



HAL
open science

Modélisation d'une stratégie de mutualisation logistique en intégrant les objectifs de Développement Durable pour des PME agroalimentaires

Abdelhamid Moutaoukil, Ridha Derrouiche, Gilles Neubert

► **To cite this version:**

Abdelhamid Moutaoukil, Ridha Derrouiche, Gilles Neubert. Modélisation d'une stratégie de mutualisation logistique en intégrant les objectifs de Développement Durable pour des PME agroalimentaires. 13e Congrès International de Génie Industriel (CIGI'13), Jun 2013, LA ROCHELLE, France. hal-00961521

HAL Id: hal-00961521

<https://hal.science/hal-00961521v1>

Submitted on 20 Mar 2014

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

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

Modélisation d'une stratégie de mutualisation logistique en intégrant les objectifs de Développement Durable pour des PME agroalimentaires.

ABDELHAMID MOUTAOUKIL¹, RIDHA DERROUCHE², GILLES NEUBERT²

¹ INSTITUT FAYOL/UMR-5600, EMSE
158 COURS FAURIEL, SAINT-ETIENNE, 42000 SAINT-ETIENNE, FRANCE
moutaoukil@emse.fr

² UMR-5600, ESC SAINT-ETIENNE
51-53 COURS FAURIEL BP29 - 42000 SAINT-ETIENNE, FRANCE
ridha_derrouiche@esc-saint-etienne.fr
gilles_neubert@esc-saint-etienne.fr

Résumé - Pour accompagner les entreprises dans la mise en œuvre de schémas logistiques collaboratifs, de nouvelles stratégies ont été développées et mises en place ces dernières années. Dans cet article, nous présentons un modèle de mutualisation logistique qui prend en compte les spécificités des flux logistiques des PME agroalimentaires de la Loire et qui intègre les objectifs du développement durable dans ses trois dimensions : économique, environnementale et sociétale. Nous définissons différents scénarios de réseaux logistiques mutualisés qui peuvent être implémentés par ces entreprises. Nous détaillons dans cette communication, la modélisation d'un de ces scénarios. Le modèle conçu a pour objectif de permettre de choisir le scénario le plus pertinent pour la conception d'un réseau mutualisé, qui maximise les gains économiques, environnementaux et sociétaux.

Abstract - To assist companies in the implementation of collaborative logistics schemes, new strategies have been developed and implemented in recent years. In this research work, we present a model of pooling logistics that integrates objectives of sustainable development and takes into account specificities of Loire agri-food SMEs logistics flows. We define different scenarios of pooling logistics network that can be implemented by these companies. We describe in this paper, the modeling of one of these scenarios. The model developed allows us to choose the most relevant scenarios that optimize the design of logistics network and maximize economic, environmental and societal gains.

Mots clés – Mutualisation logistique, Développement durable, Emission CO2, Transport, Modélisation des scénarios.

Keywords – Pooling logistics, Sustainable development, CO2 Emission, Transport, Modeling of scénarii.

1 INTRODUCTION

Durant ces dernières années, la concurrence induite par la mondialisation a rendu les clients de plus en plus exigeants en termes de taux de service, de réactivité et de flexibilité [Derrouiche et al., 2010]. Le contexte économique actuel caractérisé par la crise financière et la baisse du pouvoir d'achat favorise l'émergence de nouvelles formes de gouvernance et de rationalisation des systèmes logistiques. Les entreprises ont besoin plus que jamais d'optimiser au maximum leurs coûts et de repenser leur organisation. À cela s'ajoute la flambée du prix des matières premières, ainsi que leur raréfaction [PIPAME, 2011]. Les consommateurs deviennent également de plus en plus sensibles aux principes de développement durable. Cette augmentation du niveau d'exigence se traduit souvent par une logique de flux tendus qui se généralise dans la plupart des filières : livrer plus rapidement, plus fréquemment, en plus petite quantité. Dans ce contexte, la logistique collaborative entre distributeurs, industriels et prestataires logistiques est devenue primordiale [Pan et al., 2010].

Pour être compétitifs, les industriels doivent optimiser leurs Supply Chain. Cette optimisation, longtemps basée sur une approche économique, passe aujourd'hui par l'intégration de préoccupations environnementales et sociétales, en lien avec

les objectifs du développement durable [Morana, 2010]. De plus, une pression constante des réglementations européennes pousse les industriels à intégrer des préoccupations de durabilité dans leurs chaînes logistiques. En effet, l'évolution de la réglementation se traduit au niveau économique, avec la LME (Loi de Modernisation de l'Économie dont l'objectif est la baisse des prix de vente aux consommateurs [Camman et Livolsi, 2010]), ou environnemental avec notamment la loi Grenelle (- 20 % d'émission de gaz à effet de serre d'ici 2020), ou encore avec la nouvelle loi sur les transports, l'Ecotaxe.

Dans ce contexte, de nouveaux impératifs sont venus s'ajouter aux exigences de rentabilité économique, et les systèmes logistiques doivent désormais répondre aux exigences du développement durable, à savoir :

- **Au niveau économique** : diminuer les coûts logistiques.
- **Au niveau écologique** : diminuer à la fois les émissions de CO2 et la consommation en énergie, avec une incitation à procéder à plus de recyclage et de traitement de déchets [Ülkü, 2011] et [Wang et al., 2011].
- **Au niveau sociétal** : prendre en considération les attentes des différentes parties prenantes dans le processus de prise de décisions de l'entreprise [McCarter, 2007] et [Belin-Munier, 2009].

