



CIRRELT

Centre interuniversitaire de recherche
sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport

Interuniversity Research Centre
on Enterprise Networks, Logistics and Transportation

Intégration de la performance durable dans les modèles de conception et de planification des chaînes logistiques : un état de l'art

Tassedra Boukherroub
Angel Ruiz
Julien Fondrevelle
Alain Guinet
Mustapha Ouhimmou

Mai 2016

CIRRELT-2016-27

Document de travail également publié par la Faculté des sciences de l'administration de l'Université Laval,
sous le numéro FSA-2016-006.

Bureaux de Montréal :
Université de Montréal
Pavillon André-Aisenstadt
C.P. 6128, succursale Centre-ville
Montréal (Québec)
Canada H3C 3J7
Téléphone : 514 343-7575
Télécopie : 514 343-7121

Bureaux de Québec :
Université Laval
Pavillon Palasis-Prince
2325, de la Terrasse, bureau 2642
Québec (Québec)
Canada G1V 0A6
Téléphone : 418 656-2073
Télécopie : 418 656-2624

www.cirrelt.ca

Intégration de la performance durable dans les modèles de conception et de planification des chaînes logistiques : un état de l'art

Tassedra Boukherroub^{1,2}, Angel Ruiz^{1,3}, Julien Fondrevelle⁴, Alain Guinet⁴,
Mustapha Ouhimmou⁵

1. Interuniversity Research Centre on Enterprise Networks, Logistics and Transportation (CIRRELT)
2. Department of Wood and Forest Sciences, 2405, rue de la Terrasse, Université Laval, Québec, Canada G1V 0A6
3. Department of Operations and Decision Systems, 2325 de la Terrasse, Université Laval, Québec, Canada G1V 0A6
4. Laboratoire DISP (Décision et Information pour les Systèmes de Production), INSA-Lyon, campus Lyon Tech Bât Léonard de Vinci, 21 avenue Jean Capelle, 69621 Villeurbanne cedex, France
5. Automated Manufacturing Department, École de technologie supérieure, 1100, Notre-Dame St. W., Montreal, Canada H3C 1K3

Résumé. Cet article présente une revue de la littérature systématique sur les modèles de conception et de planification des CL durables en Recherche Opérationnelle (RO). L'objectif est de rendre compte de l'intégration des aspects économiques, environnementaux et sociaux dans les modèles mathématiques. Nous nous intéressons aux critères de la performance durable considérés ainsi qu'à leur formulation dans les modèles. Nous mettons par ailleurs l'accent sur les contextes industriel et législatif dans lesquels les modèles des CL durables ont été proposés. À l'issue de l'analyse de la littérature, les conclusions majeures et plusieurs perspectives de recherches sont présentées.

Mots-clés: Conception et planification des chaînes logistiques, développement durable, performance durable, modèles d'optimisation.

Results and views expressed in this publication are the sole responsibility of the authors and do not necessarily reflect those of CIRRELT.

Les résultats et opinions contenus dans cette publication ne reflètent pas nécessairement la position du CIRRELT et n'engagent pas sa responsabilité.

* Auteure correspondante: Tassedra.Boukherroub@cirrelt.ca

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec
Bibliothèque et Archives Canada, 2016

© Boukherroub, Ruiz, Fondrevelle, Guinet, Ouhimmou et CIRRELT, 2016

1. Introduction

De plus en plus conscients des dégâts écologiques et des problèmes sociaux occasionnés par les activités industrielles, 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 (DD). La législation en ce sens ne cesse de se renforcer, comme le montre par exemple la taxe carbone sur les émissions de gaz à effet de serre (GES) 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 5 000 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, 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 DD dans une perspective de responsabilité sociale des entreprises (RSE) (Jolly, 2006).

Néanmoins l'intégration des principes du DD aux activités industrielles reste une tâche difficile. La recherche dans le domaine de la recherche opérationnelle (RO) se développe autour de cette problématique, notamment autour de la chaîne logistique (CL) dite « durable ». Nous présentons dans cet article une revue de la littérature systématique des modèles mathématiques proposés en vue de l'intégration des aspects du DD dans la conception et la planification des CL. Notre objectif est de rendre compte du niveau d'intégration des critères qui caractérisent le DD dans les modèles de RO. Nous nous intéressons à la formulation des critères durables dans les modèles mathématiques et nous mettons l'accent sur les contextes industriel et législatif dans lesquels les modèles ont été proposés.

Le reste de l'article est organisé comme suit : dans la section 2, nous précisons la notion de gestion de la CL durable. La section 3 présente notre démarche globale. Dans la section 4, nous présentons la classification de la littérature et nous analysons les résultats de cette classification. Nos conclusions sont présentées à la section 5 qui finalise l'article.

2. La gestion des chaînes logistiques durables

Nous introduisons dans cette section la notion de CL durable et nous précisons les critères de la performance durable.

2.1. Les chaînes logistiques durables

Dans le rapport Brundtland publié par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (CMED) en 1987, le DD est défini comme « un développement qui satisfait les besoins actuels sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs ». L'accent est mis sur la durée du développement économique, l'équité sociale et le respect des systèmes naturels, constituant ce que l'on désigne généralement par les « trois piliers » du DD (3P : *Profit, Planet, People*). Autrement dit, les organisations devraient réaliser du profit, mais non au détriment de l'environnement (Planet) et de la société (People).

La transposition des principes du DD aux activités industrielles se traduit par la Responsabilité Sociale des Entreprises (RSE). 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 ». Les préoccupations économiques concernent non seulement les objectifs de rentabilité financière, mais également les objectifs de création de richesses pour la société et une répartition équitable de ces richesses. Les préoccupations environnementales concernent essentiellement les inquiétudes liées au réchauffement climatique et à ses conséquences (montée du niveau de la mer, inondations, canicules, etc.), la pollution, l'épuisement des ressources naturelles, et la destruction de la biodiversité. Enfin, les préoccupations sociales touchent à l'accroissement des inégalités au niveau mondial, la pauvreté et l'accès aux besoins fondamentaux (eau potable, nourriture, logement, travail, soins, éducation, etc.). Ainsi, intégrer ces préoccupations aux activités de l'entreprise revient à gérer celles-ci tout en analysant les impacts économiques, environnementaux et sociaux et en recherchant les moyens de minimiser les impacts négatifs et de renforcer les impacts positifs, autrement dit gérer la performance économique, environnementale et sociale des activités (i.e. la performance durable). Les entreprises doivent également prêter attention à la manière dont elles interagissent avec leurs parties prenantes internes et externes (employés, clients, voisins, ONG, autorités publiques, etc.). Enfin, la motivation des entreprises ne devrait

pas être aux fins de répondre aux exigences de la réglementation seulement, mais d'aller au-delà, sur la base d'une initiative volontaire.

La gestion des CL durables peut alors être vue comme l'intégration des préoccupations économiques, environnementales et sociales à la gestion des CL, en vue de mesurer, équilibrer et améliorer les trois performances économique, environnementale et sociale. Pour ce faire, il est essentiel de préciser les critères qui caractérisent la performance durable des CL avant de s'interroger sur la prise en compte de ces derniers dans la conception et la planification des CL, objet de notre revue de la littérature.

2.2. Les critères de la performance durable

Traditionnellement, les critères d'évaluation de la performance sont plutôt économiques : performance financière (coûts d'approvisionnement, coûts de distribution...), flexibilité (flexibilité de la production, flexibilité de la distribution...), réactivité (délais de conception, de mise sur le marché...), qualité (qualité de production...) et fiabilité (taux de service, fiabilité des prévisions...) (Gruat La Forme-Chretien, 2007). Il n'existe pas encore de consensus sur ce que devraient être les performances environnementale et sociale. Celles-ci dépendent de plusieurs facteurs comme le secteur industriel, le pays de localisation des activités, etc. Néanmoins, il existe plusieurs standards internationaux (référentiel SCOR, le GRI¹, l'OCDE², l'ISO 26000, etc.) et travaux scientifiques qui proposent des critères plus ou moins communs et génériques, et 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 et avons sélectionné 12 critères, répartis sur les trois volets du DD ; 5 critères pour la performance économique, 4 critères pour la performance environnementale et 3 critères pour la performance sociale (tableau 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 DD pouvant être opérationnalisés au niveau de la gestion des CL.

Tableau 1. Les critères de la performance durable, inspirés par Baumann (2011)

Dimension	Critère
Économie	Performance financière (PF)
	Réactivité (RC)
	Fiabilité (FB)
	Flexibilité (FL)
	Qualité (QL)
Environnement	Utilisation des ressources (UR)
	Pollution
	Émissions des gaz à effet de serre (GES)
Société	Matières dangereuses (MD)
	Santé et sécurité (SS)
	Emplois et richesses (ER)
	Conditions de travail (CT)

Évidemment, l'ensemble des préoccupations économiques, environnementales et sociales ne peuvent être prises en compte dans la gestion des CL. D'une part, certaines préoccupations relevant des droits de l'homme comme par exemple, l'exploitation des enfants, le travail forcé, etc. sont basiques, et il serait difficile d'envisager une entreprise s'engageant dans le DD sur une base volontaire sans le respect de ces règles de base. D'autres part, les décisions de conception et de planification des CL ne peuvent pas avoir un impact sur l'ensemble des préoccupations économiques, environnementales et sociales (ex. l'accès à l'éducation) (Boukherroub et al., 2015). Ces préoccupations-là peuvent être prises en compte à un autre niveau, par exemple à travers des fondations, des dons, etc.

