



Pooling of freight transport, simulation approach

Nassim Mrabti, Nadia Hamani and Laurent Delahoche

EasyChair preprints are intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair.

December 25, 2019

MUTUALISATION LOGISTIQUE, APPROCHE PAR SIMULATION

N. MRABTI, N. HAMANI, L. DELAHOICHE

LTI (Laboratoire des Technologies Innovantes),
Université de Picardie Jules Verne

nassim.mrabti@etud.u-picardie.fr, [nadia.hamani ; laurent.delahoiche]@u-picardie.fr

RESUME : *La mutualisation logistique est considérée comme l'une des solutions innovantes pour relever efficacement les défis logistiques croissants et améliorer le développement durable. Elle a déjà montré sa performance dans la revue de littérature scientifique en terme économique par la diminution des coûts et en terme environnemental par la minimisation des émissions des gaz à effet de serre. Dans cette étude, nous allons proposer un modèle de simulation générique pour une chaîne logistique mutualisée. Puis, nous traiterons un exemple afin de démontrer la performance de ce type de collaboration en évaluant les indicateurs économiques (coût de transport, coût de chargement, coût de déchargement et taux de remplissage des véhicules) et les indicateurs environnementaux sous forme d'émissions de CO₂. Finalement, nous présentons une comparaison des résultats avec la chaîne logistique traditionnelle.*

MOTS-CLES : *Mutualisation logistique, développement durable, simulation.*

1 INTRODUCTION

Durant ces dernières années, la mondialisation a rendu les clients de plus en plus exigeants en termes de taux de service, de réactivité et de flexibilité. La crise économique qui frappe le marché depuis 2008 pousse aussi les entreprises à optimiser leurs coûts. Les consommateurs deviennent également de plus en plus sensibles aux problématiques de réchauffement climatique et donc au principe de développement durable. Les PME (Petites et Moyennes Entreprises) sont particulièrement impactées par toutes ces évolutions et il est plus difficile d'assurer seules leur développement.

A cela s'ajoute la concurrence qui a poussé certaines entreprises à rechercher des nouveaux modèles d'organisations logistiques. D'où la nécessité, de collaborer avec d'autres entreprises afin d'améliorer la performance de leurs chaînes logistiques.

Selon la revue de littérature, il existe deux types de collaboration, l'une verticale qui concerne les membres d'une même chaîne de valeur qui sont de différents niveaux. Les avantages de ce premier type de collaboration sont dus principalement au partage de l'information entre le fournisseur et le client. Par contre, la collaboration horizontale « la mutualisation » se fait entre les acteurs de même niveau ; c'est à dire soit entre les fournisseurs ou les clients ou bien entre les transporteurs.

Selon (Pan, 2010), la collaboration aujourd'hui s'opère essentiellement au niveau vertical. Cependant, les résultats mitigés sur le transport de marchandises montrent que c'est difficile de dépasser la performance actuelle par ce type de collaboration d'où l'importance de la mutualisation logistique.

Le reste de l'article s'intéresse à l'état de l'art sur la mutualisation logistique dans la partie 2, une présentation de modèle de la mutualisation logistique sera développée

dans la partie 3. La partie 4 s'intéresse à un exemple d'illustration et à la comparaison des résultats avec le modèle de la chaîne logistique classique. Finalement, nous présentons une conclusion et des perspectives.

2 REVUE DE LITTÉRATURE

Moutaoukil (Moutaoukil et al., 2014) a défini la mutualisation en tant qu'une collaboration qui se fait entre les acteurs de même niveau (fournisseurs, fabricants, distributeurs, etc.) ainsi que dans (Trilling, 2006), Trilling a défini la mutualisation comme la mise en commun, le partage et l'échange de ressources pour réaliser des activités conjointes. Selon le problème traité, les travaux de recherche existants dans la littérature scientifique sont classés en trois niveaux de décision (stratégique, tactique et opérationnelle). Le tableau 1 résume les différents problèmes que la mutualisation peut traiter.