Ces exigences sont plus difficiles à atteindre en particulier par les PME, parce que leur niveau de performance logistique ne leur permet pas de s'engager dans une démarche durable [CNAM, 2007] [Pôle Agroalimentaire Loire, 2011]. En parallèle, la méthode Juste A Temps (JAT) a été mise en place dans la plupart des secteurs : livrer plus rapidement, plus fréquemment, en petites quantités. Cette évolution dans la gestion des flux expose les coûts logistiques des PME, ce qui met en danger la mise en œuvre entière d'une démarche de développement durable. Dans ce contexte d'accélération des flux et de réduction des stocks, la mutualisation logistique entre les PME est plus que jamais au cœur des priorités.

Enfin, des économies d'échelle sont nécessaires pour atténuer la hausse des coûts de transport, la congestion des voies de transport et les émissions de CO₂, ce qui renforce encore l'importance des stratégies de mutualisation logistique.

Dans notre contexte de recherche, nous travaillons avec des PME agroalimentaires de la Loire, afin de mettre en place une stratégie de mutualisation logistique. En plus des caractéristiques intrinsèques aux PME, le secteur agroalimentaire de la région présente de nombreuses particularités, notamment dans son système de distribution. En effet, dans le secteur agroalimentaire, une des composantes essentielles du transport de marchandises est le mode de conditionnement des produits. A ce propos, le système de distribution des produits agroalimentaires dans la Loire, se base de moins en moins sur une palettisation de marchandises au profit d'autres types de conditionnement, plus petits, tels que les colis. Ce dernier type s'impose aujourd'hui dans la région comme l'outil de référence de distribution des petites quantités de produits agroalimentaires et dans la logistique des circuits courts où il existe une tendance forte à diminuer la taille des envois. En effet, les flux de distributions de ces PME agroalimentaires sont faibles (de très petites quantités), et font appel à de petits systèmes de transport (faible capacité). En outre, la saisonnalité du secteur agroalimentaire reste un paramètre de fluctuation des flux de production et de la demande dans ce secteur.

L'objectif de cette recherche est de proposer des scénarios permettant de coordonner et de mutualiser les flux logistiques de ces PME agroalimentaires, de manière à obtenir la meilleure performance logistique globale. L'analyse de la littérature, et des solutions industrielles, montre qu'il existe un réel manque d'outils conceptuels pour aider les PME agroalimentaire à concevoir un réseau de distribution qui soit mutualisé, et qui prenne en compte les spécificités des flux du secteur. Il s'agit ici de décisions stratégiques pour ces entreprises : quelle est la structure d'un réseau logistique mutualisé qui garantit l'optimalité économique, environnementale et sociétale ?

Dans ce contexte, nous considérons le problème de conception de réseau de distribution pour mettre en œuvre cette stratégie mutualisée, parmi différents scénarios possibles, de manière à minimiser les coûts économiques, environnementaux et sociétaux du réseau.

L'article est organisé comme suit : après une première partie d'introduction, la section 2 présente un état de l'art sur la modélisation de la mutualisation logistique, et le positionnement de notre approche parmi les travaux de la littérature. La section 3 propose notre modèle conceptuel dans

lequel nous définissons les scénarios potentiels de conception de réseau mutualisé. Puis, nous développons un modèle qui nous permet de pré-calculer les différents coûts relatifs à chaque scénario pour choisir les plus pertinents parmi eux. Nous donnons l'exemple de modélisation d'un scénario de mutualisation.

2 SYNTHÈSE DE REVUE DE LITTÉRATURE

Dans la continuité de la revue de littérature proposée dans [Moutaoukil et al., 2012], la mutualisation logistique a été traitée selon trois axes :

1) la mutualisation du transport et des plateformes d'un seul fournisseur afin de servir un ensemble de clients [Chen, 2009], [Xuefeng, 2010] et [Ülkü, 2011].

2) la mutualisation du transport et des plateformes d'un ensemble de fournisseurs afin de servir un ou plusieurs clients [Leitner, 2011], [Crujssen, 2006], [Ballot et Fontane, 2010] et [Pan, 2010].

3) la mutualisation du transport avec des tournées de véhicules et échange d'ordres de livraison entre des transporteurs afin de diminuer les retours à vide et d'augmenter l'utilisation des moyens de transports [Howard et Marklund, 2011] et [Martel, 2004].

Dans cette littérature traitant de la mutualisation logistique, la prise en compte des objectifs de développement durable est récente. Le travail de [Crujssen, 2006] s'est focalisé sur la dimension économique, tandis que les travaux de [Pan, 2010] et [Ballot et Fontane, 2010] ont introduit la dimension environnementale en calculant les émissions de CO₂ de leurs scénarios. Le développement durable est la plupart du temps traité sous l'angle environnemental alors que la dimension sociétale est généralement absente des travaux portant sur la mutualisation logistique.