Il est aussi à noter, que dans le processus de sélection, nous avons respecté l'indépendance des critères, la non-redondance et la mesurabilité des critères. Nous avons également retenu un nombre de critères gérable.

1. *Global Reporting Initiative.*

2. *Organisation de Coopération et de Développement Économique.*

3. Démarche

En vue de réaliser notre revue de la littérature, nous avons structuré notre démarche en 4 étapes comme le montre la figure 1.

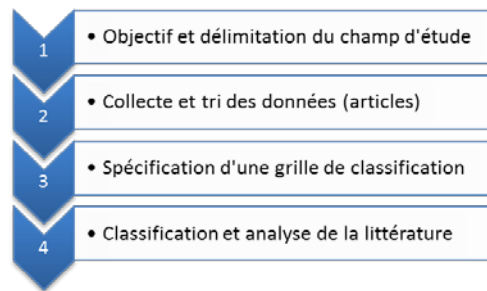


Figure 1. Démarche de recherche bibliographique

3.1. Objectif et délimitation du champ d'étude

Nous avons exposé nos objectifs dans la section *Introduction*. Nous rappelons que notre étude porte sur la conception et la planification des CL. Les décisions de conception des CL portent sur le nombre et la localisation des sites de production, les types et les niveaux de capacité de chaque site, la sélection de fournisseurs, etc. Les décisions de la planification de la CL sont destinées à obtenir la meilleure exploitation des moyens mis en œuvre (Thierry, 2003) telles que la détermination des sites et/ou des technologies à utiliser, la taille des lots à produire ou à approvisionner. Toutefois, certaines décisions relevant de la planification de la CL (ex. fermeture temporaire d'un site de production) dans une industrie peuvent être considérées comme des décisions de conception de la CL dans d'autres industries et vice-versa (ex. choix des fournisseurs, sélection de modes de transport, etc.). Autrement dit, dans certains cas, la frontière entre les décisions de conception (décisions d'affaire) et de planification (décisions intermédiaires) des CL n'est pas bien définie et souvent, les deux types de décisions sont pris en compte simultanément dans les modèles d'optimisation. Nous parlons donc dans cet article de décisions de conception et de planification des CL.

Nous avons restreint notre revue de la littérature aux publications parues entre 1998 et 2015. 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. Nous nous intéressons uniquement aux modèles de RO. De plus, nous ne nous focalisons pas sur les CL inverses ou en boucle fermée (c.-à-d. intégrant les flux de produits, d'amont en aval et les flux de retour de produits usagés d'aval en amont). En effet, bien qu'elles soient largement considérées comme des CL durables, plusieurs chercheurs avancent que l'ajout de processus inverses ne rend pas la chaîne systématiquement « durable » (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 CL 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).

3.2. Collecte et tri des données

Notre revue de la littérature couvre les articles parus dans des journaux de RO, de logistique et de gestion 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 mots clés *supply chain planning*, *supply chain network design*, 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 CL 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 CL 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 DD. 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.

3.3. Spécification d'une grille de classification

En vue de répondre à nos objectifs de recherche nous avons classé les articles recensés selon :

– Les critères de la performance durable spécifiés dans la section 2.2 (tableau 1).

– *Le type du modèle mathématique (mono-objectif, bi-objectif, multi-objectif, ou multicritère)*. Nous différencions les modèles multi-objectifs des modèles d'aide à la décision multicritères (MADM) comme suit : les MADM tels que la méthode AHP (*Analytic Hierarchy Process*) développée par Saaty (1980) et ELECTRE (Roy, 1990) sont utilisés pour examiner un ensemble fini d'alternatives (ex. plusieurs configurations possibles de la CL). Chaque alternative est évaluée par rapport à plusieurs critères ou attributs. Les modèles multi-objectifs (dont les modèles bi-objectifs) sont utilisés pour résoudre un problème multicritères où le nombre d'alternatives possibles est infini. Dans ce cas, on peut seulement délimiter la région réalisable de sorte que n'importe quelle solution à l'intérieure de cette région correspond à une alternative bien précise.

– *Le secteur d'industriel*. Pour ce faire, nous avons adopté la classification du GICS (*Global Industry Classification Standard*). Ce standard, mondialement reconnu, identifie 10 secteurs industriels (Standard & Poor's, 2008) : *énergie, matériaux, industrie* (biens d'équipement, transports, ...), *consommation discrétionnaire* (automobiles et composants automobiles, biens de consommation durables et habillement, etc.), *consommation non cyclique* (produits alimentaires, boisson et tabac, etc.), *santé* (équipements et services de santé), *finance* (banques, assurance, immobilier, etc.), *technologies de l'information* (logiciels, matériel et équipement informatique, semi-conducteurs, ...), *télécommunications* et *services aux collectivités*.

– *Le contexte législatif*. Nous mentionnons si les modèles sont proposés pour répondre à la réglementation environnementale en vigueur (émissions de GES, génération de polluants et recyclage).

3.4. Classification et analyse de la littérature

À l'issue de la classification, nous relevons les tendances les plus marquantes et nous fournissons une analyse quantitative et descriptive précise des résultats. La classification et l'analyse sont présentées dans la section suivante.

4. Classification et analyse

Au total, nous avons recensé 88 articles. La répartition de ceux-ci suivant l'année d'apparition dans la littérature est présentée dans la figure 2.

On remarque un nombre de contributions très limité de 1998 à 2004. Il s'ensuit une légère augmentation entre 2005 et 2010. En 2011, le nombre d'articles double par rapport à 2009 avec un total de 10 articles. Le plus grand nombre d'articles apparus dans la littérature est observé en 2012 avec 18 contributions. Dans les trois dernières années, le nombre d'articles est en recul par rapport à 2012, mais reste relativement élevé. Par ailleurs, on peut s'attendre à ce que plus d'articles soient publiés durant l'année 2015.

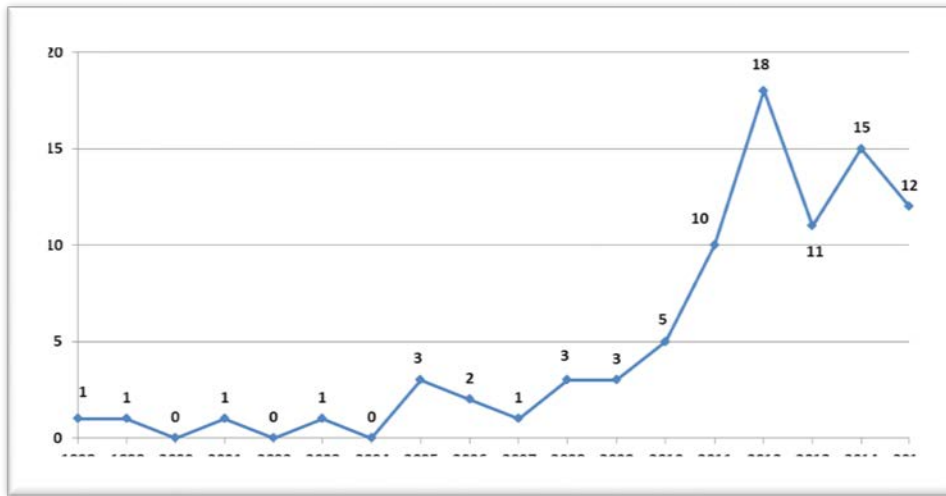


Figure 2. Répartition des articles recensés selon l'année de publication

La classification de la littérature par référence suivant les critères de la performance durable est présentée dans le tableau 2.

