Université de Sfax

Institut Supérieur de Gestion Industrielle de Sfax



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي جامعة صفاقس

المعهد العالى للتصرف الصناعي بصفاقس

# MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTÈRE DE RECHERCHE EN

SCIENCES DES TRANSPORTS ET DE LA LOGISTIQUE

Intitulé

Modélisation et résolution d'un problème de transport multimodale : avec et sans mutualisation

Elaboré par : Noomene Nesrine

Encadré par : Mr. Ben Aissa Mounir

## **DEDICACE**

#### A mon cher père

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation

#### A ma mère

C'est un moment de plaisir de vous dédier cet œuvre, vous qui ravivez dans mon esprit un sentiment profond d'une vie sûre et correcte, suivi tant par tes chaleureuses bénédictions

#### A ma sœur

A celle qui n'a jamais cessé de veiller sur mon devoir et qui a essayé de me soutenir d'une manière ou d'une autre au cours de mon processus éducatif.

#### A mes frères

Vous avez toujours été présents pour les bons conseils. Votre affection et votre soutien m'ont été d'un grand secours au long de ma vie professionnelle et personnelle.

#### A mon ange

#### A mon cher mari

Aucun mot ne saurait t'exprimer mon profond attachement et ma reconnaissance pour l'amour, la tendresse et la gentillesse dont tu m'as toujours entouré. Cher mari j'aimerai bien que tu trouve dans ce travail l'expression de mes sentiments de reconnaissance les plus sincères car grâce à ton aide et à ta patience avec moi que ce travail a pu voir le jour.

#### A mes neveux que j'adore énormément

#### A mes amís

Au nom de tous les bons moments qu'on a passé ensemble je vous remercie poi l'amabilité que vous m'avez constamment magnifié.	ır

#### REMERCIMENT

Avant de commencer la présentation de ce travail, nous profitons de l'occasion pour remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire de fin d'études.

Mes sincères remerciements à mon Directeur de mémoire **Monsieur Benaissa Mounir**, je le remercie pour la qualité de son enseignement ainsi que pour son soutien, ses remarques pertinentes et son encouragement.

Je tiens à exprimer mes profondes reconnaissances et toutes mes pensées de gratitude à **Madame Daoud Istabrak**, qui m'a accompagné de près durant tout ce travail, pour sa disponibilité, pour la confiance qu'elle a su m'accorder et les conseils précieux qu'elle m'a prodigués tout au long de la réalisation de ce projet.

Enfin, je n'oserais oublier de remercier tous mes professeurs, enseignants et toutes les personnes qui m'ont soutenus jusqu'au bout, et qui n'ont pas cessé de me donner des conseils très importants en signe de reconnaissance.

Noomene Nesrine

# Table des matières

Introduction Générale		1
Chapitre1: Contexte et Problémat	ique	3
1. Introduction		4
2. Introduction à la logistique		4
3. La distribution		5
4. Le transport multimodal		7
4.1 Définition		7
4.2 Les composants de transpor	rt multimodal	8
4.3 Les Avantages de transpor	t multimodal	10
4.4 Conception des réseaux log	gistique	11
4.5 Types de réseau logistique.		11
4.6 Les problèmes de Localisat	tion des plateformes	11
4.6.1 Classification des prob	olèmes de localisation	12
4.6.2 Modèles de localisation	n	12
4.6.2.1 Les problèmes de	Couverture :	12
a. Problème de Couvertu	re Totale : (TCP)	12
b. Problème de Couvertur	re Maximale : (MCP)	13
4.6.2.2 Les problèmes de	P-center, P-dispersion, P-median :	14
a. P-center		14
b. P-median		15
4.6.2.3 Problème de local	isation de Hub	15
4.6.2.4 Problème de local	isation allocation	16
5. Conclusion		18
Chapitre2: La mutualisation logist	tique : Etat de l'art	19
1. Introduction		20

La muti	ualisation logistique	20
2.1 Ev	olution de la collaboration à la mutualisation	20
2.1.1	La collaboration logistique	20
2.1.2	La mutualisation logistique	21
Etat de	l'art sur la mutualisation logistique	22
3.1 As	pect économique de la mutualisation	22
3.1.1	Niveau stratégique	22
3.1.2	Niveau tactique	24
3.1.3	Niveau stratégique et tactique	25
3.1.4	Niveau opérationnel	27
3.2 As	pect économique et environnemental	28
3.2.1	Niveau stratégique	29
3.2.2	Niveau Tactique	30
3.2.3	Niveaux Stratégique & Tactique	30
3.2.4	Niveau tactique et opérationnel	32
3.2.5	Niveau stratégique, tactique et opérationnel	33
Synthès	se	35
Conclus	sion	40
hapitre 3	: Modélisation et résolution.	41
Introdu	ction	42
Un rése	au logistique sans mutualisation	42
Un rése	eau logistique avec mutualisation : cas d'étude	44
3.1 For	rmulation du problème	45
a.	Le service time requirement : (STR)	46
b.	Les coûts de transport	47
Modélis	sation	49
4.1 Co	ntraintes et hypothèses	49
	2.1 Ev 2.1.1 2.1.2 Etat de 3.1 As 3.1.1 3.1.2 3.1.3 3.1.4 3.2 As 3.2.1 3.2.2 3.2.3 3.2.4 3.2.5 Synthès Conclus hapitre 3 Introdu Un rése Un rése Un rése 3.1 For a. b. Modélis	2.1. Evolution de la collaboration à la mutualisation

4.	2	Les grou	ipes	50
4.	3	Les para	mètres	50
4.	4	Variable	es de décision	51
4.	5	Le modè	ele linéaire	51
4.	6	Descript	ion des contraintes	53
5.	Cons	struction	de l'instance	54
6.	Résu	ıltats et o	liscussion	58
6.	1	Sans mu	tualisation	58
6.	2	Avec mi	utualisation	60
	a. va		iation de la valeur de la fonction objective en fonction de la variation de	
	b.	Effe	et de la mutualisation logistique sur le temps de parcours des fournisseurs o	51
	c.	Inte	rprétation des résultats	62
6.	3	Impléme	entation du modèle avec d'autres instances	63
	6.3.1	Etu	de de la 1 <sup>ère</sup> instance	63
		6.3.1.1	Sans mutualisation	63
		6.3.1.2	Avec mutualisation	63
	a. va		iation de la valeur de la fonction objective en fonction de la variation de	
	b.	Effe	et de la mutualisation logistique sur le temps de parcours des fournisseurs o	54
	c.	Inte	rprétation des résultats	65
	6.3.2	2 Etu	de de la 2ème instance	56
	1	6.3.2.1	Sans mutualisation	66
		6.3.2.2	Avec mutualisation	66
	a. va		iation de la valeur de la fonction objective en fonction de la variation de	
	b.	Effe	et de la mutualisation logistique sur le temps de parcours des fournisseurs o	67

	c.	Interprétation des résultats	. 67		
	6.3.3	Etude de la 3 <sup>ème</sup> instance	. 68		
	6.3	.3.1 Sans mutualisation	. 68		
	6.3	.3.2 Avec mutualisation	. 69		
	a.	Variation de la valeur de la fonction objective en fonction de la variation de	e la		
	valeu	r de N'	. 69		
	b.	Effet de la mutualisation logistique sur le temps de parcours des fournisseurs	. 69		
	c.	Interprétation des résultats	. 70		
	6.3.4	Etude de 4 <sup>ème</sup> instance	. 71		
	6.3	.4.1 Sans mutualisation	. 71		
	6.3	.4.2 Avec mutualisation	. 71		
	a.	Variation de la valeur de la fonction objective en fonction de la variation de	e la		
	valeu	r de N'	. 71		
	b.	Effet de la mutualisation logistique sur le temps de parcours des fournisseurs	. 72		
	c.	Interprétation des résultats	. 73		
7.	Conclus	sion	. 75		
Co	nclusion	Générale	<b>. 76</b>		
Bil	oliograph	ie	. 78		
An	Annexe 88				

# LISTE DES FIGURES

 $Figure~1: la~structure~de~SN~multi~produits~/~multi~\acute{e}chelons~(Tuzkaya~et~al,~2009).........~23$ 

Figure 2 : Réseau des centres de consolidation pour servir deux fabricants (Chec	ong et al,
2007)	26
Figure 3 : La stratégie hybride d'un système Hub and Spoke (Wasner et al, 2002).	27
Figure 4 : Résultats des 4 scénarios (Pan et al, 2012)	31
Figure 5 : les différents scénarios de mutualisation (Moutaoukil et al, 2014)	32
Figure 6: Modèle conceptuel avant mutualisation	43
Figure 7: Modèle conceptuel avec mutualisation	44
Figure 8: variation de la valeur de la fonction objective	60
Figure 9: variation du temps du parcours total	61
Figure 10 : variation de la valeur de la fonction objective	64
Figure 11: Variation du temps du parcours total	65
Figure 12 : Variation de la valeur de la fonction objective	67
Figure 13: Variation du temps du parcours total.	67
Figure 14 : Variation de la valeur de la fonction objective	69
Figure 15: Variation du temps du parcours total	70
Figure 16 : Variation de la valeur de la fonction objective	72
Figure 17: Variation du temps du parcours total	73

# LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Tableau récapitulatif	28
Tableau 2 : Tableau récapitulatif	34
Tableau 3 : Tableau récapitulative des travaux sur la mutualisation logistique	39
Tableau 4: Offre fournisseur.	54
Tableau 5: Capacité des entrepôts.	54
Tableau 6: Capacité des plateformes portuaires.	55
Tableau 7: Distance entre les villes fournisseurs.	55
Tableau 8: Temps de parcours entre les villes fournisseurs.	55
Tableau 9: Distance parcourue entre la ville éligible à l'ouverture et le port maritime	56
Tableau 10: Temps de parcours entre les villes éligibles à l'ouverture et le port mari	i <b>time</b> .
	56
Tableau 11: Coût d'ouverture et coût de chargement/déchargement	56
Tableau 12: Coûts de transport	57
Tableau 13: Nombre de segment S.	57
Tableau 14: Les limites inferieures et supérieurs des camions pour chaque fournisseu	ı <b>r.</b> 58
Tableau 15: Affichage des résultats sans mutualisation.	59
Tableau 16: Valeur de la fonction objective en fonction de la variation de nombre de	N'.60
Tableau 17: Valeur de temps de parcours total	61
Tableau 18: Coût de transport total.	63
Tableau 19: Valeur de la fonction objective en fonction de la variation de nombre de	N'.63
Tableau 20: Valeur de temps de parcours total	64
Tableau 21: Coût de transport total	66
Tableau 22: Valeur de la fonction objective en fonction de la variation de nombre de	N'.66
Tableau 23: Valeur de temps de parcours total	67
Tableau 24 : Coût de transport total	68
Tableau 25 : Valeur de la fonction objective en fonction de la variation de nombre d	le N'
	69
Tableau 26: Valeur de temps de parcours total	<b></b> 70
Tableau 27: Coût de transport total	71
Tableau 28 : Valeur de la fonction objective en fonction de la variation de nombre d	le N'.
	72
Tableau 29: Valeur de temps de parcours total	
Tableau 30: Tableau récapitulatif des principaux résultats obtenu	<b>7</b> 4

# **Introduction Générale**

### Introduction Générale

La grande distribution connait des mutations incessantes qui obligent les fournisseurs à chercher des solutions pertinentes pour améliorer leurs performances logistiques et particulièrement la logistique de transport. En effet, Le coût de transport est le souci majeur des différents acteurs de la chaine d'approvisionnement, il doit faire face à des principes antagonistes tels que les nouveaux principes de gestion des flux logistiques et particulièrement la tension sur les flux selon les principes de juste à temps qui fait accroître les coûts de transport. Par conséquent, l'un des grands enjeux de la supply chain est de mutualiser des transports de plus en plus segmentés afin de les rendre plus optimisés et économiques.

La mutualisation logistique est une forme d'organisation logistique basée sur les principes de collaboration, d'échanges et de partage (entrepôts, moyens de transport, etc.). Divers, sont les travaux de recherche qui traitent la mutualisation des réseaux logistique mais elle reste une notion nouvelle et peu étudiée; ainsi que les méthodologies suivies diffèrent d'un travail à un autre.

L'objectif de ce travail de recherche est l'optimisation des plans de transport dans le cas de localisation-allocation avec mutualisation des moyens. En effet, l'objectif de notre étude est de montrer l'effet de la mutualisation logistique sur l'amélioration de la performance économique. Ce manuscrit comprend trois chapitres qui développent et supportent notre projet:

- ✓ Dans le premier chapitre intitulé contexte et problématique, nous abordons en premier lieu des généralités sur la logistique, la distribution. Puis, nous mettant l'accent sur le transport multimodal. En deuxième, nous abordons des généralités sur la problématique de conception des réseaux logistique, en mettant l'accent sur la problématique de localisation et d'allocation des plateformes logistiques.
- ✓ Au niveau du deuxième chapitre intitulé la mutualisation logistique : état de l'art, nous procédons à une revue de littérature sur la mutualisation en logistique de transport tout en montrant les différentes formes de mutualisation.
- ✓ Dans le troisième chapitre intitulé modélisation et résolution, nous présentons, en premier lieu, les schémas conceptuels du réseau de transport sans et avec mutualisation, puis nous focalisons sur la formulation du problème par la proposition d'un modèle de localisation-allocation avec mutualisation des moyens au sein d'un réseau de distribution multimodal. En deuxième lieu, nous passons à la validation du modèle en utilisant le solveur CPLEX et discussion des principaux résultats.

#### 1. Introduction

De nos jours, le transport est considéré comme une activité primordiale aux stratégies des entreprises et à leurs décisions logistiques puisqu'il sert l'interconnexion et l'échange entre les différents acteurs de la chaine logistique en termes informationnels et/ou matériels.

De ce fait, ce chapitre sera consacré en premier lieu l'introduction de quelques concepts telle que la logistique et la distribution. Ensuite nous allons présenter le transport multimodal, les composants de transport multimodal et ses principaux avantages et enfin nous nous concentrerons sur la problématique de conception des réseaux logistiques par l'identification des différents types des réseaux et la mise en place des problèmes de localisation des plateformes.

#### 2. Introduction à la logistique

Face à la globalisation économique et à la concurrence exacerbée, les entreprises constatent des limites de l'optimisation de leurs systèmes de production. De ce fait, les entreprises visent à approfondir des nouvelles formes de compétitivités à travers l'optimisation de leurs chaines logistiques et leurs relations avec leurs différents partenaires.

En effet, la logistique est un secteur essentiel de l'activité économique et constitue une nouvelle forme de l'activité industrielle et de services, elle est devenue une nécessité et une clé de succès pour la plupart des entreprises dont leur souci majeur est de fournir à leurs clients le produit et / ou le service désiré, tout en respectant les contraintes de coût, qualité et délais.

Plusieurs sont les définitions sur le terme logistique où la première définition de la logistique est apparue en 1948 par le comité des définitions de l'Américain Marketing Association « la logistique concerne le mouvement et la manutention des marchandises du point de production au point de consommation ou d'utilisation. » cette définition montre que la logistique est concentrée seulement sur les mouvements des marchandises du point de départ au point de destination.

(Breuzard, 2004) a défini la logistique comme étant : « l'ensemble des méthodes et moyens qui permettent d'apporter un bien (ou un service) à un client en temps voulu, en quantité voulue et au lieu voulu aux moindres coûts. » c'est-à-dire la satisfaction de la clientèle en terme de coûts, qualité et délais tout en optimisant les flux physique et d'information. Dans ce contexte, l'Association Française de Normalisation a défini la logistique comme étant : « une fonction dont la finalité est la satisfaction des besoins exprimés aux meilleures conditions économiques pour l'entreprise et pour un niveau de service déterminé ».

En 2010, La grande association américaine de professionnels Council of Supply Chain Management donne finalement la définition suivante de la logistique : « Le processus de programmer, mettre en place et contrôler les procédures pour un transport et un stockage efficient et efficace de biens incluant des services et des informations depuis leur lieu d'origine jusqu'à leur lieu de consommation dans le but de se conformer aux exigences des clients. » Cette définition inclut les mouvements des biens et des services, le transport et l'entreposage qui constituent des mots clés pour la distribution des marchandises.

En effet, il existe, d'après (**Elmahi I, 2006**), différents types de la logistique qui peuvent être résumés selon le domaine d'applications :

- ❖ Logistique d'approvisionnement: achat et recherche des nouveaux fournisseurs.
- ❖ Logistique de production : conception et optimisation de production.
- Logistique de soutien : prévision, entretien et préparations des produits.
- Logistique de distribution : transport et dispatching.
- ❖ Logistique inverse : recyclage et retour de produits.
- ❖ Logistique de service : postes et télécommunication, systèmes bancaires.
- ❖ Logistique hospitalière : transport des produits sanguins, achats et approvisionnement de produits médicaux.
- Logistique de transport des personnes.

L'objectif commun de toutes ces logistiques est d'assurer un système plus performant en optimisant la qualité des produits, la disponibilité à moindre coûts au bon moment et au bon endroit afin de satisfaire l'exigence de la clientèle et le rendre plus flexible aux fluctuations des marchés.

Dans notre recherche, nous allons nous concentrer sur la logistique de distribution qui constitue une partie primordiale du cycle de vie du produit.

#### 3. La distribution

La distribution est généralement un élément intermédiaire d'une filière économique chargée du financement, du stockage, de la promotion et de l'acheminement des produits aux commerçants (c'est-à-dire du management de la distribution).

D'après (**Jihéne.T**, **2009**), la distribution englobe toutes les activités prenant en charge les commandes clients et leur livraison. Il inclut la gestion de la commande (entrée de commande et traitement), la gestion du transport et la livraison aux clients.

Selon (**François. J, 2007**), le processus distribution concerne la livraison des produits finis aux clients et reprend les questions d'optimisation des réseaux de distribution : l'organisation et le choix des moyens de transport, le choix du nombre d'étages (ou d'intermédiaires) dans le réseau de distribution ainsi que le positionnement des entrepôts et leur mode de gestion. Par exemple, les produits peuvent être acheminés en nombre par train et regroupés dans un entrepôt pour être livrés ensuite par camion aux clients d'une même zone géographique, en vue du meilleur compromis entre qualité de service et coût économique.

Dans une chaine logistique le rôle des centres de distribution est de faciliter la réception, le stockage et l'expédition des produits de différentes natures (matières premières, composants, produits finis, etc.).

D'après (Ding. H, 2004), Les attributs d'un centre de distribution sont:

- ✓ Capacité de réception
- ✓ Capacité de stockage
- ✓ Capacité d'expédition
- ✓ Coût de stockage par unité de produit et par jour
- ✓ Coût unitaire pour un chargement/déchargement

Un réseau de distribution regroupe essentiellement:

- ✓ Type de centre de distribution à utiliser
- ✓ La localisation des centres de distribution
- ✓ La définition de la politique de transport
- ✓ L'affectation des clients aux centres de distribution
- ✓ L'allocation des articles aux centres de distribution et aux clients.

Divers sont les types de centre de distribution à savoir :

- ✓ Les entrepôts
- ✓ Cross-docking

La définition de (**CCDE**, **1995**) qui traduit le cross-docking comme étant : « le mouvement des produits à l'intérieur d'une installation de distribution sans qu'il y ait entreposage du produit ». Le centre du cross-docking (CCD) se diffère du système H&S par le temps de stockage des produits où les marchandises sont entreposées pour une courte durée normalement quelques heures.

D'après (**Rognon**, **2009**), dès son apparition, le Cross-docking a retenu beaucoup d'attention dû à son pouvoir important de réduire les stocks. De ce fait, le Cross-docking est particulièrement adapté pour les produits frais, typiquement les produits avec des DLC (Date limite de consommation) très courte.

#### ✓ Hub/hub-and-Spoke

Conseil National des Transports le définit comme suit : « Le hub est le point central pour la collecte, le tri, le transbordement et la redistribution des marchandises dans une zone géographique donnée. Le concept "Hub" est issu du vocabulaire utilisé en transport aérien, tant pour les personnes que pour les marchandises. Il consiste en la desserte de tous les points d'un territoire déterminé à partir d'un point central unique ».

D'après (**Pan, 2010**), Les avantages du réseau H&S portent sur deux aspects du transport : le flux est consolidé et les liaisons sont simplifiées. Premièrement, le recours à un hub permet de consolider les flux d'origines différentes. Il conduit normalement à une amélioration de l'utilisation des moyens de transport. Deuxièmement, les liaisons entre les sites autour des hubs sont simplifiées par rapport à un système direct, autrement dit les livraisons directes.

