



Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie industriel.
Spécialité : Management industriel et logistique.

Présenté par :
ACHOUR Soufiane.
KHEMATI Mohamed Lamine.

Thème

**Simulation des flux de conteneurs chez
l'entreprise Green Algérie SPA**

Soutenu publiquement, le / / , devant le jury composé de :

M. Zaki SARI	Professeur	ESSA. Tlemcen	Président
M. Mohammed BENNEKROUF	MCB	ESSA. Tlemcen	Directeur de mémoire
M. Fouad MALIKI	MCB	ESSA. Tlemcen	Examineur 1
M. Mustapha Anwar BRAHAMI	MAA	ESSA. Tlemcen	Examineur 2

Année universitaire : 2019 /2020.

Résumé :

Le repositionnement des conteneurs vides (ECR) est l'une des questions les plus importantes dans le secteur de transport des conteneurs. Non seulement il a un effet économique sur les acteurs de la chaîne de transport, mais il a également un impact environnemental et durable sur la société puisque la réduction des mouvements de conteneurs vides permettra de diminuer la consommation du carburant et de réduire la congestion et les émissions.

Ce mémoire présente d'abord dans le premiers chapitre, les principales raisons qui provoquent le repositionnement des conteneurs vides, et les solutions aux problèmes d'ECR par l'application des canaux logistiques, qui sont classés en quatre groupes comprenant les solutions organisationnelles, les solutions intra-canaux, les solutions inter-canaux et les innovations technologiques.

Dans le deuxième chapitre, nous proposons deux modèles mathématiques et nous faisons une comparaison entre ces deux modèles, Le premier modèle représente les opérations réelles dans la plupart des réseaux de transport parce que la stratégie « street-turns » (des mouvements directs d'importateurs aux expéditeurs) a des difficultés d'implémentation. Dans le deuxième modèle, l'opération « street-turns » est considérée.

Abstract

The repositioning of empty containers (ECR) is one of the most important issues in the container transport industry. Not only does it have an economic effect on the actors of the transport chain, but it also has an environmental and sustainable impact on society since the reduction of the movements of empty containers will allow to reduce fuel consumption and reduce congestion and traffic emissions.

This thesis presents in the first chapter, the main reasons which cause the repositioning of empty containers, and the solutions to the problems of ECR by the application of the logistic channels, which are classified in four groups comprising the organizational solutions, the intra-channel solutions, inter-channel solutions and technological innovations.

In the second chapter, we propose two mathematical models and we make a comparison between these two models. The first model represents the real operations in most transport networks because the "street-turns" strategy (direct movements of importers to senders) has implementation difficulties. In the second model, the operation "street-turns" is considered.

نبذة مختصرة

تعد إعادة وضع الحاويات الفارغة (ECR) من أهم القضايا في صناعة نقل الحاويات. ليس لها تأثير اقتصادي على الجهات الفاعلة في سلسلة النقل فحسب ، بل لها أيضاً تأثير بيئي ومستدام على المجتمع لأن الحد من تحركات الحاويات الفارغة سيسمح بتقليل استهلاك الوقود وتقليل الازدحام وحركة المرور. الانبعاثات.

تعرض هذه الرسالة أولاً في الفصل الأول الأسباب الرئيسية التي أدت إلى إعادة ترتيب الحاويات الفارغة ، وحلول مشاكل ECR من خلال تطبيق القنوات اللوجستية ، والتي تم تصنيفها إلى أربع مجموعات تضم الحلول التنظيمية ، الحلول داخل القنوات والحلول بين القنوات والابتكارات التكنولوجية.

في الفصل الثاني ، نقترح نموذجين رياضيين ونجري مقارنة بين هذين النموذجين ، ويمثل النموذج الأول العمليات الحقيقية في معظم شبكات النقل لأن استراتيجية "انعطاف الشوارع" (التحركات المباشرة للمستوردين إلى المرسلين) يواجه صعوبات في التنفيذ. في النموذج الثاني ، يتم النظر في عملية "المنعطفات"

Dédicace 1 :

A mes chers parents ;

A ma chère famille;

A tous mes amis.

Soufiane

Dédicace 2 :

A mes chers parents, source de vie, d'amour et d'affection ;

A mes chers frères et sœurs et leurs enfants, source de joie et
de bonheur ;

A tous mes amis, A vous cher lecteur.

Med Lamine

Remerciement :

Nous tenons à exprimer toute notre reconnaissance à notre directeur de mémoire, M. Mohamed BENNEKRFOUF pour avoir accepté de nous encadrer, et de nous aider tous le long de ce projet, avec sa confiance et ses conseils qui nous ont été très bénéfiques pour la finalisation de ce travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à M. Zohir ATIF, chef de département commerciale au sein de l'entreprise Green Algérie, à M. Hacene OULD RABAH et à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé nos réflexions et ont accepté de nous rencontrer et de répondre à nos questions durant nos recherches.

Nous remercions nos parents pour les différentes remarques, suggestions et pour leur soutien, leur accompagnement et leurs sacrifices, tout au long de nos années d'études.

Nous tenons à remercier très chaleureusement nos frères et sœurs pour leur soutien moral et l'intérêt qu'ils ont toujours porté à ce que nous faisons et n'ont cessé de nous encourager.

Un grand merci à tous les membres de nos familles, nos amis et une pensée à tous ceux qui nous sont chers et qui ne sont plus parmi nous.

Sommaire

Abstract	2
نبذة مختصرة.....	2
Dédicace1 :	Erreur ! Signet non défini.
Dédicace2 :	Erreur ! Signet non défini.
Remerciement :	5
Liste des figures :	8
Liste des tableaux :	9
1.1 Introduction :	10
1.2 Les facteurs de la croissance du trafic de conteneurs	10
1.3 Des estimations du coût global du repositionnement des conteneurs vides :	11
1.4 La chaîne de transport des conteneurs	11
1.5 Les acteurs de la chaîne de transport de conteneurs	12
1.6 Causes des problèmes d'ECR	13
1.5.1 Le déséquilibre commercial	13
1.5.2 Le fonctionnement dynamique.....	14
1.5.3 L'incertitude	15
1.5.4 La taille et le type du conteneur.....	15
1.5.5 Le manque de visibilité des conteneurs dans la chaîne de transport.....	16
1.5.6 Les stratégies et les pratiques opérationnelles des entreprises de transport...	17
1.7 Solutions ECR - la perspective de la portée du canal logistique.....	17
1.6.1 Solutions organisationnelles	18
1.6.2 Solutions intra-canaux.....	19
1.6.3 Solutions inter-canaux.....	21
1.6.4 Solutions technologiques	22
Chapitre2 : Modèles et méthodologie	25
2.1 Introduction :	25
2.2 Problématique :	25
2.3 Contribution scientifique:.....	25
2.4 Objectifs des modèles :	25
2.5 Hypothèses des modèles :	26
2.6 Paramètres des modèles	27
2.7 Indicateurs de performance	27
2.8 Région d'étude :	27
2.9 Les données :	28
2.10 Le Modèle mathématique du scenario 1 :	30

2.11	Les résultats :	33
2.12	Le modèle mathématique du 2eme scenario:	47
2.13	Les résultats :	49
2.14	Perspectives :	61
2.15	Conclusion :	61
2.16	Bibliographies	62

Liste des figures :

Figure 1: La chaîne de transport des conteneurs	12
Figure 2: La localisation des fournisseurs, des dépôts et des clients	28

Liste des tableaux :

Tableau 1: Demandes de commerce conteneurisé sur trois grandes routes maritimes en millions d'EVP (ONU 2011 ; ONU 2012 ; ONU 2013)	14
Tableau 2: La localisation des fournisseurs, des dépôts et des clients	27
Tableau 3: Le nombre des conteneurs vides envoyé par les fournisseurs aux différents clients à chaque période.	37
Tableau 4: Le nombre des conteneurs vides envoyé par les fournisseurs aux entrepôts à chaque période.....	39
Tableau 5: Le nombre des conteneurs vides envoyé par les entrepôts aux différents clients à chaque période.	42
Tableau 6: Le nombre des conteneurs loué et envoyé par les entrepôts aux différents clients à chaque période.	45
Tableau 7: L'inventaire du stock aux entrepôts à chaque période.	46
Tableau 8: le nombre des conteneurs vides envoyé par les fournisseurs aux entrepôts à chaque période.....	51
Tableau 9: Le nombre des conteneurs vides envoyé par les entrepôts aux différents clients à chaque période.	55
Tableau 10: le nombre des conteneurs loué et envoyé par les entrepôts aux différents clients à chaque période.....	59
Tableau 11: l'inventaire du stock aux entrepôts à chaque période.....	60
Tableau 12: Coût total de repositionnement terrestre dans les deux scénarios	61