Tableau 2. Classification de la littérature suivant les critères économiques, environnementaux et sociaux

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)	Emplois et richesses (ER)	Conditions de travail (CT)
(Giannikos, 1998)	X						X		X			
(Nema et Gupta, 1999)	X								X			
(Luo et al., 2001)	X	X				X		X				
(Krik 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					
(Bouzembrak et al., 2010)	X							X				
(Fonseca et al., 2010)	X						X					
(Gillen-Gosalbéz et Grossman, 2010)	X					X	X	X	X	X		
(Nagurney et Nagurney, 2010)	X							X				
(Subramarian et al., 2010)	X					X		X				
(Aramyan et al., 2011)	X							X				

(Corsano <i>et al.</i> , 2011)	X				X	X						
(Chaabane <i>et al.</i> , 2011a)	X						X					
(Chaabane <i>et al.</i> , 2011b)	X						X					
(Mele <i>et al.</i> , 2011)	X				X	X	X	X	X			
(Pinto-Varela <i>et al.</i> , 2011)	X				X	X	X		X			
(Poza <i>et al.</i> , 2011)	X				X	X	X	X	X			
(Wang <i>et al.</i> , 2011)	X						X					
(You <i>et al.</i> , 2011)	X						X				X	
(You et Wang, 2011)	X						X					
(Abdallah <i>et al.</i> , 2012)	X				X	X	X	X	X			
(Achillas <i>et al.</i> , 2012)	X				X	X						
(Agkul <i>et al.</i> , 2012)	X						X					
(Amin et Zhang, 2012a)	X				X	X						
(Amin et Zhang, 2012b)	X	X		X	X	X						
(Bostel <i>et al.</i> , 2012)	X						X					
(Chaabane <i>et al.</i> , 2012)	X						X					
(Elhedhli et Merrick, 2012)	X						X					
(Giarola <i>et al.</i> , 2012)	X						X					
(Jamshidi <i>et al.</i> , 2012)	X							X				
(Mallidis <i>et al.</i> , 2012)	X					X	X					
(Paksoy <i>et al.</i> , 2012)	X				X		X					
(Pérez-Fortes <i>et al.</i> , 2012)	X				X	X	X	X	X	X		
(Pishvaei <i>et al.</i> , 2012a)	X					X			X	X		
(Pishvaei et Razmi, 2012)	X				X	X			X			
(Sabio <i>et al.</i> , 2012)	X				X	X	X	X	X			
(Shaw <i>et al.</i> , 2012)	X	X		X			X					
(Shiue et Lin, 2012)	X				X							
(Tekiner-Mogulkoc <i>et al.</i> , 2012)	X					X	X					
(Bing <i>et al.</i> , 2013)	X						X					
(Boukherroub <i>et al.</i> , 2013)	X						X					
(Chung <i>et al.</i> , 2013)	X					X						
(Eskandarpour <i>et al.</i> , 2013)	X	X			X		X					
(Govindan <i>et al.</i> , 2013)	X						X					
(Kanzian <i>et al.</i> , 2013)	X						X					
(Lam <i>et al.</i> , 2013)	X						X					
(Mirzapour Al-e-hashem <i>et al.</i> , 2013)	X					X	X					
(Sadrmia <i>et al.</i> , 2013)	X						X					
(Xifeng <i>et al.</i> , 2013)	X	X					X					
(Zhang <i>et al.</i> , 2013)	X						X					
(Altamann et Bogaschewsky, 2014)	X						X					
(Baud-Lavigne <i>et al.</i> , 2014)	X						X					
(Devika <i>et al.</i> , 2014)	X					X	X	X	X	X		
(Mallidis <i>et al.</i> , 2014)	X						X					
(Mari <i>et al.</i> , 2014)	X						X					
(Marufuzzaman <i>et al.</i> , 2014)	X						X					
(Mirzapour Al-e-hashem et Rekik, 2014)	X						X					
(Mohajeri et Fellah, 2014)	X						X					
(Mota <i>et al.</i> , 2014)	X				X	X	X	X	X	X		
(Pishvaei <i>et al.</i> , 2014)	X				X	X	X	X	X	X		
(Saffar <i>et al.</i> , 2014)	X						X					
(Santibañez-Aguilar <i>et al.</i> , 2014)	X				X	X	X	X	X	X		
(Validi <i>et al.</i> , 2014a)	X						X					
(Validi <i>et al.</i> , 2014b)	X						X					
(Yu <i>et al.</i> , 2014)	X	X					X					
(Bing <i>et al.</i> , 2015)	X						X					
(Boukherroub <i>et al.</i> , 2015)	X						X				X	
(Choudhary <i>et al.</i> , 2015)	X						X					
(Coskun <i>et al.</i> , 2016)*	X											

(Das <i>et al.</i> , 2015)	X					X		X				
(Fahimnia <i>et al.</i> , 2015a)	X							X				
(Fahimnia <i>et al.</i> , 2015b)	X					X	X	X				
(Garg <i>et al.</i> , 2015)	X							X				
(Govindan <i>et al.</i> , 2015)	X							X				
(Ren <i>et al.</i> , 2015)	X					X	X	X	X			
(Saffar <i>et al.</i> , 2015)	X							X				
(Tsao, 2015)	X							X				

* Les auteurs ne précisent pas les critères environnementaux modélisés. Ils ont considéré le critère « impact environnemental » de manière générale.

La figure 3 présente la répartition en nombres, des travaux recensés dans le tableau 2 sur les 3 volets du DD (figure 3.1), ainsi que la répartition suivant les critères à l'intérieur de chacune des 3 dimensions économique, environnementale et sociale (figures 3.2, 3.3, 3.4, respectivement). La figure 4 présente la répartition des travaux suivant le type de modélisation, le secteur industriel et la réglementation environnementale (figures 4.1, 4.2 et 4.3, respectivement). La classification par référence est présentée en annexe.

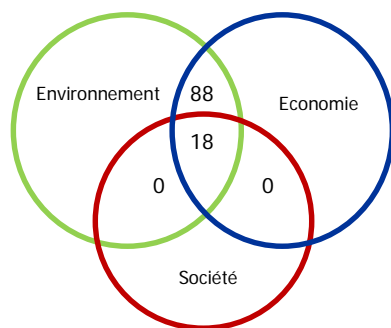


Figure 3.1. Prise en compte des dimensions de la performance durable

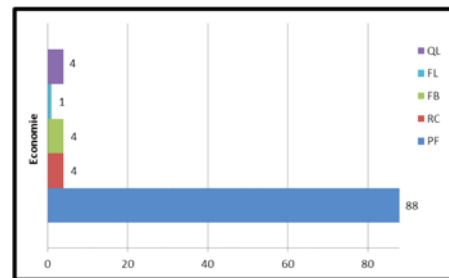


Figure 3.2. Prise en compte des critères de la performance économique

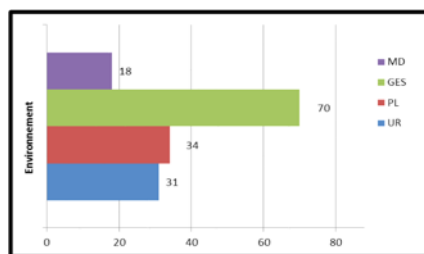


Figure 3.3. Prise en compte des critères de la performance environnementale

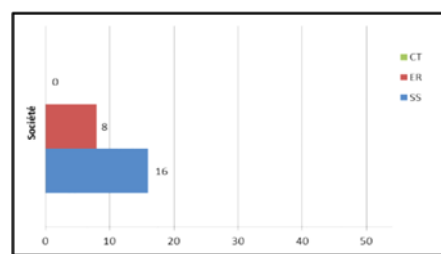


Figure 3.4. Prise en compte des critères de la performance sociale

Figure 3. Répartition de la littérature suivant les critères de la performance économique, environnementale et sociale

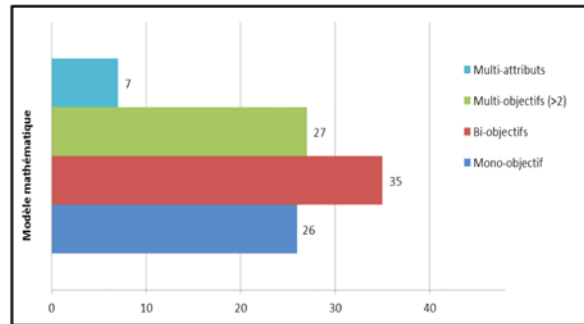


Figure 4.1. Répartition suivant la formulation mathématique

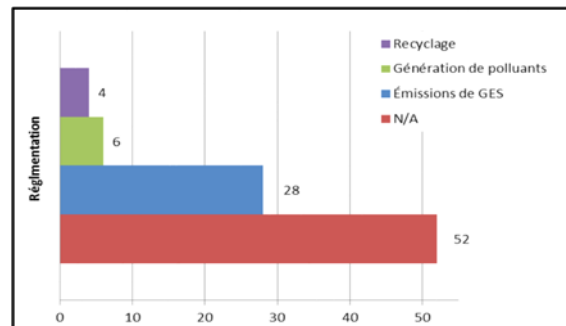


Figure 4.2. Répartition suivant la réglementation environnementale

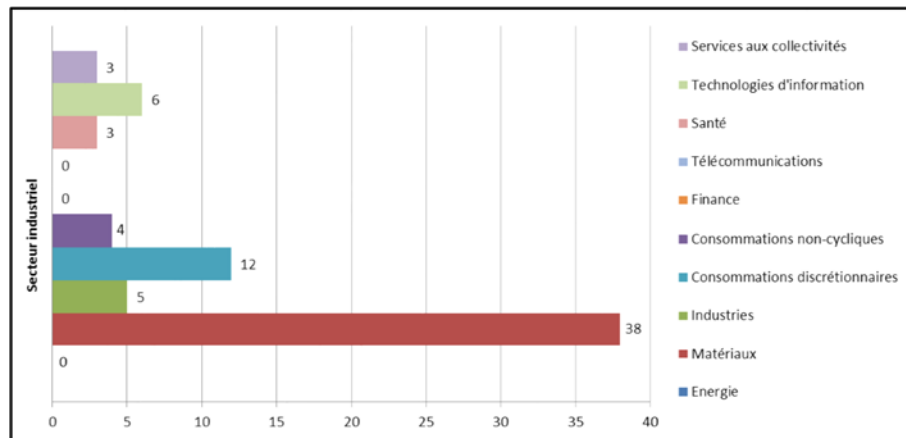


Figure 4.3. Répartition suivant le secteur industriel

Figure 4. Répartition suivant le type de modélisation et les cadres d'application industriels et réglementaires

Nous constatons un faible intérêt pour la performance sociale (figure 3.1). En effet, alors que l'ensemble des travaux ont pris en compte les dimensions économique et environnementale, seuls 18 travaux ont considéré la dimension sociale en plus des dimensions économique et environnementale. 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.

