

III. 1. Chaîne logistique verte.....

    III.1.1 Contexte .....

    III.1.2 Définition .....

III. 2. Gestion de la chaîne logistique verte.....

    III.2.1 Définition .....

    III.2.2 Historique des travaux de recherches.....

III. 3. Performance .....

    III.3.1 Performance environnementale.....

    III.3.2 Lien entre performances financière et environnementale .....

    III.3.3 Lien entre émissions de carbone et performance financière .....

    III.3.4 Indicateurs .....

    III.3.5 Discussion .....

III. 4. Etude des émissions de carbone le long d'une chaîne logistique .....

III. 5. Conclusion.....

### III. 1. Chaîne logistique verte

#### III.1.1 Contexte

L'environnement n'est plus seulement l'affaire des organisations à but non lucratif. Sa prise en compte par l'industrie permet d'accroître les profits (Srivastava, 2007). Les entreprises sont donc poussées à adopter des mesures environnementales (Vachon, 2007, Zhang et al., 2007) par :

- leurs clients

(Zhu and Geng, 2001) citent les chiffres suivants : dans certaines villes chinoises comme Dalian, 83,4% des personnes préfèrent acheter des produits verts, 72,5% seraient prêtes à payer plus cher pour cela ; Aux Etats-Unis, ces chiffres passent à 75% et 80% (Carter et al., 2000). D'un autre côté, (Robinson and Wilcox, 2008) indique que 91% des entreprises évaluent leurs fournisseurs sur des critères verts. A compétence égale, cela devient donc un facteur de différenciation.

- leurs actionnaires

On peut citer la loi numéro 2001-420 du 15 mai 2001 relative aux nouvelles régulations économiques qui oblige les entreprises cotées en bourse à inclure dans leur rapport annuel des informations concernant les conséquences sociales et environnementales de leurs activités. Dans cette optique, le Dow Jones Sustainability Index a été créé et prend en compte les conduites durables.

- et les états (Zhang et al., 2007)

On peut également citer des normes : l'ISO 14000 par exemple qui regroupe ce que « l'organisme fait pour réduire au minimum les effets dommageables de ses activités sur l'environnement, et améliorer en permanence sa performance environnementale. » (Arsham, 2000)(Arsham, 2000)(Arsham, 2000)(Arsham, 2000)(Arsham, 2000)

Notre étude a pour but d'aider les responsables de chaîne logistique à rendre leur chaîne logistique plus performante d'un point de vue environnemental.

#### III.1.2 Définition

La chaîne logistique verte renvoie aux différentes méthodes que met en place chaque entreprise avec ses fournisseurs et ses clients pour améliorer leur performance environnementale ce qui va au delà de la logistique inverse (Lu et al., 2007a). Pour (Zhang et al., 2007) la chaîne logistique verte qu'il nomme durable comporte les trois aspects du développement durable : social, écologique et économique.

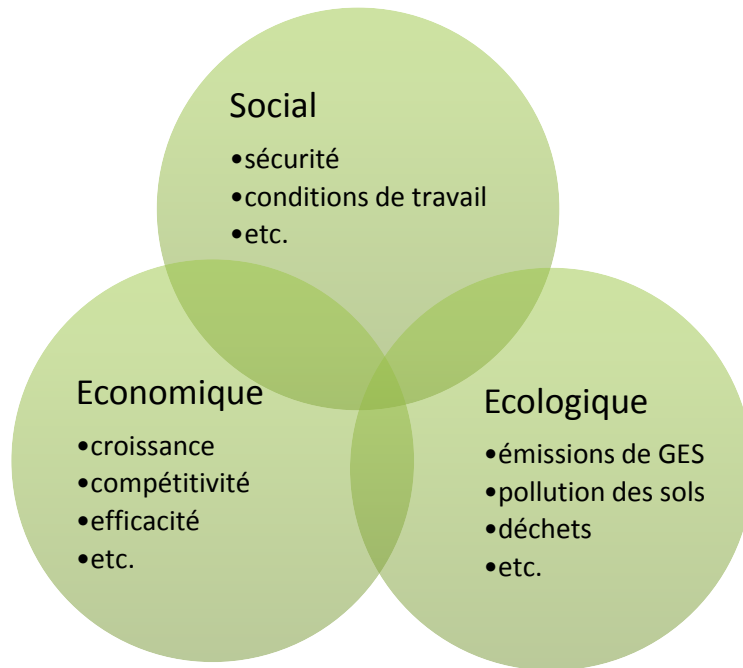


Figure 28 : Logistique durable (Pan 2010)

Cette transposition du développement durable dans l'entreprise se traduit par la triple bottom line (People, Planet, Profit) (Elkington (1999)). C'est une allusion à la dernière ligne du bilan (résultat net). Qui dit performance, dit également création de valeur qui peut être directement financière mais aussi indirectement financière (image de marque, etc.).