Chapitre1 : Le repositionnement des conteneurs vides

1.1 Introduction :

On estime que les porte-conteneurs transportent 52 % du commerce maritime mondial en termes de valeur (ONU 2013). Le transport maritime de conteneurs a connu un développement rapide au cours des deux dernières décennies. Selon les données de Containerization International et des Nations unies (ONU 2008 ; ONU 2012 ; ONU 2013), le trafic de conteneurs est passé de 84,6 millions d'EVP (équivalent vingt pieds) en 1990 à 485 millions d'EVP en 2007 (avant la crise économique mondiale en 2008), à 602 millions d'EVP en 2012. Le taux de croissance annuel a été d'environ 10,8 % au cours de la période 1990-2007 et d'environ 9,3 % au cours de la période 1990-2012. Les taux de croissance ci-dessus étaient bien supérieurs au taux de croissance moyen du commerce mondial, qui était d'environ 6 %, et ont également montré une croissance continue malgré la crise économique mondiale en 2008.

1.2 Les facteurs de la croissance du trafic de conteneurs

Plusieurs facteurs ont contribué à la croissance rapide du trafic de conteneurs dans le monde.

- **La conteneurisation :**

Au cours des deux dernières décennies, de plus en plus de marchandises ont été conteneurisées, non seulement la majorité des produits manufacturés, mais aussi des produits de base tels que le café et les cargaisons réfrigérées (par exemple les fruits, la viande, le poisson).

- **Le développement des portes conteneurs :**

La taille des porte-conteneurs a augmenté de façon spectaculaire, passant d'environ 5 000 EVP dans les années 1990 (navires post-Panamax) à 18 000 EVP en 2013 (série Triple-E de Maersk, où le Triple-E est synonyme d'efficacité énergétique, d'économies d'échelle et d'améliorations environnementales). Le déploiement de ces méga-navires a remodelé les réseaux de transport maritime de conteneurs, par exemple en passant d'un réseau de service direct à des systèmes en étoile dans de nombreux cas, ce qui nécessite davantage de double manutention (c'est-à-dire de transbordement) dans les ports centraux. Par exemple, la part des transbordements dans le débit portuaire total est passée de 10 % en 1980 à 27 % en 2007 (ONU 2008). Le transbordement joue un rôle particulièrement important dans les ports pivots tels que Singapour, Hong Kong, Busan et Rotterdam. Par exemple, dans le port de Hong Kong, les mouvements de transbordement de marchandises ont

représenté 57 % du débit portuaire de marchandises en 2011 (Département du recensement et des statistiques de Hong Kong 2012).

- **Le repositionnement des conteneurs vides (ECR) :**

Le commerce mondial devient plus déséquilibré et les mouvements de conteneurs vides ont représenté un pourcentage important du trafic portuaire. Le repositionnement des conteneurs vides (ECR), est le sujet principal de ce mémoire.

1.3 Des estimations du coût global du repositionnement des conteneurs vides :

Diverses sources ont fourni des estimations du coût global du repositionnement des conteneurs vides. Par exemple, il a été rapporté que le coût des inefficacités de gestion des conteneurs en 2001 a atteint presque 17 milliards de dollars US (Boile 2006 ; Theofanis et Boile 2009). Drewry Consultant a déclaré que les coûts de repositionnement des conteneurs vides ont atteint 20 milliards de dollars US par an (Veestra 2005). On a estimé que les compagnies maritimes dépensaient environ 110 milliards de dollars US par an pour la gestion de leur flotte de conteneurs (par exemple, achat, entretien, réparations), dont 16 milliards de dollars US (soit 15 pour cent) pour le repositionnement des conteneurs vides (Rodrigue et al. 2013). L'ONU (ONU, 2011) estime que le coût du repositionnement des conteneurs vides par voie maritime était d'environ 20 milliards de dollars en 2009. Si l'on considère le coût du transport terrestre du repositionnement des conteneurs vides, le coût total atteindrait 30,1 milliards de dollars et représenterait 19 % des revenus de l'industrie mondiale en 2009. Bien que les chiffres du coût total associé au repositionnement des conteneurs vides présentés dans les sources ci-dessus soient légèrement différents, ils mènent à la même conclusion, à savoir que le coût est énorme et est devenu un fardeau pour le secteur du transport maritime par conteneurs. En particulier, la rentabilité des compagnies maritimes dépend fortement du fait que le coût de repositionnement des conteneurs vides soit remboursable ou non. Par exemple, il a été rapporté qu'une compagnie de transport maritime, après avoir mis en place un système d'optimisation de la logistique des conteneurs vides, a économisé 81 millions de dollars US en 2010 (Epstein, et al. (2012)).

1.4 La chaîne de transport des conteneurs

La chaîne de transport des conteneurs peut être décrite de manière générale comme suit (figure 1). Les expéditeurs (chargeurs) sont considérés comme les clients qui ont besoin de conteneurs vides pour transporter leurs marchandises. Les compagnies maritimes sont généralement chargées de fournir les conteneurs vides requis à leurs clients. Les conteneurs vides peuvent être stockés dans un dépôt intérieur ou dans un port maritime. Après avoir regroupé les cargaisons dans les conteneurs chez les clients (ou dans un dépôt ou un port), les conteneurs chargés sont transportés au dépôt ou aux ports en attendant les navires. Ces conteneurs chargés sont ensuite levés sur un navire du service de transport maritime réservé. D'autres services de transport maritime peuvent être nécessaires pour le transbordement dans les ports

maritimes avant que les conteneurs chargés n'atteignent finalement le port de destination. Ensuite, les conteneurs chargés sont déchargés du navire et transportés vers les destinataires (réceptionnaires de cargaisons) ou vers un dépôt pour le dépotage. Après le dépotage, le conteneur vide peut soit être déplacé/stocké dans un dépôt intérieur ou dans un port pour être inspecté et réutilisé à l'avenir, soit être remis à d'autres ports du réseau de transport maritime pour y répondre aux demandes des clients. On peut observer que la chaîne de transport des conteneurs comprend en fait deux chaînes logistiques : la chaîne logistique en amont des flux de conteneurs chargés et la chaîne logistique en aval des flux de conteneurs vides. Une caractéristique unique des chaînes de transport de conteneurs est que les conteneurs chargés et vides doivent être déplacés et stockés dans le même réseau de transport maritime en utilisant les mêmes ressources (par exemple, navires, camions, trains et installations), ce qui implique que ces deux chaînes logistiques sont imbriquées et difficiles à séparer. Il convient de noter qu'une différence importante entre les flux de conteneurs en charge et les flux de conteneurs vides est que le premier est piloté à l'extérieur par les demandes des clients, tandis que le second est piloté par les flux de conteneurs en charge et déterminé à l'intérieur par les compagnies maritimes elles-mêmes.

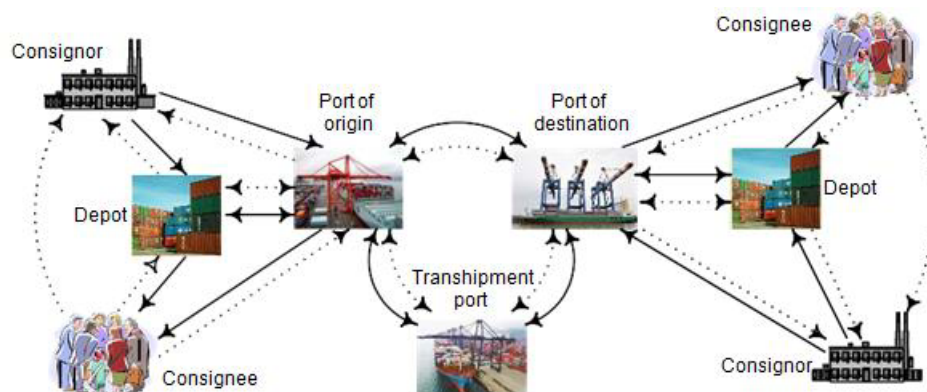


Figure 1: La chaîne de transport des conteneurs

Note : les lignes pleines indiquent les flux de conteneurs chargés et les lignes pointillées indiquent les flux de conteneurs vides.