4.1. La modélisation des critères de la performance économique

A l'intérieur de la dimension économique (figure 3.3), 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 CL (dans 65 travaux sur 88), la valeur actuelle nette (VAN) ou le profit, lesquels sont modélisés comme des fonctions objectifs à minimiser ou à maximiser dans un modèle mono-objectif, bi-objectif ou multi-objectif. Les autres critères économiques sont très peu intégrés dans les modèles d'optimisation. 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 DD.

Pour mesurer la réactivité (RC), Luo *et al.* (2001) et Dotoli *et al.* (2006) ont associé à chaque lien et acteur possibles dans une CL 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 des 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 considérées dans la plupart des modèles comme des attributs (qualitatifs et quantitatifs) du produit ou du fournisseur. Par exemple, Dotoli *et al.* (2005) ont évalué un ensemble de fournisseurs potentiels sur la base de la fiabilité des délais, la capacité d'adaptation aux exigences des clients, la qualité des produits et du service fournis, etc. 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 CL 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). Xifeng *et al.* (2013) ont considéré la fiabilité des livraisons aux clients, définie comme la probabilité qu'un client soit livrée par un site de production dans une période de temps donnée. Ce critère est modélisé comme une fonction objectif à maximiser dans un modèle multi-objectif (minimisation du coût du réseau logistique, maximisation de la fiabilité des livraisons et minimisation des émissions de CO₂). De leur côté, Yu *et al.* (2014) ont considéré la minimisation du risque lié aux fournisseurs et au transport dans un modèle multi-objectif qui minimise également le coût du réseau logistique et les émissions de CO₂. Deux indices de risque, l'un lié à la fiabilité et la réputation des fournisseurs et l'autre à la fiabilité des transporteurs et des infrastructures logistiques, sont utilisés pour pondérer les quantités de produits achetées et transportées (respectivement) et les variables de sélection des fournisseurs et de la localisation des sites de production.

4.2. La modélisation des critères de la performance environnementale

Concernant la dimension environnementale (figure 3.4), les émissions de GES est le critère le plus étudié. Les critères « Utilisation des ressources » (UR) et « Pollution » (PL) ont reçu un intérêt moindre mais significatif contrairement au critère « Matières dangereuses » (MD).

4.2.1. Formulation des critères de la performance environnementale

En dehors des travaux ayant adopté la méthode de l'analyse du cycle de vie (ACV, voire section 4.2.2) 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 recensés, mesuré en termes de quantité d'énergie utilisée à l'aide de coefficients de consommation associés à différentes variables de décisions. 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-objectif. 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.).

4.2.2 L'utilisation de l'ACV pour mesurer la performance environnementale

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'ACV (Analyse du Cycle de Vie). 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 catégories. Il existe deux principales méthodes pour définir les catégories d'impacts. La première est orientée « 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.

Les impacts environnementaux de la CL dépendent des quantités de produits 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. 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. Une des catégories d'impacts les plus étudiée 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-objectif (You et al., 2011) (tableau 3 en annexe). 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), l'IMPACT 2002+ (ex. Bojarski et al., 2009 ; Pérez-Fortes et al., 2012) ou encore ReCiPe 2008 (Pishavaee et al., 2014 ; Mota et al., 2014). 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 ; Mota et al., 2014).

Sur l'ensemble des travaux que nous avons analysés, nous en avons recensé 25 qui ont privilégié une approche par l'ACV. Sur ces 25 articles, 19 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, Santibañez-Aguilar et al., 2014, 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.

Ren et al. (2015) ont adopté une approche qui s'apparente à l'ACV, appelée « émergie ». L'émergie représente la quantité totale d'énergie d'un type donné (ex. l'énergie solaire) utilisée directement ou indirectement pour fabriquer un produit ou un service (Brown et Ulgiat, 1997). Le « Solar equivalent joules (sej) » est l'unité de mesure communément utilisée. Un facteur de conversion appelé « transformité » permet d'exprimer différents types d'énergies utilisées, en termes d'émergie (Brown et Ulgiat, 1997). Un indice appelé *emergy sustainability index* (ESI) représentant

le ratio entre la capacité du système à exploiter les ressources locales disponibles compte tenu des investissements dans les ressources externes et la pression exercée par le système sur l'écosystème local. Ren *et al.* (2015) ont formulé un modèle mono-objectif non-linéaire qui maximise cet indice pour la conception d'une CL de production de bio-carburants à partir de cultures agricoles. Nous n'avons pas recensé d'autres travaux ayant adopté la méthode de l'émergie, ce qui suggère que Ren *et al.* (2015) sont les premiers à l'utiliser. Néanmoins, cette approche n'est pas très intuitive.

L'avantage des approches basées sur l'ACV est qu'elles permettent 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). Ceci est reflété dans le tableau 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 16 travaux où le critère social « Santé et Sécurité » est pris en compte (tableau 2), 15 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.

4.2.3. La prise en compte de la réglementation environnementale

L'intérêt dans la littérature pour les critères environnementaux est lié dans 36 cas à la réglementation environnementale (figure 4.2). Nous avons en effet recensé 28 travaux ayant proposé des modèles de planification de la CL dans le cadre de la réglementation sur les émissions de GES, 6 travaux dans le cadre de la réglementation sur la pollution (rejets dans l'air et dans les eaux) et 4 dans le cadre de la réglementation sur les quotas de produits en fin de vie à collecter/recycler. Concernant les émissions de GES, deux types de réglementations ont été considérés : la taxe carbone et le système d'échange de quotas.

Dans le cas de la taxe carbone, à titre d'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 CL 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 CL 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 limitation de polluants dans l'air (monoxyde de carbone (CO), oxydes d'azote (NO_x), 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.

4.3 La modélisation des critères de la performance sociale

Comme nous l'avons évoqué précédemment, l'intégration des critères de la performance sociale est assez rare dans la littérature. Notons par exemple que le critère « conditions de travail » (CT) n'a reçu aucun intérêt (figure 3.4). Nous rappelons que sur l'ensemble des 18 travaux recensés, 15 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 8 articles (You *et al.*, 2011 ; Pishvaei *et al.*, 2012 ; Pérez-Fortes *et al.*, 2012 ; Devika *et al.*, 2013 ; Mota *et al.*, 2014 ; Pishvaei *et al.*, 2014 ; Santibañez-Aguilar *et al.*, 2014 ; Boukherroub *et al.*, 2015) qui ont considéré la performance sociale. Plus précisément, ces travaux se sont intéressés au critère « emplois et richesses ». On remarque que ces travaux sont apparus très récemment dans la littérature.

You *et al.* (2011) ont proposé un modèle multi-objectif 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*)³ 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. Santibañez-Aguilar *et al.* (2014) ont adopté la même approche pour maximiser le nombre d'emplois créés.

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. Ils ont formulé un modèle mathématique en considérant 3 objectifs : le coût de configuration et d'exploitation de la chaîne, l'impact environnemental total 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) de sélection d'une technologie localisée dans une région candidate à une période donnée.

Pishvaei *et al.* (2012) ont conçu une CL en considérant deux objectifs : la minimisation des coûts et la maximisation de la « responsabilité sociale de la CL ». 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 contenues 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. Une approche similaire a été utilisée dans (Pishvaei *et al.*, 2014) pour modéliser les aspects sociaux (création d'emplois et de richesses, santé des consommateurs et sécurité des employés). Toutefois, les auteurs ont formulé un objectif environnemental (à l'aide de l'éco-indicateur ReCiPe 2008) indépendant de l'objectif social.