Niveau de décision	Problème
Stratégique	Conception du réseau mutualisé
	Sélection des partenaires
Tactique	Répartition des coûts/bénéfices
	Prévision conjointe
Opérationnelle	Planification du transport
	Répartition des capacités

Tableau 1 : Problèmes traités par la mutualisation logistique

2.1 Au niveau de décision stratégique

Au premier niveau de décision, Pan (Pan, 2010) a traité le problème de conception d'un réseau mutualisé afin de massifier les flux pour augmenter le taux de remplissage des véhicules. Il a évalué les indicateurs économiques et environnementaux par la modélisation mathématique en

PLNE (Programmation Linéaire en Nombres Entiers). Groothedde (Groothedde et al., 2005) vise à chercher la meilleure combinaison des hubs afin de minimiser les coûts logistiques en utilisant une heuristique. Par ailleurs, Moutaoukil (Moutaoukil et al., 2014) vise à modéliser les trois indicateurs de développement durable ; économiques, environnementaux et sociaux/sociétaux en utilisant la simulation de plusieurs scénarios. De même, Leitner (Leitner et al., 2011) a utilisé la technique de simulation lors de l'étude de cas de deux projets pour les fournisseurs automobiles en Roumanie et en Espagne. Dans le deuxième type de problème qui concerne la sélection des partenaires, (Bahinipati et al., 2009) (Feng et al., 2010) ont proposé une méthodologie pour satisfaire les exigences pratiques essentielles pour le test de comptabilité des partenaires. L'approche AHP-FLM (*Analytic Hierarchy Process- Fuzzy Logic Model*) a été choisie pour modéliser ce problème. Dans le même contexte, (Naesens et al., 2009) a élaboré un cadre d'aide à la décision pour la mise en œuvre de la mutualisation des ressources en utilisant la même méthode AHP.

2.2 Au niveau de décision tactique

Au niveau tactique, les travaux existants ont traité généralement l'un des obstacles de la mise en œuvre de la mutualisation. C'est le problème de répartition des coûts/bénéfices, par exemple, (Xu et al., 2013) a proposé un mécanisme de partage équitable des gains en utilisant la théorie des jeux coopératifs. Aussi, (Frisk et al., 2010) a traité ce problème avec une approche EPM (*Equal Profit Method*) en prenant en compte diverses propriétés du problème de planification. Pour le problème de prévision conjointe, (Ozen et al., 2012) a étudié les coalitions de mise en commun des stocks dans un système de distribution décentralisé d'un fabricant, d'un entrepôt et de n détaillants. Il a conclu qu'avec la prévision conjointe, la collaboration se traduit toujours par un bénéfice total attendu plus élevé.

2.3 Niveau de décision opérationnelle

Au niveau de décision opérationnelle, on traite généralement le problème de l'exécution et de planification du transport ou de tournées. (Krajewska et al., 2010) a étudié le problème PDPTW (*Pickup and Delivery Problem with Time Windows*) à plusieurs dépôts. Ce problème a été résolu au moyen d'une heuristique (*Local Search*). Une autre étude (Agarwal et Ergun, 2010) a traité la mutualisation de transport dans les réseaux maritimes à grande échelle. Ces auteurs ont traité le problème simultané de l'ordonnancement des navires et du routage des marchandises en les modélisant en MILP (*Mixed Integer Linear Programming*). Pour le deuxième type de problème opérationnel, (Zhou et al., 2010) a étudié le problème de partage des demandes de sorte que le fret sortant pouvait être réaffecté pour augmenter le taux de remplissage des camions. Ce problème a été résolu par la simulation.

De même, la simulation a été utilisée une autre fois dans (Van Lier et al., 2014) pour évaluer la performance de la mutualisation du transport de trois sociétés spécialisées dans différents produits.

Suite à cette analyse de quelques travaux de recherches, on peut conclure que la majorité des approches sont mathématiques. Par contre, la simulation n'est pas utilisée fréquemment bien que cette dernière permet d'estimer les avantages des scénarios de collaboration entre les acteurs d'une chaîne logistique avant de les appliquer réellement.

Nous proposons dans le paragraphe suivant un modèle générique de la mutualisation logistique.