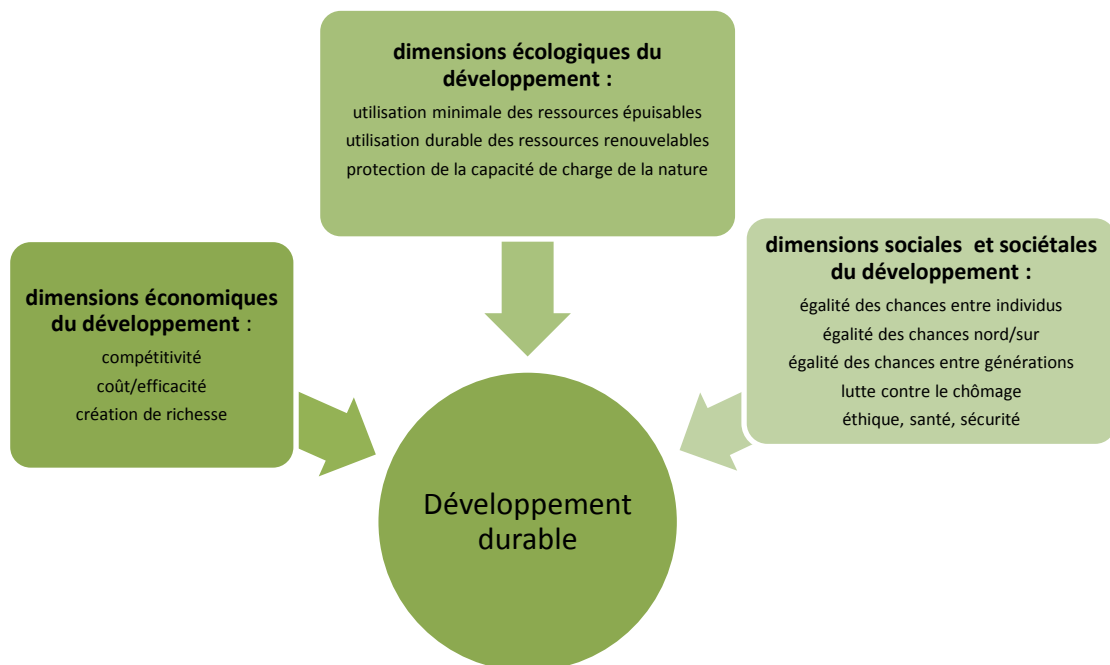


Figure 29 : "triple bottom line"(Guyonnaud and Willard, 2004)

La gestion de la chaîne logistique a donc dû s'adapter à cette nouvelle dimension.

### III. 2. Gestion de la chaîne logistique verte

#### III.2.1 Définition

Selon (Lu et al., 2007b), la gestion de la chaîne logistique verte passe par la définition de critères environnementaux constants et poursuit deux objectifs :

- promouvoir une attitude environnementale responsable le long de la chaîne logistique
- aider les fournisseurs à reconnaître l'importance de résoudre les problèmes environnementaux et les aider dans leurs initiatives

Ces deux objectifs donnent naissance à la définition suivante (Bloemhof-Ruwaard et al., 1995).