#### **✓** Merge-In-Transit

D'après (**Dawe**, **1997**), le Merge-In-Transit (MIT) est définie comme : « un service recueille des envois à partir de plusieurs points d'origine et les regroupe, en transit, en une seule livraison au client ». En effet, il se diffère du centre de cross-docking par la nature de fonctionnement du centre MIT dont ce dernier permet d'intégrer des opérations de fabrication alors que le CCD accueille des flux entrant et prépare l'expédition des flux sortant.

Les avantages de MIT sont nombreux à savoir : la réduction du cycle de temps dès la réception de la commande à la livraison, la réduction des stocks, la réduction des coûts du transport, l'amélioration du service client...

#### 4. Le transport multimodal

#### 4.1 Définition

Aujourd'hui, le transport présente une nécessité vitale que ce soit pour le transport des personnes ou des marchandises.

En effet, le marché de transport constitue une situation économique importante fondé sur la demande de services de fret où l'acheminement physique des achats et des ventes dans des bonnes conditions et meilleur délai devient une question primordiale pour chaque entreprise.

Les modes de transport sont divers tels que : transport terrestre, aérien, ferroviaire, maritime. Dans notre recherche, nous allons nous concentrer sur le transport multimodal qui utilise successivement plusieurs modes de transport différents pour acheminer des unités de transport intermodales qui contiennent les marchandises.

(Faust, 1985), défini le transport multimodal comme étant : « le transport des marchandises par au moins deux modes de transport différents sur la base d'un contrat de transport multimodal unique ».

D'après (**Muller**, **1995**), le transport multimodal est généralement connu comme la combinaison de deux modes de transport de marchandises ou plus, tels que la route, le rail ou la mer.

(**Rodrigue**, 1996), défini le transport multimodal comme étant : « l'usage des conteneurs montre la complémentarité entre les modes de transport des biens en offrant une plus grande fluidité des mouvements et une standardisation des charges. »

De plus, (SU et al, 2006), ont défini le transport multimodal comme étant : « le transport multimodal international est le transport des biens par au moins deux modes de transport différent, sur la base d'un contrat de transport multimodal, d'un lieu situé dans un pays où les marchandises sont prises en charge par l'opérateur de transport multimodal à un lieu de livraison situé dans un pays différent. »

Dans ce contexte (**Hoeks**, **2010**), défini le transport multimodal comme étant : «Un seul contrat de transport par lequel un seul transporteur promet à un expéditeur de transporter des marchandises, que se soit : prescrit l'utilisation d'au moins deux modes de transport différents ou permet d'utiliser plus d'un mode de transport alors que deux modes de transport ou plus sont réellement utilisés au cours de l'exécution. ».

Concernant, (**Serigne et al, 2016**), le transport multimodal est: « l'acheminement des marchandises d'une origine vers une destination par l'utilisation d'au moins deux modes de transport. Le transfert d'un mode à l'autre étant effectué dans des terminaux intermodaux. ».

Donc on peur retenir que le transport multimodal est tout type de transport qui fait appel à au moins deux modes de transport différents ou plus, en utilisant des unités standardisées, sous un contrat de transport multimodal et à l'aide d'un opérateur de transport multimodal

#### 4.2 Les composants de transport multimodal

D'après les définirions cités précédemment, on peut retenir trois principaux composant de transport multimodal : les unités standardisées (les conteneurs), le contrat de transport multimodal et l'opérateur de transport multimodal.

#### **\*** Les conteneurs

L'introduction des conteneurs permis d'atteindre une portée mondiale en augmentant le volume des échanges commerciaux et en accroissant l'efficacité opérationnelle, ce qui a finalement permis d'appliquer le transport multimodal à la plupart des opérations de transport international (Cullinane, et al. 2005).

Selon (**Van Schijndel and Dinwoodie**, **2000**), la mise au point des unités standardisées tel que les conteneurs, caractérisées par la facilité de transfert, favorise le transport multimodal. Ces unités facilitent généralement le transport et la protection des marchandises lors du changement d'un mode de transport à un autre.

En outre, ces sont principalement les conteneurs qui sont défini par la conférence européenne des ministres de transport en 2001 comme étant : « un conteneur est un terme générique pour une boîte destinée au transport de marchandises, suffisamment solide pour un usage répété, généralement empilable et équipée de dispositifs de transfert entre modes. », leurs dimensions sont standardisées par l'International Standards Organization (ISO) avec 10, 20, 30 et 40 pieds. Les avantages de la conteneurisation:

- ✓ La sécurité et la réduction des pertes et dommages.
- ✓ Sa structure standard.
- ✓ Une grande flexibilité pour le transport des produits de différents types et dimensions.
  - **❖** Contrat de transport multimodal
  - **❖** L'opérateur de transport multimodal : (OTM)

D'après United Nations Multimodal Transport, (1980), un OTM est : « Toute personne qui, en son nom propre ou par l'intermédiaire d'une autre personne agissant en son nom, conclut un contrat de transport multimodal et agit en principe, et non en tant qu'agent ou pour le compte de l'expéditeur ou des transporteurs participant aux opérations de transport multimodal, et assume la responsabilité de l'exécution du contrat. »

Selon (UNCTAD, 2003), Les expéditeurs et les destinataires préfèrent contacter une seule personne (OTM) qui prend les dispositions nécessaires pour que la chaîne de transport assure un service porte à porte et qui assume la responsabilité tout au long.

Quant à (**Manheim**, **1979**) et (**Banomyong**, **2000**), un OMT est qualifié qui pourrait analyser un système de transport qui intègre les caractéristiques suivantes :

- ✓ Multimodal: couvrant différents types de modes de transport.
- ✓ Multi-sectoriel : englobant les problèmes et les points de vue du gouvernement, du secteur privé et du public.

- ✓ Multi-problèmes: règles, réglementations et politiques relatives aux niveaux de service client et faisabilité financière et économique.
- ✓ Multi-analyse: utilisation des résultats d'analyse à l'appui d'un ou plusieurs solutions proposées.
- ✓ Multidisciplinaire: implication de théories et de méthodes d'ingénierie, d'économie, de recherche opérationnelle, de sciences politiques, de psychologie, d'autres sciences naturelles et sociales, de gestion et de droit.

#### 4.3 Les Avantages de transport multimodal

Plusieurs sont les bénéfices qui rendent le transport multimodal une opportunité attractive pour les différents secteurs de transport : prive et public.

D'après (The Commission, 1994), les avantages de transport multimodal sont :

- ✓ Gain de temps et d'argent grâce à l'utilisation optimale de chaque mode de transport.
- ✓ Meilleur rendement des investissements dans les infrastructures privées et publiques.
- ✓ Meilleure utilisation de la capacité résultant de l'utilisation optimale de chaque mode.
- ✓ Consommation d'énergie réduite.
- ✓ Diminution des risques environnementaux.

En plus, (Campisi et Gastaldi, 1996), (Banomyong, 2000) et (SLA, 2008), ont cité quelques avantages de transport multimodal tels que :

- ✓ Réduction du temps et des risques de perte ou de détérioration des marchandises grâce à une opération de transport planifiée et coordonnée.
- ✓ L'établissement d'une liaison de communication transparente gérée par un seul opérateur de transport multimodal.
- ✓ Réduction des coûts grâce à une réduction possible du taux de fret.
- ✓ Minimiser la confusion grâce à un point de contact unique (l'opérateur de transport multimodal).
- ✓ Différentes solutions peuvent être facilement comparées en termes de performances.
- ✓ La réduction de l'énergie utilisée procure des avantages environnementaux et sociaux.

Il est clair d'après ces avantages que le transport multimodal apporte des avantages bénéficiaires pour les transporteurs en offrant la possibilité de contrôler les coûts, la flexibilité la compétitivité et la réhabilité.

#### 4.4 Conception des réseaux logistique

La conception du réseau logistique concerne la détermination du nombre et de l'emplacement des entrepôts et des usines de production, l'allocation des points de demande aux entrepôts et l'allocation des entrepôts aux usines de production dont le but est de supporter la stratégie concurrentielle d'une entreprise et maximiser les profits de la chaîne d'approvisionnement.

En effet, les principaux problèmes de la conception des réseaux logistiques concernent généralement des décisions au niveau stratégique. À savoir :

- ❖ la modélisation des chaines logistiques complexes avec la proposition des modèles qui tient en considération des multiples critères tels que : le caractère dynamique des décisions, les aspects stochastiques liés à la demande, la variété des flux entre les différents niveaux de la chaine logistique.
- ❖ La conception des réseaux de transport qui concerne la localisation optimale des hubs intermédiaires, des plateformes logistiques, l'allocation des clients aux plateformes avec la possibilité de la création des liaisons inter-hubs.

A ce niveau, la conception des réseaux logistiques mutualisés devient le souci majeur de plusieurs entreprises désirant mutualiser leurs ressources logistiques.

#### 4.5 Types de réseau logistique

- Réseau de lignes, où chaque producteur a son propre réseau de transport vers les points de vente.
- Réseau centralisé, où chaque producteur livre les marchandises à un centre central, après que les marchandises sont stockées et combinées pour être distribuées aux points de vente.
- Réseau de collecte et de distribution, particulièrement adapté aux réseaux internationaux, où chaque producteur livre les marchandises à un centre de collecte central, après que les marchandises sont stockées, consolidées et transportées vers un centre de distribution où les marchandises sont recomposées et distribuées aux points de vente.

#### 4.6 Les problèmes de Localisation des plateformes

D'après (**Maliki Fouad**, **2013**), un problème de localisation consiste à déterminer l'emplacement d'un ou plusieurs sites dont l'objectif est d'optimiser une fonction mathématique qui dépend des distances entre ces sites et l'ensemble d'utilisateurs potentiels.

En effet, d'après une revue de littérature sur les problèmes de localisation, il existe huit modèles de base : set covering, maximal covering, P-center, P-dispersion, P-median, fixed charge, hub, maxisum

#### 4.6.1 Classification des problèmes de localisation

Selon (**Aikens, 1985**), les problèmes de localisation sont classés par plusieurs critères qui sont intégrés dans les modèles de localisation pour qu'ils correspondent aux mieux aux réseaux réels. A savoir :

- ✓ Critère de capacité
- ✓ Nombre de produits : on parle ici de modèles mono-produits où les produits qui circulent dans le réseau de distribution sont homogènes et de modèles multi-produits où les produits sont hétérogènes.
- ✓ La nature des contraintes considérées : comme les contraintes financières, de dimensionnement des capacités et des stocks et des contraintes de services pour s'assurer de la couverture totale les clients dans les délais prédéterminés
- ✓ La nature des paramètres du modèle ou niveau de certitude : nature stochastique et déterministe des données comme les coûts et les demandes.
- ✓ Le nombre de périodes de planification : si la planification est sur une seule période alors le modèle est mono-périodique statique. Si la planification dépend de plusieurs périodes alors le modèle est multi-périodes.

Le nombre d'échelons : le nombre d'échelon est défini par le nombre des centres de distribution situés entre les sites de production et les clients. Si la distribution des articles se fait à partir des sites de production, alors le nombre d'échelons est égal à zéro et si le transfert de produit d'une usine à un client se fait via un centre de distribution, alors, le réseau sera à deux échelons.

#### 4.6.2 Modèles de localisation

#### 4.6.2.1 Les problèmes de Couverture :

#### a. Problème de Couverture Totale : (TCP)

L'objectif de ce problème est de localiser un nombre minimum d'installations nécessaires pour couvrir toute la demande de telle sorte que la distance séparant les clients aux installations ne dépasse pas une distance prédéterminée.

La fonction objective peut être généralisée en incluant des coûts spécifiés par l'installation de façon à minimiser les coûts totaux.

#### **Données**

 $j_i = (j \in J; \; a_{ij} = 1 \; : Ensemble \; des \; sites qui couvrent le client i$ 

 $I_j = (i \in I; a_{ij} = 1)$ : Ensemble des clients qui sont couvert par le site j

C<sub>i</sub>: Coût d'ouverture du site j

 $q = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} a_{ij}$  : Nombre de non nuls de la matrice

d= q/m\*n = densité d'un problème de couverture totale.

#### > Variable de décision

Soient  $Y_j = 1$ : si le site j est ouvert, 0 sinon ;  $\forall j \in J$ 

#### > Modèle

$$Min \sum_{j=1,n} C_j x_j$$

Subject to:

$$\sum_{j=1,n} a_{ij} x_j \ge 1 \qquad \forall i = 1 \dots m \quad (1)$$

$$x_j \in [0,1] \quad \forall j = 1 \dots n \quad (2)$$

La fonction objective minimise le coût des sites ouverts. La contrainte (1) montre que tout client i est couvert au moins par un site j. A titre de remarque, si tous les coefficients  $C_j$  sont égaux, alors le problème sera nommé (unicost set covering problem).

#### b. Problème de Couverture Maximale : (MCP)

L'objectif de ce problème est de localiser un nombre minimal d'installations, p, de manière à maximiser la demande couverte.

#### > Modèle

$$\text{Max } \sum_{i=1,m} d_i z_i$$

**Subject to:** 

$$z_i \leq \sum_{j=1,n} a_{ij} x_j \quad \forall i = 1 \dots m \quad (1)$$

$$\sum_{j=1,n} x_j \le p \qquad (2)$$

$$x_j \in [0,1] \quad \forall j = 1 \dots n \quad (3)$$

$$z_i \in [0, 1] \ \forall i = 1 \dots m (4)$$

La fonction objective maximise la demande totale satisfaite. La contrainte (1) garantit que si la demande d'un client est satisfaite, alors il y a au moins un site appartenant à la zone de couverture de ce client qui sera ouverte. La contrainte (2) assure que le nombre d'installations ouvertes ne dépasse pas le nombre maximal *p* de sites à ouvrir qui est prédéterminé d'avance.

#### 4.6.2.2 Les problèmes de P-center, P-dispersion, P-median :

A ce niveau, on va se concentrer juste sur les problèmes de P- center et P-median car le problème de P- dispersion ne convient pas avec notre problématique où l'objectif de ce dernier est de maximiser la distance.

#### a. P-center

L'objectif de ce problème est de localiser des installations tout en minimisant la distance maximale séparant les demandes et les installations les plus proches auxquels ils sont rattachés.

#### Données

k= ensembles des nœuds de demande.

J = ensemble d'installations potentielles.

 $w_k$ = poids associé à un point de demande donné k.

 $d_{kj}$ = distance entre le point de demande k et le site potentiel j.

#### > Variables de décision

Soient  $Y_i = 1$  si le nœud j est choisi comme nouvelle installation ; 0 sinon.

 $Z_{kj} = 1$  si la demande du nœud k est assurée par l'installation j; 0 sinon.

#### Modèle

Min r

Subject to: 
$$r - \sum_{i \in I} (w_k d_{ki}) Z_{ki} \ge 0 \quad \forall k \in K \quad (1)$$

$$\sum_{i\in I} Z_{kj} = 1 \quad \forall k \in K \quad (2)$$

$$Z_{kj} - Y_i \leq 0 \quad \forall k \in K, j \in J \quad (3)$$

$$\sum_{j\in J} Y_j = p \quad (4)$$
 
$$Z_{kj}; Y_i \in [0,1] \quad \forall k \in K; \ \forall j \in J \quad (5)$$

La contrainte (2) garantit la satisfaction de la demande. La contrainte (3) prend en compte la décision de localisation et d'affectation en même temps et la contrainte (4) fixe exactement p installations à ouvrir.

#### b. P-median

Un modèle classique dans ce domaine traité par (**Hakimi**, **1964**) qui trouve l'emplacement de p installations afin de minimiser la distance totale pondérée en fonction de la demande séparant les nœuds de demande et les installations auxquelles ils sont affectés.

#### Données

K : Ensemble des nœuds de demande.

J : Ensemble des installations potentielles.

 $w_k$ : Poids associé à un point de demande donnée.

 $d_{kj}$ : Distance entre le point de demande k et le site potentiel j.

#### > Variables de décision

Soient  $Y_j = 1$  si le nœud j est choisi comme nouvelle installation ; 0 sinon.

Soient  $Z_{kj} = 1$  si la demande du nœud k est assurée par l'installation j ; 0 sinon.

#### > Modèle

$$\begin{aligned} \text{Min } \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} (w_k \, d_{kj}) Z_{kj} \\ \text{Subject to} & \sum_{j \in J} Z_{kj} = 1 \quad (1) \\ Z_{kj} - Y_j & \leq 0 \quad (2) \\ \sum_{j \in J} Y_j & = p \quad (3) \\ Z_{kj}; \ Y_j & \in [0;1] \quad (4) \end{aligned}$$

#### 4.6.2.3 Problème de localisation de Hub

Ce système est conçu à utiliser des véhicules ou modes plus rapides avec une capacité très large. Par conséquence, ce système vise à minimiser les coûts de transport et le délai de livraison totale.

#### Données

h<sub>ij</sub>: Nombre d'unités de flux entre les nœuds i et j.

 $C_{ij}$ : Coût unitaire de transport entre les nœuds i et j.

∝ : Facteur d'actualisation pour le transport entre les hubs

#### > Variables de décisions

 $X_i$ =1 si le hub est localisé dans le nœud j ; 0 sinon.

 $Y_{ij} = 1$  si les demandes au nœud i sont affectées à un hub situé au nœud j; 0 sinon.

#### > Modèle

Subject to

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} h_{ij} \left( \sum_{k \in N} C_{ik} Y_{ik} + \sum_{m \in N} C_{jm} Y_{jm} + \infty \sum_{k \in N} \sum_{k \in N} C_{km} Y_{ik} Y_{jm} \right)$$

$$\sum_{j \in N} X_j = p \qquad (1)$$

$$\sum_{j\in J}Y_{ij}=1 \quad \forall i\in I; \ \forall j\in J \quad (2)$$

$$Y_{ij} - X_j \le 0 \tag{3}$$

$$X_i \in [0;1] \ \forall j \in J \ (4)$$

$$Y_{ij} \in [0; 1] \forall i \in I; \forall j \in J$$
 (5)

La fonction objective a pour but de minimiser la somme du coût du déplacement de flux entre un nœud non-hub et le hub auquel le nœud est affecté, le coût du déplacement du hub final vers la destination du flux, et le coût de transport inter hub qui est actualisé par un facteur de  $\alpha$ .

Concernant le problème de maxisum, on ne va pas faire une étude consacré car il ne convient pas avec notre problématique puisqu'il cherche à maximiser les distances entre les nœuds de demande et les installations auxquelles ils sont affectés.

#### 4.6.2.4 Problème de localisation allocation

Pour ce problème, l'objectif est de trouver la localisation optimale des sites (usines/centres de distribution) et les modes de transport à utiliser pour servir les différentes zones de demande tout

en minimisant les coûts fixes de localisation et de transport sous la contrainte que toutes les demandes soient satisfaites.

En effet, il existe deux types de ce problème : le problème où la capacité des sites est illimitée « Uncapacitated Fixed Charge Facility Location Problem (**UCFLP**) » et le problème où les sites ont une capacité finie « Capacitated Plant Location Problem (**CPLP**) ».

#### **UCFLP:**

#### **Données**

I: ensemble d'installations d'indices i.

J: ensemble des points de demande d'indices j.

C<sub>ii</sub>: Coût relatif à la desserte d'un client j à partir d'une installation i.

f<sub>i</sub>: Coût fixe d'ouverture de l'installation j.

w<sub>i</sub>: Demande d'un client j.

#### > Variables de décisions

Y<sub>i</sub>: Variable binaire d'ouverture.

X<sub>ii</sub>: Quantité livrée à partir du site i au client j.

#### **➤** Modèle

$$Min \sum_{i \in I} f_i Y_I + \sum_i \sum_i C_{ij} X_{ij}$$

Subject to

$$\sum_{i \in I} X_{ij} = w_j \quad \forall j \in J; \ \forall i \in I \quad (1)$$

$$Y_i - X_{ij} \ge 0 \qquad (2)$$

$$Y_i \in [0;1] \qquad (3)$$

$$X_{ij} \in [0;1] \qquad (4)$$

La contrainte (1) vérifie la satisfaction de la demande de client étant desservi par plusieurs sites. Et la contrainte (2) assure que les clients sont servis seulement par des sites ouverts.

#### **CPLP:**

On introduit dans le modèle précédent,  $s_i > 0$  comme capacité de l'installation i ( $\forall$  i  $\in$  I) Ainsi la contrainte suivante sera ajoutée :

$$\sum_{j \in J} w_j X_{ij} \le s_i Y_i \quad \forall i \in I$$

Modèle

$$\min \sum_{i \in I} f_i Y_i + \sum_{i} \sum_{j} C_{ij} X_{ij}$$

Subject to

$$\sum_{i \in I} X_{ij} = w_j \qquad \forall j \in J; \ \forall i \in I \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J} w_j X_{ij} \le s_i Y_i \qquad \forall i \in I \quad (2)$$

$$Y_i \in [0; 1] \ \forall i \in I \quad (3)$$

$$X_{ij} \ge 0 \ \forall i \in I; \ \forall j \in J \quad (4)$$

La contrainte (1) assure la satisfaction de chaque client étant desservi par plusieurs sites. La contrainte (2) désigne une contrainte de capacité et à la fois une relation qui annule les flux sortants si l'entrepôt est fermé et imposant son ouverture au moindre flux sortant strictement positif.