3 CHAÎNE LOGISTIQUE MUTUALISEE

Dans la chaîne logistique mutualisée, les produits passent d'abord par les centres de mutualisation et ensuite vers les clients. Il faut un système d'information efficace et un niveau de coordination accru, donc on suppose que les ressources et les technologies nécessaires à la bonne coordination et le bon fonctionnement sont disponibles. Ce réseau est à deux échelons (Fournisseurs – Centres de mutualisation) et (Centres de mutualisation – Clients). Il comporte quatre acteurs ; les fournisseurs, les centres de mutualisation, les clients et un 3PL (*Third-party logistics*). Dans ce réseau, la livraison du fournisseur est faite directement aux centres de mutualisation à chaque appel de 3PL. Cependant, la livraison finale est faite soit séparément ou en groupant des marchandises en multi-drop c'est-à-dire une livraison sous forme d'une tournée de véhicules afin d'améliorer le taux de remplissage.

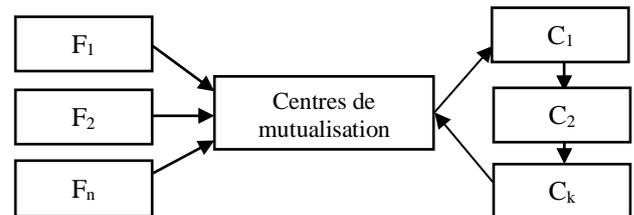


Figure 1 : Structure du réseau logistique mutualisé

3.1 Les hypothèses

Le réseau présenté dans la figure 1 demeure tout à fait générique, il comporte n fournisseurs, m centres de mutualisation et k clients. Toutefois, les hypothèses suivantes ont été proposées :

- Le niveau de stock chez le fournisseur est illimité. Par contre, il est à un niveau bien déterminé aux entrepôts mutualisés.
 - La livraison finale peut être réalisée soit en livraison directe ou en Multi-drop sur plusieurs voyages si la quantité dépasse la capacité du véhicule.
- Les niveaux de stock dans les entrepôts de mutualisation sont vérifiés périodiquement par le 3PL selon une politique (R, s, S) ; c'est-à-dire à chaque R unité de temps, le niveau de stock est vérifié. Si le niveau est plus bas que

le point de réapprovisionnement s , une commande est placée afin d'atteindre le niveau d'inventaire maximale S .

3.2 Formulation des indicateurs

Les indicateurs évalués sont les coûts logistiques, le taux de remplissage des véhicules et les émissions de CO₂.

3.2.1 Les indicateurs économiques

- S'il n'y a pas de regroupement de marchandises :
 - Le coût de transport entre le fournisseur i et le centre de mutualisation m est le suivant :

$$CTr_{im} = 2 \times Cu \times d_{im} \times Nv_i ; \forall i \in F \text{ et } m \in M \quad (1)$$

$$Nv_i = [P_{im} / Qv] ; \forall i \in F \text{ et } m \in M \quad (2)$$

Nv_i : Nombre de voyages effectués, c'est la partie entière supérieure du rapport entre le poids transporté et la capacité du véhicule.

Cu : Coût unitaire de transport en €/km.

d_{im} : Distance entre le fournisseur i et l'entrepôt m en km.

Afin de prendre en compte le retour, nous avons supposé que le trajet d'allé est le même de retour d'où la multiplication par deux.

Cependant, la formule 1 permet de calculer le coût de transport pour satisfaire les clients z fois, donc pour calculer le coût d'une seule fois, il faut le diviser par z .

$$z = q_{im} / \sum_{j=1}^D q_{ij} ; \forall i \in F \text{ et } m \in M \quad (3)$$

q_{im} : Quantité transportée entre le fournisseur i et l'entrepôt m .

q_{ij} : Quantité demandée par le client j au fournisseur i .

La formule finale devient :

$$CTr_{im} = (2 \times Cu \times d_{im} \times Nv_i) / z ; \forall i \in F \text{ et } m \in M \quad (4)$$

- Le coût de transport entre le centre de mutualisation m et le client j est le suivant :

$$CTr_{mj} = 2 \times Cu \times d_{mj} \times Nv_j ; \forall m \in M \text{ et } j \in D \quad (5)$$

$$Nv_j = [P_{mj}^i / Qv] ; \forall i \in F, m \in M \text{ et } j \in D \quad (6)$$

Nv_j : Nombre de voyages effectués ; c'est la partie entière supérieure du rapport entre le poids transporté (du centre de mutualisation m vers le client j desservi par le fournisseur i) et la capacité du véhicule.

d_{mj} : Distance entre l'entrepôt m et le client j .