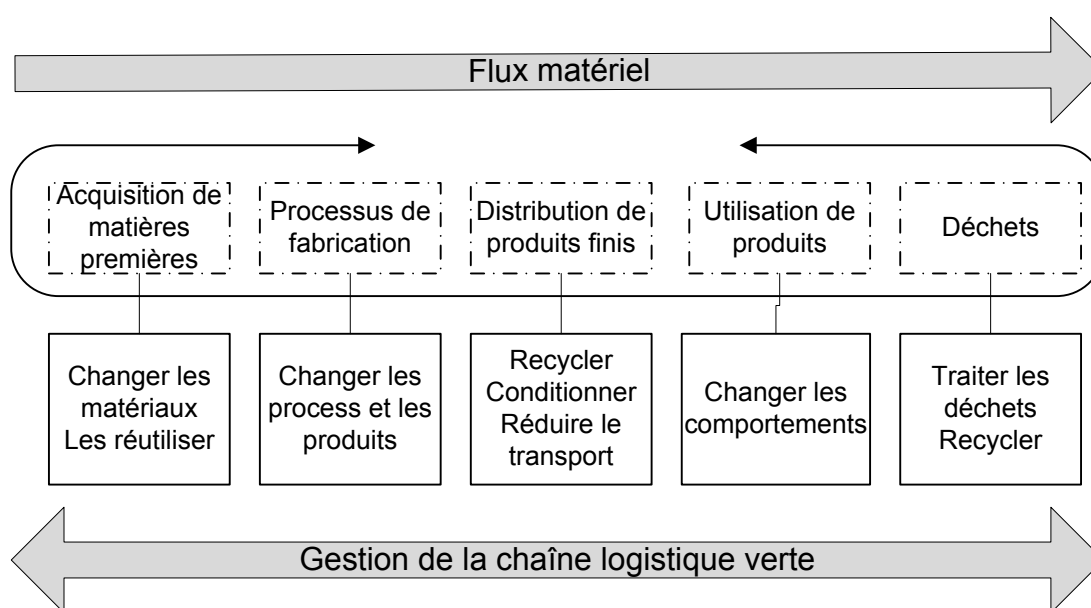


Figure 30 : Gestion de la chaîne logistique durable

#### III.2.2 Historique des travaux de recherches

(Sarkis et al., 2011) effectuent une revue de littérature de la gestion de la chaîne logistique verte : les premiers travaux datent de 1969 et l'argumentation invoque déjà des émissions de GES (Ayres and Kneese, 1969). Ils traitent des flux de matières. A partir des années 80, la revue historique d'(Erkman, 1997) indique que les recherches se concentrent sur l'analyse du cycle de vie des produits. A la fin des années 80, le double aspect économique et environnemental est traité. La gestion de la chaîne logistique verte est enfin vue comme stratégique (Bhote, 1989).

(Thomas and Griffin, 1996) rajoute que depuis 1996 et la norme ISO 14001, les entreprises sont fortement incitées à porter attention au volet environnemental mais que dans un premier temps elles ont amélioré le design et la composition de leur produit.

D'après la revue de (Srivastava, 2007), depuis le début des années 90 jusqu'en 2005 : 14 travaux concernent la gestion des déchets, 22 la logistique inverse, 21 la fabrication et le

recyclage, 16 la conception et 20 la gestion de la chaîne logistique verte. Il distingue également deux types de recherche :

- la conception des produits (Kuo et al., 2001),
- le côté opérationnel. Dans ce dernier, nous pouvons lister : la production, le réassemblage (Sheu et al., 2005), la logistique inverse, la conception de la chaîne logistique (Fleischmann et al., 2001, Zhu et al., 2008), la gestion des déchets (Bloemhof-Ruwaard et al., 1996, Cheng et al., 2003).

A travers une revue des 191 articles de 1994 à 2007 concernant le terme Sustainable Supply Chain (SSC), (Seuring and Müller, 2008) trouvent que près de 90% des études analysées discutent des problèmes environnementaux. Parmi ces sujets, (Thomas and Griffin, 1996) indiquent que le terme « green » s'est accru dans les publications mais que la plupart des travaux sont basés sur la logistique des retours (Reverse Logistics) et le système de recyclage (Bostel et al., 2005), le transport ayant reçu relativement moins d'attention sur cette période.

(Wang et al., 2011), quant à eux, étudient la chaîne logistique avec comme focus principaux le transport et la manutention. A travers leur modèle, ils tentent de minimiser le coût total et l'influence environnementale de leur chaîne. Ils concluent que garder une grande flexibilité dans les livraisons grâce au stockage est bénéfique pour l'environnement. Ils rajoutent que plus la demande est grande, plus il sera avantageux d'investir davantage dans la protection de l'environnement. En effet, pour eux, plus la demande est forte, plus le prix pour le produit fabriqué peut être grand. Les entreprises n'ont alors pas besoin d'aller chercher des fournisseurs lointains mais moins chers.

(Beamon, 2005) aborde la "gestion de la chaîne logistique consciente de l'environnement". Mais, pour lui, il y a un réel manque de travaux de recherches ayant pour but d'aider les ingénieurs à prendre des décisions quel que soit leur niveau. Déjà en 1996, (Lamming and Hampson, 1996) indiquaient que, dans l'immédiat, le principal défi pour les professionnels de la chaîne logistique était de transformer les facteurs environnementaux clés en succès financiers. Pour cela, il est nécessaire de leur fournir des guides d'aide à la décision.

Pour comparer les chaînes logistiques, nous devons mesurer leur performance respective.