#### 5. Conclusion

Dans ce chapitre nous nous somme appliqué à définir les différents concepts de base de la logistique en premier temps puis nous avons évoqué la distribution où nous avons mis en relief le processus de distribution ainsi quelques notions liées à ce concept.

En deuxième lieu, nous avons abordé le transport multimodal en présentant quelques définitions et en mettant l'accent sur ses différents composants et avantages.

Une dernière partie est consacrée à la problématique de conception des réseaux logistique par l'identification de différents types de réseaux logistique et les problèmes de localisation des plateformes.

Nous présentons dans le chapitre suivant un état de l'art sur la mutualisation logistique en classifiant les principaux travaux selon l'aspect visé (économique et/ou environnemental) et le niveau de décision de la configuration de réseau logistique mutualisé.

# Chapitre2: La mutualisation logistique : Etat de l'art.

#### 1. Introduction

La mutualisation logistique est née vers les années 1990 avec les grands distributeurs qui envisageaient performer leurs chaines d'approvisionnement en augmentant le taux de chargement de leurs camions et la fréquence de livraison.

Dans ce chapitre nous allons présenter d'abord l'état de l'art sur le concept de la mutualisation logistique en mettant l'accent sur les différents travaux de recherche dans la littérature. En suite un tableau de synthèse qui résume les différentes contributions des auteurs en termes aspect/niveaux décisionnels, méthodologie, nature de partage et principaux résultats.

#### 2. La mutualisation logistique

#### 2.1 Evolution de la collaboration à la mutualisation

#### 2.1.1 La collaboration logistique

La mutualisation logistique s'attache à une logique collaborative ou elle exige la coopération entre les différents partenaires de la chaine logistique.

En effet, la collaboration logistique est considérée selon (**Cohen et Roussel 2005**), comme la pierre angulaire d'une gestion de Supply Chain efficace. Plus l'entreprise décide de se concentrer sur quelques compétences-clés, plus les savoir-faire et les talents des partenaires extérieurs deviennent importants. Généralement, il existe trois types de collaboration : verticale, horizontale et latérale.

D'après (**Bahinipati et al. 2012**) la collaboration verticale se produit entre au moins deux ou plusieurs organisations à un niveau différent tel qu'entre fabricant/distributeur ou distributeur/fournisseur.

La collaboration horizontale se produit entre deux ou plusieurs entreprises au même niveau de la chaine d'approvisionnement tel qu'ensemble des fournisseurs, producteurs ou distributeurs afin de permettre une plus grande facilité de travail et de coopération pour atteindre un objectif commun.

Concernant la collaboration latérale, elle vise à gagner plus de flexibilité en combinant et en partageant les capacités de manière verticale et horizontale.

En outre, d'après (**Rakotonarivo et al, 2014**), les collaborations logistiques incitent les entreprises à adopter des stratégies bien coordonnées pour mieux gérer la conception des réseaux, les modes de transport, le choix des équipements et les processus métier de la chaîne logistique. Par la suite, des avantages importants orientés vers les entreprises à plusieurs niveaux : au niveau

# Chapitre 2: La mutualisation logistique: Etat de l'art

des clients, elles offrent une baisse du coût de gestion des commandes, des prévisions plus précises et optimisation du taux de service client /couverture de stock. Au niveau des fournisseurs, elles offrent une réduction des stocks, baisse des coûts d'entreposage et baisse des coûts d'acquisition des matières. Au niveau des prestataires logistique, elles offrent une baisse des coûts de transport, une augmentation du rapport volume / poids transporté, livraisons plus fiables et plus rapides et remplissage optimisé des camions.

En effet, la mutualisation et la collaboration logistique sont des termes très liés à eux où la mutualisation adopte plusieurs critères de la collaboration.

#### 2.1.2 La mutualisation logistique

Le terme mutualisation logistique est apparu avec (**Cruijssen 2006**) où il l'a considéré comme une stratégie de collaboration horizontale entre plusieurs acteurs où elle permet de développer des synergies dans le but d'améliorer leur performance c'est-à-dire entre plusieurs acteurs de même niveau dans la chaine d'approvisionnement.

Par la suite, (**Setra 2008**) définit la mutualisation logistique comme une rationalisation du transport entre les usines (ou entrepôts nationaux) des producteurs et les plates-formes régionales des distributeurs, basée sur la coopération tripartite entre les industriels, les prestataires logistiques et les distributeurs.

De plus, (**TL&Associés et LET, 2008**) la définit comme un mode d'organisation du transport qui vise à augmenter le taux de remplissage des camions et les fréquences de livraison pour une diminution des impacts environnementaux et un service accru aux consommateurs.

En effet, (**Pan et al, 2010**) ont proposé une définition de la mutualisation où elle est considérée comme : « une mise en commun de la chaîne d'approvisionnement qui regroupe les services logistique entre plusieurs entités et non disponible individuellement (exemple: transport multimodal). Cela nécessite une Co-conception d'une chaîne d'approvisionnement mondiale commune. Cette Co-conception donne lieu à une logistique de réseau partagée où différentes entités partagent et gèrent conjointement leurs compétences (service logistique main-d'œuvre, main-d'œuvre de manutention ...), leurs structures (distribution Entrepôts, bureaux ...) et leurs moyens (matériel de manutention, véhicules de transport et flottes, systèmes d'information ...) ». D'après (**Fulconis et al.,2011**) mutualiser consiste à : « organiser, de manière volontaire et structurée, un partage de ressources entre entreprises, qui peuvent par ailleurs être totalement concurrentes sur le marché. La nouveauté consiste à penser la mutualisation comme une manœuvre collective incontournable, au service d'objectifs sociétaux, qui doit s'imposer aux stratégies individuelles d'entreprise ».

En outre, (Moutaouakil et al, 2012) ont dirigé la mutualisation logistique vers trois axes :

- La mutualisation du transport et des plateformes d'un seul fournisseur afin de servir un ensemble de clients.
- La mutualisation du transport et des plateformes d'un ensemble de fournisseurs afin de servir un ou plusieurs clients.
- 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 transport.

De plus (**CETE**, **2012**), attribue deux cas de mutualisation qui peuvent être réalisés : MultiPick et MultiDrop. En effet, le MultiPick consiste en une consolidation des approvisionnements chez plusieurs fournisseurs vers un même lieu de livraison (centre de distribution ou point de vente). Concernant le MultiDrop, il adopte la même logique à la différence que la consolidation part d'un seul fournisseur vers plusieurs lieux de livraison.

#### 3. Etat de l'art sur la mutualisation logistique

Le concept de la mutualisation logistique reste peu développé dans la littérature. En effet, il existe des travaux qui mettent en valeur la mutualisation logistique en bénéficiant des marges économiques et environnementales importantes.

Nous allons présenter en premier lieu l'état de l'art sur la mutualisation logistique en classifiant les différents travaux selon l'aspect économique et l'aspect économique & environnementale. En second lieu suivant le niveau de décision de configuration de réseaux logistiques mutualisé.

#### 3.1 Aspect économique de la mutualisation

Plusieurs travaux traitent l'aspect économique de la mutualisation logistique puisqu'elle est considérée comme un moyen efficace de réduction des coûts logistiques.

#### 3.1.1 Niveau stratégique

(**Tuzkaya et al, 2009**), ont élaboré le niveau stratégique par la conception de réseau des entrepôts et du transport qui consiste à choisir la meilleure stratégie de distribution des items du fournisseur vers les entrepôts et de l'entrepôt vers les manufacturiers. En effet, ils cherchent dans leur travail à optimiser les coûts sortants et entrants du transport, le frais de chargement et déchargement, le coût d'exploitation de stock et les pénalités sur les produits retardés.

# Chapitre 2: La mutualisation logistique: Etat de l'art



Figure 1 : la structure de SN multi produits / multi échelons (Tuzkaya et al, 2009).

En se basant sur la modélisation par l'approche holonique, (**Tuzkaya et al, 2009**), ont intégré comme paramètres des fournisseurs multiples, d'entrepôt unique et de manufacturier multiple. Par la suite un modèle de programmation linéaire est présenté afin de maximiser le profit de réseau logistique global et des unités fonctionnelles individuelles des fonctions de réseau logistique.

#### Résultats

Les résultats sont été comparés par 8 scénarios les plus importants sont :

- ✓ Le 2<sup>ème</sup> scénario : éliminer le coût de la pénalité pour les produits retardés ; cela diminue le coût de transport entre les fournisseurs et l'entrepôt, dans ce cas les quantités de produit transporté des fournisseurs qui utilisent les modes de transport les plus cher (F2, F3) sont transférées au F1 et F4 avec un risque de délais.
- ✓ Le 4<sup>ème</sup> scénario : éliminer la capacité de l'entrepôt et des fournisseurs ; beaucoup plus des produits entre eux sont transportés dans les premières périodes, et une diminution important des coûts de retard.
- ✓ Le 5<sup>ème</sup> et le 6 ème scénario : augmenter 2 fois, 3 fois le niveau de stock de départ pour tous les produits ; les coûts de transport et de retard sont diminués respectivement le coût d'entreposage est augmenté 2 et 3 fois.

#### Perspectives

- ✓ Intégration de problème de retoutage des véhicules dans le modèle étudié pour déterminer le nombre de transporteur et leurs capacités qui réalisent le transport entre les échelons.
- ✓ Résolution de ce modèle par les heuristiques.

Quant à (**Trappey et al, 2011**), ils visent à partager un hub logistique, entre six industriels, géré par un prestataire logistique. En effet, ils décrivent l'architecture de l'implémentation d'un hub logistique et examinent les problèmes qui peuvent survenir pendant la mise en œuvre.

# Chapitre 2: La mutualisation logistique: Etat de l'art

En effet, à l'aide de l'analyse qualitatif, les auteurs ont décrit d'une façon générale et rapide la mise en place des centres logistiques intégrés en étudiant des modèles et système de référence réussis utilisés par six secteurs industriels indépendants qui offrent des opérations logistique coopérative.

#### \* Résultats

Les fonctions principales offertes par les hubs logistiques sont

- ✓ supporter le partage de l'information.
- ✓ améliorer les services de livraison
- ✓ mieux gérer les entrepôts et les services de dédouanement.

#### Perspectives

✓ Investigation des nouvelles tendances logistiques : les technologies de communication logistique, la sécurité de la chaîne logistique, les indicateurs de performance clés des fournisseurs de services linguistiques, la protection de l'environnement écologique et du développement de zones de libre échange.

#### 3.1.2 Niveau tactique

(Apurva Jain, 2007), a étudié la valeur de la capacité de Pooling des systèmes d'inventaire de stock dans la chaine d'approvisionnement avec des demandes de différentes variabilités où elle s'est intéressé dans son travail à l'optimisation du coût d'inventaire total dans la chaine d'approvisionnement.

En effet, en adoptant la simulation comme une méthodologie convenable. elle a construit et analysé des modèles qui intègrent des files d'attente de production avec des systèmes d'inventaire de stock de base qui répondent aux demandes avec différentes distributions temporelles entre les arrivées, le modèle HM et le modèle MD.

#### \* Résultats:

- ✓ La valeur moyenne de la mise en commun de tous les scénarios est de 48,125%, soit un minimum de 4,02% à 93,37%.
- ✓ Le modèle HM permet de mieux comprendre l'impact de la différence de variabilité de la demande sur la valeur de la capacité de mise en commun.
- ✓ Le modèle MD définit une situation spécifique ou il est possible que la mise en commun entraine une augmentation optimale des coûts d'inventaire.

### 3.1.3 Niveau stratégique et tactique

(**Syam, 2000**), a exploré l'impact économique par la modélisation d'un réseau logistique en prenant compte de plusieurs facteurs tels que : le transport, localisation du hub, le regroupement des flux, stock, composition d'expédition, le temps de cycle d'expédition.

Il cherche à partir de son travail d'optimiser les coûts de possession de stock, coût de commande d'article, coût des entêtes de commande, coûts de transport, coût de fabrication, coût de manutention des matériaux, coûts fixes dans les usines et les coûts fixes dans les entrepôts.

En effet, il propose un modèle mathématique qui intègre la localisation et la consolidation des flux et fournit deux méthodologies heuristiques à fin de le résoudre : la méthodologie de relaxation lagrangienne et le recuit simulé.

### Résultats

Les résultats sont basés sur la comparaison de l'efficacité des deux méthodes utilisée dans la résolution :

- ✓ La méthodologie lagrangienne résoudre les problèmes de moyenne et grande tailles mais elle prend plus de temps pour donner la meilleur solution.
- ✓ la méthode de recuit simulé fournit des meilleures solutions pour les petits problèmes en termes de temps de calcul et qualité de la solution.

(Groothedde et al, 2005), ont proposé un réseau du hub collaboratif de biens de consommation à déplacement rapide en utilisant une combinaison de camionnage et des barges intérieures. En effet, ils incluent dans leur travail le coût de manutention, coût de chargement et déchargement, coût de transport intermodal, coût de transport inter-hub, coût de commande et coût de l'inventaire. Les ont utilisé la programmation linéaire pour modéliser le réseau de transport.

### \* Résultats:

- ✓ Un total de 4,87 millions de palettes serait transporté annuellement.
- ✓ Une économie totale d'environ 24,51 millions d'euros par an pourrait être réalisée.
- ✓ 18% des 26,6 millions de palettes potentielles seraient facilitées par le réseau de hubs collaboratifs.
  - ✓ Une réduction moyenne des coûts logistiques de 14%.

### Perspectives

✓ Faire progresser les méthodes de conception de réseau pour des coûts logistiques complets (y compris les coûts de coordination) dans des réseaux réalistes.

## Chapitre 2: La mutualisation logistique: Etat de l'art

- ✓ Tester les principes des réseaux multimodaux collaboratifs développés dans leur travail pour d'autres situations dans lesquelles la même méthode de conception pourrait être utilisée.
- ✓ Les possibilités de croisement des transports vers d'autres secteurs (énergie).

D'autre part, (**Cheong et al, 2007**), ont traité la mutualisation logistique par la conception d'un réseau mutualisé entre fournisseurs et industriels géré par des prestataires logistiques 3PL (Third-Party Logistics). Le coût de transport du fournisseur vers le hub et du hub vers les entrepôts, le coût de possession de stock aux entrepôts et les coûts fixes et variables pour l'exploitation des hubs sont inclus dans leur travail.

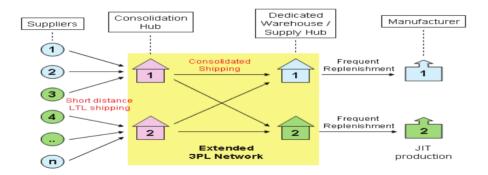


Figure 2 : Réseau des centres de consolidation pour servir deux fabricants (Cheong et al, 2007).

Les auteurs ont utilisé la Programmation linéaire avec relaxation (Méthodologie Lagrangienne) et le champ d'étude se compose de 19 fournisseurs, 4 hubs potentiels et 3 options d'expédition par hub en utilisant le Lingo Solver.

#### Résultats

✓ Minimisation des coûts de réseau logistique.

### Perspectives

- ✓ Permettre aux fournisseurs d'expédier plusieurs fois.
- ✓ Permettre à certains fournisseurs d'expédier directement à l'entrepôt, en contournant les hubs.

(Huang et al, 2013), ont proposé le concept de supply hub industrial parc (SHIP) comme une stratégie prometteuse pour relever la pénurie de l'espace terrestre. Ils se concentrent sur l'évaluation de la valeur de la consolidation des frets, l'un des avantages typique de l'application de l'approche SHIP. Ils ont exploré l'impact économique avec la minimisation des coûts de production des produits finis, coût de transport du fournisseur aux SHIP et du SHIP au

manufacturier, coût de transport du manufacturier au SHIP et de SHIP au client, coût de possession de stock de matière première et de produit fini dans le SHIP.

En se basant sur l'algorithme génétique afin de définir et résoudre les problèmes liées aux transports et stockage, ils se concentrent sur l'évaluation de la valeur de la consolidation des frets, l'un des avantages typique de l'application de l'approche SHIP.

Deux modèles mathématiques avec la programmation linéaire sont formulés : sans et avec SHIP et une analyse comparative entre ces deux modèles est faite.

### Résultats

- ✓ Réduction de coûts totaux résultant de l'application de SHIP.
- ✓ Réduction des coûts de transport fixe et les coûts de détention des produits finis chez les fabricants.
  - ✓ Amélioration de la capacité des véhicules.

### Perspectives

- ✓ Relaxation de la contrainte qui concerne le nombre de véhicule utilisé dans la periode pour permettre des envois multiples.
- Mener une enquête afin de quantifier l'avantage de SHIP à atténuer les écarts de demande auxquels les entreprises sont confrontées.
- ✓ Etudier le mode de fonctionnement du SHIP, par exemple, en déterminant le schéma de location d'espace approprié et les stratégies de tarification du stockage au niveau du SHIP.

### 3.1.4 Niveau opérationnel

(Wasner et al, 2002), ont réalisé une étude de cas pour répondre à des taches de planification opérationnelle du réseau H&S ou elles sont considérées comme une tâche difficile pour la gestion des réseaux de transport.ils visent à améliorer le système Hub/Spoke afin de minimiser les transports inutiles.

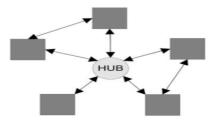


Figure 3 : La stratégie hybride d'un système Hub and Spoke (Wasner et al, 2002).

Des modèles mathématiques ont été élaborés pour ces taches de planification opérationnelle et appliqués dans un cas réel d'un fournisseur autrichien de services de colis.

### Résultats

- ✓ sans autoriser les transports directs, les quantités sortantes et entrantes du hub diffèrent considérablement.
- ✓ Les transports directs entrainent une réduction des coûts de 100,000 unités à 89840 unités d'où une réduction de 10,16%.
  - ✓ Réduction de quantités transportées depuis et vers le hub par le transport direct.
- ✓ Réduction de 16,5% des coûts totaux en utilisant simultanément les transports directs et le Hub ainsi que les systèmes triangulaires et de groupage pour éviter les kilomètres à vide.

Tableau 1 : Tableau récapitulatif

	Aspect E	conomique	
Auteurs	Niveau stratégique	Niveau tactique	Niveau opérationnel
(Syam, 2000)	✓	✓	
(Wasner et al, 2002)			✓
(Groothedde et al, 2005)	✓	✓	
(Cheong et al, 2007)	✓	✓	
(Apurva Jain, 2007)		✓	
(Tuzkaya et al, 2009)	✓		
(Trappey et al, 2011)	✓		
(Huang et al, 2013)	✓	✓	

Au plus (Syam 2000), (Wasner et al, 2002), (Groothedde et al, 2005), (Cheong et al, 2007), (Apurva Jain, 2007), (Tuzkaya et al, 2009), (Trappey et al, 2011), et (Huang et al, 2013) qui ont exploré l'aspect économique aux différents niveaux décisionnels, d'autres auteurs ont combiné l'aspect économique et environnemental dans leurs travaux. Nous allons présenter les différents travaux dans la partie suivante.

### 3.2 Aspect économique et environnemental

La contrainte écologique devient de plus en plus attachée aux travaux sur la mutualisation logistique où plusieurs auteurs l'intègrent comme une fonction objective qui vise à l'évolution de l'émission de CO2.

### 3.2.1 Niveau stratégique

(**Pan et al, 2009**), ont proposé de partager deux hubs afin de servir les entrepôts et les centres de distribution. En effet, ils ont estimé le rôle de la mutualisation à travers deux modes de transport : terrestre et ferroviaire et ils l'ont considéré comme une approche efficace pour la réduction de CO<sub>2</sub>.

Les auteurs ont calculé l'émission CO 2 pour deux modes de transport, routier et ferroviaire avec des données réelles provenant de deux principales chaînes de distribution françaises et à travers un modèle d'optimisation.

(Pan et al, 2009), ont utilisé la programmation mixte pour la modélisation du problème étudié et le CPLEX comme outil de résolution.

### \* Résultats:

- ✓ les émissions de CO2 diminuent, le nombre des schémas de transport diminue et le taux de chargement, le nombre des kilomètres et la fréquence de livraison sont améliorés.
- ✓ L'utilisation conjoint de moyen routier et ferroviaire en France conduit à une réduction de 52% des émissions de CO2.