- Le coût total du transport de chaque fournisseur

$$CTr_i = CTr_{im} + \sum_{j=1}^D CTr_{mj}^i ; \forall i \in F \text{ et } j \in D \quad (7)$$

Nous avons fait la somme sur j puisqu'un fournisseur peut desservir plusieurs clients.

- S'il y a un regroupement de marchandises :
Seulement le coût de transport en aval qui change (du centre de mutualisation jusqu'au client).

$$CTr_m = 2 \times Cu \times d \times Nv ; \forall m \in M \quad (8)$$

d : Distance total lors d'une tournée de véhicules

$$d = d_{m1} + d_{12} + \dots + d_{D-1D} = d_{m1} + \sum_{j=2}^D CTr_{j-1j} ; \forall m \in M \quad (9)$$

$$Nv = [Poids\ total / Qv] \quad (10)$$

- Le coût de préparation des commandes pour le fournisseur i :

Ce coût est le même pour les deux cas, il est composé du coût de préparation en amont et en aval, il est donné par la formule suivante :

$$Cprépi = Cpu \times (q_{im} + \sum_{j=1}^D q_{mj}^i) ; \forall i \in F \text{ et } m \in M \quad (11)$$

Cpu : Coût de préparation unitaire.

q_{mj}^i : Quantité transportée entre l'entrepôt m et le client j provient du fournisseur i .

- Le taux de remplissage du véhicule :

La formule est la même pour les deux cas. Cependant, on suppose que les véhicules en amont livrent en pleine charge et on calcule seulement le taux de remplissage de livraison finale.

$$\text{Taux de remplissage} = \text{Poids total} / (Nv \times Qv) \quad (12)$$

3.2.2 Les indicateurs environnementaux

On s'est inspiré des travaux de (Pan, 2010) et (ADEME, 2007) pour modéliser les émissions de CO₂.

Ces émissions dépendent du poids transporté, de la capacité du camion utilisé, de la distance parcourue et de la vitesse moyenne du parcours qui dépend de la localisation de la destination comme le montre le tableau 2.

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

Tableau 2 : Variation de la vitesse selon la localisation de la destination

Après la fixation de la vitesse moyenne, la fonction des émissions de CO₂ est donnée par la formule suivante :

$$\varepsilon(d, x, k) = d \times [(Eplein - Evide) \times x + Evide \times [x]] \quad (13)$$

$Eplein$: Emissions de CO₂ du véhicule plein en g/km.

$Evide$: Emissions de CO₂ du véhicule vide en g/km.

x : Le rapport entre le poids de la quantité transportée et la capacité du véhicule.

$[x]$: Le nombre de voyage à faire pour satisfaire le client. Nous avons calculé le total des émissions en amont et en aval comme le montre la formule suivante :

$$\varepsilon(F) = \varepsilon(F \rightarrow M) + \varepsilon(M \rightarrow C) \quad (14)$$

$\varepsilon(F \rightarrow M)$: Emissions de CO₂ dues au transport entre les fournisseurs et les centres de mutualisation.

$\varepsilon (M \rightarrow C)$: Emissions de CO₂ dues au transport entre les centres de mutualisation et les clients.

3.2.3 Répartition des coûts/bénéfices

Le problème majeur qui peut bloquer la réussite de la mutualisation est le partage équitable des coûts/bénéfices entre les partenaires. Dans notre étude, pour répartir le coût du transport après regroupement de marchandises, nous avons pris en considération la quantité transportée ainsi que les indicateurs évalués dans un premier scénario (livraison directe) qui présente une chaîne logistique traditionnelle avant mutualisation, puisque la fonction du coût et des émissions de CO₂ dépend directement de la distance parcourue par chaque fournisseur.

Pour cela nous avons calculé les pourcentages associés à chaque indicateur.