### III. 3. Performance

#### III.3.1 Performance environnementale

(Wu and Dunn, 1995) indique que chaque élément de la chaîne de valeur doit être impliqué dans la recherche de performance environnementale. La figure 31 montre bien que au delà du contrôle de la qualité puis de la gestion de la qualité totale se situe la gestion environnementale de cette dernière. Elle prend en compte l'environnement et les autres parties prenantes. (Wilkerson, 2005) précise que la gestion environnementale est un conducteur de valeur commerciale et non un centre de profits.

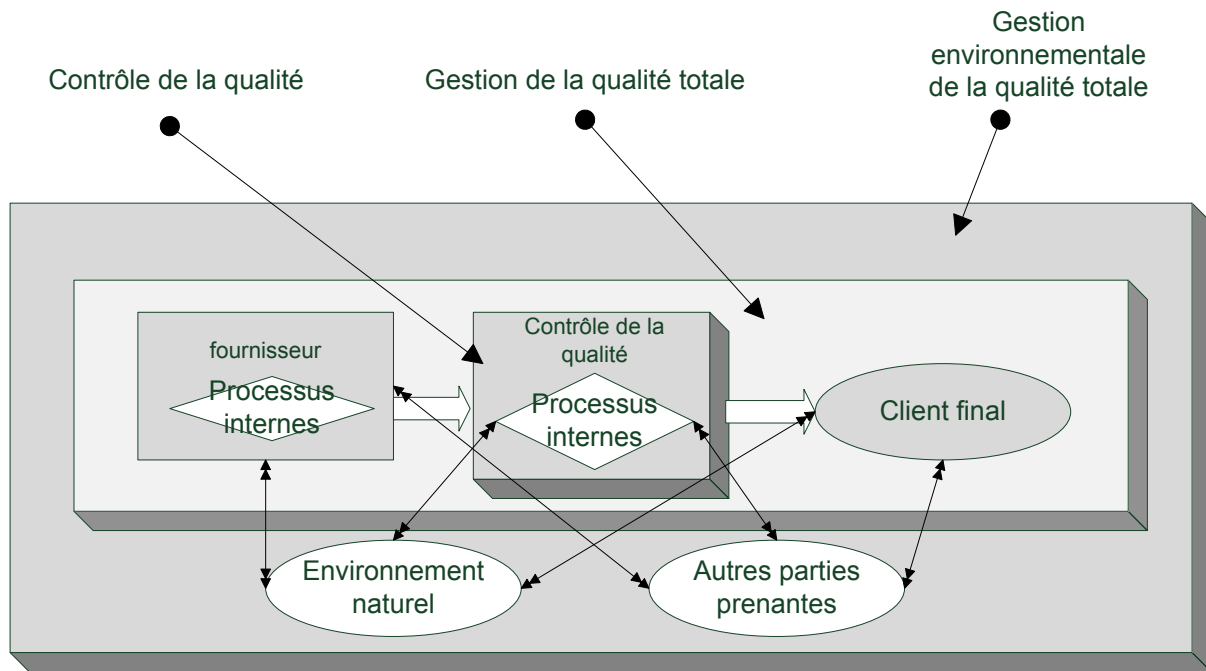


Figure 31 : Gestion environnementale de la qualité totale (Corbett and Klassen, 2006)

### III.3.2 Lien entre performances financière et environnementale

Les entreprises sont donc de plus en plus poussées par leurs clients, leurs actionnaires et les états à adopter des mesures environnementales (Akono and Fernandes, 2009). Elles sont prêtes à mettre en place une politique de développement durable si elles ont la preuve que leurs bénéfices seront accrus par ce choix (Bowen et al., 2001). Dès lors, un des sujets les plus importants dans la littérature est la question de la compatibilité entre le développement durable et la croissance économique (de Brito et al., 2008), (Kainuma and Tawara, 2006, Lamming and Hampson, 1996). (Dyllick, 2002) indique que le nombre d'articles sur ce sujet croît. Ainsi, pour (Carter and Rogers, 2008), il existe un lien entre performances environnementale et économique voire sociétale. De plus, plusieurs auteurs montrent de manière empirique que ce lien est positif (King A. and Lenox M., 2001), (Klassen R-D and McLaughlin C., 1996), (Porter M. E. and Van der Linde C., 1995), (Murphy, 2002). (Derwall et al., 2005) montrent même que le bénéfice d'un investissement durable peut être substantiel. D'autres articles établissent une relation entre initiatives vertes et augmentation de la compétitivité mais n'ont pas assez de preuves pour en mesurer l'importance (Rao and Holt, 2005), (Kiernan, 2001a). (Zhu and Sarkis, 2004) trouvent que les pratiques de la gestion verte de la chaîne logistique donne une relation 50/50 entre performances environnementale et économique.