1.5 Les acteurs de la chaîne de transport de conteneurs

Au sens large, les acteurs de la chaîne de transport de conteneurs comprennent les compagnies maritimes (y compris les opérateurs de collecte), les opérateurs de terminaux, les autorités portuaires, les opérateurs de dépôts, les transitaires, les opérateurs de transport terrestre (opérateurs ferroviaires, transporteurs routiers), les chargeurs ou les clients (expéditeurs et destinataires), les sociétés de leasing de conteneurs et d'autres (par exemple, les associations, les résidents). En ce qui concerne le repositionnement des conteneurs vides, l'acteur principal est la compagnie maritime (transporteurs maritimes), qui supporte généralement les coûts de repositionnement des conteneurs vides et qui est responsable du transport des conteneurs chargés et vides en mer (service de port à port) ou même à l'intérieur des

terres (service de porte à porte). Il est donc nécessaire d'expliquer un peu plus en détail les activités des compagnies maritimes.

Une compagnie maritime exploite généralement plusieurs lignes de services maritimes, qui forment un réseau de services maritimes interconnectés. Une route de service maritime se réfère à une séquence fixe de ports, dans lesquels une flotte de porte-conteneurs est déployée pour assurer un service régulier (normalement un service hebdomadaire). Ces navires effectuent des allers-retours (voyages) le long de la ligne de service à plusieurs reprises. Un port peut faire l'objet de plusieurs escales en un seul aller-retour. Les compagnies maritimes publient normalement leurs itinéraires et leurs horaires sur l'internet plusieurs mois avant les voyages proprement dits.

Le problème du repositionnement des conteneurs vides (ECR) concerne l'organisation du stockage et des mouvements des conteneurs vides dans les réseaux de transport maritime afin de mieux positionner les ressources mobiles pour mieux répondre aux demandes des clients. Le repositionnement efficace et efficient des conteneurs vides a été un problème très important dans le secteur du transport maritime. Il n'a pas seulement un effet économique important, mais aussi un impact sur l'environnement et la durabilité puisque la réduction des mouvements de conteneurs vides réduirait les émissions tout au long de la chaîne de transport des conteneurs.

1.6 Causes des problèmes d'ECR

Le repositionnement des conteneurs vides est un problème permanent depuis le début de la conteneurisation. Mais il est devenu plus important au cours des dernières décennies en raison de la croissance rapide des activités de transport maritime par conteneurs et de la différence de développement économique entre les régions. Cette section examinera les facteurs critiques à l'origine des mouvements de conteneurs vides, notamment le déséquilibre commercial, les opérations dynamiques, les incertitudes, la taille et le type d'équipement, le manque de visibilité et de collaboration au sein de la chaîne de transport, ainsi que les pratiques opérationnelles et stratégiques des entreprises de transport (Song et Carter 2009).

1.5.1 Le déséquilibre commercial

La raison fondamentale du repositionnement des conteneurs vides est le déséquilibre commercial, c'est-à-dire que le commerce dans un sens est plus que celui dans l'autre sens. Les routes trans-pacifiques et Europe-Asie sont fortement déséquilibrées. En raison de l'essor économique de la Chine au cours des trois dernières décennies, la demande de trafic de conteneurs en provenance de Chine ne cesse d'augmenter, bien que le volume des importations en Chine soit également en hausse. Les Nations unies publient une revue annuelle du transport maritime, qui répertorie les flux de conteneurs estimés sur trois grandes routes commerciales : Les routes Europe-Asie, Trans-Pacifique (Amérique du Nord-Asie) et Trans-Atlantique

(Europe-Amérique du Nord). Par exemple, les demandes annuelles de transport par conteneurs pour les années 2007 à 2012 sont résumées dans le tableau 1.

Il ressort du tableau 1 que les demandes commerciales sur les routes Europe-Asie et trans-pacifiques étaient fortement déséquilibrées. Le volume dans un sens était plus du double de celui dans le sens opposé. Cela indique l'ampleur des mouvements de conteneurs vides dans le contexte mondial, puisque les conteneurs vides doivent être déplacés des zones excédentaires vers les zones déficitaires.

Year	Eur-Asia		Trans-Pacific		Tran-Atlantic	
	Eur-Asia	Asia-Eur	Asia-NA	NA-Asia	NA-Eur	Eur-NA
2007	5.0	13.0	13.5	5.3	2.4	3.5
2008	5.2	13.5	13.4	6.9	2.6	3.4
2009	5.5	11.5	10.6	6.1	2.5	2.8
2010	5.6	13.5	12.8	6.0	2.8	3.1
2011	6.2	14.1	12.7	6.0	2.8	3.4
2012	6.3	13.7	13.3	6.9	2.7	3.6

Tableau 1: Demandes de commerce conteneurisé sur trois grandes routes maritimes en millions d'EVP (ONU 2011 ; ONU 2012 ; ONU 2013)

1.5.2 Le fonctionnement dynamique

Le fonctionnement dynamique est la caractéristique naturelle de tout système de transport, car il couvre des lieux géographiques différents et nécessite souvent un temps de transit en semaines ou en mois pour y accéder. L'impact des opérations dynamiques sur la gestion des conteneurs vides peut être compris du point de vue de l'offre et de la demande de conteneurs vides. La principale source d'approvisionnement en conteneurs vides se trouve aux destinations des conteneurs chargés, où ils sont déchargés et dépotés et où les conteneurs vides sont réutilisés, en particulier dans les régions axées sur l'importation, comme l'Europe et l'Amérique. Notez que les emplacements géographiques des conteneurs chargés changent au fil du temps dans les réseaux de transport maritime, l'approvisionnement en conteneurs vides change donc dans le temps et dans l'espace. Du côté de la demande, les besoins en conteneurs vides sont déterminés par les exigences du commerce, qui évoluent également dans le temps pour diverses raisons, par exemple les produits saisonniers comme les produits agricoles, les fêtes spéciales comme Noël et le Nouvel An chinois. Ces changements de la demande, bien qu'ils soient prévisibles dans une large mesure, ont un impact dynamique sur la chaîne de transport des conteneurs. Les demandes de conteneurs vides et les arrivées de conteneurs chargés à réutiliser ne peuvent pas correspondre en raison des contraintes de temps et d'espace et de la différence de volume. En conséquence, les conteneurs vides doivent soit être accumulés à l'avance pour répondre à ces augmentations prévues de la demande, soit être repositionnés dans les zones où les conteneurs vides sont nécessaires de façon plus urgente. L'implication est que même si les flux globaux de conteneurs chargés entre deux régions sont équilibrés à long terme, les opérations dynamiques du système de transport pourraient être en faveur du repositionnement des conteneurs vides afin d'améliorer l'utilisation des conteneurs.

1.5.3 L'incertitude

L'incertitude est une autre caractéristique clé du transport par conteneurs, qui représente les éléments imprévisibles qui affectent le système de transport par conteneurs. L'incertitude peut survenir au cours des opérations de la chaîne de transport par conteneurs ou lors des interfaces avec l'environnement extérieur. Dans le premier cas, il peut s'agir d'un arrêt de l'équipement, d'une indisponibilité des ressources, d'une congestion portuaire, de grèves (c'est-à-dire d'actions syndicales) ou de mauvaises conditions météorologiques ((Notteboom 2006). Ce dernier facteur s'ajoute aux demandes aléatoires des clients pour des conteneurs vides et à l'instabilité de l'environnement politique et économique (par exemple, la crise financière en 2008). L'impact de l'incertitude sur la gestion des conteneurs vides peut s'expliquer comme suit. Par exemple, une action syndicale dans un port peut entraîner l'empilement des conteneurs dans le port et/ou obliger les porte-conteneurs à modifier leur horaire. Les conditions météorologiques et la congestion du trafic peuvent augmenter la durée du transport. En conséquence, ces types d'incertitudes font que soit les conteneurs chargés ne sont pas livrés aux clients à temps, soit les conteneurs vides ne sont pas repositionnés à temps pour répondre à la demande. Par conséquent, les mouvements des conteneurs s'écartent du plan et entraînent souvent des mouvements et des coûts supplémentaires. D'autre part, l'incertitude de la demande des clients a probablement un impact plus fondamental sur les opérations de transport maritime par conteneurs. Il arrive souvent que, lorsque les expéditeurs réservent le conteneur à l'avance, le jour de l'enlèvement est imprévisible. À l'heure actuelle, les compagnies maritimes ont tendance à établir des contrats à long terme avec les grands armateurs, par exemple la ligne Maersk avec Argos. Toutefois, en règle générale, seul le volume total avec - dans une période (par exemple un an) est spécifié dans le contrat, tandis que les heures détaillées d'enlèvement des cargaisons sont inconnues. En outre, sur le marché très concurrentiel du transport maritime, les chargeurs ont plus de choix et deviennent plus exigeants. Il est donc extrêmement difficile pour les compagnies maritimes de prévoir les demandes avec précision. Pour faire face à l'incertitude de la demande, les compagnies maritimes doivent investir des capacités de réserve, constituer des stocks de sécurité et repositionner les navires vides de manière plus efficace. Il a été démontré que même sur une route commerciale globalement équilibrée, si les demandes commerciales sont incertaines, un repositionnement efficace des navires à vide pourrait réduire considérablement le coût total (D. Song, Analysis of a collaborative strategy in container fleet management 2007b).