Devika *et al.* (2013) ont proposé un modèle qui minimise le coût total de la CL (objectif 1), les impacts environnementaux (agrégés selon les principes de l'ACV) ainsi que les dommages causés par les produits sur les consommateurs (objectif 2). Le troisième et dernier objectif concerne la maximisation du nombre d'emplois fixes (ex. managers) et variables (ex. opérateurs) créés du fait de la construction des sites de production et de l'exploitation de ces sites ainsi que la minimisation du nombre de jours d'arrêt de travail dû à des accidents durant la phase de construction des sites et d'implantation des technologies et durant l'exploitation des sites. Mota *et al.* (2014) ont introduit un indicateur appelé *Social Benefits* (SB) à maximiser dans un modèle multi-objectif. Maximiser cet indicateur social permet de favoriser la création d'emplois et de richesses dans certaines régions présentant un profil social donné (taux de chômage, densité de la population, etc.) par la construction des sites de production dans ces régions. Enfin, Boukherroub *et al.* (2015) ont formulé un modèle multi-objectif présentant un critère économique (minimisation des coûts de la CL), un critère environnemental (minimisation des émissions de GES) et deux critères sociaux ; la création d'emplois locaux et la stabilisation de l'emploi. Ayant intégré dans l'objectif environnemental les émissions de GES dues au déplacement des employés entre leurs lieux de résidence et leurs lieux de travail, les auteurs ont conclu que la création d'emplois locaux (recrutement des employés dans les régions limitrophes aux sites de production) était garantie par la minimisation des GES. Quant à la stabilisation de l'emploi, il s'agit de minimiser la somme du nombre total des employés recrutés et licenciés à différentes période de l'horizon de planification tout en permettant des transferts locaux des employés d'un site de production à un autre site géographiquement proche.

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

5 Conclusions et perspectives

Dans cet article, nous avons présenté une revue de la littérature systématique sur les modèles de conception et de planification des CL durables en RO, apparus dans les 18 dernières années. Nous avons spécifié une grille de classification qui nous a permis d'analyser les critères de la performance durable intégrés dans les modèles mathématiques, les méthodes utilisés pour modéliser ces critères, les types de formulations mathématiques utilisés et les contextes législatif et industriel dans lesquels les modèles ont été proposés. À l'issue de cette analyse, nous pouvons tirer quelques conclusions et formuler des pistes de recherche que nous présentons dans les paragraphes suivants.

Bien que des modèles d'optimisation intégrant différents critères sociaux (en plus des aspects économiques et environnementaux) commencent à apparaître dans la littérature, notamment dans les 5 dernières années, les travaux existants n'accordent pas encore suffisamment d'intérêt à la performance sociale. Les modèles proposés dans la littérature ne reflètent donc pas réellement le principe du triple bilan sur lequel repose la transposition des aspects du DD aux opérations industrielles. Ce manque d'intégration est de notre point de vue, dû au fait que la performance des CL qui est de nature multicritère et multidimensionnelle (critères économiques, environnementaux et sociaux (Baumann, 2011)) n'est pas encore bien prise en compte dans le domaine de la conception et de la planification des CL. En effet, à l'exception de quelques travaux comme par exemple Pishvaei *et al.* (2012) ou Boukherroub *et al.* (2015), dans la majeure partie des cas, la formulation des modèles d'optimisation se fait sans analyser au préalable les objectifs de performance visés par les décideurs.

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 un large panel de solutions au décideur est une pratique encore rare dans la littérature. De plus, lorsque le problème est approché avec la programmation bi-objectif ou multi-objectif, 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 différentes solutions sont limitées et des solutions présentant des compromis plus intéressants peuvent être inexploitées.

Plusieurs travaux ont utilisé l'approche de l'ACV pour intégrer les impacts socio-environnementaux dans les modèles d'optimisation. Cette méthode permet d'agréger plusieurs indicateurs en un seul indice ce qui simplifie largement la formulation mathématique. Toutefois, l'inventaire du cycle de vie n'est pas disponible pour tous les types de produits et peut présenter des données incomplètes, approximatives ou erronées. Il convient alors de prendre en compte cet élément d'incertitude en formulant des modèles stochastiques. Quelques travaux ont été proposés dans ce sens (ex. Guillén-Gosálbeza et Grossmann, 2009; Guillén-Gosálbeza et Grossmann, 2010), mais les contributions scientifiques sont insuffisantes.

Concernant les domaines d'application, très peu de modèles (voire aucun) ont été proposés pour les secteurs des services aux collectivités, de la santé, des consommations non-cycliques (habillement, alimentation, etc.) et des finances. L'aspect social dans ces secteurs étant de première importance (santé et sécurité des consommateurs, accès aux services de soins, création d'emplois, développement local, etc.), les industriels, les gouvernements et les chercheurs devraient y investir plus d'efforts. De plus, bien que dans la plupart des articles étudiés, les modèles proposés sont testés sur des cas industriels, il n'existe pas à notre connaissance d'études où une réelle implémentation des modèles mathématiques ait été réalisée en pratique. Si de réelles applications existent, il serait intéressant d'avoir les résultats de telles applications et le retour d'expérience des décideurs, des parties prenantes et des partenaires de la CL (fournisseurs, transporteurs, etc.) afin de rendre compte de l'impact de l'intégration des aspects du DD dans la réalité et d'améliorer les modèles d'optimisation.

Par ailleurs, nous n'avons pas recensé de travaux où les parties prenantes sont impliquées dans la prise de décision (ex. les fournisseurs, les communautés locales, les représentants des employés, les représentants des consommateurs, etc.) qui sont directement impactés par les décisions de la conception des CL telles que la localisation des sites de production/distribution. De nouvelles approches pour prendre en compte cet aspect seraient utiles. Par exemple, les méthodes de prise de décisions en groupe (*group decision making*) pourraient être explorées dans ce sens. Enfin, très peu de travaux ont étudié l'impact de la collaboration et des mécanismes de coordination entre les différents acteurs de la CL sur la performance durable, par exemple aux niveaux des processus d'approvisionnement, de transport et de distribution. Certaines pratiques de collaborations et de coordination pourraient probablement améliorer les impacts environnementaux et/ou sociaux des CL.

En conclusion, en dépit du progrès réalisé dans le domaine de la RO pour l'intégration des critères du DD dans les modèles de conception et de planification des CL, plusieurs perspectives de recherches restent à explorer. D'autres méthodes issues par exemple de la simulation des flux, de l'évaluation de la performance, des sciences de gestion pourraient enrichir les modèles de RO, en fournissant des cadres d'analyse permettant de mieux intégrer les parties prenantes et les partenaires de la CL, de cerner les objectifs et les critères de la performance durable et de mieux quantifier les indicateurs de performance.

Remerciements

Nous exprimons notre gratitude à la région Rhône-Alpes qui a soutenu financièrement notre action à travers une allocation de recherche. Nous remercions également les deux relecteurs anonymes pour leurs commentaires constructifs.

Bibliographie

- Abdallah T., Farhat A., Diabat A. & Kennedy S. (2012). Green supply chains with carbon trading and environmental sourcing: Formulation and life cycle assessment. *Applied Mathematical Modelling*. 36, p. 4271-4285.
- Achillas C., Aidonis D., Vlachokostas Ch., Moussiopoulos N., Baniyas G. & Triantafyllou D. (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., Shah N. & Papageorgiou L.G. (2012). An optimisation framework for a hybrid first/second generation bioethanol supply chain. *Computers and Chemical Engineering*. 42, p. 101-114.
- Altmann M. & Bogaschewsky R. (2014). An environmentally conscious robust closed-loop supply chain design. *Journal of Business Economics*. 84, p. 613-637.
- Amin S.H. & Zhang G. (2012a). 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. & Zhang G. (2012b). An integrated model for closed-loop supply chain configuration and supplier selection: Multi-objective approach. *Expert Systems with Applications*. 39, p. 6782-6791.
- Aramyan L.H., Hoste R., van den Broek W., Groot J., Soethoudt H., Lan T., Nguyen T., Hermansen J.E. & van der Vorst J.G.A.J (2011). Towards sustainable food production: a scenario study of the European pork sector. *Journal on Chain and Network Science*. 11(2), p. 177-189.
- Baud-Lavigne B., Agard B., Penz B. (2014). Environmental constraints in joint product and supply chain design optimization. *Computers and Industrial Engineering*. 76(0), p. 16-22.
- 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., Benyoucef L. & Sari Z. (2010). Problèmes de conception et pilotage des chaînes logistiques inverses et globales : Etat de l'art. *8th International Conference of Modeling and Simulation (MOSIM'10)*. 10-12 Mai, Hammamet, Tunisia.
- Bing X., Groot J.J., Bloemhof-Ruwaard J.M. & van der Vorst J. (2013). Multimodal network design for sustainable household plastic recycling. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 43(5/6), p. 452-477.
- Bing X., Bloemhof-Ruwaard J.M., Chaabane A., van der Vorst J.G.A.J. (2015). Global reverse supply chain redesign for household plastic waste under the emission trading scheme, *Journal of Cleaner Production*, 103, p. 28-39.
- Bojarski A.D., Láinez J.M., Espuna A., Puigjaner L. (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., Dejax P. & 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-Genoulaz V., Campagne J.P., Llerena D. & Pellegrin C. (2010). *Supply Chain Performance : Collaboration, Alignment and Coordination*. John Wiley & Sons, New Jersey.
- Boukherroub T., Ruiz A., Guinet A. & Fondrevelle J. (2013). 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., Ruiz A., Guinet A., Fondrevelle J. (2015). An integrated approach for sustainable supply chain planning. *Computers & Operations Research*. 54, p. 180-194.
- Brown M.T., Ulgiat S. (1997). Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. *Journal of Ecological Engineering*. 9(1-2), p. 51-69.
- Chaabane A., Ramudhin A., Kharoune M. & Paquet M. (2011a). Trade-off model for carbon market sensitive sustainable supply chain network design. *International Journal of Operational Research*. 10, p. 416-441.
- Chaabane A., Ramudhin A. & Paquet M. (2011b). Designing supply chains with sustainability considerations. *Production Planning and Control Journal*. 22, p. 727-741.
- Chaabane A., Ramudhin A. & Paquet M. (2012). Design of sustainable supply chains under the emission trading scheme. *International Journal of Production Economics*. 135. p. 37-49.