La chaîne logistique peut être impactée de différentes manières : la réduction des gaspillages entraînerait des gains de productivité et une baisse des coûts de production, un label vert entraînerait une augmentation des ventes, etc. Les études de (Derwall et al., 2005) et (Kiernan, 2001b) le confirment. (Ferretti et al., 2007) évaluent les effets économiques (rebuts, stocks, etc.) et environnementaux dans une chaîne logistique d'aluminium liquide. Pour eux, si l'investissement vert engendre un gain financier, cette combinaison n'est pas infinie. La courbe liant les deux est asymptotique.

(Chien and Shih, 2007) résumant ainsi les implications de la gestion de la chaîne logistique verte :

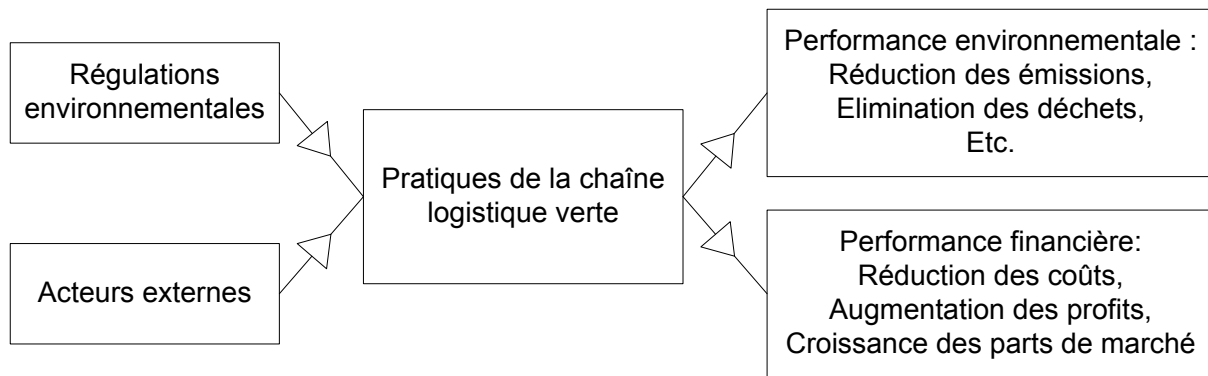


Figure 32 : Implications de la gestion de la chaîne logistique verte

Enfin, (Larson et al., 2000) appliquent la théorie de la "destruction créatrice" de Schumpeter (1883-1950) en expliquant que les entreprises, obligées d'adopter le développement durable, deviennent plus entreprenantes et innovantes.

### III.3.3 Lien entre émissions de carbone et performance financière

Parmi les indicateurs de performance environnementale, nous trouvons les émissions de carbone (figure 32). Or, leur réduction est un objectif important de la logistique durable en cohérence avec la logique du « Facteur 4 ». Pour (Mahoney, 2008), identifier les sources de carbone dans une chaîne logistique devient donc une nécessité. (Sundarakani et al., 2010) rajoutent que les émissions le long de la chaîne logistique sont un élément crucial à prendre en compte. (Busch and Hoffmann, 2007) définissent un contexte carbone très présent autour de la chaîne logistique. Les contraintes sont de natures différentes :

- les matières premières avec notamment les énergies fossiles,
- la conception des produits (choix des matières premières, du mode de fabrication, etc.)
- les implications du Protocole de Kyoto, de la taxe carbone,
- le changement de comportement du consommateur, etc.

Les recherches dans ce domaine sont donc complexes et importantes. Une étude de (Vachon and Mao, 2008) montre que la performance industrielle d'une chaîne logistique et un niveau faible d'émissions de gaz à effet de serre (principalement le CO<sub>2</sub>) sont positivement liés. Dans l'industrie de l'aluminium, (Chaabane et al., 2010) concluent qu'une gestion efficace des émissions de carbone aide les décideurs à accroître leur rentabilité grâce à l'atteinte de leurs objectifs verts.

Pour mesurer cette performance, nous avons besoin d'indicateurs.