Enfin, les travaux antérieurs considèrent des flux importants, traités en nombre de palettes, variable selon les entreprises prestataires et selon les clients à servir, majoritairement de la grande distribution. Ces travaux considèrent généralement une demande stationnaire et font appel à des systèmes de distribution de produits en « lots » complets ou partiels qui s'effectuent selon des délais assez longs dans le réseau de distribution, à travers notamment des plateformes de stockage. L'importance des flux massifiés dans ces contextes donne la possibilité de transiter vers d'autres moyens de transport (multimodal) plus économiques et plus écologiques (ferroviaire par exemple), comme étudiés dans [Pan, 2010] et [Leitner, 2011].

La spécificité de notre travail, dans le contexte du secteur agroalimentaire, réside sur une modalité de distribution logistique de petites quantités, exprimées en nombre de colis (quelques dizaines de kilos) à distribuer en J+1, J+2 ou J+3 vers différentes destinations par un enlèvement, un groupage-dégroupage et une distribution. Les services associés à cette prestation relèvent de la « messagerie express » et font appel à des petits systèmes de transport. Les critères économiques poussent parfois ces PME agroalimentaires à retarder des livraisons, quitte à perdre des commandes, pour éviter des coûts logistiques liés à des envois de trop petite quantité.

Enfin, les travaux de recherche portant sur la mutualisation logistique comme [Cruijssen, 2006], [Ballot et Fontane, 2010] et [Pan, 2010] sont basés sur des méthodes analytiques et font appel à des contraintes fortes permettant de simplifier les modèles : par exemple la fixation de la capacité de transport, ou la non prise en compte du facteur « Poids chargé » pour le calcul des émissions de CO2 dans les tournées de véhicules.

Pour notre travail de recherche, il est essentiel de considérer la contrainte du transport comme variable dans l'évaluation des performances des réseaux mutualisés, ce qui nous amènera à tester différentes hypothèses, plus appropriées au transport express de petits colis. Nous avons choisi pour cela d'utiliser des méthodes basées sur la simulation pour traiter notre problème. La simulation est une des techniques utilisées pour estimer les avantages des scénarios de collaboration entre les acteurs d'une chaîne logistique avant de les appliquer réellement [Banks, 1998]; Cette capacité à évaluer et à comparer des scénarios et des changements de type «what-if», avec un grand nombre d'entrées fait de la simulation un outil performant pour l'analyse des chaînes logistiques [Hellström et Johnsson, 2002]. Parmi ses avantages, la simulation offre la possibilité de prendre en compte des hypothèses proches de la réalité (par rapport aux modèles analytiques). Par contre, les résultats ne sont valables que pour les scénarios étudiés, et pour être généralisables, il faut procéder par une étude de sensibilité du modèle par rapport à différents paramètres.

Notre objectif est de pouvoir comparer les performances d'un réseau logistique traditionnel avec différents modèles de réseaux logistiques mutualisés. Au regard de la complexité des schémas logistiques et des contraintes difficiles à prendre en compte du point de vue analytique la simulation nous est apparue comme l'outil le plus approprié pour cette recherche.

3 MODELISATION D'UNE STRATEGIE DE MUTUALISATION LOGISTIQUE

La mutualisation logistique est un accord de partenariat qui consiste à la mise en commun volontariste de moyens physiques, d'informations et de compétences dans le but d'obtenir des gains économiques, écologiques et sociétaux, de parer à court terme à une contrainte ou d'avoir accès à un service inaccessible individuellement [Moutaoukil et al., 2012]. Le cadre de ce partenariat peut revêtir des formes organisationnelles variables en fonction de la nature des partenaires, des moyens et des produits [Derrouiche et Neubert, 2013].

3.1 Différents scénarios de mutualisation:

Les différentes possibilités de mutualisation s'articulent autour de deux grands principes : la mutualisation du transport et la mutualisation des plateformes. Sur la base de ces deux types de mutualisation se constituent différents scénarios possibles selon la configuration de départ comme le montre le tableau 1.

Nous pouvons considérer deux configurations : C1 (Many to one) où nous avons un ensemble d'industriels qui distribuent leurs produits auprès d'un client unique et commun, et la configuration C2 (Many to Many), dans laquelle les industriels livrent plusieurs clients qui ne sont pas forcément communs. Le scénario S0 pour les deux configurations se réfère à la situation initiale, sans mutualisation, où chaque industriel, et

après avoir reçu les besoins de livraison de son client, achemine ses produits jusqu'à son client via un transport direct. La configuration C2, plus générale, sera le sujet de cet article.

Tableau 1: Différents scénarios de mutualisation

Configuration	Scénarios	Transport amont		Plateforme cross dock		Transport aval	
		Direct	Multi pick	Oui	Non	Direct	Multi-drop
C1	S0	✓			✓	✓	
	S1		✓		✓	✓	
	S2	✓		✓		✓	
C2	S0	✓			✓	✓	
	S1		✓		✓		✓
	S2	✓		✓			✓
	S3	✓		✓		✓	
	S4		✓	✓			✓
	S5		✓	✓		✓	

Pour identifier les avantages d'une forte collaboration entre les fournisseurs, nous considérons les scénarios avec une plateforme commune de distribution. Cette plateforme fonctionne comme une plateforme de cross-docking. Le transport entre les industriels partenaires peut se faire en direct vers la plateforme ou en multipick (Tournée de véhicules pour la collecte des produits). Le transport de livraison vers différents clients dans la deuxième configuration peut se faire également soit en direct ou en mutidrop (tournée de véhicules pour la distribution des Produits). Nous schématisons dans la figure 1 le scénario C2S2 qui représente la majorité de ces configurations.

