux écolabels. Ainsi il y a fort à parier que pour un certain nombre d'entre eux, l'hypothèse que la demande peut être satisfaite aussi bien par la version standard que par la version verte du produit final est erronée.

7 REFERENCES

- Atasu, A. and L. N. Van Wassenhove (2010). "Environmental legislation on product take-back and recovery." *Closed-Loop Supply Chains: New Developments to Improve the Sustainability of Business Practices*: 23-28.
- Azadnia, A. H., M. Z. M. Saman and K. Y. Wong (2015). "Sustainable supplier selection and order lot-sizing: an integrated multi-objective decision-making process." *International Journal of Production Research* 53(2): 383-408.
- Bernard, S. (2015). "North-south trade in reusable goods: Green design meets illegal shipments of waste." *Journal of Environmental Economics and Management* 69: 22-35.
- Cao, J., L. L. Hu and Q. Q. Yao (2014). "Game Analysis of Reverse Supply Chain Based on Government Regulation." *Advanced Materials Research* 915: 1528-1531.
- Che, Z. and H. Wang (2008). "Supplier selection and supply quantity allocation of common and non-common parts with multiple criteria under multiple products." *Computers & Industrial Engineering* 55(1): 110-133.
- Chen, C. and G. E. Monahan (2010). "Environmental safety stock: The impacts of regulatory and voluntary control policies on production planning, inventory control, and environmental performance." *European Journal of Operational Research* 207(3): 1280-1292.
- Claypool, E., B. A. Norman and K. L. Needy (2014). "Modeling risk in a Design for Supply Chain problem." *Computers & Industrial Engineering* 78: 44-54.
- Drake, D., P. Kleindorfer and L. Van Wassenhove (2012). "Technology choice and capacity portfolios under emissions regulation."
- Elkington, J. (1998). "Partnerships from cannibals with forks: The triple bottom line of 21st-century business." *Environmental Quality Management* 8(1): 37-51.
- Gerrard, J. and M. Kandlikar (2007). "Is European end-of-life vehicle legislation living up to expectations? Assessing the impact of the ELV Directive on 'green' innovation and vehicle recovery." *Journal of Cleaner Production* 15(1): 17-27.
- Guide Jr, V. D. R. and L. N. Van Wassenhove (2009). "OR FORUM-the evolution of closed-loop supply chain research." *Operations research* 57(1): 10-18.
- Hammond, D. and P. Beullens (2007). "Closed-loop supply chain network equilibrium under legislation." *European Journal of Operational Research* 183(2): 895-908.
- Jaber, M. Y., C. H. Glock and A. M. El Saadany (2013). "Supply chain coordination with emissions reduction incentives." *International Journal of Production Research* 51(1): 69-82.
- Jacobs, B. W. and R. Subramanian (2012). "Sharing responsibility for product recovery across the supply chain." *Production and Operations Management* 21(1): 85-100.
- Krass, D., T. Nedorezov and A. Ovchinnikov (2013). "Environmental taxes and the choice of green technology." *Production and Operations Management* 22(5): 1035-1055.
- Lai, K.-h., C. W. Wong and Y. V. Lun (2014). "The role of customer integration in extended producer responsibility: A study of Chinese export manufacturers." *International Journal of Production Economics* 147: 284-293.
- Lu, L. Y., C. Wu and T.-C. Kuo (2007). "Environmental principles applicable to green supplier evaluation by using multi-objective decision analysis." *International Journal of Production Research* 45(18-19): 4317-4331.
- Min, H. and I. Kim (2012). "Green supply chain research: past, present, and future." *Logistics Research* 4(1-2): 39-47.
- Nouira, I., Y. Frein and A. B. Hadj-Alouane (2014). "Optimization of manufacturing systems under environmental considerations for a greenness-dependent demand." *International Journal of Production Economics* 150: 188-198.
- Rădulescu, M., S. Rădulescu and C. Z. Rădulescu (2009). "Sustainable production technologies which take into account environmental constraints." *European Journal of Operational Research* 193(3): 730-740.
- Shojaeipour, S. (2015). "Sustainable manufacturing process planning." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*: 1-14.
- Souza, G. C. (2012). *Product Disposition Decisions on Closed-Loop Supply Chains*. Sustainable Supply Chains, Springer: 149-164.
- Subramanian, R., S. Gupta and B. Talbot (2009). "Product design and supply chain coordination under extended producer responsibility." *Production and Operations Management* 18(3): 259-277.
- Tseng, M.-L., R. R. Tan and A. B. Siriban-Manalang (2013). "Sustainable consumption and production for Asia: sustainability through green design and practice." *Journal of Cleaner Production* 40: 1-5.
- Worthington, I., M. Ram, H. Boyal and M. Shah (2008). "Researching the drivers of socially responsible purchasing: a cross-national study of supplier diversity initiatives." *Journal of Business Ethics* 79(3): 319-331.
- Zhu, Q., J. Sarkis and K.-h. Lai (2007). "Green supply chain management: pressures, practices and performance within the Chinese automobile industry." *Journal of Cleaner Production*.