### III.3.4 Indicateurs

Pour évaluer la performance environnementale, des indicateurs verts ont été étudiés (Brent and Visser, 2005), (Siracusa G., 2004) mais pour (Lu et al., 2007b), il est impossible de considérer tous les facteurs environnementaux dans une même étude car ils sont trop nombreux. (Veleva and Ellenbecker, 2001) en dénombre 22 dont :

- (Scherpereel et al., 2001) étudient la pertinence d'une sélection d'indicateurs de performance environnementale : qualité de l'eau, émissions gazeuses, déchets solides, déchets toxiques, nuisances locales, consommation d'eau, consommation de matière première et d'emballages.
- (Lu et al., 2007a) citent comme critères environnementaux : gaspillage de matières premières, utilisation de l'énergie, résidus solides, résidus liquides, résidus gazeux. L'étude de (Zhu and Geng, 2001) montre que les bénéfices les plus importants incluent la réduction du gaspillage des matières premières, des coûts de transports et des coûts d'élimination des déchets.
- (Tsoufhas and Pappis, 2008) donnent comme indicateurs pour la supply chain : consommation d'eau, d'énergie, type d'énergie, eau réutilisée, % de matériaux réutilisés, taux de réutilisation, désassemblage, taux de défectueux, taux de défectueux réutilisés, déchets de production, biodégradabilité des produits.
- (Olsthoorn et al., 2001) réalisent une revue des indicateurs et propose notamment les suivants : production physique, quantités financières, nombre d'employés pour les indicateurs financiers et contribution au GES, pollution de l'eau pour les environnementaux.
- (Mosovsky et al., 2000) ont développé un outil de mesure environnementale : Eco Pro. Eco pour ECO-efficacité et Pro pour PROductivité. Il quantifie les impacts environnementaux, la productivité, l'écocoefficience d'une entreprise, son emplacement et le niveau de ses produits.
- Dans leur modèle de future chaîne logistique, Cap Gemini se sert des paramètres suivants (2008a) : réduction des coûts (stock, manutention, transport), émissions de CO<sub>2</sub>, congestion du trafic, simplification des infrastructures. (Rizet and Keïta, 2005) et (Cholette and Venkat, 2009) montre en effet que le transport et le stockage compteraient pour 50% dans l'impact environnemental d'une chaîne logistique.

De plus, (Saling P. et al., 2002) ont mené une analyse d'éco-efficacité. Pour le WBCSD, l'éco-efficacité a pour objectif de faire produire mieux en réduisant les impacts sur l'environnement. C'est une mesure relative :  $\frac{\text{valeur du produit ou service}}{\text{impact environnemental}}$ . Un exemple serait :  $\frac{\text{nombre de produits vendus}}{\text{émissions de carbone}}$  (WBCSD, 2000, Hammond et al., 1995). Dans leur étude, ils indiquent que les trois principaux facteurs sont les émissions et les consommations d'énergie et de matières premières (approximativement 20% chacun). De plus, parmi les émissions, les émissions atmosphériques comptent pour 50%. Pour celles-ci, le CO<sub>2</sub>, gaz à effet de serre, est la mesure de référence. Selon le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), le principal problème auquel la planète doit et devra faire face est le réchauffement climatique résultant de l'augmentation des émissions d'équivalent CO<sub>2</sub> (Soytas and Sari, 2009). Pour (Foran et al., 2005) justement, les aspects financiers peuvent être exprimés en dollars de gains d'exports par dollar investi ; les aspects sociaux en minutes de travail généré pour un dollar investi ; l'aspect environnemental en kilogramme de dioxyde de carbone émis pour un dollar.

### III.3.5 Discussion

L'état de l'art, ci-dessus, nous montre qu'il y a un manque de travaux pouvant servir d'aide à la décision pour les entreprises. Les bénéfices notamment financiers d'une chaîne logistique verte ont été prouvés. Cependant, les émissions font partie des éléments à étudier plus précisément pour mieux quantifier l'intérêt d'intégrer le développement durable dans une chaîne logistique. Nous avons vu au chapitre 2 l'importance que prenait le contexte carbone.



Pour cela, nous nous focalisons sur les émissions d'équivalent carbone, gaz de référence. (Vachon and Mao, 2008) fait aussi le constat d'une augmentation de la performance industrielle en cas de diminution des émissions. Mais quelles émissions étudier ? Le transport et le stockage représentent 50% de l'impact environnemental d'une chaîne logistique. Notre recherche se concentre donc sur les émissions d'équivalent CO<sub>2</sub> dues au transport et au stockage le long d'une chaîne logistique.