– Pourcentage en coût :

$$c(i) = 100 \times (CTr(i) / CTr) ; \quad \forall i \in F \quad (15)$$

– Pourcentage en poids :

$$p(i) = 100 \times (Poids(i) / Poids\ total) ; \quad \forall i \in F \quad (16)$$

– Pourcentage en émissions :

$$e(i) = 100 \times (Emissions(i) / Emission\ total) ; \quad \forall i \in F \quad (17)$$

CTr : Coût de transport total de tous les fournisseurs avant mutualisation.

Emission total : Somme des émissions dues au transport de tous les fournisseurs avant mutualisation.

Donc le coût de transport total après mutualisation pour chaque fournisseur est donné par la formule suivante :

$$Coût(i) = CTM \times (c(i) + p(i) + e(i)) ; \quad \forall i \in F \quad (18)$$

CTM : Coût de transport total après mutualisation en €.

3.3 Représentation des flux

Le premier acteur de la chaîne logistique est le client. Dans un premier temps, il vise à générer un bon de commande qui inclut une demande bien déterminée.

Le deuxième acteur est le prestataire logistique qui vise à prendre l'ensemble des décisions liées à la préparation des commandes et au maintien des inventaires. Il reçoit les bons de commande en provenance des différents clients, après il fait la vérification du niveau de stock dans l'entrepôt concerné. S'il existe un niveau suffisant, il envoie un bon de préparation à cet entrepôt, sinon le prestataire logistique envoie un autre bon de préparation au fournisseur concerné. Le prestataire logistique peut regrouper les marchandises sortantes de l'entrepôt m vers les clients en faisant des tournées de véhicules.

Le troisième acteur est l'ensemble des entrepôts de mutualisation. Il s'agit des endroits où les marchandises sont stockées et triées selon leurs sources et destinations.

Le quatrième acteur est l'ensemble des fournisseurs qui présentent les niveaux de stock illimités pour satisfaire les clients. Chaque fournisseur peut être lié à plusieurs entrepôts mutualisés. La préparation des commandes commence dès la réception des bons de préparation du prestataire logistique.

Les opérations faites lors du traitement des commandes sont résumées dans la figure suivante :

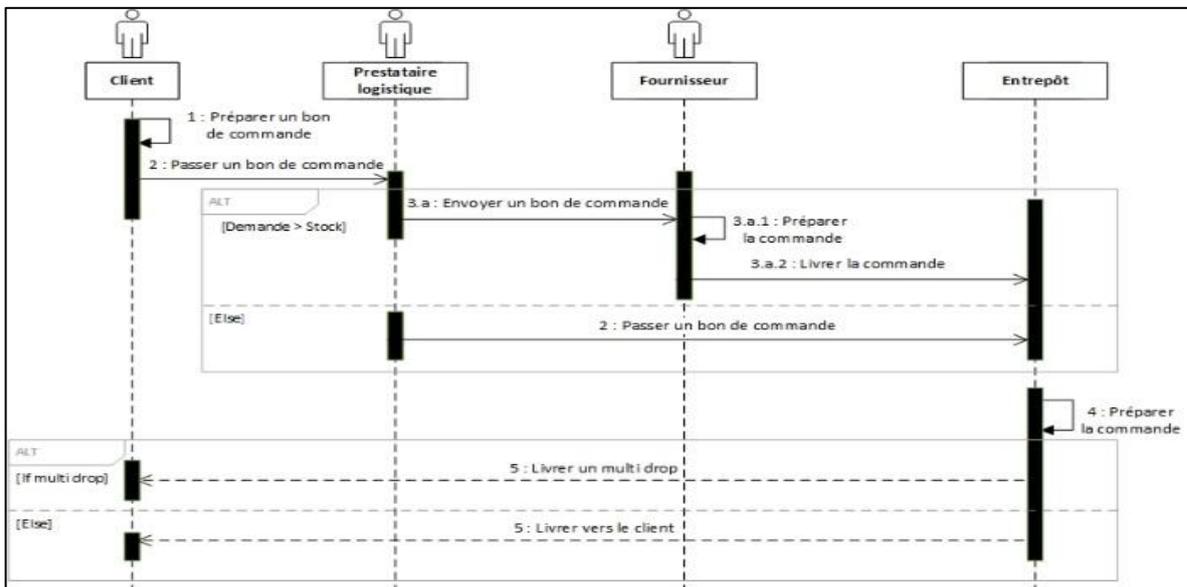


Figure 2 : Diagramme de séquence de la chaîne logistique mutualisée

Il y a une autre activité nécessaire présentée à la figure 3. Elle est faite par le 3PL ; c'est la vérification périodique du niveau d'inventaire. Un ordre de réapprovisionnement est envoyé au fournisseur concerné en cas de besoin.