### Perspectives

- ✓ Concentrer sur l'aspect économique concernant les coûts de transport et de rechargement
- ✓ Explorer l'impact des nœuds des sources logistiques, les nœuds des destinations, les hubs en amont et les hubs en aval, la mutualisation du transport ferroviaire sur la fréquence des envois ainsi que le niveau des stocks.

Concernant (**Makhloufi et al, 2014**), ont développé un ensemble de modèles et de mécanismes pour gérer la distribution des marchandises où ils proposent un nouveau système de réservation qui permet aux clients de demander un service de transport des marchandises que se soit livraison ou collecte, ou pour réserver un véhicule pour des raisons de libre services.

(Makhloufi et al, 2014), ont proposé une architecture mutualisée afin de gérer la distribution des marchandises avec des centres de distribution urbains et évaluer l'impact économique et environnemental. En effet, ils ont utilisé un simulateur à événement discret appelé MODUMS ((Mutualisation and Optimisation of Urban Freights Distribution) qui met en œuvre les deux modules proposés dans leur travail et évalue leur impact économique et environnemental.

### \* Résultats

✓ Amélioration de la performance logistique.

## Chapitre 2: La mutualisation logistique: Etat de l'art

- ✓ 1<sup>er</sup> module en ligne qui traite immédiatement les demandes arrivantes en cherchant une insertion possible dans la planification actuelle, et décide de l'accepter ou rejeter.
- ✓ Le 2<sup>ème</sup> module hors ligne qui fonctionne lorsque le système de réservation est fermé cherche des solutions optimisées à partir du planning réalisable défini par le module en ligne.

### 3.2.2 Niveau Tactique

(Sanchez et al, 2016), ont traité le problème de routage des véhicule avec des fenêtres de temps. En effet, les auteurs ont proposé une formulation mathématique pour le problème d'acheminement des véhicules en intégrant l'empreinte carbone comme une contrainte.

Le modèle est résolu avec la métaheuristique de recherche de dispersion et analysé du point de vue de la théorie des jeux pour évaluer la stabilité de la coalition après la mutualisation.

Une étude de cas est réalisée pour 4 fournisseurs sur une partition d'instance de la bibliothèque de Solomon en utilisant plusieurs scénarios allant de la participation individuelle à une coalition complète.

### \* Résultats

- ✓ Plus les ressources sont partagées, plus le bénéfice est grand.
- ✓ Les meilleures économies et contributions sont réalisées en opérant en totale coopération.
- ✓ Les économies sont réparties équitablement que possible pour maintenir une coalition stable en utilisant la valeur de Shapley

### 3.2.3 Niveaux Stratégique & Tactique

Pour (**Ballot et al, 2010**), ils ont élaboré différents scénarios afin d'évaluer la performance de nouveaux réseaux logistique mutualisés et les illustrent à partir d'une étude des cas réel où ils travaillent avec un groupe de client d'affaire qui lui a donné l'accès à des données réelles sur le secteur vente en détail.

Les données sont fournies par deux grands détaillants de France qui couvrent les 20 premiers semaines de l'année 2006, puis les auteurs ont identifié les 200 principaux fournisseurs en termes de volumes pour ces deux détaillants, après ils ont subit une liste de 106 fournisseurs et chaque fournisseur peut servir un ou plusieurs entrepôts ou délivre directement à un centre de distribution.

(Ballot et al, 2010), ont utilisé dans leur travail une feuille de calcul pour mesurer les flux.

### \* Résultat

✓ une réduction des émissions de CO2 jusqu'à 25%.

Concernant (**Pan et al, 2012**), les auteurs ont élaboré des scénarios où ils étudient la mutualisation des entrepôts livrés par camion complet et direct, mutualisation par des centres de cross-docking, mutualisation d'entrepôt livrée par tournée et flux direct en TL et mutualisation par des tournées des camions : mutualiser les moyens de transport sans avoir des centres de mutualisation intermédiaire.

(Pan et al, 2012), ont utilisé la programmation mixte pour la modélisation des scénarios de mutualisation et le CPLEX comme outil de résolution.

### \* Résultats:

- ✓ Les scénarios de mutualisation permettent de réduire de 18 à 44% les émissions de CO2.
- ✓ le scénario S2 offre la meilleure performance économique, avec une réduction de 13% par rapport à la situation actuelle (S0)
  - ✓ S3 conduit toujours à une réduction de 34% par rapport à la situation actuelle.

Scénarios		nisation ns de CO2
Scenarios	CO <sub>2</sub> * (T)	Coût (k€)
SO	646	1102
Minimum	330	_
<b>S1</b>	364	1210
S2	524	1015 à 1479
S3	426	1258
S4	537	1086

Figure 4 : Résultats des 4 scénarios (Pan et al, 2012).

### **Perspectives**

- ✓ Etudier l'impact de stock de sécurité.
- ✓ Appliquer le modèle sur un cas avec multi-détaillant.

D'autre part, (**Moutaoukil et al, 2014**), ont présenté un modèle de mutualisation logistique qui intègre les différentes caractéristiques des flux logistique des PME agroalimentaire de la Loire. En effet, les auteurs cherchent à partir de leur travail à optimiser la logistique globale et à obtenir des marges bénéficiaires aux niveaux économiques, environnementaux et sociétaux.

A partir de ce modèle, (Moutaoukil et al, 2014) ont introduits les différents scénarios du réseau logistique mutualisé qui peuvent être implémentés où la mutualisation de transport et la mutualisation des plateformes constituent les différents scénarios de mutualisation.

L'objectif de ce travail est de comparer le réseau logistique traditionnel avec les différents scénarios de réseau logistique mutualisé :

Confi	80		isport nant		forme dock		isport val
gurat ion	Scénarios	Direct	Multi pick	Oui	Non	Dire ct	Multi -drop
	SO	_			<b>/</b>	_	
C1	S1		_		<b>✓</b>	_	
	S2	<b>/</b>		_			
	SO				_/	_	
	S1		_/		_		_
	S2	>		<b>/</b>			<b>\</b>
C2	S3	1		<b>/</b>		_/	
	S4		1	_/			/
	S5		_	<b>/</b>		_/	

Figure 5 : les différents scénarios de mutualisation (Moutaoukil et al, 2014).

Les auteurs ont choisi la simulation comme l'outil de résolution le plus convenable.

### \* Résultats:

- ✓ Optimisation de la performance de la logistique globale.
- ✓ Obtenir des gains marginaux au niveau économique environnemental et sociétal.

### Perspectives

- ✓ Valider la modélisation avec des exemples concrets.
- ✓ Intégration des autres scénarios.

### 3.2.4 Niveau tactique et opérationnel

(Morana et al, 2012), cherchent à impliquer la mutualisation logistique afin de réduire les tournées de véhicules et ils ont réalisé un état des lieux des besoins du système de distribution da la presse du groupe NMPP (Nouvelle Messageries de la Presse Parisienne). En effet, l'objectif de ce travail est la mise en place d'une stratégie de mutualisation des flux de transport en se basant sur des Systèmes d'Information et de Communication Logistique de l'Entreprise (SICLE) et des Technologies d'Information et de Communication (TIC).

(Morana et al, 2012) ont élaboré un modèle conceptuel pour la mise en place du projet LUMD (Logistique Urbaine Mutualisée Durable) et suivent une démarche qualitative en utilisant l'entretien de type directif en premier lieu et l'étude de données secondaires en deuxième lieu.

### \* Résultats:

- ✓ La mutualisation des flux des marchandises : la possibilité de livrer d'autres produits à des horaires plus tardifs que ceux imposés par la presse et des nouvelles marchandises délivrables à plus ou moins un jour d'intervalle.
- ✓ Augmenter la capacité de chargement de ses véhicules de livraison, mais un problème de sécurisation s'impose.
- ✓ La mise en place du système d'information tel que le SAP, logiciel interne OVT et des systèmes WIFI.

## Chapitre 2: La mutualisation logistique: Etat de l'art

✓ Un système de traçabilité est mis en place entre les dépôts de presse et les diffuseurs à travers un code à barre unidimensionnel.

Quant à (**Pan et al, 2012**), ils introduisent un schéma logistique mutualisé afin de réduire les coûts et émissions de CO2 de transport où les entrepôts et les centres de distribution sont déjà localisés dans la même zone. En effet, ils ont montré les enjeux environnementaux et économiques associés à la mutualisation de transport sur un ensemble des PME fournisseurs dans le domaine alimentaire.

Les auteurs ont utilisé la théorie des jeux coopératifs comme mécanisme coopératif pour la mise en œuvre de la mise en commun horizontale. Par la suite, ils ont exploré un cas réel des détaillants afin d'étudier et optimiser le réseau de la chaine d'approvisionnement. Ils ont calculé le Shapley Values de tous les joueurs de jeu avec une grande coalition.

### \* Résultats:

- ✓ Une réduction de 25,98% du coût total par la coopération des joueurs dans la grande coalition.
- ✓ Les joueurs peuvent obtenir le gain commun le plus élevé, ce qui garantit les incitations pour former la grande coalition.

### Perspectives

- ✓ Absence du coût coopérative dans le désigne de jeu.
- ✓ Modélisation de différents pouvoirs de négociation des Joueurs.
- ✓ Investigation de l'application de leur système de mise en commun dans le grand jeu avec beaucoup de joueurs.

### 3.2.5 Niveau stratégique, tactique et opérationnel

(Ouhader et al, 2016) ont étudié le Pooled SC avec ces 3 dimensions décisionnelles : stratégique, tactique et opérationnelle où la modélisation de la mutualisation de la chaine d'approvisionnement est un problème incluant une décision stratégique qui consiste à concevoir un réseau de localisation des entrepôts ou plateformes logistique et une décision tactique/opérationnelle qui traite la répartition des clients et du routage de véhicules. Dans cette ambiance les auteurs ont proposé un modèle de mutualisation logistique qui mélange les problèmes de routage et de localisation. Par la suite le modèle étudié est un modèle de problème à deux échelons (2E-LRP) pour une résolution plus efficace qui sépare les différents niveaux décisionnels.

(Ouhader et al, 2016), utilisent la modélisation mathématique où elles proposent une formulation de programmation linéaire mixte entière (MILP). La résolution est effectuée par le solveur Matlab afin de mesurer les performances de la méthode MILP.

### \* Résultats

- ✓ la collaboration entraine une amélioration des coûts totaux (66829 au lieu de 74107 pour le non collaboration) avec un taux de gain significatif 9,82%.
- ✓ le taux de chargement du véhicule est amélioré en raison de la diminution du nombre de véhicules utilisés.
- ✓ Une diminution significative des émissions de CO2 généré par les véhicules à l'ordre de 53% d'où une réduction des émissions du système étudié de l'ordre de 10%.

### Perspectives

- ✓ Etudier des modèles multi-objectifs pour optimiser, en parallèle, différents aspects: économique, social et environnemental.
- ✓ Etudier la sensibilité des résultats lors de l'utilisation de véhicules et de camions hétérogènes.

Tableau 2 : Tableau récapitulatif

As	pect économique et	environnementa	1
Auteurs	Niveau stratégique	Niveau tactique	Niveau opérationnel
(Pan et al, 2009)	✓		
(Ballot et al, 2010)	✓	✓	
(Pan et al, 2012)	✓	✓	
(Pan et al, 2012)		✓	✓
(Morana et al, 2012)		✓	✓
(Makhloufi et al, 2014)	✓		
(Moutaoukil et al, 2014)	✓	✓	
(Sanchez et al, 2016)		✓	
(Ouhader et al, 2016)	✓	✓	✓

## Chapitre 2: La mutualisation logistique: Etat de l'art

### 4. Synthèse

D'après la littérature les travaux sur la mutualisation logistique sont divers puisqu'elle est considérée comme un nouveau terme pour la chaine d'approvisionnement. En effet, le tableau suivant récapitule les travaux censés à la mutualisation logistique en le divisant selon les différents critères qu'on a mentionnés précédemment en ajoutant le contexte et les différents résultats aboutis :

		N	livea	aux d	lécisio	onnels						I	Métl	nodo	ologi	es									
	Critères Auteurs	stratégique	tactique	opérationn	Stratég & Tactique	Tactique & Opéra	3 niveaux	Simula	Sys. Info	PL	Appr.holo	PLNE	Ana. Qua	Algo.Gene	Jeux.coop	MILP	Etud.Emp	MODOUS	méthaheur	Relax. Lag	Recuit.Sim	Entrepôt	Transport	contexte	Principaux résultats
	Syam 2000				<b>√</b>															<b>✓</b>	<b>✓</b>	<b>✓</b>	<b>✓</b>	la modélisation d'un réseau logistique qui intègre la localisation et la consolidation des flux	Amélioration de la performance du réseau logistique.
Rconomiane	Wasner Et al, 2002.			✓						✓												✓	<b>~</b>	l'amélioration de système Hub/Spoke à fin de minimiser les transports inutiles	Réduction de 10,16% de coûts transport. Réduction de 16,5% des coûts totaux
Fcc	Groothe- -dde et al, 2005				<b>*</b>					✓												✓	<b>√</b>	La conception d'un réseau du hub collaboratif de biens de consommation.	Une réduction moyenne des coûts logistiques de 14%.
	Cheong et al, 2007				<b>√</b>					<b>✓</b>										✓		<b>✓</b>	<b>✓</b>	la conception d'un réseau mutualisé entre fournisseurs et industriels géré par des prestataires logistiques 3PL (Third-Party Logistics).	Minimisation des coûts de réseau logistique.

## Chapitre 2: la mutualisation logistique: état de l'art

Apurva Jain, 2007		<b>✓</b>			<b>✓</b>								<b>✓</b>		Etudier la valeur de la capacité de Pooling dans la chaine d'approvisionnement aves des demandes de différentes variabilités.	Optimisation des coûts totaux.
Tuzkaya et al, 2009	✓					<b>✓</b>	✓						<b>✓</b>	✓	La conception de réseau des entrepôts et du transport qui consiste à choisir la meilleure stratégie de distribution.	Maximisation de profit logistique
Trappey et al, 2011	<b>√</b>							✓					<b>&gt;</b>	✓	Le partage d'un hub logistique, entre six industriels géré par un prestataire logistique.	L'importance de la mise en place des hubs mutualisés pour améliorer la performance logistique.
Huang et al, 2013			<b>✓</b>						<b>✓</b>				>	<b>✓</b>	Proposition du concept de Supply Hub Industrial Parc (SHIP) comme une stratégie prometteuse pour relever la pénurie de l'espace terrestre.	Réduction des coûts de transport et d'entrepôt.

## Chapitre 2: la mutualisation logistique: état de l'art

Pan et al,2009	✓										<b>✓</b>			<b>✓</b>	✓	la conception de réseau des entrepôts et du transport qui consiste à choisir la meilleure stratégie de distribution des items	Réduction de 52% des émissions de CO2.
Ballot et al, 2010			<b>√</b>				<b>√</b>							<b>&gt;</b>	<b>√</b>	Evaluer différents scénarios à fin d'évaluer la performance des nouveaux réseaux logistique mutualisés.	Réduction des émissions de CO2 jusqu'à 25%.
Pan et al, 2012			<b>√</b>								<b>✓</b>			>	<b>√</b>	la modélisation des différents scénarios de mutualisation qui peuvent apporter des améliorations au réseau logistique.	Réduction de 14% du CO2 et 13% des coûts.
Pan et al, 2012				<b>✓</b>						<b>√</b>				<b>&gt;</b>	<b>√</b>	Conception d'un réseau logistique mutualisé avec un cas réel des détaillants afin d'étudier et optimiser le réseau de la chaine d'approvisionnement.	Réduction de 25,98% du coût total.
Morana et al, 2012				<b>√</b>		✓			✓						✓	La mise en place d'une stratégie de mutualisation des flux de transport.	Amélioration de la capacité de chargement des véhicules.
Makhlo ufi et al, 2014	<b>✓</b>											<b>✓</b>		<b>\</b>	✓	Proposition d'une architecture logistique mutualisée composée d'un ensemble de centres de distribution urbains (UDC).	Amélioration de la performance logistique.

Moutaw- akil et al, 2014		<b>✓</b>		✓									✓	✓	introduction des différents scénarios du réseau logistique mutualisé qui peuvent être implémentés afin de les comparer par le réseau logistique traditionnel.	Optimisation de la performance de la logistique global et obtention des gains marginaux.
Sanchez et al, 2016	<b>✓</b>							✓			✓			<b>✓</b>	traiter le problème de routage des véhicules avec des fenêtres de temps.	La coopération apporte des économies importantes.
Ouhader et al, 2016			<b>✓</b>						✓				<b>√</b>	✓	concevoir un réseau de localisation des entrepôts ou plateformes logistique et décision en traitant la répartition des clients et du routage de véhicules.	Réduction des émissions de CO2 53%. Taux de gain des coûts 9,82%.

Tableau 3 : Tableau récapitulative des travaux sur la mutualisation logistique.

## Chapitre 2: la mutualisation logistique: état de l'art

On peut conclure, d'après l'état de l'art présenté précédemment, que la réduction des coûts de transport et des émissions de CO2 sont les facteurs majeurs qui motivent la participation à des projets de collaboration et mutualisation logistique. De plus les contraintes actuelles telles que la crise économique et la prise en compte de développement durable contribuent à l'apparition des nouvelles solutions logistiques telles que la mutualisation logistique.

D'après le tableau, on peut constater que les travaux sur la mutualisation logistique se déroule dans un contexte de gestion des opérations de transport aux niveaux tactique et opérationnel par l'optimisation des tournées des véhicules et l'amélioration de taux de chargement des camions et au niveau stratégique par le choix de la meilleure allocation de hub ou entrepôt centrale.

En plus, pour le nature de partage, on constate que la mutualisation logistique se focalise sur deux volets : mutualisation des entrepôts et la mutualisation des transports car ils constituent les sources de gaspillage pour la chaine d'approvisionnent. El la plupart des travaux traitent les niveaux stratégiques et tactiques.

Concernant les principaux résultats, la mutualisation logistique apporte des résultats bénéficiaires pour la chaine d'approvisionnement ou elle entraine une réduction de taux d'émission de CO2 ainsi que l'amélioration de la performance de réseau logistique et le plus important la réduction des coûts logistiques.

#### 5. Conclusion

Divers sont les travaux qui se concentrent sur la mutualisation des réseaux logistique dans les deux aspects (économique et /ou environnemental), et qui adoptent la programmation linéaire comme l'outil le plus convenable pour la modélisation de schémas de distribution.

En effet, dans ce chapitre nous avons présenté les concepts de la collaboration logistique en mettant l'accent sur l'évolution de la collaboration à la mutualisation. En suite un état de l'art sur les principaux travaux effectués sur la mutualisation logistique où on a classifié en premier lieu les différents travaux selon l'aspect économique et l'aspect économique & environnemental et en second lieu suivant le niveau de décision de configuration de réseaux logistiques mutualisé.

Dans le chapitre suivant, nous allons consacrer sur l'optimisation de l'aspect économique d'un réseau de transport multimodal en se basant sur le modèle de base proposé par (**Pan et al, 2012**).

### 1. Introduction

Vue la complexité des réseaux logistiques et la grande charge qu'elle engendre en terme de coût de transport, les acteurs de la chaine d'approvisionnement cherchent toujours à améliorer leurs performances économiques tout en adoptant la mutualisation logistique comme une nouvelle approche qui apporte des marges bénéficiaires importantes.

Dans ce contexte, et en premier lieu nous proposons un modèle mathématique, basé sur le modèle mathématique proposé par (**Pan et al, 2012**), qui sert à minimiser le coût de transport à travers la localisation des plateformes de mutualisation entre les sites fournisseurs et les ports maritimes.

En deuxième lieu, nous présentons l'instance générée pour résoudre ce modèle et enfin l'implémentation et résultats.

### 2. Un réseau logistique sans mutualisation

Nous considérons un réseau de distribution multimodal constitué d'un ensemble de fournisseurs situés dans des zones géographiques différentes d'un même pays d'exportation ou d'expédition, ces fournisseurs admettent des commandes d'un ensemble de clients provenant de différentes régions d'un même pays d'importation ou de destination.

Un contrat de transport est signé par ces deux acteurs pour l'acheminement des flux par voie maritime. Ce contrat inclut le transporteur qui va assumer l'opération du transport du pays d'exportation vers le pays d'importation (du port du pays d'origine vers le port du pays de destination).

Le prestataire logistique dans le pays d'importation admet des plateformes portuaires régionales dans plusieurs ports et possède un correspondant qui admet également des plateformes portuaires d'expédition situés également dans plusieurs ports.