### III. 4. Etude des émissions de carbone le long d'une chaîne logistique

Très peu d'articles ont été rédigés sur ce sujet. Nous en avons relevé trois qui portent exclusivement sur les émissions d'équivalent CO<sub>2</sub> :

1. (Sundarakani et al., 2010) utilisent les modèles de transport eulérien et lagrangien pour calculer les émissions d'équivalent CO<sub>2</sub>. Leurs données d'entrée sont les vitesses de dépôt, facteur de résistance, vitesse de friction, poids de dépôts sec, humide, etc. Les résultats sont donnés en kWh. Une des hypothèses de départ est : les émissions dues au transport et au stockage sont les plus importantes. Leur modèle théorique est ensuite appliqué à un exemple numérique pour le valider.

Les hypothèses de départ confirment les nôtres mais la méthode est très différente. Il s'agit ici de calculer de manière très précise les émissions dans un exemple très spécifique.

2. (Chaabane et al., 2010) étudient les conséquences des prix du carbone sur la chaîne logistique à partir d'un modèle mathématique. Pour eux, la vente et l'achat de crédits carbone fait partie intégrante de la stratégie d'une chaîne logistique durable. Selon le prix du carbone et les différentes stratégies de la chaîne logistique quant à ses émissions et au recyclage, ils imaginent différents scénarios et en tirent des conclusions. Pour une stratégie verte à long-terme, un contexte législatif stable est nécessaire et l'intégration des principes d'analyse du cycle de vie des produits permet de la maximiser.

Cette étude, à partir de différents paramètres (financiers, techniques et carbone), compare le coût d'investissements verts avec comme objectif la baisse des émissions avec le prix des crédits carbone.

Ces deux premiers articles, s'ils traitent des émissions d'équivalent CO<sub>2</sub>, n'ont pas la même approche que nos travaux.

3. (Lee, 2011) étudie l'empreinte carbone d'une chaîne logistique dans l'industrie automobile. Par collecte de données et entretiens auprès des salariés de Hyundai Motor Company, il a réalisé des cartes d'émissions. Il a ainsi calculé les émissions d'équivalent CO<sub>2</sub> dues aux matières premières, à la production et à la distribution pour une chaîne simplifiée pour un exemple donné. L'auteur identifie trois limitations à ces recherches :

- un exemple limite la généralisation,
- son cas est très spécifique,
- ses mesures reposent sur des auto-évaluations des gestionnaires de l'entreprise.

D'après lui, il serait donc intéressant de pouvoir généraliser ses recherches. Dans ce cas, les émissions dues aux matières premières et au mode de fabrication ne pourraient par contre pas être retenues.

Cet article se rapproche de nos hypothèses de travail mais reste très spécifique. Pour chaque nouveau cas, il faut recréer des cartes et recalculer les émissions.

D'autres articles correspondent à nos recherches mais ne se limitent pas aux émissions de carbone. Un article basé sur une analyse à classification hiérarchique (AHP) propose de faire évaluer la chaîne logistique d'un point de vue environnemental par un groupe Delphi d'experts environnementaux (Handfield et al., 2002). Cette méthode a été complétée en incluant un point de vue managérial (Lu et al., 2007b). Aucune de ces deux études n'est centrée sur les émissions d'équivalent CO<sub>2</sub>. Elles évaluent la chaîne logistique de manière globale : utilisation des matériaux, consommation d'énergie, résidus solides, liquides et gazeux. De plus, l'AHP semble avoir quelques limites : il n'y a pas de hiérarchie simple pour la plupart des critères et le point de vue humain peut biaiser les résultats. Deux autres études portent sur le choix des fournisseurs. (Chan, 2003) et (Kannan et al., 2008) étudient différents indicateurs également. Pour l'analyse, ils utilisent un modèle appelé Modèle de Sélection Interactive qui automatise les étapes de l'implémentation de l'AHP. Mais toutes ces études reposent sur des analyses statistiques basées sur des données collectées. Ceci réduit les cas et requiert une grande qualité des données.

Ces limitations nous ont motivé à proposer une autre approche méthodologique.

### III. 5. Conclusion

(Harrel and Tumay, 1994) indique deux méthodes : une génératrice de solutions et une permettant l'évaluation de solutions. La première compte les optimisations linéaires, dynamiques, etc. Pour la deuxième, (Beamon, 1998) définit quatre modèles : déterministe (avec des modèles analytiques), stochastique (avec des modèles analytiques en contexte stochastique), économique (basé sur des théories économiques, la théorie des jeux, etc.). La portée de ces modèles mathématiques reste toutefois limitée. Pour être résolus dans un temps raisonnable, ils doivent être simplifiés. Or, une chaîne logistique est un ensemble complexe (Pirard et al., 2006).