Des scénarios avec une plateforme de stockage sont normalement envisageables dans une stratégie de mutualisation logistique. Dans notre cas particulier, au regard des caractéristiques précédemment décrites portant sur les PME agroalimentaires, notamment la livraison à délais courts de petits colis, nous ne prendrons pas en compte ces scénarios.

3.2 Modèle, Hypothèses et Paramètres :

Le modèle proposé en configuration C2 consiste en un réseau logistique avec I industriels, J clients. L'ensemble des entreprises est au même niveau de décision : il y a un partage d'informations. Vu qu'on s'intéresse uniquement aux schémas de distributions, nous ignorons le processus de productions chez les industriels, et on suppose qu'ils disposent d'un stock infini de produits finis (figure 2). Les commandes des clients suivent une demande externe stochastique.

Pour chaque client i , la demande d'une référence de produit j suit une loi normale de moyenne X_j^i et d'écart-type Y_j^i avec une fréquence d'arrivée F , sur une période T_j de l'année. Pour tenir compte de la saisonnalité des produits dans le secteur agroalimentaire, nous considérons que sur une autre période T_j' de l'année, la demande du même produit j pour le même client i suit une loi normale de moyenne $X_j'^i$ et d'écart-type $Y_j'^i$ avec une fréquence d'arrivée F' . Elle est directement transformée, au niveau des industriels, en ordre de livraison de produits finis. Les ordres journaliers de livraison vers la même destination sont consolidés.

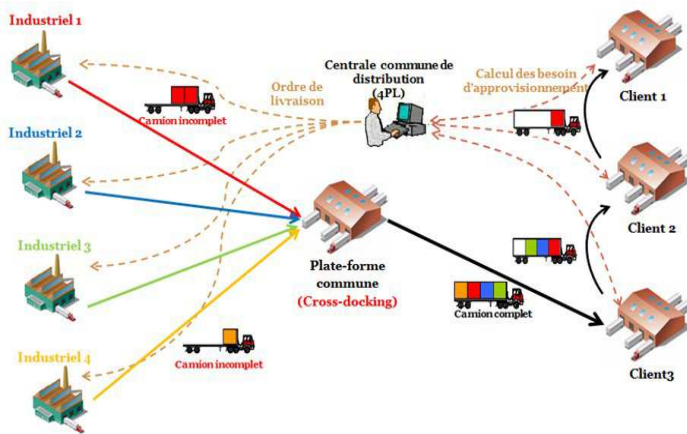


Figure 1. Scénario C2S2

La modélisation de la mutualisation dans le cadre de la configuration C2 consiste à modéliser les différents scénarios possibles dans cette configuration pour choisir à partir d'une analyse multicritère des résultats de simulation, les scénarios les plus pertinents en terme d'objectifs de développement durable.

Pour donner un aperçu de la modélisation que nous avons effectuée, ce papier est focalisé sur l'exemple du scénario C2S2. Cette stratégie vise à établir des plateformes de cross dock qui collectent des envois auprès de plusieurs industriels, consolide ces expéditions, et les dirige sous forme groupée au client approprié.

L'objectif de ce scénario est d'affecter les plateformes de consolidation aux fournisseurs et aux clients afin d'améliorer les performances du réseau. Nous sélectionnons un nombre approprié de plateformes parmi des hubs potentiels, et nous attribuons les fournisseurs à différentes plateformes. Les plateformes reçoivent les produits venant des industriels et regroupent tous les produits qui ont la même destination, avant d'expédier ces produits vers le client en question.

Chaque entreprise comporte un système physique composé d'un module de stock infini de produit fini, un processus Préparation commandes et un module de transport pour l'acheminement des produits vers la plateforme (figure 2). Les processus de production sont ignorés. Le module transport permet de simuler le transport et les stocks tampons inhérents aux délais de livraison. Ce module est composé d'une ressource de transport qui comporte une ressource humaine (chauffeur) et un camion parmi une flotte hétérogène de camions. La capacité du camion est choisie en fonction de la quantité à transporter; de stocks tampons amont et aval qui sont dimensionnés selon la fréquence et le délai de livraison (figure 3). Un calculateur d'émissions CO2 est relié aux modules Transport.

Au niveau de la plateforme, se font des opérations de cross-docking à partir des différentes références provenant des industriels, à destination des différents clients. Dans cette perspective, nous pouvons considérer que les opérations de cross-dock sont résumées à leurs délais, avec une génération de coûts.

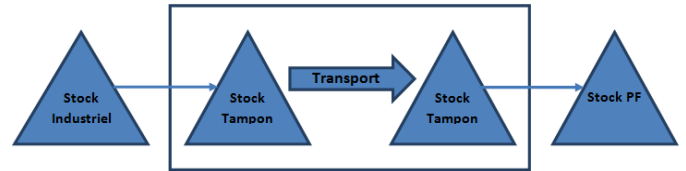


Figure 3. Modèle de transport

Nous faisons les hypothèses générales suivantes:

- Chaque industriel fabrique un produit unique [si un fournisseur livre différents produits, nous pouvons créer un fournisseur fictif supplémentaire pour chaque type de produit supplémentaire].
- Tous les produits sont compatibles et empilables.
- La capacité des moyens de transport est limitée en poids et en volume.
- Chaque plateforme peut servir plus d'un client et chaque clients peut être servi à partir de plusieurs plateformes. Il n'y a pas de liens entre plateformes.
- Le transport dans le réseau logistique est assuré par un transporteur (Fournisseur de services logistiques).