La livraison des flux suit le processus suivant :

- Chaque client envoie indépendamment une demande de livraison auprès d'un ensemble de fournisseurs.
- Chaque fournisseur transporte ses flux par un transport direct vers les plateformes portuaires du prestataire se trouvant dans le pays d'origine (pays des fournisseurs).
- Le prestataire logistique est responsable sur le transport des flux vers les plateformes portuaires du pays de destination puis jusqu'aux clients.

- Les flux arrivant sur les plateformes portuaires du prestataire dans le pays d'expédition pourraient provenir des mêmes fournisseurs mais de quantités différentes.
- En effet, après la réception des ordres d'expédition des clients par le prestataire du pays de destination, ce dernier envoi les commandes clients à son correspondant dans le pays d'expédition pour informer chaque fournisseur sur la quantité qu'il doit livrer dans chaque plateforme portuaire d'expédition.
- Chaque client admet un délai de livraison bien déterminé.
- Chaque correspondant dans le pays d'expédition réserve le navire à une date bien déterminée selon les délais de livraison des clients et il passe l'information aux fournisseurs pour livrer les flux dans le délai convenable.
- Par la suite les flux sortants de ces fournisseurs vont être divisés et livrés vers les différents ports.
- Les fournisseurs transportent les flux par un transport direct, vers les différentes plateformes portuaires avec des quantités différentes selon l'ordre d'expédition d'où provient.
- Après la réception des flux sur les plateformes portuaires du prestataire; ce dernier consolide les flux ayant des délais de livraison proches, les charges sur le navire et les réexpédies vers le port du pays de destination.
- Le prestataire logistique du pays de destination reçoit les marchandises sur ses plateformes portuaires et les livre vers les clients de la région.

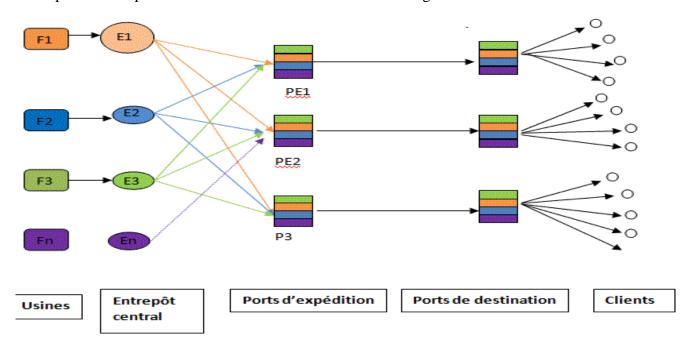


Figure 6: Modèle conceptuel avant mutualisation

### 3. Un réseau logistique avec mutualisation : cas d'étude

Dans notre recherche on va se concentrer sur la partie amont du schéma conceptuel c'est-à-dire la mutualisation des flux entre les fournisseurs.

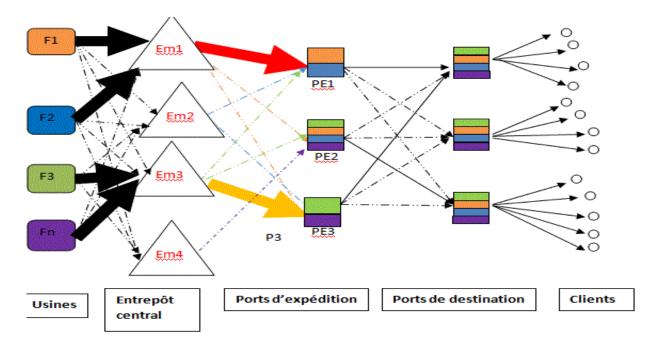


Figure 7: Modèle conceptuel avec mutualisation

### Description du modèle

Il s'agit d'un réseau de distribution multimodal comme décrit précédemment avec la localisation des centres intermédiaires qui sont des hubs de mutualisation de type « cross-docking » situés entre les usines fournisseurs et les plateformes portuaires du prestataire.

En effet, les fournisseurs partagent un réseau de distribution avec un ensemble de clients en commun et admettent une stratégie collaborative pour la livraison des flux vers ces derniers.

Cela nécessite la co-conception du schéma de distribution qui donne lieu à une logique collaborative où les fournisseurs partagent et gèrent conjointement leurs ressources disponibles pour le bon déroulement du processus de livraison.

Avec la mutualisation entre les fournisseurs, on cherche à localiser des hubs de mutualisation qui sont choisis parmi les entrepôts des fournisseurs; il s'agit d'une mutualisation dans les plateformes (=multi-drop). Les hubs de mutualisation à choisir sont de type cross-docking, c'est-à-dire la durée de stockage des flux ne dépasse pas 24 heures. Le transport des flux mutualisés entre les usines fournisseurs et les plateformes portuaires se fait à l'aide d'un organisateur de transport (=prestataire logistique). Ce prestataire admet une plateforme dans chaque port. Le nombre de hub à ouvrir ne doit pas dépasser une certaine borne et le choix du hub de mutualisation dépend d'une contrainte de service temps. Cette contrainte indique que le temps

d'arrivé des flux du fournisseur sur une plateforme portuaire (=temps d'acheminement des flux du fournisseur vers l'entrepôt de mutualisation+ temps de chargement/déchargement dans l'entrepôt mutualisé + temps d'acheminement des flux de l'entrepôt mutualisé vers la plateforme portuaire) doit respecter l'intervalle de temps choisi sur cette plateforme nécessaire pour grouper et charger les flux sur le navire avant de partir vers les plateformes portuaires de destination. Cet intervalle de temps est fixé par le prestataire logistique à partir des dates de réservation du navire dans chaque plateforme qui sont déterminées par le calcul des délais de livraison des clients.

Le processus de livraison déroule comme suit :

- ✓ Le prestataire se charge par le transport des flux directement de l'usine vers l'entrepôt de mutualisation.
- ✓ Les fournisseurs mutualisent leurs flux dans un entrepôt tout en respectant une contrainte de temps.
- ✓ Les flux seront déchargés puis regroupés selon les destinations pendant une durée de 24 heures.
- ✓ les flux seront livrés vers une seule plateforme portuaire.
- ✓ Sur les plateformes portuaires d'expédition, le prestataire logistique charge les flux sur le navire et les réexpédie vers le port du pays de destination.
- ✓ Sur les plateformes portuaires de destination, le prestataire logistique livre les clients par des tournées de véhicules selon la région.

### 3.1 Formulation du problème

Le réseau de distribution est composé de N villes ; avec N dénotant le nombre de villes. Ils sont considérés à la fois des points d'offre (ville fournisseur) et des plateformes potentielles de localisation; N'est un sous ensemble de N qui dénote le nombre de villes éligibles à l'ouverture (plateformes de mutualisation) ; D dénote le nombre de plateformes portuaires d'expédition.

Le transport entre les Villes Fournisseurs (VF) et les Plateformes de Mutualisation se fait en direct, ainsi qu'entre les plateformes de mutualisation (PM) et les plateformes portuaires d'expédition (PPE). Donc il s'agit d'un réseau de distribution à deux échelons (VF, PM; PM, PPE).

On dénote par  $\overline{\mathbf{k}}$ : le nombre de hubs à ouvrir,  $\mathbf{x}_a$ : la quantité expédiée de la ville fournisseur vers la plateforme de destination (sur l'arc  $\mathbf{a}$ ).

 $t_{nm}$  et  $t_{md}$  dénotent le temps d'acheminement des flux de la ville fournisseur vers la PM et respectivement le temps d'acheminement des flux de la plateforme PM vers la PPE;  $t_{cd}$  dénote

le temps de chargement et déchargement au niveau du plateforme de mutualisation. Tous les flux doivent atteindre la destination (PPE) selon une date  $t_{dr}$ .

### a. Le service time requirement : (STR)

Dès que le prestataire logistique d'exportation reçoit la demande de transport de son correspondant dans le pays d'importation, ce dernier réserve un navire qui va transporter les flux vers le port de destination.

En effet, le prestataire s'adresse à l'agence maritime située dans les différents ports pour le booking d'un espace de chargement sur le navire. Le transporteur établit une demande de cotation et la transmet vers l'agent maritime par laquelle il donne une description détaillée de la marchandise à transporter; et par la suite l'agent maritime fixe une durée de séjour du navire.

Pour des raisons compétitives, les agents maritimes cherchent à minimiser le temps de séjour des navires par l'exigence des durées minimales qui rendent le transporteur restreint par une contrainte de temps.

En outre, chaque dépassement de la durée de séjour, le transporteur paiera une redevance sur chaque jour de retard c'est pour cela il doit transporter les flux dans les plus brefs délais.

Concernant le cas sans mutualisation, comme on a décrit précédemment, chaque fournisseur livre ses flux vers les ports d'exportation d'une manière indépendante à l'autre et par la suite le temps d'arrivage des flux aux ports va être diffèrent d'un fournisseur à l'autre.

Puisque le prestataire va consolider les flux pour être livrer à ses destinations, donc il doit attendre l'arrivage de tous les flux ce qui peut engendrer un dépassement de la durée de séjour selon la durée fixée.

Dans le cas avec mutualisation, on va chercher à localiser des centres de mutualisation qui sert à minimiser le coût de transport tout en respectant la contrainte de temps exigée par l'agent (un service de temps exigé STR).

La durée de séjour varie de 3 à 5 jours au maximum pour que les flux soient dans les ports

pour chaque plateforme portuaire d'une façon arbitraire (3 jours, ou bien 4 jours, ou bien 5 jours) de telle sorte que le temps d'acheminement des flux de la ville fournisseur vers la plateforme de mutualisation avec le temps de chargement déchargement, avec le temps d'acheminement des

flux du PM vers la plateforme portuaire d'expédition satisfaire les exigences de temps de service  $(t_s)$ .

$$P_{nm}(t_{nm}) + q_{md}(t_{md}) + t_{cd} \le t_s \ \forall m \in N', \forall d \in D$$

Donc l'ensemble des flux sortants d'un fournisseur vers la plateforme de mutualisation et les flux sortants de cette plateforme doivent atteindre la PPE par apport à un intervalle de temps  $[t_r, t_{dr}]$ , la longueur de cet intervalle est  $t_s$ .

### b. Les coûts de transport

Les coûts engendrés dans un réseau de transport multimodal sont respectivement :

- le coût fixe correspond relativement au coût potentiel de l'ouverture d'une installation.
- Le coût variable correspond relativement au coût de chargement déchargement des flux.
- Le coût de transport correspond relativement au coût d'acheminement des flux d'un point de départ à un point de destination.

 $f_m$ et  $g_m$  dénotent respectivement le coût fixe d'ouverture du plate forme de mutualisation et le coût variable d'exploitation qui dépend de la quantité à charger et décharger.

Le coût de transport est calculé par une fonction f(p, d) dont p est la quantité transportée et d la distance :

$$f(p, d) = d (a*p + b)$$

Lors de la livraison qui a besoin de plusieurs camions, la fonction de coût de transport est en linéaire par morceaux.

### > Fonction linéaire par morceau :

La fonction de transport linéaire par morceaux dépend de la quantité transportée et la distance parcourue où le coût de transport augmente pour les petites quantités et diminue quand la charge augmente.

(Croxton et al, 2003) proposent trois types de modélisations de la fonction linéaire par morceaux et montrent que leur relaxation linéaire est équivalente, donc le modèle de choix multiple est choisi dans notre cas car le coût de transport dépend de la quantité de flux sur l'arc a ( $x_a$ ). Chaque segment  $s \in S$  est caractérisé par un intervalle de charge [Li, Ls], un coefficient directeur  $a_s$ et une ordonnée à l'origine $b_s$ . Soit q une quantité de chargement dont on souhaite évaluer le coût de transport grâce à la fonction linéaire par morceau.

$$ightharpoonup Y_a^s = 1 \text{ si Li} \le q \le \text{Ls} ; 0 \text{ si non.}$$

 $ightharpoonup Z_a^s = q \text{ si Li} \le q \le \text{Ls}$ ; 0 si non.

Le coût de transport est calculé ainsi : CT ( $x_a$ ) =  $\sum_{s \in S} (a_s Z_a^s + b_s Y_a^s)$ 

 $Y_a^s \leq 1$  (1) Les contraintes à satisfaire :

Li 
$$Y_a^s \le Z_a^s \le Ls Y_a^s(2)$$

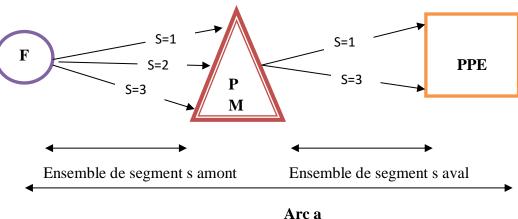
La contrainte (1) désigne qu'au plus un seul segment et choisi, la contrainte (2) est une contrainte de satisfaction de la capacité.

Concernant la fonction de coût étudié dans notre cas ; elle est modélisée comme suit

$$CT(x_a) =$$

$$\sum_{s \in S} \left( \frac{k_p - k_v}{C_s} \mathbf{Z}_a^s + k_v * s Y_a^s \right)$$

Avec $\left(\frac{k_p-k_v}{C_c}\right)$ : la pente du segment ;  $(k_v*s)$  : l'ordonnée à l'origine;  $k_p$  : coût de transport plein ;  $k_v$  : coût de transport vide ;  $C_s$  : capacité du camion.



Chaque arc a est composé d'un ensemble de segments S en amont et un ensemble de segments S en aval. Ces segments désignent l'ensemble des camions utilisés pour l'acheminement des flux du fournisseur vers les PPEs. Le transporteur peut avoir S camions sur l'arc a et il peut utiliser s camions avec s∈S. le nombre de camions à utiliser est donné par le résultat du programme. Par exemple, comme démontre la figure suivante, au niveau du fournisseur Fn; le transporteur possède 3 camions (S), donc le nombre de camions à utiliser, donné par le résultat, sera s=1 ou s=2 ou s=3. Cela veut dire 1 seul camion ou bien 2 camions ou bien 3 camions.

### 4. Modélisation

### 4.1 Contraintes et hypothèses

- Le réseau de distribution est multimodal.
- Le réseau est constitué d'un ensemble des fournisseurs, ensemble des clients, ensemble des plateformes de mutualisation et un ensemble des plateformes portuaires d'expédition.
- Les fournisseurs partagent un réseau de distribution composé d'un ensemble des clients en commun.
- Les fournisseurs se trouvent dans des zones géographiques différentes d'un seul pays.
- Les produits des différents fournisseurs sont compatibles.
- Chaque entrepôt correspond à un fournisseur.
- Les plateformes de mutualisation sont choisies parmi les entrepôts des fournisseurs.
- La distance d'une usine d'un fournisseur vers son entrepôt soit égale à 15km.
- Le transport des flux dans le réseau est à la garde d'un prestataire logistique.
- Le prestataire logistique utilise le même type de camion pour le transport des marchandises.
- Le prestataire logistique admet une plateforme portuaire dans chaque port dans la zone.
- Plusieurs ports maritimes existent dans la zone.
- Chaque plateforme de mutualisation admet une capacité.
- Chaque plateforme portuaire d'expédition admet une capacité.
- Chaque plateforme portuaire d'expédition admet une date d'expédition.
- la durée moyenne de séjour d'un conteneur dans un port est comprise entre 3 et 5 jours.
- La livraison depuis les fournisseurs vers les plateformes de mutualisation se fait en direct.
- La livraison depuis les plateformes de mutualisation vers les plateformes portuaires se fait en direct.
- Chaque fournisseur doit livrer vers une seule plateforme de mutualisation.
- Chaque plateforme de mutualisation s'opère comme une plateforme de « cross-docking ».
- Chaque hub de cross-docking admet un temps de chargement déchargement (soit un jour).
- Chaque plateforme de mutualisation peut être livrée par plusieurs fournisseurs.
- La quantité expédiée vers la plateforme de mutualisation ne doit pas dépasser sa capacité.
- Chaque plateforme de mutualisation doit livrer vers une seule plateforme portuaire.
- Chaque plateforme portuaire peut être livrée par plusieurs plateformes de mutualisation
- La quantité expédiée vers la plateforme portuaire ne doit pas dépasser sa capacité.

### 4.2 Les groupes

 $N:\{1,...,n\}$ : ensemble des points (les villes) dans le réseau ; et tant à la fois des points d'offre (fournisseurs) et en partie des points éligibles à l'ouverture des plateformes de mutualisation.

 $N': \{1, ..., m\}$ : sous ensemble N contenant les points ou villes éligibles à l'ouverture.

N'∈ N

 $\mathbf{D}: \{1, ..., d\}$ : ensemble des plateformes portuaires d'expédition.

### 4.3 Les paramètres

**n**: Indice de fournisseur.

m: Indice des plateformes de mutualisation.

**d**: Indice des plateformes portuaires.

**A**: Ensemble des arcs.

**Au**: Sous ensemble des arcs de flux en amont [n, m].

**Ad**: Sous ensemble des arcs de flux en aval [m, d].

a: Un arc de A.

**Da**: Distance d'un arc a.

 $R_n$ : Offre de la ville fournisseur n.

 $C_p$ : Capacité de la plateforme portuaire d'expédition.

 $t_{nm}$ : Temps d'acheminement du camion du point n vers m.

 $t_{md}$ : Temps d'acheminement du camion du point m vers d.

t<sub>s</sub>: La durée moyenne de séjour

 $T_{cd}$ : Temps de chargement déchargement.

 $f_m$ : Coût fixe d'exploitation de la plateforme de mutualisation de la ville m est ouvert ; il peut être considéré constant s'il est indépendant de la zone géographique.

 $g_m$ :.Coût variable d'exploitation ; il dépend de nombre de palette charge et décharge. C'est le coût de chargement déchargement (D/palette).

 $d_{nm}$ : Distance entre la ville n et les villes m.

 $d_{md}$ : Distance entre ville m et PPE

 $C_s$ : Capacité du camion utilisé pour l'acheminement de m vers d

 $k_{\nu}$ : Coût de transport à vide

 $k_p$ : Coût de transport plein

 $S_a$ : Nombre de segments sur l'arc a

s: Segment linéaire par morceau. Segment s = nombre des camions

L<sub>i</sub>: Limite inférieure de flux sur le segment s

 $L_s$ :Limite supérieure de flux sur le segment s

**Z**: large constante

### 4.4 Variables de décision

 $x_a$ : Quantité du flux sur l'arc a [n, m] / [m,d]  $\in$  a

 $P_{nm}$ : variable binaire  $\{0,1\}$ : si la ville n livre vers la ville m

 $Q_{md}$ : variable binaire  $\{0,1\}$ : si la ville m livre vers une plateforme portuaire d'expédition

 $K_m$ : variable binaire  $\{0,1\}$ : Si la plateforme de mutualisation de la ville m est ouverte.