- Choudhary A., Sarkar S., Settur S., Tiwari M.K. (2015). A carbon market sensitive optimization model for integrated forward–reverse logistics. *International Journal of Production Economics*. 164, p. 433-444.
- Chung S.H., Weaver R.D. & Friesz T.L. (2013). Strategic response to pollution taxes in supply chain networks: Dynamic, spatial, and organizational dimensions. *European Journal of Operational Research*. 231, p. 314-327.
- CMED (1987). *Notre avenir à tous*. Oxford, United Kingdom, Oxford University Press.
- Commission européenne (2001). *Promouvoir un cadre européen pour la responsabilité sociale des entreprises-Livre vert*, Luxembourg : Communautés européennes.
- Corsano G., Vecchiotti A.R. & Montagna J.M. (2011). Optimal design for sustainable bioethanol supply chain considering detailed plant performance model. *Computers and Chemical Engineering*. 35, p. 1384-1398.
- Coskun S., Ozgur L., Polat O., Gungor A. (2016). A model proposal for green supply chain network design based on consumer segmentation. *Journal of Cleaner Production*, 110, p. 149-157
- Das K., Posinasetti N.R. (2015). Addressing environmental concerns in closed loop supply chain design and planning. *International Journal of Production Economics*. 163, p. 34-47
- Devika K., Jafarian A., Nourbakhsh V. (2014). Designing a sustainable closed-loop supply chain network based on triple bottom line approach: a comparison of metaheuristics hybridization techniques. *European Journal of Operational Research*. 235(3), p. 594-615. *Journal of Cleaner Production*. Article in press: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.063>.
- Dotoli M., Fanti M.P., Meloni C. & Zhou M.C. (2005). A Multi-level approach for network design of integrated supply chains. *International Journal of Production Economics*. 43(20). p. 4267-4287.
- Dotoli M., Fanti M.P., Meloni C. & Zhou M.C. (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.
- Elhedhli S. & Merrick R. (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., Zegordi S.H., & Nikbakhsh E. (2013). A parallel variable neighborhood search for the multi-objective sustainable post-sales network design problem. *International Journal of Production Economics*.
- Fahimnia B., Sarkis J., Eshragh A. (2015a). Tactical supply chain planning under a carbon tax policy scheme: A case study. *International Journal Production Economics*. 164, p. 206-215.
- Fahimnia B., Sarkis J., Eshragh A. (2015b). A tradeoff model for green supply chain planning: A leanness-versus-greenness analysis. *Omega*. 54, 173-190.
- Ferretti I., Zanoni S., Zavanella L. & Diana A. (2007). Greening the aluminium supply chain. *International Journal of Production Economics*. 108, p. 236-245.
- Fonseca M.C., García-Sánchez A., Ortega-Mier M. & Saldanha-da-Gama F. (2010). A stochastic bi-objective location model for strategic reverse logistics. *Top*. 18, p. 158-184.
- Garg K., Devika K., Diabat A., Jha P.C. (2015). A multi-criteria optimization approach to manage environmental issues in closed loop supply chain network design. *Journal of Cleaner Production*. Article in press: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.075>.
- Giannikos I. (1998). A multiobjective programming model for locating treatment sites and routing hazardous wastes. *European Journal of Operation Research*, 104, p. 330-342.
- Giarola S., Shah S. & Bezzo F. (2012). A comprehensive approach to the design of ethanol supply chains including carbon trading effects. *Bioresource Technology*, 107, p. 175-185.
- Standard & Poor's (2008). Global Industry Classification Standard. Disponible sur le site web <http://www.spindices.com/documents/index-policies/methodology-gics.pdf>.
- Govindan K., Jafarian A., Khodaverdi R. & Devika K. (2013). Two-echelon multiple-vehicle location-routing problem with time windows for optimization of sustainable supply chain network of perishable food. *International Journal of Production Economics*. 152, p. 9-28.
- Govindan K., Jafarian A., Nourbakhsh V. (2015). Bi-objective integrating sustainable order allocation and sustainable supply chain network strategic design with stochastic demand using a novel robust hybrid multi-objective metaheuristic. *Computers & Operations Research*. Article in press: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2014.12.014>.
- GRI (2007). *Sustainability Reporting Guidelines (G3)*. 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-Coskun álbeza G. & Grossmann I.E. (2009). Optimal design and planning of sustainable chemical supply chains under uncertainty. *AIChE Journal*, 55(1), p. 99-121.
- Guillén-Gosálbeza G. & Grossmann I. (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.
- Hugo A. & Pistikopoulos E.N. (2005). Environmentally conscious long-range planning and design of supply chain networks. *Journal of Cleaner Production*, 13, p. 1471-1491.
- Hugo A., Rutter P., Pistikopoulos S., Amorelli A. & Zoia G. (2005). Hydrogen infrastructure strategic planning using multi-objective optimization. *International Journal of Hydrogen Energy*, 30, p. 1523-1534.
- ISO (2006). ISO 14040. *Environmental management - Life Cycle assessment - Goal and scope definition*, Geneva: ISO.
- ISO (2010). ISO 26000. *Guidance on social responsibility*, Geneva: ISO.
- Jamshidi R., Fatemi Ghomi S.M.T. & Karimi B. (2012). Multi-objective green supply chain optimization with a new hybrid memetic algorithm using the Taguchi method. *Scientia Iranica, Transactions E: Industrial Engineering*.
- Jolly C. (2006). *L'entreprise responsable, sociale éthique, "verte"... et bénéficiaire ?* Éditions du Félin, Paris, France.
- Kanzian C., Kühmaier M., Zazgornik J., Stampfer K. (2013). Design of forest energy supply networks using multi-objective optimization. *Biomass and Bioenergy*, 58 (0), p. 294-302.
- Kenné J.P., Dejax P. & Gharbi A. (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.
- Krikke H., Bloemhof-Ruwaard J. & Van Wassenhove L.N. (2003). Concurrent product and closed-loop supply chain design with an application to refrigerators. *International Journal of Production Research*, 41(16), p. 3689-3719.
- Lam H.L., Ng W.P.Q., Ng R.T.L., Ng H.E., Abdul Aziz M.K., Ng D.K.S. (2013). Green strategy for sustainable waste-to-energy supply chain. *Energy*, 57(0), 4-16.
- Luo Y., Zhou M.C. & Caudill R.J. (2001). An Integrated e-supply chain model for agile and environmentally conscious manufacturing. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 6(4), p. 377-386.
- Mallidis I., Dekker R. & Vlachos D. (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.
- Mallidis I., Vlachos D., Iakovou E., Dekker R. (2014). Design and planning for green global supply chains under periodic review replenishment policies. *Transportation Research Part E*, 72, p. 210-235.
- Mari S.I., Lee Y.H., Memon M.S. (2014). Sustainable and Resilient Supply Chain Network Design under Disruption Risks. *Sustainability*, 6, p. 6666-6686.
- Marufuzzaman M, Ekşioğlu S.D., Hernandez R. (2014). Environmentally friendly supply chain planning and design for biodiesel production via waste water sludge. *Transportation Science*, 48(4), p. 555-74.
- Mele F.D., Guillén-Gosálbeza G. & Jiménez L. (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.
- Mele F.D., Kostin A.M., Guillén-Gosálbez G., & Jiménez L. (2011). Multiobjective model for more sustainable fuel supply chains. A case study of the sugar cane industry in Argentina. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50(9), p. 4939-4958.
- Mirzapour Al-e-hashem S.M.J., Baboli A., & Sazvar Z. (2013). A stochastic aggregate production planning model in a green supply chain: Considering flexible lead times, nonlinear purchase and shortage cost functions. *European Journal of Operational Research*, 230, p. 26-41.
- Mirzapour Al-e-hashem S.M.J., Rekik Y. (2014). Multi-product multi-period Inventory Routing Problem with a transshipment option: A green approach. *International Journal of Production Economics*, 15, p. 780-88.
- Mohajeri A., Fallah M. (2014). Closed-Loop Supply Chain Models with Considering the Environmental Impact. *The Scientific World Journal*. Article ID 852529.
- Mota B, Gomes M.I., Carvalho A., Barbosa-Povoa A. (2014). Towards supply chain sustainability: economic, environmental and social design and planning. *Journal of Cleaner Production*. Article in press : <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.052>.
- Nagurney A., Liub Z. & Woolley T. (2006). Optimal endogenous carbon taxes for electric power supply chains with power plants. *Mathematical and Computer Modelling*, 44, p. 899-916.
- Nagurney A. & Nagurney L.S. (2010). Sustainable supply chain network design: a multicriteria perspective. *International Journal of Sustainable Engineering*, 3(3), p. 189-197.
- Nema A.K. & Gupta S.K. (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.
- Paksoy T., Pehlivan N.Y. & Özceylan E. (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., Vrat P., & Kumarc P. (2008). A goal programming model for paper recycling system. *Omega*, 36, p. 405-417.
- Pérez-Fortes M, Laínez-Aguirre J.M., Arranz-Piera P., Velo E. & Puigjaner L. (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., Barbosa-Póvoa A.P.F.D. & Novais A.Q. (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., Razmi J., Torabi S.A. (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., Razmi J. (2012). Environmental supply chain network design using multi-objective fuzzy mathematical programming. *Applied Mathematical Modelling*, 36, p. 3433-3446.
- Pishvae M.S., Razmi J., Torabi S.A. (2014). An accelerated Benders decomposition algorithm for sustainable supply chain network design under uncertainty: a case study of medical needle and syringe supply chain. *Transportation Research Part E*. 67, p. 14-38.
- Pourmohammadi H., Rahimi M. & Dessouky M. (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., Ruiz-Femenia R., Caballero J., Guillén-Gosalbez G. & Jimenez L. (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.
- Quariguas Frota Neto J., Bloemhof J.M., Van Nunen J.A.E.E. & Van Heck E. (2008). Designing and evaluating sustainable logistics network. *International Journal of Production Economics*. 111, p. 195-208.
- Quariguasi Frota Neto J., Waltherb G. & Bloemhof J.M. (2010). From closed-loop to sustainable supply chains: the WEEE case. *International Journal of Production Research*. 48 (15), p. 4463-4481.
- Ren J., Tan S., Yang L., Goodsite M.E., Pang C., Dong L. (2015). Optimization of emergy sustainability index for biodiesel supply network design. *Energy Conversion and Management*. 92, p. 312-321.
- Roy B. (1990). *The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods*. Readings in Multiple Criteria Decision Aid. Springer-Verlang ed. B.e.C. C.A., Berlin.
- Rubio S., Chamorro A. & Miranda F.J. (2008). Characteristics of the research on reverse logistics (1995-2005). *International Journal of Production Research*. 46(4), p. 1099-1120.
- Saaty T.L. (1980). *Analytical Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, ed. M. Graw-Hill, NY.
- Sabio N., Kostin A., Guillén-Gosalbeza G. & Jiménez L. (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.
- Sadrnia A., Ismail N., Zulkifli N., Ariffin M.K.A., Nezamabadi-pour H., Mirabi H.A. (2013). Multiobjective optimization model in automotive supply chain networks. *Mathematical Problems in Engineering*. 3, Article ID 823876.
- Saffar M.M., Shakouri H.G., Razmi J. (2014). A new bi-objective mixed integer linear programming for designing a supply chain considering CO2 emission. *Uncertain Supply Chain Management*. 2(4), p. 275-92.
- Saffar M.M., Shakouri H.G., Razmi J. (2015). A new multi objective optimization model for designing a green supply chain network under uncertainty. *International Journal of Industrial Engineering Computations*. 6, p. 15-32.
- SCC (2008). *Supply Chain Operations Reference Model*, 651 p. Cypress, Texas, Etats-Unis: Supply Chain Council. Available at: <http://supply-chain.org/>.
- Santibañez-Aguilar J.E., González-Campos J.B., Ponce-Ortega J.M., Serna-González M., El-Halwagi M.M. (2014). Optimal planning and site selection for distributed multi-product bio-refineries involving economic environmental and social objectives. *Journal of Cleaner Production*. 65(0), p. 270-94.
- Shaw K., Yadav S.S. & Thakur L.S. (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. & Lin C. (2012) Applying analytic network process to evaluate the optimal recycling strategy in upstream of solar energy industry. *Energy and Buildings*. 54, p. 266-277.