3.3 Paramètres & Indicateurs de Performance

Nous avons résumé dans le Tableau 2, l'ensemble des données et paramètres nécessaires à la simulation du scénario C2S2. Ces différents paramètres servent à évaluer les différents indicateurs de performance pour ce scénario, qui nous permettront ensuite de faire une comparaison avec les autres scénarios.

3.3.1 Indicateur économique

Tout au long du réseau logistique, trois facteurs de coûts sont distingués : le coût de transport, le coût du cross-docking et le coût de la manutention. Le coût de la manutention englobe le coût de chargement et de déchargement. Des coûts logistiques totaux de chaque scénario sont calculés selon la formule suivante :

$$\begin{aligned} \text{Coût Total } (S_i) = & \sum C\text{ôuts transport} + \sum C\text{ôuts chargement} \\ & + \sum C\text{ôuts déchargement} \\ & + (Mode) \left[\sum C\text{ôuts déchargement} \right. \\ & + \sum C\text{ôuts cross - dock} \\ & \left. + \sum C\text{ôuts déchargement} \right] \end{aligned}$$

Avec :

Mode = 0 : Pas de passage par Plateforme

Mode = 1 : passage par Plateforme

Le coût total de transport (fourni par le transporteur) est calculé selon la méthode résumée au tableau 4. Le coût kilométrique de la part variable du coût de transport (partie 2.1 dans le tableau 3) peut contenir la taxation sur le carbone, conformément à la nouvelle loi Ecotaxe.

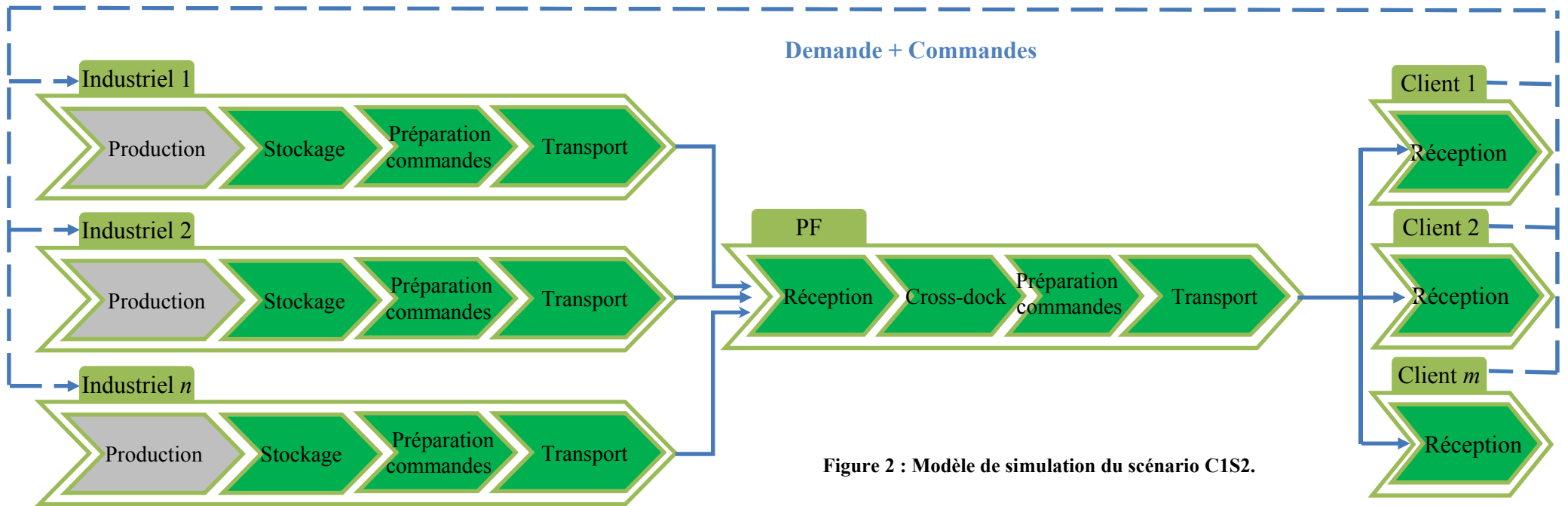


Figure 2 : Modèle de simulation du scénario C1S2.