 $Y_a^s$ : variable binaire:  $\{0,1\}$ : Si le camion s est choisi sur l'arc a

 $Z_a^s$ : Quantité du flux sur le segment s  $\in$  l'arc a

### 4.5 Le modèle linéaire

$$\min z \sum_{nm \in Au} \left[ \ d_{nm} \ CT(x_{nm}) \right] + \sum_{md \in Ad} \left[ d_{md} \ CT(x_{md}) \right] + \\ \sum_{m \in N'} f_m K_m + \sum_{n \in N} x_{nm} \ g_m$$

Avec CT  $(x_a) =$ 

$$\sum_{S \in S} \left( \frac{k_p - k_v}{C_S} \mathbf{Z}_a^s + k_v * s Y_a^s \right)$$

### **Les sous contraintes :**

> Contraintes de satisfaction de la demande

$$\sum_{m \in N'} x_{nm} \le R_n \ \forall \ n \in N \quad (1)$$

$$\sum_{m \in N'} x_{md} \le C_p \ \forall \ d \in D \quad (2)$$

$$\sum_{n \in N} x_{nm} = \sum_{d \in D} x_{md} \ \forall \ m \in N' \quad (3)$$

Contraintes d'affectation

$$\sum_{m \in N'} P_{nm} = 1 \ \forall n \in N \quad (4)$$

$$P_{nm} \in \{0,1\} \ \forall \ n \in \mathbb{N}; \ \forall m \in \mathbb{N}'(5)$$

$$x_{nm} \le P_{nm} \times Z \forall n \in N; \forall m \in N'(6)$$

$$\sum_{n \in \mathbb{N}} x_{nm} \le C_m \times K_m \, \forall \, m \in \mathbb{N}' \quad (7)$$

$$\sum_{l \in \mathbb{N}} q_{md} = 1 \, \forall \, m \in \mathbb{N}' \quad (8)$$

$$P_{nm}(t_{nm}) + q_{md}(t_{md}) + t_{cd} \le t_s \ \forall m \in N', \forall d \in D \ \ (9)$$

➤ Contrainte d'ouverture

$$x_{nm} \le k_m * Z \forall n \in N \forall m \in N'$$
 (10)  

$$\sum_{m \in N'} K_m = \bar{k}$$
 (11)  
 $k_m \in \{0,1\}$  (12)

➤ Contrainte de linéarisation par morceaux pour le coût de transport

$$l_i^s y_a^s \le z_a^s \le l_s^s y_a^s \quad \forall a \in A, \forall s \in S_a$$
 (13)

$$x_a = \sum_{s \in S_a} z_a^s \ \forall \ a \in A \ (14)$$

$$y_a^s \in \{0,1\} \, \forall a \in A; \, \forall s \in S_a$$
 (15)

$$\sum_{s \in S_a} y_a^s \le 1 \,\forall a \in A \ (15)$$

### 4.6 Description des contraintes

- La contrainte 1: désigne que la somme des quantités expédiées du fournisseur vers les plateformes des mutualisations est inférieure ou égale à l'offre de ce dernier.
- La contrainte 2: La somme des quantités expédiées de l'ensemble des plateformes de mutualisation vers la plateforme portuaire d'expédition est inférieure ou égale à sa capacité.
- La contrainte 3: La quantité des flux entrante vers la plateforme de mutualisation est égale à la quantité sortante de la plateforme.
- La contrainte 4: Chaque fournisseur doit livrer vers une seule plateforme de mutualisation.
- Les contraintes 5 et 6: tous les flux sont consolidés dans la plateforme de mutualisation.
- ➤ La contrainte 7: La quantité du flux expédiée vers la plateforme de mutualisation ne doit pas dépasser sa capacité.
- La contrainte 8: Chaque plateforme de mutualisation doit livrer vers une seule plateforme portuaire d'expédition.
- ➤ La contrainte 9: Le temps d'acheminement d'un fournisseur vers la plateforme de mutualisation + le temps d'acheminement dès la plateforme de mutualisation vers la plateforme portuaire d'expédition + le temps de chargement et déchargement dans la (PM) doit être inférieur ou égale à la rotation d'expédition disponible dans cette plateforme.
- Les contraintes 10 et 11: les flux doivent passer par des plateformes de mutualisation ouvertes.
- La contrainte 12; la quantité de flux expédié sur le segment s ne doit pas dépasser sa capacité.
- La contrainte 13: la quantité de flux sur l'arc a est égale à la somme des flux sur les segments s.
- Les contraintes 14 et 15: maximum un seul segment est choisi sur l'arc a pour l'acheminement des flux.

### 5. Construction de l'instance

L'instance que nous avons préparée est constituée d'un ensemble de données prises au hasard. Elle contient les éléments suivants :

- Nombre de villes fournisseurs
- Nombre de villes éligibles à l'ouverture
- Offre de chaque ville fournisseur
- Capacité de chaque plateforme portuaire
- Capacité des plateformes de mutualisation
- Coût de transport avec toutes ses composantes
- Coût d'ouverture et coût de chargement/déchargement
- Distance entre les villes fournisseurs
- Temps de parcours entre les villes fournisseurs
- Distance parcourue entre la ville éligible à l'ouverture et le port maritime
- Temps de parcours entre la ville éligible à l'ouverture et le port maritime

Tableau 4: Offre fournisseur.

Fournisseur	F1	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F</b> 4	F5	<b>F6</b>	<b>F7</b>	F8	<b>F9</b>	F10
Offre	50	43	60	55	52	33	31	43	44	61

Les entrepôts des fournisseurs et les plateformes portuaires possèdent des capacités:

Tableau 5: Capacité des entrepôts.

Entrepôts	Capacité
E1	400
E2	210
E3	321
E4	400
E5	605
E6	120
E7	780
E8	965
E9	857

E10	989

Tableau 6: Capacité des plateformes portuaires.

Plateformes Portuaires	Capacité
P1	500
P2	370

Concernant la distance entre les villes fournisseurs, l'hypothèse que nous avons proposée concerne la distance dans la ville fournisseur, c'est-à-dire de l'usine vers son entrepôt qui est égale à 15km et la distance entre les villes fournisseurs qui est différente de 15km.

Tableau 7: Distance entre les villes fournisseurs.

Dist VF	F1	F2	<b>F3</b>	F4	F5	<b>F6</b>	F7	F8	F9	F10
F1	15	50	90	40	20	30	60	71	85	45
F2	50	15	32	90	86	55	40	33	28	95
F3	90	32	15	45	30	17	55	60	28	20
F4	40	90	45	15	20	35	40	52	70	61
F5	20	86	30	20	15	35	25	35	40	20
<b>F6</b>	30	55	17	35	35	15	22	60	50	25
F7	60	40	55	40	25	22	15	30	60	38
F8	71	33	60	52	50	60	30	15	50	45
F9	85	28	82	70	40	50	60	50	15	52
F10	45	95	25	61	20	25	38	45	52	15

Dans la contrainte des exigences du temps de service; nous avons converti les distances en temps (unité: min/km) tout en supposant que les camions circulent avec une vitesse moyenne égale à 50 km/h et qu'ils déparent à t=0.

Tableau 8: Temps de parcours entre les villes fournisseurs.

Temps	F1	F2	F3	F4	F5	<b>F6</b>	<b>F</b> 7	F8	F9	F10
F1	18	60	108	48	24	36	72	85	102	54
F2	60	18	38.4	108	103.6	66	48	39.6	33.6	114
F3	108	38.4	18	54	36	20.4	66	72	33.6	24

F4	48	108	54	18	24	42	48	62.4	84	73.2
F5	24	103.6	36	24	18	42	30	42	48	24
<b>F6</b>	36	66	20.4	42	42	18	26.4	72	48	45.6
F7	72	48	66	48	30	26.4	18	36	72	45.6
F8	85	39.6	72	62.4	42	72	36	18	60	54
F9	102	33.6	33.6	84	48	48	72	60	18	62.4
F10	54	114	24	73.2	24	45.6	45.6	54	62.4	18

De même pour la distance parcourue entre les plateformes de mutualisation et chaque port d'expédition:

Tableau 9: Distance parcourue entre la ville éligible à l'ouverture et le port maritime.

Dist PM/P	P1	P2
PM1	100	130
PM2	90	120
PM3	80	120
PM4	120	150
PM5	105	135
PM6	60	90
PM7	77	170
PM8	80	125
PM9	90	120
PM10	70	100

Le temps de parcours entre les villes éligibles à l'ouverture et le port d'expédition est présenté dans le tableau suivant:

Tableau 10: Temps de parcours entre les villes éligibles à l'ouverture et le port maritime.

Temps PM/P	P1	P2
PM1	120	156
PM2	55	45
PM3	44	144
PM4	96	66
PM5	126	162
PM6	72	108
PM7	66	69
PM8	22	71
PM9	108	144
PM10	84	120

Les coûts liés aux plateformes de mutualisation sont présentés dans le tableau suivant:

Tableau 11: Coût d'ouverture et coût de chargement/déchargement.

Chapitre 3 : Modélisation et résolution.

Coûts	Coût d'ouverture	Coût de charg/décharg
PMs		
PM1	680	5
PM2	300	5
PM3	520	5
PM4	950	5
PM5	800	5
PM6	800	5
PM7	1000	5
PM8	710	5
PM9	650	5
PM10	1200	5

Les coûts de transport sont:

Tableau 12: Coûts de transport.

Coût de transport à vide	Coût de transport plein
1.5	0.5

Comme est décrit précédemment, chaque arc est composé d'un ensemble de segment S en amont et un ensemble de segment s en aval. Ces segments présentent le nombre de camions qu'il possède le prestataire au niveau de chaque fournisseur pour le transport des flux.

Tableau 13: Nombre de segment S.

Segment S Fournisseurs	Nombre de segment
F1	3
F2	2
F3	2
F4	3
F5	1

<b>F</b> 6	3
F7	1
F8	3
F9	2
F10	2

Chaque camion s possède une limite inférieure et une limite supérieure de nombre de palettes à transporter.

Tableau 14: Les limites inferieures et supérieurs des camions pour chaque fournisseur.

Limite des segments Fournisseurs	Limite inf des segments	Limite sup des segments
F1	3	36
F2	2	35
F3	2	35
F4	3	36
F5	2	35
<b>F6</b>	2	35
<b>F7</b>	2	35
F8	2	35
<b>F9</b>	3	36
F10	3	36

### 6. Résultats et discussion

### 6.1 Sans mutualisation

Afin de calculer le coût de transport sans mutualisation de chaque fournisseur, on a élaboré un modèle linéaire qui optimise la partie aval du l'entrepôt vers les ports maritime tout en ajoutant le coût de transport de l'usine vers l'entrepôt plus le coût de chargement/déchargement.

Par exemple le coût du 10<sup>ème</sup> fournisseur est égal :

$$15\underbrace{\left(\frac{1.5-0.5}{33}\times61+0.5\times\frac{61}{33}\right)}_{\text{Coût de transport de l'usine vers l'entrepôt coût charg/décharg}}_{\text{Coût de transport de l'usine vers l'entrepôt coût charg/décharg}}_{\text{Coût optimisé}}$$

La fonction objectif est une fonction linéaire comme décrit précédemment  $f(\mathbf{d},\mathbf{c},\mathbf{x})$  dont p est la quantité transportée et d la distance parcourue :

$$\mathbf{f}(\mathbf{d},\mathbf{c},\mathbf{x}) = \mathbf{d}(\mathbf{a}^*\mathbf{p} + \mathbf{b}) =$$

$$\mathbf{d}\left(\frac{k_p - k_v}{c} * x + k_v * \frac{x}{c}\right)$$

Le modèle linéaire est comme suit:

Min 
$$d_{ed} \times CT(x_{ed})$$

Avec 
$$CT(x) = (\frac{k_p - k_v}{C} * x + k_v * \frac{x}{C})$$

Subject to:

$$\sum_{d} x_{ed} = R_n$$

$$x_{ed} \le C_p \ \forall d$$

$$x_{ed} \ge 0$$

Avec

 $R_n$ : offre fournisseur

 $d_{ed}$ : distance entre l'entrepot fournisseur et le port maritime

 $x_{ed}$ : variable de décision : quantité transportée de l'entrepot vers le port maritime

 $C_p$ : capacité de port maritime

Le modèle est résolu via l'optimisateur Lindo 6.1. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 15: Affichage des résultats sans mutualisation.

Fournisseur	coût de transport
F1	511.3575
F2	420.207
F3	558.885
F4	612.246
F5	543.595
F6	277.489
F7	284.622
F8	400.534
F9	429.979

F10	540.658	
	Total =	4587.915

### 6.2 Avec mutualisation

# a. Variation de la valeur de la fonction objective en fonction de la variation de la valeur de $N^\prime$

Le problème modélisé est résolu via l'optimisateur Cplex 12.8 et les résultats présentés sont obtenus à l'aide d'une machine asus x541U, un processeur core i7-7500 u 3.5 GHz et 8 Go de RAM.

Dans cette partie on va présenter l'effet de la variation du nombre de plateformes de mutualisation éligibles à l'ouverture sur la valeur de la fonction objective.

En effet, on a pris des valeurs aléatoire soit: m=5; m=6 et m=7. Le tableau suivant résume les coûts optimaux de chaque itération.

Tableau 16: Valeur de la fonction objective en fonction de la variation de nombre de N'.

FO	Valeur de la fonction objective
N-N'	
10-5	3096.96466
10-6	2685.20707
10-7	2606.71212

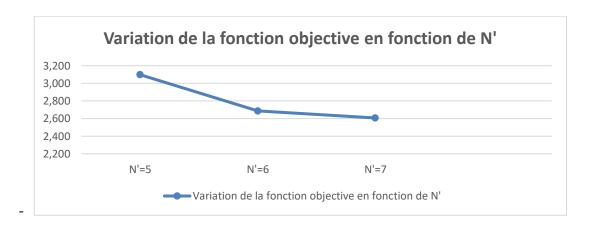


Figure 8: variation de la valeur de la fonction objective.

# b. Effet de la mutualisation logistique sur le temps de parcours des fournisseurs

Afin de comparer le temps de parcours sans et avec mutualisation on va considérer que les fournisseurs admettent le même temps de chargement /déchargement sans et avec mutualisation. On va présenter dans ce tableau l'évolution du temps de parcours total dans les deux scénarios avec et sans mutualisation.

Tableau 17: Valeur de temps de parcours total.

fournisseur	Valeur de temps de parcours	
	Sans mutualisation	Avec mutualisation
F1	1734	1620
F7	1593	1554
F9	1710	1596

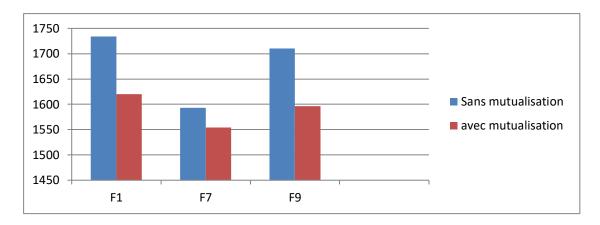


Figure 9: Variation du temps du parcours total.

## c. Interprétation des résultats

L'objectif principal de la mutualisation logistique est la réduction du coût de transport en particulier ainsi que la réduction de l'émission de CO2 par le biais de collaboration des différents acteurs de la chaine logistique en terme des ressources partagés (moyen de transport, entrepôt, etc...), le partage des risques et la prise de décision. Tout est approuvé par les résultats obtenus dans ce travail où ils apparaissent que la mutualisation logistique entraine une diminution du coût de transport dont le coût du premier scénario est égal à 4578.915 et le coût du deuxième scénario avec N'=6 est égal à 2685.20707. Cela signifie que le coût de transport avec mutualisation présente une baisse du 41.35% par rapport au coût de transport sans mutualisation.

Les plateformes ouvertes sont m2 et m6 dont les fournisseurs F1, F3, F4, F5, F6, F7, F8 et F10 livrent ses flux vers m2 alors que les fournisseurs F2 et F9 livrent ses flux vers m6. Au niveau des plateformes portuaires ayant des valeurs de  $\mathbf{t_s}$  qui diffèrent d'une plateforme à une autre (3 et 6), les résultats montrent que les plateformes de mutualisation livrent vers la plateforme portuaire ayant un  $\mathbf{t_s}$  le plus petit.

En ce qui concerne la variation de la valeur de la fonction objective en fonction de la variation du nombre des plateformes éligibles à l'ouverture, on constate une réduction des coûts à chaque fois qu'on augmente le nombre des N'. Ceci peut être expliqué par le fait que le solveur à la chance d'exécuter une instance ayant plus des possibilités pour fournir une meilleure solution et vice versa. Donc on peut retenir que plus qu'on augmente le nombre des plateformes éligibles à l'ouverture plus qu'on a une grande chance d'obtenir un meilleur résultat (figure 8).

Aussi bien; on constate une réduction du temps du parcours où le fournisseur F1 a besoin 1734 minutes pour transporter ses flux du son usine vers son entrepôt (18 minutes), le temps de chargement déchargement dans l'entrepôt (1440) et ensuite de son entrepôt vers le premier port (120 minutes) et vers le deuxième port (156 minutes) alors que avec mutualisation il a besoin juste 1620 minutes pour transporter ses flux du son usine vers la plateforme de mutualisation m2 (120 minutes), le temps de chargement déchargement dans la plateforme ( 1440) et de la plateforme vers le port (60 minutes) (figure 9).

# 6.3 Implémentation du modèle avec d'autres instances

Afin d'étudier l'efficacité du modèle, on a essayé de gérer plusieurs instances où à chaque fois on augmente le nombre des fournisseurs soit: 8, 11, 12 et 13.

Ensuite, on a varié le nombre des sites éligibles à l'ouverture pour dégager les différentes variations tels que : la valeur de la fonction objective et le temps d'exécution.

# 6.3.1 Etude de la 1ère instance

#### **6.3.1.1** Sans mutualisation

Au niveau de cette instance, on va étudier la mutualisation logistique avec 8 fournisseurs où les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Fournisseur coût de transport 511.3575 **F1 F2** 420.207 **F3** 558.885 **F4** 612.246 **F5** 543.595 **F6** 277.489 **F7** 284.622 **F8** 400.534 **Total** 3608.938

Tableau 18: Coût de transport total.

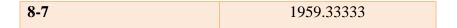
#### **6.3.1.2** Avec mutualisation

a. Variation de la valeur de la fonction objective en fonction de la variation de la valeur de  $N^\prime$ 

Le tableau suivant résume les coûts optimaux pour m=5; m=6 et m=7.

Tableau 19: Valeur de la fonction objective en fonction de la variation de nombre de N'.

FO	Valeur de la fonction
N-N'	objective
8-5	3363.70202
8-6	2812.24242



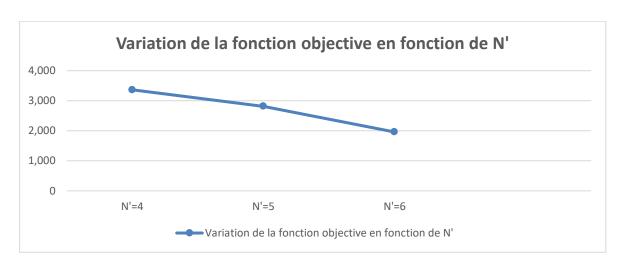


Figure 10 : variation de la valeur de la fonction objective.

# b. Effet de la mutualisation logistique sur le temps de parcours des fournisseurs

Le tableau suivant présente l'évolution du temps de parcours total dans les deux scénarios avec et sans mutualisation :

Tableau 20: Valeur de temps de parcours total.

Fournisseur	Valeur de temps de parcours	
	Sans mutualisation	Avec mutualisation
F1	1734	1620
F3	1646	1502
F8	1551	1501 .6

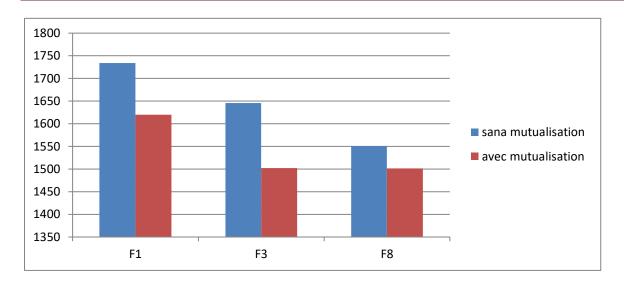


Figure 11: Variation du temps du parcours total

### c. Interprétation des résultats

On constate d'après ces résultats que la mutualisation logistique entraine une diminution du coût de transport dont le coût du premier scénario est égal à 3608.936 et le coût du deuxième scénario avec N'=5 est égal à 3363.70202. Cela signifie que le coût de transport avec mutualisation présente une baisse du 6.79% par rapport au coût de transport sans mutualisation.

Les plateformes ouvertes sont m2 et m3 et m5 dont les fournisseurs F1, F2, F4, F5, F6, F8 livrent ses flux vers m2 alors que les fournisseurs F3 et F7 livrent ses flux respectivement vers m3 et m5. Concernant l'affectation des plateformes de mutualisation aux ports maritimes, les résultats montrent toujours que les plateformes de mutualisation livrent vers la plateforme portuaire ayant un  $t_s$  le plus petit (3).

En ce qui concerne la variation de la valeur de la fonction objective en fonction de la variation du nombre des plateformes éligibles à l'ouverture, on constate une réduction des coûts à chaque fois qu'on augmente le nombre des N'. Ceci peut être expliqué par le fait que le solveur à la chance d'exécuter une instance ayant plus des possibilités pour fournir une meilleure solution et vice versa. Donc on peut retenir que plus qu'on augmente le nombre des plateformes éligibles à l'ouverture plus qu'on a une grande chance d'obtenir un meilleur résultat (figure 10).

Aussi bien; on constate une réduction du temps du parcours où le fournisseur F8 a besoin 1551 minutes pour transporter ses flux du son usine vers son entrepôt (18 minutes), le temps de chargement déchargement dans l'entrepôt (1440) et ensuite de son entrepôt vers le premier port (22 minutes) et vers le deuxième port (71 minutes) alors que avec mutualisation il a besoin juste 1501,6 minutes pour transporter ses flux du son usine vers la plateforme de mutualisation m2 (22

minutes), le temps de chargement déchargement dans la plateforme (1440) et de la plateforme vers le port (39,6 minutes) (figure 11).

### 6.3.2 Etude de la 2ème instance

## **6.3.2.1** Sans mutualisation

Au niveau de cette instance, on va étudier la mutualisation logistique avec 11 fournisseurs où les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 21: Coût de transport total

Fournisseur	coût de transport
F1	511.3575
F2	420.207
F3	558.885
F4	612.246
F5	543.595
<b>F6</b>	277.489
F7	284.622
F8	400.534
F9	429.979
F10	540.658
F11	783.956
Total	5362.871

### 6.3.2.2 Avec mutualisation

a. Variation de la valeur de la fonction objective en fonction de la variation de la valeur de  $N^{\prime}$ 

Le tableau suivant résume les coûts optimaux pour m=5; m=6 et m=7.