1.5.4 La taille et le type du conteneur

La taille et le type du conteneur ont également une incidence sur le repositionnement du conteneur vide. Il existe plusieurs types de conteneurs différents qui varient en fonction de leurs dimensions et des cargaisons qu'ils sont conçus pour transporter. La pénurie de conteneurs vides pourrait se produire parce que la taille ou les types de conteneurs vides disponibles ne correspondent pas aux besoins des clients. Certaines régions comme la Thaïlande peuvent avoir un déséquilibre plus important

de conteneurs frigorifiques que de conteneurs secs. Même pour les conteneurs secs, il existe différentes qualités, notamment la qualité alimentaire, la qualité générale et la qualité souple. Dans la pratique du transport maritime, un conteneur de 20 pieds est normalement utilisé pour les cargaisons à forte densité de masse volumétrique, tandis qu'un conteneur de 40 pieds est utilisé pour les cargaisons à faible densité de masse volumétrique. En outre, un conteneur de 40 pieds ne doit pas être 1,5 fois plus lourd qu'un conteneur de 20 pieds en général. Il a été observé que, bien que certaines routes commerciales ne présentent pas de déséquilibres commerciaux importants, la nécessité de transporter des conteneurs vides peut encore être assez importante. L'une des raisons est que la plupart des types de fret nécessitent, ou il est plus pratique à utiliser, un type spécifique de conteneurs.

1.5.5 Le manque de visibilité des conteneurs dans la chaîne de transport

Le manque de visibilité des conteneurs dans la chaîne de transport, associé au manque de collaboration entre les membres de la chaîne logistique, est une autre cause d'inefficacité dans la gestion des conteneurs vides. L'International Asset Systems (IAS) a utilisé le terme "angle mort" pour décrire la situation dans laquelle les conteneurs se déplacent par rail ou par camion, ou lorsqu'ils se trouvent dans des terminaux intérieurs ou dans les locaux des expéditeurs/consignataires (Song et Carter 2009). L'angle mort dans la chaîne de transport peut empêcher les compagnies maritimes de suivre en temps réel l'emplacement et le statut de chaque conteneur, ce qui remet en question les efforts des compagnies maritimes pour améliorer l'utilisation des conteneurs. En d'autres termes, sans disposer d'informations précises et en temps utile sur l'état des conteneurs, les compagnies maritimes sont incapables de gérer leur parc de conteneurs de la manière la plus efficace possible.

Au cours de la dernière décennie, avec le développement des technologies de l'information et de la communication, les systèmes d'identification automatique (par exemple les codes-barres, la reconnaissance optique de caractères (ROC), l'identification par radiofréquence (RFID)) ont commencé à être appliqués aux conteneurs maritimes. Par exemple, Savi Technology et Hutchison Port Holdings (HPH) ont formé un partenariat en 2005 pour utiliser la technologie RFID active afin de suivre les conteneurs maritimes. On a signalé que 40 terminaux dans le monde entier étaient équipés de lecteurs Savi placés sur des grues qui chargent et déchargent les navires, et aux portes pour suivre le mouvement des conteneurs. Les données ont été téléchargées dans une base de données hébergée par Savi Networks (Roberti (2005)). L'objectif principal est de sécuriser les terminaux à conteneurs (en utilisant des scellés électroniques) et, dans le même temps, d'apporter une valeur ajoutée aux entreprises (en fournissant des informations aux chargeurs).

1.5.6 Les stratégies et les pratiques opérationnelles des entreprises de transport

Les stratégies et les pratiques opérationnelles des entreprises de transport déterminent en fait les mouvements des conteneurs vides. Contrairement aux mouvements de conteneurs chargés qui sont déterminés en grande partie par les exigences des expéditeurs, le repositionnement des conteneurs vides est une activité endogène déterminée par les compagnies de transport. Des pratiques inappropriées ou inefficaces entraîneraient des mouvements inutiles de conteneurs vides. Il n'est pas rare que des conteneurs vides soient repositionnés en raison des contraintes de capacité des navires et de la priorité des mouvements de conteneurs chargés. Certaines compagnies maritimes forment une alliance dans laquelle elles peuvent partager les créneaux horaires des navires. La volonté d'échanger ou de partager des ressources avec d'autres transporteurs peut offrir davantage de possibilités de réutilisation des conteneurs et réduire le repositionnement des conteneurs vides. Les stratégies et les pratiques opérationnelles des compagnies de transport, d'une part, affectent les mouvements réels des conteneurs vides et, d'autre part, constituent des outils potentiels permettant de s'attaquer de manière appropriée au problème du repositionnement des conteneurs vides. C'est le domaine qui a suscité le plus d'attention au cours de la dernière décennie et des recherches approfondies ont été menées.

Parmi tous les facteurs susmentionnés, le déséquilibre commercial est la cause fondamentale et représente la plus grande part des besoins de repositionnement des conteneurs vides. Cela indique qu'il est impossible d'éliminer complètement les mouvements de conteneurs vides dans le monde réel. Toutefois, il a été reconnu et démontré que, grâce à l'élaboration de stratégies innovantes et de politiques efficaces de repositionnement des conteneurs vides, les coûts et les impacts associés au repositionnement des conteneurs vides peuvent être réduits de manière significative. Par exemple, (Epstein, et al. (2012)) ont rapporté une économie de 81 millions de dollars US pour une compagnie de transport maritime après avoir mis en œuvre le système d'optimisation de la logistique des conteneurs vides.

1.7 Solutions ECR - la perspective de la portée du canal logistique

Au sens large, le problème du repositionnement des conteneurs vides couvre toutes les questions visant à atténuer les causes et les impacts des mouvements et du stockage des conteneurs vides. Du point de vue de la portée du canal logistique, les problèmes de repositionnement des conteneurs vides pourraient être traités en interne au sein de la compagnie de navigation, en externe dans le canal logistique vertical, en externe dans le canal horizontal (c'est-à-dire la collaboration avec d'autres compagnies de navigation) et par le biais d'innovations technologiques. En conséquence, cette section présente les solutions aux problèmes ECR sous les

rubriques suivantes : solutions organisationnelles, solutions intra-canal, solutions inter-canal et solutions technologiques.

1.6.1 Solutions organisationnelles

La flotte de conteneurs est un atout essentiel pour un transporteur maritime, qui représente un capital important. Le repositionnement des conteneurs vides est un élément clé de la gestion de la flotte de conteneurs, qui comprend une série de décisions telles que le dimensionnement de la flotte, la location de conteneurs, l'acheminement des conteneurs chargés et le repositionnement des conteneurs vides. Ces décisions sont étroitement liées. Par exemple, d'une part, l'augmentation du nombre de conteneurs en propriété, la location de conteneurs supplémentaires et le repositionnement efficace des conteneurs vides peuvent améliorer l'utilisation des conteneurs et donc augmenter de manière équivalente la capacité du parc de conteneurs. D'autre part, l'augmentation de la taille du parc entraîne des coûts d'investissement et de maintenance, la location et l'affrètement de conteneurs entraînent des coûts de location supplémentaires, tandis que le repositionnement entraîne des coûts de manutention et de transport supplémentaires. L'interaction entre l'acheminement des conteneurs chargés et le repositionnement des conteneurs vides est évidente, car les mouvements des conteneurs chargés déterminent essentiellement les mouvements des conteneurs vides, et les conteneurs chargés et vides sont transportés sur le même réseau et acheminés par les mêmes véhicules (navire, train et camion).