Processus physiques	Industriel (s)			Plateforme ou PF				Client(s)	
	Stockage	Préparation commandes	Transport	Réception	Cross-dock	Préparation commandes	Transport	Réception	Demande
Données et Paramètres	-Quantité stockée (Infini)	-coût charge/colis -temps charge/colis -Fréquence de livraison/client /industriel	-Distance entre clients -Distance entre PF et industriels -Coût transport/colis/km/t -Capacités disponibles de transport -temps de transport (Industriel/ plateforme) -Emission CO2 kg/km -Durée maximum de conduite	-coût décharge /colis -temps décharge / colis -Fenêtre de temps	-Coût de cross-dock / colis -cout de passage par plateforme	-coût charge/ colis -temps charge/ col -Fréquence de livraison	-Distance entre plateforme et client -Coût transport/colis/km/t -Capacités disponibles de transport -temps de transport (plateforme / client) -Emission CO2 kg/ km -Durée maximum de conduite	-Fenêtre de temps	-Demande journalière/ client /Industriel -Déviation standard de la journalière/ client /industriel
Contraintes			Capacité de transport limitée (Poids, Volume)				Capacité limitée (Poids, volume)	Fenêtre de temps	
Indicateur économique	Coût stockage	Coût chargement	Coût transport	Coût déchargement	Coût stockage	Coût chargement	Coût transport	Coût déchargement	Temps total de déchargement
Indi-enviro			Emission C02				Emission C02		
Indicateur sociétaux			-Risque accident -Nombre de camions utilisés				-Risque accident -Nombre de camions utilisés		

Tableau 2 : Paramètres, contraintes et indicateurs de performance de la simulation du scénario C2S2.

Le coût de transport pour chaque industriel est en fonction de la quantité transportée, de la distance parcourue, du temps de parcours et du type de camion utilisé.

$$x = \max\left(\frac{X^V}{C_k^V}, \frac{X^P}{C_k^P}\right)$$

Tableau 3 : Composition du prix de transport

Paramètres	1.1	Km parcourus	Distance point A point B		
	1.2	Durée de parcours	1.2.1	Temps de chargement	
			1.2.2	Temps transport	Km parcourus/ Vitesse moyenne
			1.2.3	Temps de déchargement	
	1.3	Durée de parcours en heures	Total (1.2.1) + (1.2.2) + (1.2.3)		
	1.4	Durée de parcours en jours	Total (1.2.1) + (1.2.2) + (1.2.3)/temps de travail		
	Nombre paramètres		(1.1) km, (1.3) heures, (1.4) jours		
Coût de transport	2.1	Coût variable	(1.1) * coût kilométrique		
	2.2	Coût horaire	(1.2)* coût horaire		
	2.3	Coût fixe	(1.4) * coût journalier		
	Coût de transport		Total (2.1) + (2.2) + (2.3)		
Prix de vente de transport	3.1	Coût de transport	Total (2.1) + (2.2) + (2.3)		
	3.2	Marge	Coût de transport * marge		
	Calcul prix de vente		Total (3.1) + (3.2)		

Avec :

d : Distance parcourue

E_{plein}^k : Emission du transport de type k à chargement complet

E_{vide}^k : Emission du transport de type k à vide.

X^V : Volume total de colis à transporter

X^P : Poids total de colis à transporter

C_k^V : Capacité en volume du camion de type k

C_k^P : Capacité en poids du camion de type k .

$[x]$: Nombre entier supérieur de x qui représente le nombre de chargements possibles en camion de type k .

Le tableau 5 résume les différentes fonctions des émissions de CO2 en fonction des différentes capacités de transport (calcul pour carburant diesel, basé sur les données fournies en [Hickman et al., 1999]).

Pour raffiner un peu plus le facteur environnemental, on tient compte des émissions de CO2 relatives à la fabrication des véhicules de transport (camions). En effet, chaque type de camion dégage une quantité de CO2 à sa fabrication. De même, chaque type de camion a une durée de vie exprimée en nombre maximum de kilomètres à parcourir. Ainsi, nous pouvons affecter à chaque kilomètre parcouru un amortissement exprimé en quantité de CO2 de fabrication du camion. La nouvelle fonction d'émission sera la suivante :

$$\varepsilon(d, x, k) = d * \left[(E_{plein}^k - E_{vide}^k) * x + E_{vide}^k ([x]) + \frac{E_{fabrication}(k)}{D(k)} [x] \right]$$

Avec :

$E_{fabrication}(k)$: Emission CO2 due à la fabrication du camion de type k .

$D(k)$: Durée de vie du camion de type k en nombre maximum de kilomètres à parcourir.

Les émissions de CO2 liées à la fabrication et les durées de vie pour chaque type de camion sont données en [ADEME, 2005].

3.3.3 Indicateurs sociétaux

Le transport de marchandises intervient dans tous les aspects de la vie en société : déplacements, activités et entreprises, conditions de concurrence internationale, organisation de la ville et de l'espace public, aménagement du territoire, santé publique ou encore comportements des consommateurs. Il participe directement au développement économique et à la cohésion des territoires. Toutefois, il doit faire face à une contradiction permanente entre une société de consommation exigeante mais également soucieuse des nuisances générées et du respect de l'environnement.

En France, plus que 80 % du transport de marchandise se fait par le mode routier [CGDD, 2009], ceci conduit à solliciter fortement le système de transport et les infrastructures qui en sont le support. Les échanges de marchandises engendrent en effet l'engorgement de certains axes routiers, de l'insécurité ainsi que différentes nuisances à la population.

3.3.2 Indicateur environnemental

Nous résumons l'indicateur environnemental en émissions de CO2. Pour modéliser les émissions de CO2, nous nous basons sur les références [Pan, 2010], [Hickman et al., 1999] et [ADEME, 2005].

Afin de calculer les émissions de CO2, nous devons modéliser la distance entre les industriels, entre les clients, et la distance qui sépare les plateformes des industriels et des clients. Nous devons aussi considérer les poids transportés. En effet les émissions dépendent du poids transporté, de la capacité du camion utilisé, de la distance parcourue et de la vitesse moyenne du parcours. La vitesse moyenne du parcours dépend de la localisation de la destination comme montre le tableau 4.