Tableau 22: Valeur de la fonction objective en fonction de la variation de nombre de N'.

FO	Valeur de la fonction
N-N'	objective
11-5	3230.28427
11-6	2892.98485
11-7	2076.8434

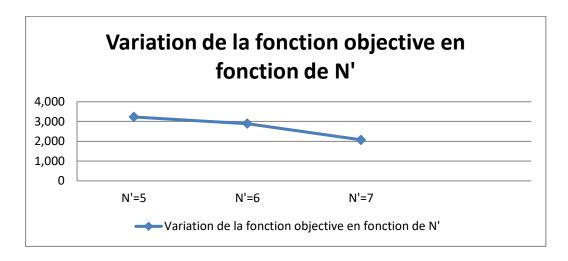


Figure 12 : Variation de la valeur de la fonction objective.

# b. Effet de la mutualisation logistique sur le temps de parcours des fournisseurs

Le tableau suivant présente l'évolution du temps de parcours total dans les deux scénarios avec et sans mutualisation :

Fournisseur	Valeur d	Valeur de temps de parcours	
	Sans mutualisation	Avec mutualisation	
<b>F</b> 6	1638	1532,4	
F7	1593	1536	
F9	1710	1501 .6	

Tableau 23: Valeur de temps de parcours total.

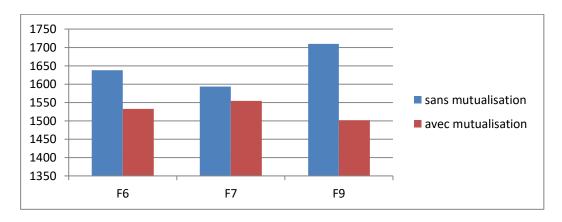


Figure 13: Variation du temps du parcours total.

# c. Interprétation des résultats

On constate d'après ces résultats que la mutualisation logistique entraine une diminution du coût de transport dont le coût du premier scénario est égal à 5362,871 et le coût du deuxième scénario

avec N'=5 est égal 3230,28427. Cela signifie que le coût de transport avec mutualisation présente une baisse du 39,76% par rapport au coût de transport sans mutualisation.

Les plateformes ouvertes sont m2, m3, m4 et m5 dont les fournisseurs F1 et F8 livrent ses flux vers m2 alors que les fournisseurs F3, F4, F6, F10 et F10 livrent ses flux vers m3, F9 vers m4 et F1, F5 et F7 vers m5. Concernant l'affectation des plateformes de mutualisation aux ports maritimes, les résultats montrent toujours que les plateformes de mutualisation livrent vers la plateforme portuaire ayant un  $t_s$  le plus petit (3).

En ce qui concerne la variation de la valeur de la fonction objective en fonction de la variation du nombre des plateformes éligibles à l'ouverture, on constate une réduction des coûts à chaque fois qu'on augmente le nombre des N' (figure 12).

Aussi bien; on constate une réduction du temps du parcours où le fournisseur F7 a besoin 1593 minutes pour transporter ses flux du son usine vers son entrepôt (18 minutes), le temps de chargement déchargement dans l'entrepôt (1440) et ensuite de son entrepôt vers le premier port (66 minutes) et vers le deuxième port (69 minutes) alors que avec mutualisation il a besoin juste 1536 minutes pour transporter ses flux du son usine vers la plateforme de mutualisation m5 (30 minutes), le temps de chargement déchargement dans la plateforme ( 1440) et de la plateforme vers le port (66 minutes) (figure 13).

## 6.3.3 Etude de la 3<sup>ème</sup> instance

### **6.3.3.1** Sans mutualisation

Cette instance est constituée de 12 fournisseurs dont on va présenter leur coût de transport total dans le tableau suivant:

Fournisseur coût de transport **F1** 511.3575 **F2** 420.207 **F3** 558.885 **F4** 612.246 **F5** 543.595 **F6** 277.489 **F7** 284.622 **F8** 400.534

Tableau 24 : Coût de transport total.

F9	429.979
F10	540.658
F11	783.956
F12	410.424
Total	5773.295

**6.3.3.2** Avec mutualisation

a. Variation de la valeur de la fonction objective en fonction de la variation de la valeur de  $N^\prime$ 

Le tableau suivant résume les coûts optimaux pour m=5; m=6 et m=7.

Tableau 25: Valeur de la fonction objective en fonction de la variation de nombre de N'.

FO	Valeur de la fonction objective	
N-N'		
12-5	3946.89235	
12-6	3558.60173	
12-7	2892.98485	

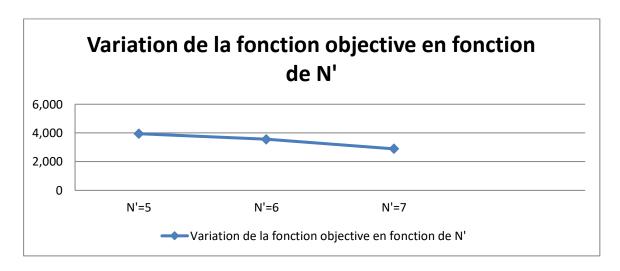


Figure 14 : Variation de la valeur de la fonction objective.

# b. Effet de la mutualisation logistique sur le temps de parcours des fournisseurs

Le tableau suivant présente l'évolution du temps de parcours total dans les deux scénarios avec et sans mutualisation :

Fournisseur	Valeur de temps de parcours	
	Sans mutualisation	Avec mutualisation
F4	1620	1590
F11	1731,6	1617,6
F12	1698	1647,6

Tableau 26: Valeur de temps de parcours total.

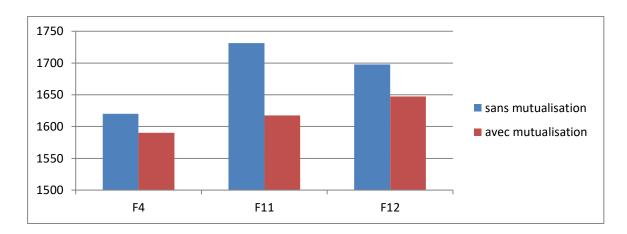


Figure 15: Variation du temps du parcours total

## c. Interprétation des résultats

On constate d'après ces résultats que la mutualisation logistique entraine une diminution du coût de transport dont le coût du premier scénario est égal à 5773,295 et le coût du deuxième scénario avec N'=5 est égal 3946,89235. Cela signifie que le coût de transport avec mutualisation présente une baisse du 31,63% par rapport au coût de transport sans mutualisation.

Les plateformes ouvertes sont m2, m3, m4 et m5 dont les fournisseurs F1, F2 et F11 livrent ses flux vers m2 alors que les fournisseurs F3 et F4 livrent ses flux vers m3, F6, F7, F9 et F10 vers m4 et F5, F8 et F12 vers m5. Concernant l'affectation des plateformes de mutualisation aux ports maritimes, les résultats montrent toujours que les plateformes de mutualisation livrent vers la plateforme portuaire ayant un t<sub>s</sub> le plus petit (3).

En ce qui concerne la variation de la valeur de la fonction objective en fonction de la variation du nombre des plateformes éligibles à l'ouverture, on constate une réduction des coûts à chaque fois qu'on augmente le nombre des N' (figure 14).

Aussi bien ; on constate une réduction du temps du parcours où le fournisseur F12 a besoin 1698 minutes pour transporter ses flux du son usine vers son entrepôt (18 minutes), le temps de

# Chapitre 3 : Modélisation et résolution.

chargement déchargement dans l'entrepôt (1440) et ensuite de son entrepôt vers le premier port (102 minutes) et vers le deuxième port (138 minutes) alors que avec mutualisation il a besoin juste 1647,6 minutes pour transporter ses flux du son usine vers la plateforme de mutualisation m5 (105,6 minutes), le temps de chargement déchargement dans la plateforme ( 1440) et de la plateforme vers le port (102 minutes) (figure 15).

# **6.3.4** Etude de 4<sup>ème</sup> instance

#### **6.3.4.1** Sans mutualisation

Cette instance est constituée de 13 fournisseurs dont on va présenter leur coût de transport total dans le tableau suivant:

Tableau 27: Coût de transport total.

Fournisseur	coût de transport
F1	511.3575
F2	420.207
F3	558.885
F4	612.246
F5	543.595
<b>F</b> 6	277.489
F7	284.622
F8	400.534
F9	429.979
F10	540.658
F11	783.956
F12	410.424
F13	520.845
Total	6294.14

6.3.4.2 Avec mutualisation

a. Variation de la valeur de la fonction objective en fonction de la variation de la valeur de  $N^\prime$ 

Le tableau suivant résume les coûts optimaux pour m=5; m=6 et m=7.

 $\label{eq:total_continuous_series} Tableau\ 28: Valeur\ de\ la\ fonction\ objective\ en\ fonction\ de\ la\ variation\ de\ nombre$   $\ de\ N'.$ 

FO N-N'	Valeur de la fonction objective	
13-5	3604.19839	
13-6	3178.03030	
13-7	1967.45960	

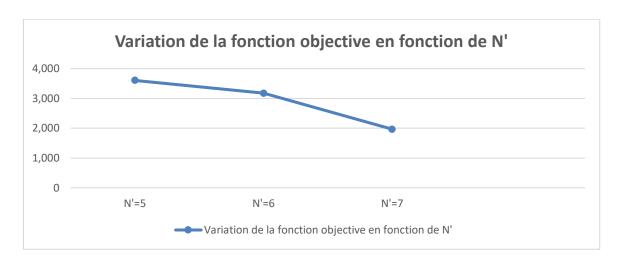


Figure 16 : Variation de la valeur de la fonction objective.

**b.** Effet de la mutualisation logistique sur le temps de parcours des fournisseurs Le tableau suivant présente l'évolution du temps de parcours total dans les deux scénarios avec et sans mutualisation :

Tableau 29: Valeur de temps de parcours total

Fournisseur	Valeur de temps de parcours	
	Sans mutualisation	Avec mutualisation
F2	1558	1554
F6	1638	1628,4
F13	1652,4	1554

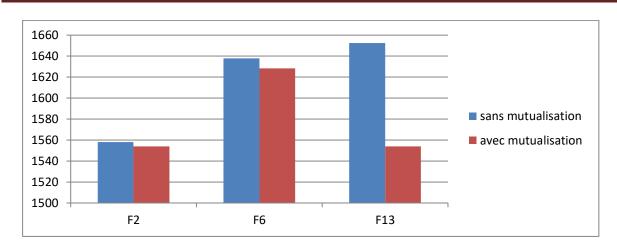


Figure 17: Variation du temps du parcours total

#### c. Interprétation des résultats

On constate d'après ces résultats que la mutualisation logistique entraine une diminution du coût de transport dont le coût du premier scénario est égal à 6294,14 et le coût du deuxième scénario avec N'=5 est égal 3604,19839. Cela signifie que le coût de transport avec mutualisation présente une baisse du 42,73% par rapport au coût de transport sans mutualisation.

Les plateformes ouvertes sont m2, m3, m4 et m5 dont les fournisseurs F1, F2 et F11 livrent ses flux vers m2 alors que les fournisseurs F3 et F4 livrent ses flux vers m3, F6, F7, F9 et F10 vers m4 et F5, F8 et F12 vers m5. Concernant l'affectation des plateformes de mutualisation aux ports maritimes les résultats montrent toujours que les plateformes de mutualisation livrent vers la plateforme portuaire ayant un t<sub>s</sub> le plus petit (3).

En ce qui concerne la variation de la valeur de la fonction objective en fonction de la variation du nombre des plateformes éligibles à l'ouverture, on constate une réduction des coûts à chaque fois qu'on augmente le nombre des N' (figure 16).

Aussi bien; on constate une réduction du temps du parcours où le fournisseur F13 a besoin 1652,4 minutes pour transporter ses flux du son usine vers son entrepôt (18 minutes), le temps de chargement déchargement dans l'entrepôt (1440) et ensuite de son entrepôt vers le premier port (79,2 minutes) et vers le deuxième port (115,2 minutes) alors que avec mutualisation il a besoin juste 1554 minutes pour transporter ses flux du son usine vers la plateforme de mutualisation m5 (109,2 minutes), le temps de chargement déchargement dans la plateforme (1440) et de la plateforme vers le port (79,2 minutes) (figure 17).

Tableau 30: Tableau récapitulatif des principaux résultats obtenu

	San	is mutualisa	tion		Avec mutualisation					
	Coût de transport	Тетр	os de parcoi	urs	Coût de transport		·t	Temps de parcours		
18	3608.936	F1	<b>F3</b>	F8	I8-5	<b>I8-6</b>	<b>I8-7</b>	F1	F3	F8
		1734	1646	1551	3363.70202	2812.24242	1959.33333	1620	1502	1501.6
	4578.915	<b>F</b> 1	<b>F7</b>	F9	I10-5	I10-6	I10-7	<b>F</b> 1	<b>F7</b>	<b>F9</b>
I10		1734	1593	1710	3096.96466	2685.20707	2606.71212	1620	1554	1596
I11	5362.871	<b>F6</b>	<b>F7</b>	F9	I11-5	I11-6	I11-7	<b>F6</b>	<b>F7</b>	F9
		1638	1593	1710	3230.28427	2892.98485	2076.8434	1532.4	1536	1501.6
		<b>F4</b>	F11	F12	I12-5	I12-6	I12-7	<b>F4</b>	F11	F12
I12	5773.295	1620	1731.6	1698	3946.89235	3558.60173	2892.98485	1590	1617.6	1647.6
I13	6294.14	F2	<b>F</b> 6	F13	I13-5	I13-6	I13-7	F2	<b>F</b> 6	F13
		1558	1638	1652.4	3604.19839	3178.03030	1967.45960	1554	1628.4	1554

# Chapitre 3 : Modélisation et résolution.

### 7. Conclusion

Tout au long de ce chapitre, nous avons pu analyser les deux situations d'un schéma de transport multimodal où une comparaison entre ces derniers nous a mené à formuler et modéliser un programme linéaire dont sa fonction objective cherche à minimiser les coûts logistiques tout en introduisant une contrainte de temps qui sert à affecter les fournisseurs au différent port maritime à partir des plateformes de mutualisation en respectant le service time requirement.

Nous avons résolu le programme par le solveur Cplex 12.8 en utilisant des instances afin d'évaluer le comportement du modèle, une variation au sein de la même instance est effectué.

Les résultats obtenus montrent une baisse significative du coût de transport dans la plupart des situations étudiées ainsi on constate une baisse du temps de parcours total de l'usine fournisseur vers les différents ports sous l'effet de la contrainte de service time requirement.

# **Conclusion Générale**

# Conclusion Générale.

Le concept de la mutualisation logistique est récemment connu dans le monde économique avec la grande distribution où les différents acteurs de la chaine logistique (fournisseurs; client, intermédiaire) cherchent à optimiser leurs coûts logistiques spécialement le coût de transport.

En effet, la mutualisation logistique apporte des nouvelles approches qui servent à minimiser le coût de transport et améliorer l'efficience logistique (taux de remplissage des camions, fréquence de livraison...).

Dans ce contexte, nous avons étudié dans ce travail la mutualisation logistique entre des fournisseurs situés dans des zones géographiques différentes tout en cherchant à optimiser le coût de transport total par la localisation des hubs de mutualisation qui sont choisis parmi les entrepôts des fournisseurs ; il s'agit d'une mutualisation dans les plateformes.

Nous avons élaboré une modélisation mathématique d'un problème de transport, basé sur le modèle de (**Pan et al, 2012**) qui traite l'aspect environnemental, dont la fonction objectif cherche à minimisé le coût de transport. Afin d'aboutir cette modélisation nous avons suivi la démarche suivante :

- ✓ Construction de deux modèles conceptuels sans et avec mutualisation.
- ✓ Description de processus de livraison des flux pour chaque modèle.
- ✓ Formulation du problème : explication de notre contribution qui est le service time requirement.
- ✓ Modélisation : présentation de différentes hypothèses sur laquelle s'articule la modélisation mathématique.
- ✓ Choix de méthode de résolution : le solveur Cplex qui permet de générer une solution exacte et fiable
- ✓ Présentation de l'instance.
- ✓ Enfin résultats et discussion.

Nous avons tenté tout au long de ce travail à trouver des résultats optimaux qui confirment l'intérêt principal de la mutualisation logistique qui est la minimisation des coûts logistiques.

Ce qui est le cas dont les principaux résultats aboutis dans cette recherche sont :

- ✓ la réduction de coût de transport.
- ✓ La réduction de temps de parcours de fournisseur.

A

Aikens, C.H. (1985), "Facility location models for distribution planning", European Journal of Operational Research 22, 263-279.

Akbari Jokar, M. R., Frein, Y., Dupont, L., (2000), "Sur l'évolution du concept de logistique", Les troisièmes rencontres internationales de la recherche en logistique, Trois rivières.

Apurva Jain, (2007), "Value of capacity pooling in supply chains with heterogeneous customers", Journal science direct 239–260.

Abdelhamid Moutaoukil, Ridha Derrouiche, Gilles Neubert, (2014), "Modélisation d'une stratégie de mutualisation logistique en intégrant les objectifs de Développement durable pour des PME agroalimentaires". 13ème Congrès international de Génie industriel (CIGI'13), La rochelle, France.

B

Banomyong, R. (2000), "Multimodal transport in South East Asia: a case study approach", PhD Thesis, Department of Maritime Studies and International Transport, v Cardiff University.

Breuzard J.P., Fromentin D, (2004), "Gestion pratique de la chaine logistique : une vision globale des outils de management et de progrès". Les éditions démos.

Ballot, E., Fontane, F, (2010), "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.

Boudahri, F.(2013), "Conception et Pilotage d'une Chaîne Logistique Agroalimentaire.Application: produits de volaille dans la ville de Tlemcen", Thèse de doctorat, université Abou-Bekr Belkaïd Tlemcen, Algérie.

C

Colin, J., Mathe, H., Tixier, D. (1983), "La logistique au service de l'entreprise", Dunod, Entreprise.

Christopher, M.L.(1992), "Logistics and supply chain management". Pitman Publishing, London.

Comité canadien directeur de l'ECR **CCDE**, (1995), "La carte routière du réapprovisionnement continu : un point de vue canadien", Laval, Oliver Wight Logistics, , 150 p.

Cooper. M.C., Douglas, M.L., Pagh, J.D, (1997). "Supply Chain Management: more than a new name for Logistics". The International Journal of Logistics Management 8 (1): 1-14.

Campisi, D. and Gastaldi, M. (1996), "Environmental protection, economic efficiency Sand intermodal competition in freight transport", Transportation Research Part C, Vol. 4, if pp. 391-406

Croxton. K. L., B. Gender, et al, (2003), "A Comparison of Mixed-Integer Programming Models for Nonconvex Piecewise Linear Cost Minimization Problems.", Management Science, 49(9), 1268-1273.

Colin. J, (2005), "Le supply chain management existe-t-il réellement?" Revue française de Gestion, Vol. 31, No. 156, p. 135-149.

Cetinkaya, (2005), "Coordination of inventory and shipment consolidation decisions: a review of premised, models, and justification". Applications of supply chain management and ecommerce research, 92:3–51.

Cullinane, K., Ji, P. and Wang, T. (2005), The relationship between privatization and DEA estimates of efficiency in the container port industry, Journal of Economics & Business, No. 57, pp. 433-462.

Cruijssen. F. C. A. M, (2006), "Horizontal Cooperation in Transport and Logistics", Open Access publications from Tilburg University No. urn:nbn:nl:ui:12-189742.

Caroline Prodhon, (2006), "Le problème de localisation-routage", Thèse de doctorat de l'Université de Technologie de Troyes, École Doctorale sciences des systèmes technologiques et organisationnels.

Chopra. S., Meindil P, (2007), "Supply chain management: Strategy, planning, and Operations", third edition, Pearson Education, Inc. New Jersey.

Cheong. M. L., Bhatnagar. R., Graves. S. C, (2007), "Logistics network design with supplier consolidation hubs and multiple shipment options". Journal of Industrial and Management Optimization, 3(1), 51

Chardine–Baumann. E, (2011)., "Modèles d'évaluation des performances économique, environnementale et sociale dans les chaînes logistiques", Thèse de doctorat, L'institut national des sciences appliquées de Lyon, France.

D

Dawe. R, (1997), "Move it fast, Eliminate Steps. Transportation and Distribution, vol 28, 67-74

Dina Rakotonarivo, Jesus Gonzalez-Feliu, Abdelkader Aoufi, Joelle Morana, (2009), "La mutualisation", Université de Lyon.