Les compagnies maritimes sont la société centrale de la chaîne de transport des conteneurs, qui, sur dix, prend la responsabilité de gérer le transport des conteneurs vides.

- **Le dimensionnement du parc de conteneurs**

Le dimensionnement du parc de conteneurs vise à déterminer combien de conteneurs appartenant à l'entreprise doivent être conservés dans la flotte, ce qui est une décision à long terme puisque la durée de vie d'un conteneur est d'environ 15 ans. Principalement en raison de l'échelle de temps différente et de la complexité.

- **La location de conteneurs**

La location de conteneurs concerne principalement le moment et l'endroit où il faut louer des conteneurs vides, ce qui est en soi une question complexe. Il est à noter que la propriété de la flotte mondiale de conteneurs est principalement répartie entre les transporteurs maritimes et les sociétés de leasing. Les données de Containerization International montrent qu'environ 50 à 60 % de la flotte mondiale de conteneurs appartenait à des transporteurs maritimes entre 2001 et 2007 (Dong et Song 2012b).

Bien que de nombreuses études aient abordé les questions de location de conteneurs ainsi que le repositionnement des conteneurs vides, la plupart d'entre

elles le considèrent de manière implicite en mettant l'accent sur le repositionnement des conteneurs vides. Par exemple, une hypothèse courante est la suivante : les conteneurs peuvent être loués à des bailleurs lorsque les conteneurs appartenant au propriétaire sont en rupture de stock pour répondre aux demandes des clients ; après avoir été loués, les conteneurs loués sont traités de la même manière que les conteneurs appartenant au propriétaire ou peuvent être retournés aux bailleurs à tout moment (Crainic, Gendreau et Dejax 1993a) (Lai, Lam et Chan 1995).

- **L'acheminement des conteneurs (ou cargaisons) en charge**

L'acheminement des conteneurs (ou cargaisons) en charge concerne les flux efficaces de conteneurs en charge dans le réseau maritime pour répondre aux besoins des clients. Les origines et les destinations des cargaisons sont déterminées de l'extérieur par les clients, mais le chemin physique des origines aux destinations peut être soit spécifié par les expéditeurs/transporteurs de fret, soit déterminé par les transporteurs maritimes. Intuitivement, les méthodes traditionnelles du chemin le plus court pourraient être appliquées pour résoudre le problème de l'acheminement des cargaisons. En particulier, pour des réseaux simples tels qu'un seul itinéraire spécifique, la décision sur l'acheminement du fret est simple et les mouvements des conteneurs chargés sont souvent sous-entendus dans la littérature ECR pertinente. Cependant, à mesure que la complexité du réseau de transport maritime augmente, par exemple en raison de l'augmentation du nombre de routes de service comportant des voyages multiples, l'acheminement du fret et son interaction avec le repositionnement des conteneurs vides deviennent plus compliqués.

1.6.2 Solutions intra-canaux

La chaîne de transport de conteneurs, qui comprend l'expéditeur, la compagnie maritime, l'opérateur du terminal, l'opérateur de transport intérieur, l'opérateur du dépôt et le destinataire, peut être considérée comme une chaîne verticale du point de vue de la chaîne logistique. Les solutions intra-canal mettent l'accent sur la coordination (y compris l'amélioration de la visibilité, la planification de la collaboration et la réalisation de l'intermodalisme) entre les différents acteurs du canal vertical, qui est une extension naturelle des solutions organisationnelles.

Outre la recherche en matière de modélisation, des concepts et des pratiques empiriques de solutions intra-canaux ont également émergé au cours de la dernière décennie.

- **Les "street turn" :**

Les "street turn" ou "réutilisation des conteneurs vides" désignent la réutilisation de conteneurs d'importation pour des chargements d'exportation sur le site du

destinataire ou à proximité de celui-ci, où un échange direct de conteneurs vides entre le destinataire et l'expéditeur peut être réalisé. Les avantages potentiels du "street turn" sont notamment les suivants :

- (i) les trajets en camion à destination et en provenance du port peuvent être économisés ;
- (ii) le transporteur peut générer plus de revenus en moins de temps ;
- (iii) le transporteur maritime peut économiser de la paperasserie et améliorer l'utilisation des conteneurs ;
- (iv) le client à l'exportation obtient le conteneur vide plus tôt ;
- (v) l'impact environnemental peut être réduit, c'est-à-dire le trafic, la congestion, le bruit et les émissions (Tioga Group 2002).

Cependant, il existe des défis et des obstacles à la mise en œuvre de ces mesures, comme par exemple :

- (i) le transporteur doit identifier la possibilité de réutilisation et la communiquer au conducteur ;
- (ii) l'accord entre le transporteur et le transporteur maritime doit permettre une telle réutilisation et le transporteur maritime doit pouvoir suivre et documenter l'échange entre les parties ;
- (iii) le lieu du conteneur d'importation vidé doit être raisonnablement proche du prochain exportateur et son temps disponible doit correspondre à la fenêtre de temps de chargement pour l'exportation ;
- (iv) le conteneur d'importation vidé doit être en bon état et adapté au chargement d'exportation, et la combinaison conteneur/châssis doit être acceptable au terminal utilisé par le navire d'exportation (Tioga Group 2002).

- **Le concept de "dépôt de retour à vide hors quai"**

Le concept de "dépôt de retour à vide hors quai" fait référence à l'établissement d'un point neutre servant de stockage tampon pour l'échange et la réutilisation des conteneurs. Les conteneurs vides s'accumuleraient d'abord dans un dépôt de retour à vide hors dock pour être nettoyés, entretenus et réparés, puis seraient réutilisés pour des exportations locales ou triés et renvoyés vers un terminal maritime aux heures creuses. Ce concept ajouterait une capacité supplémentaire au terminal maritime et faciliterait les retours à vide lorsque les portes du terminal sont fermées (Tioga Group 2002 ; Hanh 2003).

- **Le concept de "dépôt - location directe"**

Le concept de "dépôt - location directe", qui désigne le processus de location et de repositionnement d'un conteneur vide à la société de location dans un dépôt intérieur, directement avant son retour au terminal maritime. Ce concept permettrait de réduire d'au moins un trajet de camion par cycle de délocalisation et de repositionnement lorsque l'on considère les trajets des mouvements de conteneurs et de châssis entre le destinataire, le terminal maritime et le dépôt intérieur (Tioga Group 2002). Tandis que les concepts de "tour de rue" et de "dépôt de retour à vide hors du quai" mettent l'accent sur la coordination entre les clients, les compagnies maritimes, les opérateurs de déchargement et les opérateurs de terminaux, le concept de "dépôt-détachement direct" est axé sur la coordination entre les transporteurs, les opérateurs de dépôt, les compagnies maritimes et les sociétés de leasing.

Au cours des dernières décennies, l'industrie des terminaux à conteneurs a connu un processus d'intégration vertigineux. Par exemple, les compagnies maritimes ont investi dans les opérations des terminaux directement ou par l'intermédiaire de sociétés mères. La plupart des compagnies maritimes mondiales possèdent désormais des terminaux à conteneurs spécialisés dans différentes régions, ce qui leur permet de gérer plus efficacement non seulement les navires, mais aussi la logistique des conteneurs vides. Par conséquent, la création de terminaux à conteneurs spécialisés pourrait être considérée comme une mesure stratégique intra-canal visant à résoudre les problèmes de repositionnement des conteneurs vides.

1.6.3 Solutions inter-canaux

Dans le secteur du transport maritime par conteneurs, de nombreuses chaînes de transport par conteneurs coexistent. Par exemple, il y avait plus de 400 compagnies maritimes dans le monde et chacune d'entre elles peut être impliquée dans plusieurs chaînes de transport par conteneurs. Les stratégies de gestion des conteneurs dans les chaînes de transport parallèles sont considérées comme des solutions inter-canaux.

L'industrie du transport maritime par conteneurs est très unique en termes de popularité de l'intégration horizontale. Bien que les compagnies maritimes soient des concurrents en tant que prestataires de services, elles collaborent également sous diverses formes, telles que des alliances, des échanges de créneaux horaires et la mise en commun des ressources.