Tableau 4 : Vitesse moyenne en fonction de la localisation

Localisation de la destination	Vitesse moyenne (km/h)
Régionale	40
Nationale	70

En fixant la valeur de la vitesse moyenne, pour chaque localisation, la fonction d'émissions de CO2 est exprimée par la formule suivante (adaptée de la formule donnée par [Pan, 2010] et [ADEME, 2005]) :

$$\varepsilon(d, x, k) = d * \left[(E_{plein}^k - E_{vide}^k) * x + E_{vide}^k ([x]) \right]$$

Tableau 5 : Emissions CO2 en fonction des PTAC (Basé sur les données de [Hickman et al., 1999])

PTAC (Poids Total Autorisé en Charge)	Parcours régionaux			Parcours nationaux		
	Chargement partiel $E_{g/km}$	Chargement complet (E_{plein}) en en g/km	A vide (E_{vide}) en g/km	Chargement partiel $E_{g/km}$	Chargement complet (E_{plein}) en en g/km	A vide (E_{vide}) en g/km
<2.5	180.762	180.762	180.762	125.547	125.547	125.547
[2.5 – 3.5]	238.976	238.976	238.976	208.55	208.55	208.55
[3.5 – 7.5]	351.55 + 47.65 α	399.2	351.55	362.93 + 26.82 α	389.75	362.93
[7.5 – 16]	479.82 + 52.78 α	532.6	479.82	458.23 + 29.32 α	478.55	458.23

De ce fait, d'autres critères doivent être pris en compte, lors de l'évaluation des projets de mutualisation logistique, qui sont les incidents sociétaux, positifs ou négatifs, légers ou lourds sur les différentes parties prenantes de ces projets. Deux parties prenantes sont principalement touchées : les transporteurs et les riverains. Les attentes de la première partie prenante, les transporteurs, sont souvent ignorées dans l'organisation du transport dans les projets de mutualisation. Cependant, ces transporteurs sont les principaux acteurs de la mutualisation du transport, et leurs besoins et leurs attentes doivent être considérés, au moins pour éviter de générer d'autres nuisances sociétales. En effet, il faut se soucier de la sécurité des transporteurs pour ne pas engendrer des accidents qui peuvent impliquer d'autres parties prenantes. Ainsi, toute réduction du nombre de kilomètres parcourus, participe à la réduction du risque d'accidents. La diminution de la congestion, en réduisant le nombre de camions impliqués dans les projets de mutualisation logistique, joue aussi un rôle dans la réduction du risque accident.

Le risque accident peut être influencé par divers facteurs tels que la fréquence d'envoi, le volume chargé, le trafic sur les routes, la distance, la géométrie routière, l'état des chaussées, la condition temporelle, la vitesse, le facteur humain, et autres. L'évaluation des risques peut inclure les effets de tous ces facteurs, mais pour les besoins de notre étude, seule la fréquence d'expédition et la distance à parcourir sont utilisées dans l'évaluation du risque accident.

L'estimation du risque ou de la probabilité d'avoir un accident est basée sur l'hypothèse qu'un accident est un événement discret et aléatoire qui peut être modélisé en utilisant une distribution de Poisson. Un accident est mesuré soit par unité de temps (accident par an) ou soit par unité d'espace (accident par km). Nous définissons le risque d'accident en termes de nombre d'occurrences d'accidents par unité de km. Nous adoptons la formule donnée par [Palšaitis et Petraška, 2012] pour estimer le risque accident :

$$R = \frac{A * 10^6}{VMT * 365}$$

Avec :

R : Risque accident par rapport à un million de km.

A : nombre d'accidents impliquant des camions par an.

VMT : longueur en km du parcours.

La deuxième partie prenante, qui est en général la plus importante pour les décideurs des projets de mutualisation, est le reste de la population, qui ne participe pas directement au transport de marchandises, mais qui partagent le même réseau

de transport. La congestion des réseaux de transport par les camions, qui s'accroît surtout auprès des zones logistiques (plateformes), la nuisance sonore et le blocage des rues à causes des camions, et d'autres situations sont considérées comme négatives par les riverains.

Ainsi, un système de mutualisation logistique qui permet de réduire la congestion, ou de diminuer la perception des grands véhicules dans les réseaux de transport, peut être considéré comme une bonne solution. Notons que tous ces indicateurs sont difficilement quantifiables de manière empirique, parce qu'ils sont liés à des aspects plutôt sociologiques. Pour cette raison, nous considérons l'indicateur du nombre de camions utilisés, qui peut nous renseigner sur les autres indicateurs plus difficilement quantifiables.

CONCLUSION

A travers l'analyse de la littérature, nous avons pu constater que peu de travaux scientifiques se sont intéressés à la modélisation des réseaux logistiques mutualisés. Le cas particulier de la mutualisation spécifique aux PME agroalimentaires constitue un problème original, non traité dans la littérature. Dans ce contexte, ce travail propose un nouveau modèle qui intègre les spécificités des flux logistiques des PME agroalimentaires de la région LOIRE, et qui prend en considération les objectifs du développement durable avec ses trois dimensions : économique, environnementale et sociétale. Après l'identification des différents scénarios possibles, nous avons montré dans cet article l'utilisation pratique de notre proposition à travers la modélisation d'un scénario particulier.