- Subramanian R., Talbot B. & Gupta S. (2010). An Approach to Integrating Environmental Considerations within Managerial Decision-Making. *Journal of Industrial Ecology*. 14, p. 378-398.
- Tekiner-Mogulkoc H., Coit D.W. & Felder F.A. (2012). Electric power system generation expansion plans considering the impact of Smart Grid technologies. *Electrical Power and Energy Systems*, 42, p. 229-239.
- Tsao Y.C. (2015). Design of a carbon-efficient supply-chain network under trade credits. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*. 2(3), p. 177-186.
- Validi S., Bhattacharya A., Byrne P.J. (2014a). A case analysis of a sustainable food supply chain distribution system - A multi-objective approach. *International Journal of Production Economics*. 152, p. 71-87.
- Validi S., Bhattacharya A., Byrne P.J. (2014b). Integrated low-carbon distribution system for the demand side of a product distribution supply chain: a DoE-guided MOPSO optimiser-based solution approach. *International Journal of Production Research*. 52(10), 3074-3096.
- Wang F., Lai X. & Shi N. (2011). Multi-objective optimization for green supply chain network design. *Decision Support Systems*. 51(2). p. 262-269.
- Xifeng T., Ji Z., Peng X. (2013). A multi-objective optimization model for sustainable logistics facility location. *Transportation Research Part D : Transport and Environment*. 22, p. 45-8.
- You F., Tao L., Graziano D.J. & Snyder S.W. (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. & Wang B. (2011). Life Cycle Optimization of Biomass-to-Liquids Supply Chains with Distributed-Centralized Processing Networks. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 50, p. 10102-10127.
- Yu H., Solvang W.D., Chen C. (2014). A green supply chain network design model for enhancing competitiveness and sustainability of companies in high north arctic regions. *International Journal of Energy and Environment*. 5(4), p. 403-418.
- Zhang M., Wiegmans B., Tavasszy L. (2013). Optimization of multimodal networks including environmental costs: a model and findings for transport policy. *Computers in Industry*. 64(2), p. 136-45.

Annexe. Classification de la littérature par référence suivant le cadre d'application (industriel et réglementaire) et le type de modèle

Tableau 3. Classification de la littérature suivant le type d'industrie

Référence	Énergie	Matériaux	Industrie	Consommation discrétionnaire	Consommation non cyclique	Santé	Finance	Technologies de l'information	Télécommunications	Services aux collectivités
(Giannikos, 1998)		X								
(Nema and Gupta, 1999)		X								
(Luo et al., 2001)								X		
(Krikk et al., 2003)				X						
(Dotoli et al., 2005)								X		
(Hugo et al., 2005)		X								
(Hugo et Pistikopoulos, 2005)		X								
(Dotoli et al., 2006)								X		
(Nagurney et al., 2006)										X
(Ferreti et al., 2007)		X								
(Pati et al., 2008)		X								
(Pourmouhammadi et al., 2008)		X								
(Quariguasi Frota Neto et al., 2008)		X								
(Bojarski et al., 2009)		X								
(Gillen-Gosalbéz et Grossman, 2009)		X								
(Mele et al., 2009)		X								
(Bouzemrak et al., 2010)		X								
(Fonseca et al., 2010)		X								
(Gillen-Gosalbéz et Grossman, 2010)		X								
(Subramarian et al., 2010)				X						
(Aramyan et al., 2011)					X					
(Corsano et al., 2011)		X								
(Chaabane et al., 2011a)		X								
(Chaabane et al., 2011b)		X								
(Mele et al., 2011)		X								
(Pinto-Varela et al., 2011)		X								
(Pozo et al., 2011)		X								
(You et al., 2011)		X								
(You et Wang, 2011)		X								
(Abdallah et al., 2012)								X		
(Achillas et al., 2012)				X				X		
(Agkul et al., 2012)		X								
(Amin et Zhang, 2012a)			X							
(Amin et Zhang, 2012b)								X		
(Chaabane et al., 2012)		X								
(Elhedhli et Merrick, 2013)										
(Eskandarpour et al., 2012)										
(Giarola et al., 2012)		X								