Ding. H, (2004), "Une approche d'optimisation basée sur la simulation pour la conception des chaînes logistiques : Applications dans les industries automobile et textile", Thèse de Doctorat, université de Metz.

E

Elhami. I, (2006), "Modélisation et commande des systèmes de chaine logistique par les réseaux de Pétrie et l'algèbre des dioides". Thèse de doctorat obtenue à l'université de technologie de Belfort Montbéliard et de l'université de Franche Comté.

ECR (2013), "Baromètre 2013 de la mutualisation logistique", ECR France.

F

Faust, P. (1985), "Multimodal transport" in Beth, H.L. (Ed.), Port Management Textbook - Containerization, Bremen: Institute of Shipping Economics and Logistics, Borsenhof A, Am Dom, pp.219-232.

Fabbe-Costes. N, (2007), "La gestion des chaînes logistiques multi-acteurs : les dimensions organisationnelles d'une gestion lean et agile", in : G. Paché et A.

Francois. J, (2007), "Planification des chaînes logistiques : Modélisation du système décisionnel et performance", Thèse de doctorat, École doctorale des sciences physiques et de l'ingénieur, Université Bordeaux 1, France.

G

Ghiani. G, Laporte. G, and Musmanno. R, (2004), "Introduction to logistics systems planning and control", John Wiley & Sons, Ltd, New York, first edition.

Groothedde Bas, CeesRuijgrok, LóriTavasszy, (2005), "Towards collaborative, intermodal hub networks: A case study in the fast moving consumer goods market", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Volume 41, Issue 6, 567-583.

Gonzalez-Feliu. J., Morana. J. (2012), "A la recherche d'une mutualisation des livraisons en milieu urbain : le cas du groupe NMPP", Revue française de Gestion industrielle, vol. 29, n° 2, pp. 71-92.

H

Heskett. J.L., Ivie. R.M., Glakowsky. N.A. (1973), "Business logistics". New York, the Ronald Press Company.

Hall. R. W, (1987), "Consolidation strategy: inventory, vehicles and terminals". Journal of Business Logistics, 8:57–73.

Houlihan. J.B., (1988), "International supply chains: a new approach". Management Decision 26 (3): 13-19.

Hart. S and Mas-Colell, A. (1989), "Potential, value, and consistency", Econometrica: Journal of the Econometric Society, 589;614.

Hoeks (2010), "Marian Multimodal Transport Law – The Law Applicable to the Multimodal Contract for the Carriage of Goods", Volume 6, Kluwer Law International,.

Higginson. J. K, Bookbinder. J. H, (1994), "Policy recommendations for a shipment consolidation program", Journal of Business Logistics, 15:87–112.

J

Jones, T., Riley, D.W. (1985), "Using inventory for competitive advantage through supply chain management", International. Journal of Physical Distribution and Materials Management 15 (5): 16-26.

Jones, W. B., Cassady, C. R., Bowden Jr, R. O. (2000). "Developing a standard definition of intermodal transportation". Transp. LJ, 27, 345.

Jihène, T, (2009), "Modélisation pour la simulation de la chaîne logistique globale dans un environnement de production PME mécatroniques", Thèse de doctorat, Université de Savoie

L

La Londe, B.J., Masters, J.M. (1994), "Emerging logistics strategies: blueprints for the next century". International Journal of Physical Distribution and Logistics Management 24(7): 35-47.

Lambert, D.M., J.R. Stock, et L.M. Ellram, (1998), "Fundamentals of Logistics Management", Boston, MA: Irwin/McGraw-Hill, Chapitre 14.

Lièvre P., Tchernev N, (2004), "La logistique entre management et optimisation". Hermès Science publications. ISBN 2-7462-0945-4.

M

Magee. J.F. (1962), "Le planning de la production et le contrôle des stocks". Paris, Dunod.

Muller. G, (1995), "Intermodal Freight Transportation", 3rd Edition, Eno Transportation Foundation.

Manheim, M.L. (1979), "Fundamentals of Transportation Systems Analysis", Volume 1: • Basics Concepts, The MIT press, Cambridge, UK.

Monczka, R., Trent, R., Handfield, R. (1998), "Purchasing and Supply Chain Management". Cincinnati, OH: South-Western College Publishing.

Maliki Fouad, (2013), "Résolution d'un problème stochastique de choix des fournisseurs et location des centres de distribution lors de la conception de chaines logistique approche d'optimisation basée sur la simulation"-tlemcen.

0

Oudani Mustafa, 2016, "Optimisation des problèmes de transport multimodal"; Thèse de doctorat, Université du Havre en partenariat international avec la FST de Fès, Maroc.

Ouhader Hanen, Elkyal Malika, (2016), "A Two-Echelon Location-Routing Model for Designing a Pooled DistributionSupply Chain"; 3rd International Conference on Logistics Operations Management (GOL).

P

Pan. S, Ballot. E; Fontane. F; (2009), "The reduction of greenhouse gas emissions from freight transport by pooling supply chains.", International Conference on Industrial Engineering and Systems Management, Montreal- Canada.

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". PhD thesis. Mines Paris Tech, Paris.

Pan. S, Xiaozhou. Xu, Ballot. E (2012), "Allocation of Transportation Cost & CO2 Emission in Pooled Supply Chains Using Cooperative Game Theory." INCOM, 547-553.

Pan. S, Ballot. E, Fontane. F, Hakimi. D, (2012), "Environmental and economic issues arising from the pooling of SMEs' supply chains: case study of the food industry in Western France.", centre de Gestion Scientifique, Mines Paris Tech.

Q

QIU, X., at HUANG, G. Q, (2013), "Supply Hub in Industrial Park (SHIP): The value of freight consolidation". Computers and industrial engineering, 65(1), 16–27.

R

Rodrigue, J.P. (1996), Transportation corridors in pacific Asian urban regions, in Proceedings of: the 7l World Conference on Transport Research, Hensher, D., King, J. and Oum, T.H. (Eds.), Pergamon, Oxford, pp. 571-587.

Rognon, (2009). "Retour d'expérience CARREFOUR : Des CCC pour tendre les flux de produits secs." Supply Chain Magazine, MAI, (40): 22-24.

Rafik Makhloufi, Diego Cattaruzza, Frédéric Meuniera, Nabil Absib, Dominique Failed, (2014), "Simulation of Mutualized Urban Logistics Systems with Real-Time Management", 4th International Symposium of Transport Simulation-ISTS'14, 1-4 June 2014, Corsica, France. Transportation Research Procedia 6 (2015) 365 – 376.

S

Schijndel, W.J. and Dinwoodie, J. (2000), "Congestion and multimodal transport: a survey of cargo transport operators in the Netherlands", Transport Policy, No. 7, pp. 1 231-241.

Syam, (2002), "A model and methodologies for the location problem with logistical components." Computers & Operations Research, 29(9): 1173-1193.

SU, LI, T.Z., (2006), "A Route Choice Method for International Multimodal Transportation", Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology.

SLA. (2008), "Multimodal Transport: the practitioner's definitive guide", Singapore Logistics association with Cheong Yun Wan in Consultation with Stanley Lim and Thomas Sim, SNP International Publishing. Singapore.

Serigne et al, (2016), "Optimisation de réseaux multimodaux de transport de marchandises : état de l'art et solutions", Laboratoire de Mathématiques Appliquées du Havre 25 rue Philippe Lebon, BP 540, 76058 Le Havre cedex.

T

The Commission (1994), "Toward a national intermodal transportation system". National Commission on Intermodal Transportation. Washington, DC, p. 60.

Tixier, D., Mathe, H., Colin, J. (1998), "La logistique d'entreprise, vers un management plus compétitif". Paris: Dunod.

Tolga et al; (2007), "A brief overview of Intermodal transportation", interuniversity research center on Entreprise networks, logistics and transportation; university of montréal; C.P.6128; university de Québec à Montréal C.P. 8888.

Trudeau, A, (2008), "Planification des tournées de véhicules pour l'approvisionnement de dépanneurs", Université de Montréal.

Tuzkaya, U. R., at Önut, S. (2009), "A holonic approach based integration methodology for transportation and warehousing functions of the supply network". Computers & Industrial Engineering, 56(2), 708–723.

Trappey, C. V., Lin, G. YP., Trappey, A. JC., Liu, C. S. et Lee, W.-T. (2011), "Deriving industrial logistics hub reference models for manufacturing-based economies". Expert Systems with Applications, 38(2), 1223–1232.

U

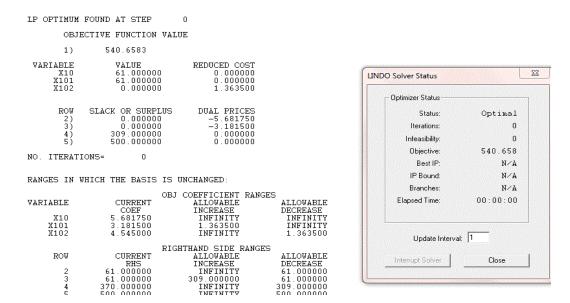
UNCTAD, (2003), "Development of Multimodal Transport and Logistics Services", 5 UNCTAD, Geneva, TD/B/COM.3/EM.20/2.

Z

Zapfel, Wasner, (2002), "Planning and optimization of hub-and-spoke transportation networks of cooperative third-party logistics providers." International Journal of Production Economics, 78(2):207-220.

```
instance (1) - Notepad
                                                                                                                                                                                                                                                                                                            File Edit Format View Help
1 0 1 0 1 1 0 1 1 0
680 0 520 0 800 800 0 710 650 0
3 2 2 3 1 3 1 3 2 2
33
400 210 321 400 605 120 780 965 857 989
15 50 90 40 20 30 60 71 85 45
50 15 32 90 86 55 40 33 28 95
90 32 15 45 30 17 55 60 28 20
40 90 45 15 20 35 40 52 70 61
20 86 30 20 15 35 25 35 40 20
45 95 25 61 20 25 38 45 52 15
100 130
90 120
80 120
120 150
105 135
60 90
77 170
80 125
90 120
500 370
3 2 2 3 2 2 2 2 3 3
36 35 35 36 35 35 35 35 36 36
50 43 60 55 52 33 31 43 44 61
18 60 108 48 24 36 72 85 102 54
60 18 38.4 108 103.6 66 48 39.6 33.6 114 108 38.4 18 54 36 20.4 66 72 33.6 24 48 108 54 18 24 42 48 62.4 84 73.2
24 103.6 36 24 18 42 30 42 48 24
36 66 20.4 42 42 18 26.4 72 48 45.6
72 48 66 48 30 26.4 18 36 72 45.6
85.2 39.6 72 62.4 42 72 36 18 60 54
```

Instance N=10



Coût de transport du 10ème fournisseur

Le fichier des données contient les différentes données stockées nécessaires pour la définition de notre programme ainsi que les différents paramètres et les variables utilisés déclarés dans une structure.

Capture d'écran sous Visual C.

```
■ C:\Users\Khalil\Documents\Visual Studio 2015\Projects\Project2\x64\Release\Project2.exe
 n=10
              |m=6
                             |d=2
 Eligible
 Cout ouverture
                             800
                                            800
                                                          710
                                                                         650
 Nombre de camions
|2
KP 1.500
KV 0
KV 0.500
CS 33
 CCD 5
                                           400
                                                          605
                                                                                       780
                                                                                                      965
                                                                                                                                   989
                                            |30
|55
|17
                                                           |71
|33
|60
                                                                         |85
|28
|28
15
50
90
40
20
30
60
71
85
45
               |32
|15
                              86
                               30
                                                                         70
|40
|50
                                                           52
               |30
|17
|55
                              |15
|35
|25
|35
                                            |35
|15
|22
                                                           35
60
30
15
50
45
                                                                          60
                                            |60
|50
|25
                                                                         |50
|15
|52
               60
               |82
|25
                              40
               |130
|120
|135
|90
|125
|120
100
80
105
 80
90
```

# Capture d'écran sous Cplex de l'instance.

Le fichier d'implémentation du modèle contient le code du modèle qui commence par le codage des variables; ensuite la fonction objectif puis les contraintes une par une. Une capture d'écran du Visual C est représentée dans la figure suivante:

```
for (int i = 0; i < n; i++)
{
    cc = 0;
    pnm[i] = IloIntVarArray(env, m);
    for (int j = 0; j < n; j++)
        if (elig[j] == 1)
        {
        std::string nomp = "P" + std::to_string(i + 1) + std::to_string(cc + 1);
        char * cstr = new char[nomp.length() + 1];
        strcpy(cstr, nomp.c_str());
        cstr[nomp.size()] = '\0';
        pnm[i][cc] = IloIntVar(env, 0, 1, cstr);

        /*IloConstraint senslPnm(pnm[i][cc] == 0);
        IloOr orpnm(env);
        orpnm.add(senslPnm);
        orpnm.add(senslPnm);
        orpnm.setName("pnm01");
        model.add(senslPnm);
        model.add(senslPnm);
        model.add(senslPnm);
        model.add(senslPnm);
        model.add(senslPnm);
        model.add(senslPnm);
        felete[] cstr;
        cc++;
    }
}
IloConstraint ssss(IloSum(pnm[i]) <= 1);
ssss.setName("sens");
model.add(ssss);</pre>
```

# Capture d'écran sous Visual C.

Une série des captures d'écran sous le solveur Cplex est représentée dans les figures suivantes:

# • Phase de lecture



Capture d'écran de l'interface de solveur Cplex

• Phase d'affichage des résultats avec mutualisation N=10

```
CAUbers/WhalmDocuments/Visual Studio 2019/Projects/ProjectZud64/Release/ProjectZese

Total (root+branch&cut) = 0.36 sec. (20.15 ticks)

Resultat: Optimal

cost1 = 2685,20707

best = 2685,20707
```

Capture d'écran sous Cplex.

```
CitylersWhaliDocumentsVisual Studio 2015Projects/ProjectZu64 ReleaselProjectZese

Total (root+branchBcut) = 0.36 sec. (20.15 ticks)

Resultat: Optimal

tost1 = 2685.20707

Dest = 2685.20707
```

Capture d'écran sous visuel C du coût de transport N=10.

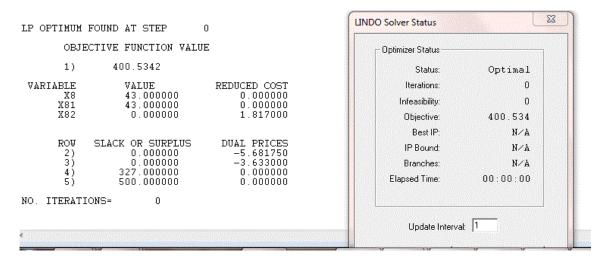
```
Les Km--
[0, 1, 0, 0, 0, 1]
 Les Pnm--
                                 0
                                            0
          1
                      0
           0
                                 0
                                            0
                      0
                                                        1
00000000
                                 0
                                                        0
                      Ø
                                            0
                                 0
                      0
                                            0
                                                        Ø
           1
                                 0
           1
                      0
                                            Ø
                                                        0
                      0
                                 0
                                            0
                                                        0
           1
                      0
                                 0
                                            0
                                                        0
           1
                                 0
                                                        0
                      0
                                            Ø
           0
                      0
                                 0
                                            0
                                                        1
                                                        0
                      0
                                 0
                                            0
```

Capture d'écran sous visuel C du Km et Pnm

```
C:\Users\Khalil\Documents\Visual Studio 2015\Projects\Project2\x64\Release\Project2.exe

Les Qmd------
[0, 0]
[1, 0]
[0, 0]
[0, 0]
[0, 0]
[1, 0]
[1, 0]
[1, 0]
[1, 0]
```

# Capture d'écran sous visuel C du Qmd



Capture du coût de transport sans mutualisation du F8 sous le solveur Lindo

• Affichage des résultats avec mutualisation N=8

```
Total (root+branch&cut) = 0.45 sec. (31.61 ticks)
Resultat: Optimal
cost1 =2812.24242
best =2812.24242
```

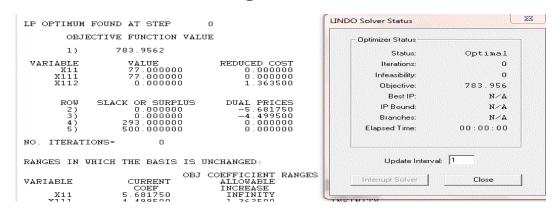
Coût de transport avec N=8

```
Les Qmd------[0, 0]
[1, 0]
[1, 0]
[0, 0]
[0, 0]
```

# Affichage de Qmd

[0, 1	Km , 1, 0, Pnm			
0	1	0	0	0
0	1	0	0	0
0	0	1	0	0
0	1	0	0	0
0	1	0	0	0
0	1	0	0	0
0	0	0	0	1
9	1	0	0	0

## Affichage de Km et Pnm



# Capture du coût de transport sans mutualisation du fournisseur F11 sous Le solveur Lindo

• Affichage des résultats avec mutualisation N=11

```
Root node processing (before b&c):

Real time = 0.39 sec. (32.66 ticks)

Parallel b&c, 4 threads:

Real time = 0.05 sec. (18.84 ticks)

Sync time (average) = 0.02 sec.

Wait time (average) = 0.00 sec.

Total (root+branch&cut) = 0.44 sec. (51.50 ticks)

Resultat: Optimal

cost1 =3230.41414

best =3230.28427
```

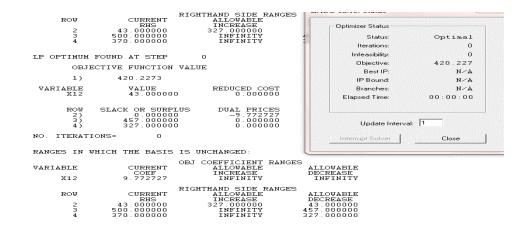
Coût de transport avec N=11

```
Les Qmd------
[0, 0]
[1, 0]
[1, 0]
[1, 0]
[1, 0]
```

Affichage de Qmd

```
Les Km------
 -0, 1, 1, 1, 1]
 Les Pnm-----
                 9
9
               0
       0
               0
                       0
                               0
- 0
                               0
       0
               1
                       0
0000
       0
               1
                       0
                               0
       0
               0
                       -0
       0
                       -0
                               0
       0
               0
                       0
                               1
               0
                       0
                               0
-0
                       1
       0
               -0
                               -0
                               0
       0
               1
                       0
        0
                       0
                               0
               1
```

## Affichage de Km et Pnm



Capture d'écran coût de transport sans mutualisation de fournisseur F12

# • Affichage des résultats avec N=12

```
Total (root+branch&cut) = 1.31 sec. (391.07 ticks)

Resultat: Optimal

cost1 = 3947.23737

best = 3946.89235
```

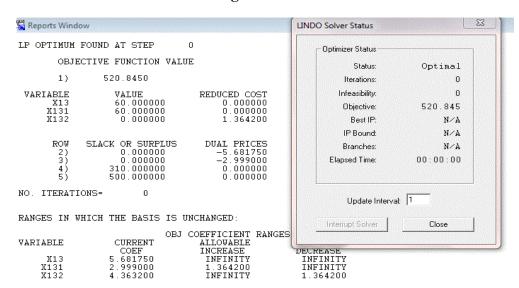
## Coût de transport avec N=12

Les <u>Qmd</u>
[1,0]
[1,0]
[1,0]
[1,0]
[1,0]

# Affichage de Qmd

Les Km						
[0, 1, 1, 1, 1]						
Les <u>Pnm</u>						
•	1	-0	-0	-0		
-0	1	0	Q	Q		
-0	0	1	0	Q		
-0	-0	1	-0	-0		
0	-0	-0	0	1		
-0	-0	0	1	-0		
-0	0	Q	1	0		
-0	0	-0	0	1		
-0	-0	-0	1	0		
-0	-0	0	1	0		
-0	1	-0	-0	0		
-0	-0	-0	0	1		

# Affichage de Km et Pnm



Capture du coût de transport sans mutualisation du 13 sous le solveur Lindo

• Affichage des résultats avec mutualisation N=13

```
Total (root+branch&cut) = 0.56 sec. (102.86 ticks)

Resultat: Optimal

cost1 = 3604.54545

best = 3604.19839
```

# coût de transport avec N=13

```
Les Qmd------
[1, 0]
[1, 0]
[1, 0]
[1, 0]
[1, 0]
```

# Affichage de Qmd

Les Km------[1, 1, 1, 1, 1]

Les Pnm					
0	-0	-0	1	-0	
1	0	0	0	0	
0	1	0	-0	-0	
-0	0	1	-0	0	
0	-0	0	1	0	
-0	-0	-0	-0	1	
0	0	1	-0	0	
0	0	0	1	-0	
0	0	1	-0	0	
-0	0	1	0	0	
0	0	1	0	0	
0	-0	0	1	0	
0	0	•	0	7	

Affichage du Pnm et Km