Cette modélisation n'est qu'une première structuration et nous travaillons actuellement sur sa validation à travers différents exemples concrets. Nous compléterons par la suite notre proposition avec l'intégration des autres scénarios.

REMERCIEMENT

Les auteurs remercient la région Rhône Alpe (Cluster de recherche GOSPI) pour le financement de ce travail de recherche.

REFERENCES

- ADEME, : Calcul des facteurs d'émissions et sources bibliographiques utilisées, Méthode bilan carbone. Agence de l'Environnement Mission Interministérielle et de la Maîtrise de l'Energie. (2005)
- Ballot E., Fontane, F., : Reducing transportation CO2 emissions through pooling of supply networks: perspectives from a case study in French retail chains. *Production Planning & Control: The Management of Operations*. 21(6): 640 - 650 (2010).
- Banks J., : *Handbook of Simulation : Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice*. New York: John Wiley. (1998)
- Belin-Munier C., : Logistique, SCM, et développement durable : Une revue de la littérature. *Environmental Management*. (2009)
- Camman C., Livolsi L., : La mutualisation logistique dans le canal de distribution : une stratégie de contournement de la loi de modernisation de l'économie. (2010).
- CGDD, rapport du Commissariat général au développement durable, : *Transports et environnement : comparaisons européennes*. (2009)
- Chen H., : Mathematical model and solution approach for collaborative logistics in less than truckload (LTL) transportation. *International Conference on Computers & Industrial Engineering* (2009).
- Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM).: *Enquête Nationale : La logistique dans les PME-PMI de l'agroalimentaire, synthèse des résultats*. Chaire de Logistique, Transport, Tourisme. (2007)
- Crujssen, F.: *Horizontal cooperation in transport and logistics*. PhD thesis. Tilburg, Nederland (2006).
- Derrouiche, R., Neubert, G., Bouras, A., Savino, M. : B2B Relationship Management: A Framework to Explore Impact of Collaboration, *International Journal of Production Planning & Control (IJPPC)*, Volume 21, Issue 6, pages 528 - 546, September (2010)
- Derrouiche, R., Neubert, G. : Supply Chain Collaborative : revue de littérature des attributs de caractérisation des relations dyadiques, *Revue Française de Gestion Industrielle (RFGI)*, Vol. 32, N° 1, pp. 07-26, (2013).
- Hellström J., Johnsson M., : Using discrete-event simulation in supply chain planning. *The 14th Annual Conference for Nordic Researchers in Logistics*. (2002).
- Hickman, Hassel, Joumard, Samaras, Sorenson.: *Methodology for calculating transport emissions and energy consumption (Report for the Projet MEET)*. Transport Research Laboratory. Edinburgh. (1999).
- Howard C., Marklund J., : Evaluation of stock allocation policies in a divergent inventory system with shipment consolidation. *European Journal of Operational Research*. (2011)
- Leitner R., Meizer F., Prochazka M., Sihn W., : Structural concepts for horizontal cooperation to increase efficiency in logistics. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*.4 (3), 332-337. (2011)
- Martel M., : *La collaboration dans le transport en Chargements Complètes*. Université Laval. (2004)
- McCarter M. G., : Northcraft Happy together? Insights and implications of viewing managed supply chains as a social dilemma. *Journal of Operations Management* (2007)
- Morana J., : *Le Sustainable Supply Chain Management : Une première étape de modélisation*. The 8th International Conference on Logistics and SCM Research BEM Bordeaux Management School. (2010)
- Moutaoukil A., Derrouiche R., Neubert G., : *Pooling Supply Chain: literature review of collaborative strategies*. International conference PRO'VE, England. (2012)
- Palšaitis, R., Petraška, A. :Heavyweight and oversized cargo transportation risk management. *Transport and Telecommunication*, Volume 13. (2012)
- Pan S., Ballot E., Fontane F., : Enjeux environnemental et économique de la mutualisation logistique pour les PME : Le cas de l'alimentaire dans l'ouest de la France. 8e Conférence Internationale de MODélisation et SIMulation - MOSIM'10 - Hammamet - Tunisie- 10 au 12 mai (2010)
- Pan S., : *Contribution à la définition et à l'évaluation de la mutualisation de chaînes logistiques pour réduire les émissions de CO2 du transport : application au cas de la grande distribution*. PhD thesis. Mines Paris Tech, Paris (2010)
- PIPAME.: *Pratiques de logistique collaborative : Quelles opportunités pour les PME/ETI? Le pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques*, Paris (2011).
- Pôle Agroalimentaire Loire, : *Organisation logistique du secteur agroalimentaire dans la Loire*. Saint-Etienne. (2011)
- Ülkü, M.-A.: *Dare to care: Shipment consolidation reduces not only costs, but also environmental damage*. *International Journal of Production Economics*. (2011)
- Wang F., Lai X., Shi N., : *A multi-objective optimization for green supply chain network design*. *Decision Support Systems*. (2011)
- Xuefeng W., : *An Integrated Multi-depot Location- inventory-routing Problem for Logistics Distribution System Planning of a Chain Enterprise*. *International Conference on Logistics Systems and Intelligent Management*. (2010)