(Mallidis <i>et al.</i> , 2012)			X						
(Paksoy <i>et al.</i> , 2012)									
(Pérez-Fortes <i>et al.</i> , 2012)	X								
(Pishvaei <i>et al.</i> , 2012)					X				
(Pishvaei et Razmi, 2012)					X				
(Sabio <i>et al.</i> , 2012)	X								
(Shaw <i>et al.</i> , 2012)			X						
(Shiue et Lin, 2012)									X
(Tekiner-Mogulkoc <i>et al.</i> , 2012)									X
(Bing <i>et al.</i> , 2013)	X								
(Boukherroub <i>et al.</i> , 2013)	X								
(Govindan <i>et al.</i> , 2013)				X					
(Kanzian <i>et al.</i> , 2013)	X								
(Lam <i>et al.</i> , 2013)	X								
(Mirzapour Al-e-hashem <i>et al.</i> , 2013)	X								
(Sadriani <i>et al.</i> , 2013)			X						
(Zhang <i>et al.</i> , 2013)		X							
(Altamann et Bogaschewsky, 2014)		X							
(Devika <i>et al.</i> , 2014)	X								
(Mallidis <i>et al.</i> , 2014)			X						
(Mari <i>et al.</i> , 2014)			X						
(Marufuzzaman <i>et al.</i> , 2014)	X								
(Mota <i>et al.</i> , 2014)			X						
(Pishvaei <i>et al.</i> , 2014)					X				
(Santibañez-Aguilar <i>et al.</i> , 2014)	X								
(Validi <i>et al.</i> , 2014a)				X					
(Validi <i>et al.</i> , 2014b)				X					
(Boukherroub <i>et al.</i> , 2015)	X								
(Bing <i>et al.</i> , 2015)	X								
(Das <i>et al.</i> , 2015)		X							
(Fahimnia <i>et al.</i> , 2015a)			X						
(Fahimnia <i>et al.</i> , 2015b)		X							
(Garg <i>et al.</i> , 2015)			X						
(Govindan <i>et al.</i> , 2015)			X						
(Ren <i>et al.</i> , 2015)	X								

REMARQUE 1. — Les travaux non-classés dans le tableau 3 n'ont pas présenté d'applications industrielles.

Tableau 4. Classification de la littérature suivant la réglementation environnementale

Référence	Émission de GES	Génération de polluants	Réutilisation des ressources
(Krikk <i>et al.</i> , 2003)			X
(Nagurney <i>et al.</i> , 2006)	X		
(Ferreti <i>et al.</i> , 2007)		X	
(Pourmouhammadi <i>et al.</i> , 2008)		X	
(Quariguasi Frota Neto <i>et al.</i> , 2008)			X
(Bojarski <i>et al.</i> , 2009)	X		
(Mele <i>et al.</i> , 2009)	X		
(Bouzembrak <i>et al.</i> , 2010)	X		
(Fonseca <i>et al.</i> , 2010)		X	X
(Nagurnay et Nagurney, 2010)	X		
(Subramarian <i>et al.</i> , 2010)	X		
(Aramyan <i>et al.</i> , 2011)	X		

(Corsano <i>et al.</i> , 2011)		X	
(Chaabane <i>et al.</i> , 2011a)	X		
(Chaabane <i>et al.</i> , 2011b)	X		
(Abdallah <i>et al.</i> , 2012)	X		
(Achillas <i>et al.</i> , 2012)			X
(Agkul <i>et al.</i> , 2012)	X		
(Chaabane <i>et al.</i> , 2012)	X		
(Elhedhli et Merrick, 2012)	X		
(Giarola <i>et al.</i> , 2012)	X		
(Shaw <i>et al.</i> , 2012)	X		
(Bing <i>et al.</i> , 2013)	X		
(Chung <i>et al.</i> , 2013)		X	
(Eskandarpour <i>et al.</i> , 2013)	X		
(Mirzapour Al-e-hashem <i>et al.</i> , 2013)	X	X	
(Zhang <i>et al.</i> , 2013)	X		
(Baud-Lavigne <i>et al.</i> , 2014)	X		
(Mallidis <i>et al.</i> , 2014)	X		
(Marufuzzaman <i>et al.</i> , 2014)	X		
(Mirzapour Al-e-hashem et Rezik, 2014)	X		
(Mohajeri et Fellah, 2014)	X		
(Bing <i>et al.</i> , 2015)	X		
(Choudhary <i>et al.</i> , 2015)	X		
(Fahimnia <i>et al.</i> , 2015a)	X		
(Tsao, 2015)	X		

REMARQUE 2. — Les travaux non-classés dans le tableau 4 n'ont pas présenté des modèles dans le cadre de la réglementation environnementale.

Tableau 5. Classification de la littérature suivant le type de modélisation mathématique

RÉFÉRENCE	Modèle mono-objectif	Modèle bi-objectif	Modèle multi-objectif (>2)	Modèle multi-critère
(Giannikos, 1998)			X	
(Nema et Gupta, 1999)		X		
(Luo <i>et al.</i> , 2001)			X	
(Krikk <i>et al.</i> , 2003)			X	
(Dotoli <i>et al.</i> , 2005)			X	X
(Hugo <i>et al.</i> , 2005)		X		
(Hugo et Pistikopoulos, 2005)				
(Dotoli <i>et al.</i> , 2006)	X		X	
(Nagurney <i>et al.</i> , 2006)	X			
(Ferreti <i>et al.</i> , 2007)	X			
(Pati <i>et al.</i> , 2008)			X	
(Pourmouhammadi <i>et al.</i> , 2008)		X		
(Quariguasi Frota Neto <i>et al.</i> , 2008)		X		
(Bojarski <i>et al.</i> , 2009)			X	
(Gillen-Gosalbéz et Grossman, 2009)		X		
(Mele <i>et al.</i> , 2009)		X		
(Bouzembrak <i>et al.</i> , 2010)		X		
(Fonseca <i>et al.</i> , 2010)		X		
(Gillen-Gosalbéz et Grossman, 2010)		X		
(Nagurnay et Nagurney, 2010)	X			
(Subramarian <i>et al.</i> , 2010)	X			
(Aramyan <i>et al.</i> , 2011)	X			
(Corsano <i>et al.</i> , 2011)	X			

(Chaabane et al., 2011a)		X		
(Chaabane et al., 2011b)		X		
(Mele et al., 2011)		X		
(Pinto-Varela et al., 2011)		X		
(Poza et al., 2011)			X	
(Wang et al., 2011)				
(You et al., 2011)			X	
(You et Wang, 2011)		X		
(Abdallah et al., 2012)	X			
(Achillas et al., 2012)			X	
(Agkul et al., 2012)	X			
(Amin et Zhang, 2012a)	X		X	
(Amin et Zhang, 2012b)			X	X
(Bostel et al., 2012)		X		
(Chaabane et al., 2012)		X		
(Elhedhli et Merrick, 2012)	X			
(Giarola et al., 2012)	X			
(Jamshidi et al., 2012)		X		
(Mallidis et al., 2012)	X			
(Paksoy et al., 2012)			X	X
(Pérez-Fortes et al., 2012)			X	
(Pishvaei et al., 2012)		X		
(Pishvaei et Razmi, 2012)		X		
(Sabio et al., 2012)		X		
(Shaw et al., 2012)			X	X
(Shiue et Lin, 2012)				X
(Tekiner-Mogulkoc et al., 2012)			X	
(Bing et al., 2013)	X			
(Boukherroub et al., 2013)		X		
(Chung et al., 2013)	X			
(Eskandarpour et al., 2013)			X	
(Govindan et al., 2013)		X		
(Kanzian et al., 2013)		X		
(Lam et al., 2013)	X			
(Mirzapour Al-e-hashem et al., 2013)	X			
(Sadriani et al., 2013)		X		
(Xifeng et al., 2013)			X	
(Zhang et al., 2013)		X		
(Altamann et Bogaschewsky, 2014)		X		
(Baud-Lavigne et al., 2014)	X			
(Devika et al., 2014)			X	
(Mallidis et al., 2014)		X		
(Mari et al., 2014)			X	
(Marufuzzaman et al., 2014)	X	X		
(Mirzapour Al-e-hashem et Rekik, 2014)	X			
(Mohajeri et Fellah, 2014)	X			
(Mota et al., 2014)			X	
(Pishvaei et al., 2014)			X	
(Saffar et al., 2014)		X		
(Santibañez-Aguilar et al., 2014)			X	
(Validi et al., 2014a)		X		X
(Validi et al., 2014b)			X	
(Yu et al., 2014)		X		X
(Bing et al., 2015)			X	
(Boukherroub et al., 2015)	X			

(Choudhary <i>et al.</i> , 2015)	X			
(Coskun <i>et al.</i> , 2016)	X			
(Das <i>et al.</i> , 2015)			X	
(Fahimnia <i>et al.</i> , 2015a)		X		
(Fahimnia <i>et al.</i> , 2015b)			X	
(Garg <i>et al.</i> , 2015)		X		
(Govindan <i>et al.</i> , 2015)		X		
(Ren <i>et al.</i> , 2015)		X		
(Saffar <i>et al.</i> , 2015)	X			
(Tsao, 2015)	X			