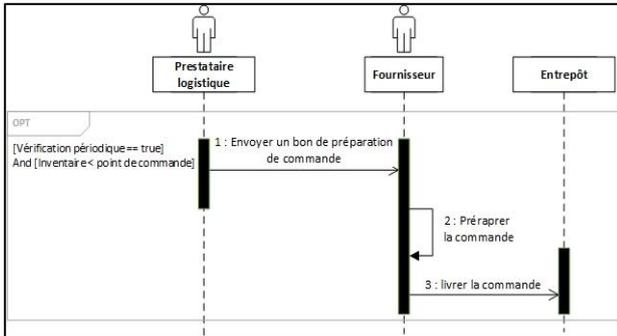


Figure 3 : Diagramme de séquence pour la vérification périodique de stock

3.4 Implémentation du modèle

Dans les paragraphes précédents, nous avons présenté les diagrammes de séquence d'une chaîne logistique mutualisée que nous avons implémentée sur le logiciel ARENA.

L'idée fondamentale pour la construction d'un modèle générique avec ARENA consiste en l'utilisation des différents niveaux de modélisation offerts afin d'accroître la flexibilité et de permettre la modélisation des systèmes complexes.

Notamment, la programmation en VBA est nécessaire à la création de ce modèle. De plus, le développement des interfaces en VBA est primordial afin de permettre une utilisation facile des modèles proposés ainsi que l'utilisation de MS Access pour l'enregistrement des données et des résultats par l'utilisation des blocs « Read Write ».

Nous avons utilisé des blocs VBA insérés directement dans la séquence créée. Ainsi, pendant la simulation, à chaque fois qu'une entité passe par le bloc VBA, la procédure programmée sera effectuée.

Les interfaces développées permettent à l'utilisateur de changer le nombre de clients à regrouper, la destination, les caractéristiques du produit en tant que référence, poids, coût de préparation unitaire et demande du client et ce pour respecter la capacité du véhicule ou pour calculer le nombre de voyages nécessaire afin de satisfaire les clients.

La procédure de calcul des indicateurs nécessite ainsi des données comme les distances et le coût unitaire d'un kilomètre de route.

Dans notre modèle, nous avons quatre acteurs ; le client, le fournisseur, les entrepôts mutualisés et le prestataire logistique qui gère le transport et le niveau de stock.

Dès le lancement de la simulation, une première interface s'affiche, elle permet de préciser le nombre de clients pour

le regroupement en transport, le numéro de l'entrepôt, la capacité du véhicule et le type de parcours soit national ou régional pour fixer la vitesse du véhicule d'après le tableau 2. L'interface est présentée dans la figure 4.

Figure 4 : Première interface

Après la saisie de ces données et la validation, l'entité qui présente l'arrivée des bons de commande des clients se déplace jusqu'au bloc « VBA ». Donc une deuxième interface s'affiche afin de caractériser les demandes des clients.

L'affichage de cette interface se répète selon le nombre de clients choisis au début pour faire le multi-drop, cette interface est présentée dans la figure 5.

Figure 5 : Deuxième interface

L'implémentation du modèle est présentée dans les figures 6, 7, 8 et 9 qui permettent de présenter respectivement les événements à faire au niveau des clients, fournisseurs, prestataire logistique et entrepôts mutualisés.

La figure 6 représente le client qui passe des bons de commandes vers le prestataire logistique. Ces blocs permettent de caractériser chaque commande et de calculer le poids et la distance à parcourir en effectuant le regroupement (multi-drop).