Au cours de la dernière décennie, nous avons assisté à l'émergence d'une collaboration externe entre les transporteurs afin d'assurer l'efficacité des opérations de transport par conteneurs et de réduire les coûts. Quelques tierces ou quatrièmes parties logistiques sont apparues pour fournir un soutien sur Internet. Ces systèmes

peuvent servir de plate-forme neutre pour faciliter le partage des conteneurs entre les armateurs, les transitaires et les compagnies maritimes. L'idée gagne en popularité, mais "il y a encore des poches de résistance, mais la recherche d'une réduction des coûts l'emporte sur la résistance au partage des conteneurs" (Mongelluzzo 2004).

SynchroNet, fondé en 1996, a développé un outil neutre de gestion des conteneurs à l'échelle mondiale, appelé "s|InterChange". Le système permet aux compagnies maritimes enregistrées d'échanger des conteneurs entre les parties au niveau intercontinental ou au niveau du théâtre et de repositionner les conteneurs excédentaires de manière économique dans les zones déficitaires (www.synchronetmarine.com).

International Asset System (IAS) a développé une plate-forme neutre (appelée IAS In- terChange) qui permet aux transporteurs maritimes, aux loueurs de conteneurs et aux NVOCC (Non- Vessel Operating Common Carrier) d'échanger des conteneurs dans des zones excédentaires et déficitaires. Les clients enregistrés fournissent à l'IAS les données de leur inventaire d'équipements et l'InterChange établit une correspondance entre les fournisseurs et les récepteurs d'équipements afin d'éviter un repositionnement coûteux. ISA a également développé un autre produit de service, appelé SlotXchange. Cet outil est capable de faire correspondre les conteneurs vides avec l'espace disponible sur les navires de haute mer. Avec SlotXchange, les propriétaires d'équipement peuvent rapidement repositionner les conteneurs vides sur le lieu de destination, tandis que les exploitants de navires disposant d'un espace vide peuvent générer des revenus de fret supplémentaires en utilisant les créneaux vides. (www.interasset.com).

La chaîne de transport des conteneurs est étroitement liée à d'autres chaînes logistiques telles que la fabrication et l'achat, le recyclage et le marché secondaire. L'Institut international des loueurs de conteneurs (IICL), dont les sociétés membres représentent environ 90 % du secteur de la location de conteneurs et environ 40 % des châssis dans le monde, a indiqué que le nombre de conteneurs enlevés en 2009 était de 530 485 EVP et que les achats en 2010 étaient estimés à environ 600 000 EVP (IICL 2010). Des solutions inter-canaux peuvent également être développées en reliant la question du repositionnement des conteneurs vides à la gestion de ces chaînes logistiques.

1.6.4 Solutions technologiques

Le développement et les innovations technologiques facilitent l'élaboration de solutions organisationnelles, de solutions intra-canaux et de solutions inter-canaux. D'autre part, les innovations technologiques pourraient offrir un ensemble complet de nouvelles solutions aux problèmes de l'ECR, ce qui pourrait contribuer directement à la réduction des coûts du transport des conteneurs vides.

- **Les technologies RFID :**

Il convient de noter que les solutions aux problèmes d'ECR en particulier les solutions intra-canal et les solutions inter-canaux dépendent toutes du soutien des technologies de l'information et de la communication. Pour permettre aux membres de la chaîne de collaborer afin de traiter ensemble le problème ECR, une condition préalable est d'assurer la visibilité de la logistique des conteneurs aux membres de la chaîne concernés. En pratique, les différents acteurs de la chaîne de transport des conteneurs disposent de leur propre système de suivi. Par exemple, la technologie RFID a été utilisée dans les terminaux maritimes pour suivre le mouvement des conteneurs à l'intérieur du terminal.

- **Les technologies SIG/GPS :**

Les entreprises de transport de conteneurs ont des systèmes GPS attachés à leurs camions pour identifier leurs camions et les conteneurs qu'ils transportent. Les compagnies maritimes disposent de systèmes SIG/GPS pour suivre la localisation géographique des navires et des conteneurs à bord. Ainsi, il est théoriquement possible de savoir si un conteneur se trouve à bord, dans un terminal maritime, dans un dépôt intérieur ou chez un client. Cela aiderait les compagnies maritimes à supprimer l'angle mort dans la chaîne de transport terrestre. Toutefois, craignant que la divulgation des données ne soit utilisée à mauvais escient par d'autres parties et ne soit pas avantageuse, les entreprises conservent généralement les informations en leur possession. La visibilité du flux logistique des conteneurs est encore faible dans la pratique actuelle.

- **Les systèmes EDI**

L'intégration de la chaîne logistique, que ce soit verticalement ou horizontalement, ne peut être réalisée que par l'application des technologies de l'information. À mesure qu'un niveau plus élevé de contrôle des flux de conteneurs est établi, la nécessité d'un échange de données informatisées (EDI) devient essentielle. Un échange d'informations précis et en temps utile entre les membres de la chaîne logistique peut réduire le degré d'incertitude et offrir davantage de possibilités de gérer le parc de conteneurs. Ces dernières années ont également vu les technologies de l'information devenir fondamentales pour les questions de sûreté (manifeste électronique) et ont incité le secteur à aller de l'avant en matière de respect des systèmes de préavis pour les marchandises transportées (Van Der Horst et De Langen 2008)

Bien que les idées qui sous-tendent les plateformes Internet telles que "s|InterChange", "IAS InterChange" et "IAS SlotXchange" soient essentiellement des solutions intra ou inter-canaux, leur mise en œuvre dépend fortement du développement technologique.

- **Le conteneur pliable**

Le conteneur pliable est une innovation technologique qui permet de déplacer les conteneurs vides plus efficacement. Il pourrait réduire considérablement le nombre de levées et de déplacements des conteneurs vides dans les terminaux maritimes, ainsi que l'espace de stockage à bord. Plusieurs modèles de conteneurs pliés (repliables) ont été mis au point. Fallpac AB a mis au point un conteneur Fallpac dans lequel quatre unités peuvent être pliées et empilées à l'intérieur d'une cinquième unité érigée. Cela signifie qu'un paquet de cinq conteneurs vides occupe l'espace d'un seul conteneur standard (Konings et Thijs 2001)). La société Six-in-One Container Company a introduit un conteneur six en un dans lequel six conteneurs peuvent être pliés, emballés et emboîtés aux dimensions exactes d'un seul conteneur standard (Konings et Thijs 2001). Cela implique que six conteneurs vides peuvent être traités comme un seul conteneur lors du chargement/déchargement dans les terminaux et du stockage à bord. Staxxon a conçu un conteneur d'expédition pliable qui peut être replié verticalement, ce qui réduit sa taille jusqu'à un cinquième de sa taille normale. Placés côte à côte, cinq conteneurs occupent l'espace d'un seul conteneur standard. Staxxon commence à tester son modèle dans les terminaux et pense qu'il a le potentiel d'être le conteneur pliant qui convaincra finalement les expéditeurs de commencer à changer (<http://staxxon.com/>).

Il est rapporté que l'utilisation de conteneurs pliés peut conduire à des bénéfices nets substantiels dans la chaîne de transport totale des conteneurs, mais aussi à des coûts supplémentaires que les conteneurs pliés peuvent engendrer tels que le coût du pliage/dépliage, les coûts d'exploitation supplémentaires et tout transport supplémentaire vers des endroits où le pliage et le dépliage peuvent avoir lieu.

D'autres aspects des innovations technologiques, tels que l'utilisation de grues de quai plus efficaces et de nouveaux matériaux pour la construction des conteneurs, peuvent également contribuer à la réduction des coûts de repositionnement des conteneurs vides.

Chapitre2 : Modèles et méthodologie

2.1 Introduction :

Dans la première partie de ce chapitre, nous présentons l'objectif des modèles, les hypothèses considérées, les paramètres des modèles, les indicateurs de performance et la région d'étude. Dans la seconde partie, deux scénarios selon les deux différents modèles mathématiques et les résultats obtenus sont présentés. Le premier modèle donne les opérations réelles dans la plupart des réseaux de transport parce que la stratégie «street-turns» a des difficultés d'implémentation. Dans le deuxième, l'opération «street-turns» (des mouvements directs d'importateurs aux expéditeurs) est considérée.