Enfin, un autre outil est la simulation. Elle est caractérisée par trois adjectifs (Erard and Déguénon, 1996) : dynamique ou statique selon les modifications possibles dans le temps, déterministe (automatique) ou aléatoire, continu ou discret. (Ingalls, 1998) souligne que c'est l'outil indispensable pour un système complexe et dynamique. (Ingalls, 1998, Shannon, 1975) indique que la simulation permet non seulement d'évaluer mais également d'observer le comportement de la chaîne logistique. La méthode par simulation prend en effet de plus en plus de place autant en recherches qu'en industries. L'un des avantages de la simulation est de pouvoir tester des scénarii avant de les appliquer réellement (Banks J., 1998). (Kim et al., 2004) rajoute que le modèle configuré peut servir de prototype. Cette capacité à évaluer des scénarii « que se passe-t-il si ? » avec un grand panel d'entrées fait de la simulation un outil très utile pour l'analyse des chaînes logistiques ((Hellström J. and Johnsson M., 2002). Certains auteurs argumentent que l'actuelle popularité de la simulation est due à son excellente capacité à évaluer des systèmes variables et interdépendants (Wyland et al., 2000).

Cela permet aux preneurs de décisions de choisir entre différentes solutions en connaissant l'impact de leur choix sur tous les maillons de la chaîne logistique.

Il existe différents logiciels de simulation de chaîne logistique : ARENA, QNAP, Automod, Cadence, etc. (Tewoldeberhan et al., 2002) classe le logiciel ARENA au premier rang dans son classement de logiciels. Ce logiciel permet la modélisation, la simulation et l'animation de systèmes de production avec une approche objet<sup>8</sup>. Pour nos recherches, nous utilisons donc la simulation à événements discrets.

Une seule étude récente utilise la simulation pour créer une chaîne logistique verte (Hui K. et al., 2006). Elle concerne la distribution d'aluminium et compare la pollution due au transport avec différents autres paramètres. Elle est basée sur des conditions idéales et les auteurs soulignent qu'il serait intéressant de rendre le modèle plus réaliste. Nous allons donc analyser différents choix d'efficacités, de localisations et de produits en simulant un modèle de chaîne logistique prenant en compte les aléas (rebuts, retards, etc.). Ce modèle est configuré sous le logiciel ARENA.

---

<sup>8</sup> l'approche objet permet de privilégier à la fois les données et leurs traitements.

## **Synthèse de la partie 1**

Dans le premier chapitre, nous avons décrit et caractérisé les chaînes logistiques pour définir notre périmètre d'étude. Dans notre modèle, la chaîne logistique est donc composée d'un fournisseur de matières premières, de trois producteurs et d'un client final. Ses activités se limitent aux approvisionnements, transformations et distribution. Nos recherches répondront à plusieurs principes de la gestion de la chaîne logistique notamment dans le choix des fournisseurs, l'écoute de la demande finale, l'adoption d'une mesure de performance commune à l'ensemble de la chaîne, etc. Pour qualifier cette performance, nous utiliserons le taux de rendement synthétique. La revue de littérature de la gestion de la chaîne logistique nous a également montré que la prise en compte du contexte autour de cette chaîne logistique était importante. Or, le développement durable est un élément de ce contexte.

Dans le deuxième chapitre, nos recherches nous montrent que la prise de conscience de l'environnement par le grand public a été suivie par celle des états. Le développement durable a été défini avec ses trois paramètres : économique, écologique et social. L'un des piliers de cette prise de conscience est les gaz à effet de serre. Des mesures sont notamment prises : instauration de quotas carbone et d'un marché européen du carbone, taxe carbone en vigueur dans certains pays, l'obligation de Bilan Carbone® en France, l'étiquetage carbone, etc. Les clients, les actionnaires et les états poussent de plus en plus les entreprises à en tenir compte. Le développement durable doit donc être transposé à la chaîne logistique

Dans le chapitre trois, deux pôles du triptyque du développement durable sont notamment étudiés. Nous retenons des indicateurs financiers (stock, taux de service, nombre de kilomètres) et un indicateur environnemental (émissions d'équivalent CO<sub>2</sub>). Ce dernier sera quantifié le long de la chaîne logistique pour les émissions liées aux stockage et transport. De plus, notre modèle de chaîne logistique prend en compte les aléas (rebut, retards, etc.). Il analyse différents choix d'efficacités, de localisations et de produits. Ce modèle est configuré sous le logiciel ARENA.

**PARTIE 2 : MODELISATION  
D'UNE CHAINE LOGISTIQUE  
VERTE**