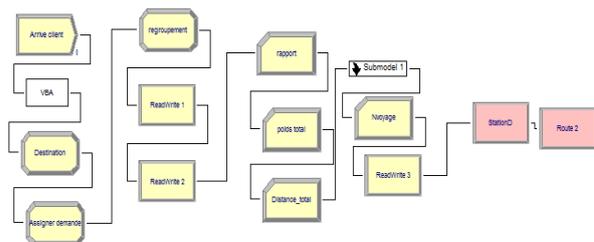


Figure 6 : Evènements au niveau des clients

Lors de la réception des bons de commandes, le prestataire logistique vérifie le niveau de stock dans l'entrepôt concerné.

Notre exemple se constitue de trois fournisseurs qui expédient cinq clients. Les données nécessaires sont données par les tableaux 3, 4 et 5. Le type de parcours est régional.

Client	Fournisseur	Demande	Poids unitaire (kg)	Coût de préparation unitaire (10 ² €)	Distance (Km)	Capacité du véhicule
1	1	500	1	2	25	2000 kg
2	2	250	2	1	30	
3	3	400	2	5	28	
4	1	1300	1	2	41	
5	2	800	2	1	63	

Tableau 3 : Données pour la chaîne logistique avant mutualisation

Afin de réaliser le regroupement de marchandises, nous avons besoin des distances entre l'entrepôt mutualisé et le client numéro 1 puisque, par hypothèse, c'est celui qui va être livré le premier, ainsi que les distances entre le client successeur et son prédécesseur.

Pour la livraison en amont, nous avons besoin de distances entre les fournisseurs et les entrepôts mutualisés. Ces distances sont données par le tableau 4.

Client	Fournisseur	Distance (Em-C1) en Km	Distance avec le client précédent (Km)	Distance (Fi-Em) en Km
1	1	10	0	14
2	2		5	9
3	3		7	12
4	1		3	14
5	2		11	9

Tableau 4 : Distances nécessaires pour le multi-drop

Produit	Stock maximal	Point de commande	Stock actuel
1	6000	300	6000
2	4000	400	4000
3	5000	200	5000
1	6000	300	5500
2	4000	400	3200

Tableau 5 : Données nécessaires pour les niveaux de stock

Pour déterminer le coût de la consommation du carburant, on a recours au logiciel libre « Calculis ». Il est indiqué que pour parcourir 1 km en route on consomme 1 litre de carburant et le prix du litre est à peu près égal à 1.4 € en France.

Lors du lancement de la simulation, on saisit les données en utilisant les interfaces développées en VBA, comme énoncé dans les paragraphes précédents, les résultats seront enregistrés avec MS Access à travers les blocs « ReadWrite ». Les résultats obtenus sont résumés dans les deux tableaux 6 et 7. D'après ces résultats, on constate que : Du point de vue économique, la mutualisation a montré une meilleure performance comparé à celle de l'état actuel. Il y a une réduction en coût d'environ 19.3 % en passant par un coût total avant mutualisation de 598 € à 483 € après mutualisation. De même pour le taux de remplissage du véhicule, il y a une amélioration allant jusqu'à 79%.

Du point de vue environnemental, la mutualisation a montré aussi une performance meilleure que celle de la chaîne logistique traditionnelle avec un pourcentage de réduction supérieur à 12 %.

Fournisseur	Coûts en €			Taux de remplissage	
	Avant	Après	% de gain	Avant	Après
1	223	178.52	19.94	45 %	/
2	275	226.05	17.8	52.5 %	
3	100	78.43	21.57	40 %	
Total	598	483	19.23	47 %	79 %

Tableau 6 : Résultat au niveau économique

Fournisseur	Emissions de CO ₂ en g		
	Avant	Après	% de réduction
1	11928	/	/
2	16807		
3	5100		
Total	33835	29570	12.6 %

Tableau 7 : Résultat au niveau environnemental

5 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans cet article, nous avons proposé un modèle générique d'une chaîne logistique mutualisée à l'aide du logiciel de simulation ARENA. Nous avons évalué les indicateurs économiques en tant que coût logistique, taux de remplissage du véhicule et les indicateurs environnementaux en tant qu'émissions de CO₂. Par la suite, nous avons traité un exemple d'illustration pour

démontrer la performance de cette nouvelle collaboration horizontale. Nous pouvons conclure que dans cet exemple, la mutualisation a permis d'obtenir des meilleurs résultats, au niveau économique par la réduction du coût logistique de 19.23 % et d'amélioration du taux de remplissage des véhicules de 47 % à 79 % et au niveau environnemental par la réduction des émissions de CO₂ de 12.6 %.