2.2 Problématique :

Nous allons étudier l'effet de l'application de la stratégie « street turn » sur les coûts totaux de repositionnement des conteneurs vides dans un réseau régional en Algérie, la structure du réseau est composée de :

- ✓ Trois fournisseurs.
- ✓ Deux entrepôts.
- ✓ Cinq clients.

2.3 Contribution scientifique:

Dans ce PFE de Master les modèles mathématiques proposés modélisent les conteneurs vides avec l'introduction de deux modes de transport (par camion et par rail).

Chaque mode de transport a son propre délai de livraison et couts de transport, le transport par camion est plus rapide mais plus chers que le transport par rail.

2.4 Objectifs des modèles :

L'objectif des modèles est de minimiser le coût total du système prévu dans le repositionnement régional des conteneurs vides dans un horizon de temps pour chaque scénario. Les coûts totaux comprennent tous les coûts de transport entre les dépôts, les importateurs et les expéditeurs, ajoutés aux coûts d'entreposage et aux coûts de manutention. La structure du réseau de transport implique des liens entre les importateurs et les dépôts, les dépôts et les expéditeurs. Lorsque les conditions appropriées sont réunies, le conteneur vide pourrait être directement transporté par un importateur à un expéditeur prêt à charger, cela s'appelle « street-turn ». Plus souvent, les conteneurs vides requis par les expéditeurs seraient livrés à partir de ceux qui sont stockés dans les dépôts.

2.5 Hypothèses des modèles :

Afin d'éviter une complexité inutile du modèle, pour une formulation exacte de la logistique des conteneurs vides et pour modéliser la réalité d'une manière dont les décisions optimales sont prises, les hypothèses et conditions suivantes sont considérés.

- La stratégie « street turn » est difficile à mettre en œuvre, car elle a besoin d'un niveau significatif de coordination. Les besoins de fonctionnement d'importation et d'exportation doivent être semblables et coïncider dans le temps, ainsi que le type de conteneurs, la compagnie de transport et le lieu. En plus, la plupart du temps, les conteneurs ont besoin d'opérations intermédiaires après un cycle de livraison afin d'être réutilisés (brossage, nettoyage, réparation, etc.). Évidemment, cela est le type de mouvement le plus efficace, car il économise les entreposages temporaires à vide.
- Les conteneurs vides peuvent être entreposés aux dépôts, mais pas chez les importateurs ou chez les expéditeurs.
- Un seul type de conteneur est considéré.
- Les dépôts ont une capacité limitée pour entreposer des conteneurs vides.
- Dans chaque période de temps le nombre des conteneurs vides disponibles chez les importateurs et dans les dépôts est connu.
- Dans chaque période de temps, le nombre de conteneurs vides qui sont requis par les exportateurs est connu.
- Ce sont les compagnies de transport maritime qui sont les propriétaires des conteneurs vides.
- La gestion collaborative des conteneurs vides entre les différents transporteurs maritimes est considérée. Donc les compagnies de location sont les membres d'une société de mise en commun des conteneurs.
- C'est la responsabilité des compagnies de transport maritime de fournir aux expéditeurs des conteneurs vides. Les compagnies maritimes doivent les gérer, incluant le repositionnement des conteneurs vides, la réparation des conteneurs endommagés, l'entreposage des conteneurs aux différents dépôts selon la demande locale, le suivi des conteneurs et ainsi de suite augmentera le coût opérationnel des compagnies maritimes.
- Deux modes de transport sont considérés, par camion et par train.
- Un seuil maximal de locations des conteneurs vides est imposé à chaque période.
- Chaque mode de transport à ses propres temps de transit entre les différents lieux.
- Pour le repositionnement des conteneurs vides, des compagnies maritimes normalement coopèrent avec les dépôts locaux. Les dépôts jouent un rôle important dans la gestion des conteneurs et un dépôt sert souvent à différentes compagnies maritimes. La fonction majeure des dépôts est l'entreposage des conteneurs vides pour des compagnies maritimes. Ils

fournissent également des conteneurs vides aux expéditeurs. Les dépôts vérifient périodiquement l'inventaire des conteneurs vides et informent les compagnies maritimes pour garder l'équilibre de stocks.

2.6 Paramètres des modèles

Les paramètres des modèles sont les suivants :

- le nombre de l'offre et de la demande de conteneurs vides par les importateurs et les exportateurs selon différents scénarios ;
- le nombre des importateurs, des exportateurs et des dépôts ;
- le nombre de périodes de l'horizon de temps ;
- les emplacements des importateurs et des exportateurs ;
- les emplacements des dépôts intérieurs ;
- les distances entre les fournisseurs et tous les dépôts ;
- les distances entre tous les dépôts et les clients ;
- les distances entre les fournisseurs et les clients ;
- les coûts unitaires de transport entre les fournisseurs et tous les dépôts ;
- les coûts unitaires de transport entre tous les dépôts et les clients ;
- les coûts unitaires de transport entre les fournisseurs et les clients ;
- les coûts de stockage et de manutention dans les dépôts ;
- les capacités des dépôts ;

2.7 Indicateurs de performance

Le coût total de l'emplacement des conteneurs vides : ce coût total comprend tous les coûts de transport entre les dépôts, les importateurs et les expéditeurs, plus les coûts de locations d'entreposage et les coûts de manutention.

2.8 Région d'étude :

Les localisations des différents fournisseurs, dépôts, et clients sont indiquées dans le tableau 2 et la figure 2 ci-dessous :

Les fournisseurs	Les dépôts	Les clients
Annaba	Bordj Bou Arreridj	Ain Defla
Alger	Relizane	Biskra
Oran		El Oued
		Skikda
		Rouiba

Tableau 2: La localisation des fournisseurs, des dépôts et des clients



Figure 2: La localisation des fournisseurs, des dépôts et des clients

2.9 Les données :

Unité(KM)	Dépôt Bordj Bou Arreridj		Dépôt Relizane	
Modes de transport	camion	rail	camion	rail
Fournisseur Annaba	353	403	829	780
Fournisseur Alger	198	220	302	342
Fournisseur Oran	601	651	138	158

Tableau 3: les distances entre les fournisseurs et les dépôts

Unité(KM)	Client Ain Defla		Client Biskra		Client El Oued		Client Skikda		Client Rouiba	
	camion	rail	camion	rail	camion	rail	camion	rail	camion	rail
dépôt Bordj Bou Arreridj	336	356	207	257	430	480	283	345	183	243
dépôt Relizane	156	196	561	531	764	804	779	759	308	264

Tableau 4: les distances entre les dépôts et les clients

Unité(KM)	Client Ain Defla		Client Biskra		Client El Oued		Client Skikda		Client Rouiba	
	camion	rail	camion	rail	camion	rail	camion	rail	camion	rail
Fournisseur Annaba	705	765	409	388	541	566	134	165	534	566
Fournisseur Alger	160	190	433	403	637	667	498	480	25	35
Fournisseur Oran	286	310	785	755	988	960	901	871	431	461

Tableau 5: les distances entre les fournisseurs et les clients

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Client Ain Defla	0	200	300	250	350	250	350	150	350	350	350	300	350	250	300	250
Client Biskra	0	250	300	100	250	300	250	0	250	100	150	100	150	0	50	0
Client El Oued	0	100	100	100	100	200	200	0	200	50	100	150	200	50	0	50
Client Skikda	0	150	150	200	250	100	300	250	0	200	100	50	100	100	50	150
Client Rouiba	0	200	250	200	250	150	100	350	0	200	250	100	50	50	50	150

Tableau 6: les demandes des conteneurs vides à chaque période

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Fournisseur Annaba	400	250	500	0	100	450	250	100	150	250	150	300	100	100	50	0
Fournisseur Alger	400	250	450	50	100	400	150	100	350	250	250	100	100	50	100	0
Fournisseur Oran	200	300	550	50	100	550	100	100	300	200	250	200	150	50	100	0

Tableau 7: les quantités disponibles des conteneurs vides à chaque période

Nous avons par ailleurs fait les hypothèses suivantes :

- Le coût unitaire de transport entre les différents acteurs de la chaîne de transport par camion est établi à : 60DA/KM.
- Le coût unitaire de transport entre les différents acteurs de la chaîne de transport par rail est établi à : 20DA/KM.

- Le coût unitaire de stockage dans les dépôts est établi à : 300DA/conteneur/période.
- Le coût unitaire de location de conteneurs est établi à : 5000DA/conteneur.
- La capacité de stockage des dépôts est établi à : 100 000conteneurs/période.