Cependant, ce travail comporte quelques limites.

En effet, le multi-drop n'est pas optimisé, pour cela, on peut le traiter comme un PTV (Problème de Tournée de Véhicules). De plus, nous n'avons pas pris en compte les durées de livraison.

En perspectives, nous envisageons d'étendre la formalisation des indicateurs de durabilité aux indicateurs sociaux/sociétaux. En effet, le développement durable doit être à la fois économiquement efficace, socialement équitable et écologiquement tolérable.

REFERENCES

- ADEME, 2007. Dossier de presse : Transport routier et développement durable (Signature des premières chartes d'engagements volontaires de réduction des émissions de CO₂) de l'Équipement ADEME et Ministère des Transports, du Tourisme et de la Mer.
- Agarwal, R. and O. Ergun, 2010. Network design and allocation mechanisms for carrier alliances in liner shipping, *Operations Research*, Vol. 58(6), pp 1726-1742.
- Bahinipati, B.K., A. Kanda and S.G. Deshmukh, 2009. Horizontal collaboration in semiconductor manufacturing industry supply chain: An evaluation of collaboration intensity, *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 57, pp 880-895.
- Feng, B., Z. Fan and J. Ma, 2010. A method for partner selection of co-development alliances using individual and collaborative utilities, *International Journal of Production Economics*, Vol. 124(1), pp 159-170.
- Frisk, M., M. Gothe-Lundgren, K. Jornsten and M. Ronnqvist, 2010. Cost allocation in collaborative forest transportation, *European Journal of Operational Research*, Vol. 205(2), pp 448-458.
- Groothedde, C., C. Ruijgroek and L. Tavasszy, 2005. Towards collaborative, intermodal hub networks: A case study in the fast moving consumer goods market, *Transportation Research Part E*, Vol. 41, pp 567-583.
- <https://calculis.net/coût-carburant>
- Krajewska, M.A., H. Kopfer, G. Laporte, S. Ropke and G. Zaccour, 2008. Horizontal cooperation among freight carriers: Request allocation and profit sharing, *Journal of Operational Research Society*, Vol. 59(11), pp 1483-1491.
- Leitner, R., F. Meizer, M. Prochazka and W. Sihn, 2011. Structural concepts for horizontal cooperation to increase efficiency in logistics, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 4(3), 332-337.
- Moutaoukil, A., R. Derrouiche et G. Neubert, 2014. 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)*, la rochelle, France.
- Naesens, K., L. Gelders and L. Pintelon, 2009. A swift response tool for measuring the strategic fit for a horizontal collaborative initiative, *International Journal of Production Economics*, Vol. 121, pp 550-561.
- Ozen, U., G. Sosic and M. Slikker, 2012. A collaborative decentralized distribution system with demand forecast updates, *European Journal of Operational Research*, Vol.216 (3), pp 573-583.
- Pan, S., 2010. *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*. Ph.D. Thesis. MINES ParisTech.
- Trilling, L., 2006. *Aide à la décision pour le dimensionnement et le pilotage de ressources humaines mutualisée en milieu hospitalier*. Thèse de doctorat, Institut National de sciences appliquées de Lyon, France.
- Van Lier, T., A. Caris and C. Macharis, 2010. Sustainability SI: Bundling of outbound freight flows: Analyzing the potential of internal horizontal collaboration to improve sustainability, *Networks and Spatial Economics*, pp 1-26.
- Xu, X., S. Pan and E. Ballot, 2013. A sharing mechanism for superadditive and non-superadditive logistics cooperation, *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering & Systems Management*, Rabat, Morocco, PP 1-7.
- Zhou, G., Y.V. Hui and L. Liang, 2010. Strategic alliance in freight consolidation, *Transportation Research Part E*, Vol. 47(1), pp 18-29.