2.10 Le Modèle mathématique du scenario 1 :

I, S, J, M, et T représentent le nombre des clients, des fournisseurs, des entrepôts, des modes de transport, et des périodes respectivement.

i : indice client.

s : indice fournisseur.

j : indice entrepôt.

m : indice mode de transport.

t : indice période.

Dists_{jm} : la distance entre le fournisseur « s » et l'entrepôt « j » par le mode de transport « m ».

Dist_{ijm} : la distance entre l'entrepôt « j » et le client « i » par le mode de transport « m ».

Dists_{im} : la distance entre le fournisseur « s » et le client « i » par le mode de transport « m ».

Dit : la demande des conteneurs vides par le client « i » à la période « t ».

QD_{st} : la quantité disponible des conteneurs vides chez le fournisseur « s » à la période « t ».

Cap_j : La capacité du dépôt j.

Cs_{im} : le coût de transport entre fournisseurs « s » et le client « i » par le mode de transport « m ».

Cs_{jm} : le coût de transport entre fournisseur « s » et l'entrepôt « j » par le mode de transport « m ».

C_{ijm} : le coût de transport de l'entrepôt « j » vers le client « i » par le mode de transport « m ».

H_j : le coût de stockage dans l'entrepôt « j ».

R_{ijm} : le coût de location des conteneurs vides loués par l'entrepôt « j » et expédiés au client « i » par le mode de transport « m ».

τ_{sim} : le temps de transit entre le fournisseur « s » et le client « i » par le mode de transport « m ».

τ_{sjm} : le temps de transit entre le fournisseur « s » et l'entrepôt « j » par le mode de transport « m ».

τ_{jim} : le temps de transit entre l'entrepôt « j » et le client « i » par le mode de transport « m ».

SLt : le seuil maximal de location des conteneurs vides à chaque période.

Variables de décision :

Usimt : la quantité des conteneurs vides expédiées par le fournisseur « s » par le mode de transport « m », et reçu par le client « i » à la période « t ».

Usjmt : la quantité des conteneurs vides expédiées par le fournisseur « s » par le mode de transport « m », et reçu par l'entrepôt « j » à la période « t ».

Vjimt : la quantité des conteneurs vides expédiées par l'entrepôt « j » par le mode de transport « m », et reçu par le client « i » à la période « t ».

Wijmt : la quantité des conteneurs vides louée et expédiée par l'entrepôt « j » par le mode de transport « m », et reçu par le client « i » à la période « t ».

Vjt : l'inventaire du stock des conteneurs vides dans l'entrepôt « j » à la période « t ».

Fonction objective :

$$\begin{aligned} & \text{Min} \sum_{t=0}^T \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M C_{sim} \times Dist_{sim} \times Usimt + \\ & \sum_{t=0}^T \sum_{s=1}^S \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M C_{sjm} * Dist_{sjm} * Usjmt + \\ & \sum_{t=0}^T \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M C_{jim} \times Dist_{jim} \times Vjimt + \sum_{t=0}^T \sum_{j=1}^J H_j \times Vjt + \\ & \sum_{t=0}^T \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M (C_{jim} \times Dist_{jim} + R_{jim}) \times Wijmt \end{aligned}$$

Contraintes :

$$\sum_{s=1}^S \sum_{m=1}^M Usimt + \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M Vjimt + \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M Wijmt = Dit \quad \forall i, t \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M Usim(t + \tau_{sim}) + \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M Usjm(t + \tau_{sjm}) = QD_{st} \quad \forall s, t \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M Vjim(t + \tau_{jim}) \leq Vjt \quad \forall j, t \quad (3)$$

$$V_{jt} = V_{j(t-1)} + \sum_{s=1}^S \sum_{m=1}^M Usjmt - \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M Vjim(t + \tau_{jim}) \quad \forall j, t \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M Vjim(t + \tau_{jim}) \leq Vjt \quad \forall j, t \quad (5)$$

$$V_{jt} \leq Cap_j \quad \forall j, t \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M W_{ijmt} \leq SLt \quad \forall t \quad (7)$$

$$U_{simt}, U_{sjmt}, V_{jimt}, W_{ijmt}, V_{jt} \geq 0, \text{ entier} \quad (8)$$

2.11 Les résultats :

fourniss...aille 3)	client (taille 5)	trans (taille 2)	periode...lle 16)	Valeur
1	1	1	0	0
1	1	1	1	0
1	1	1	2	0
1	1	1	3	0
1	1	1	4	0
1	1	1	5	0
1	1	1	6	0
1	1	1	7	0
1	1	1	8	0
1	1	1	9	0
1	1	1	10	0
1	1	1	11	0
1	1	1	12	0
1	1	1	13	0
1	1	1	14	0
1	1	1	15	0
1	1	2	0	0
1	1	2	1	0
1	1	2	2	0
1	1	2	3	0
1	1	2	4	0
1	1	2	5	0
1	1	2	6	0
1	1	2	7	0
1	1	2	8	0
1	1	2	9	0
1	1	2	10	0
1	1	2	11	0
1	1	2	12	0
1	1	2	13	0
1	1	2	14	0
1	1	2	15	0
1	2	1	0	0
1	2	1	1	0
1	2	1	2	0
1	2	1	3	0
1	2	1	4	0
1	2	1	5	0
1	2	1	6	0
1	2	1	7	0
1	2	1	8	0
1	2	1	9	0
1	2	1	10	0
1	2	1	11	0
1	2	1	12	0
1	2	1	13	0
1	2	1	14	0
1	2	1	15	0
1	2	2	0	0
1	2	2	1	0
1	2	2	2	0
1	2	2	3	0
1	2	2	4	150
1	2	2	5	0
1	2	2	6	0
1	2	2	7	0
1	2	2	8	50
1	2	2	9	0
1	2	2	10	0
1	2	2	11	50
1	2	2	12	0
1	2	2	13	0
1	2	2	14	50
1	2	2	15	0
1	3	1	0	0
1	3	1	1	0
1	3	1	2	0
1	3	1	3	0
1	3	1	4	0
1	3	1	5	0

1	3	1	6	0
1	3	1	7	0
1	3	1	8	0
1	3	1	9	0
1	3	1	10	0
1	3	1	11	0
1	3	1	12	0
1	3	1	13	0
1	3	1	14	0
1	3	1	15	0
1	3	2	0	0
1	3	2	1	0
1	3	2	2	100
1	3	2	3	50
1	3	2	4	100
1	3	2	5	0
1	3	2	6	0
1	3	2	7	0
1	3	2	8	200
1	3	2	9	0
1	3	2	10	0
1	3	2	11	150
1	3	2	12	150
1	3	2	13	50
1	3	2	14	0
1	3	2	15	0
1	4	1	0	0
1	4	1	1	150
1	4	1	2	0
1	4	1	3	0
1	4	1	4	0
1	4	1	5	0
1	4	1	6	200
1	4	1	7	0
1	4	1	8	0
1	4	1	9	50
1	4	1	10	0
1	4	1	11	0
1	4	1	12	100
1	4	1	13	0
1	4	1	14	0
1	4	1	15	50
1	4	2	0	0
1	4	2	1	0
1	4	2	2	150
1	4	2	3	200
1	4	2	4	250
1	4	2	5	0
1	4	2	6	100
1	4	2	7	250
1	4	2	8	0
1	4	2	9	100
1	4	2	10	100
1	4	2	11	50
1	4	2	12	0
1	4	2	13	100
1	4	2	14	50
1	4	2	15	100
1	5	1	0	0
1	5	1	1	0
1	5	1	2	0
1	5	1	3	0
1	5	1	4	0
1	5	1	5	0
1	5	1	6	0
1	5	1	7	0
1	5	1	8	0
1	5	1	9	0
1	5	1	10	0
1	5	1	11	0

2	1	1	15	0
2	1	2	0	0
2	1	2	1	0
2	1	2	2	100
2	1	2	3	0
2	1	2	4	100
2	1	2	5	0
2	1	2	6	0
2	1	2	7	0
2	1	2	8	100
2	1	2	9	100
2	1	2	10	0
2	1	2	11	0
2	1	2	12	150
2	1	2	13	50
2	1	2	14	50
2	1	2	15	0
2	2	1	0	0
2	2	1	1	0
2	2	1	2	0
2	2	1	3	0
2	2	1	4	0
2	2	1	5	0
2	2	1	6	0
2	2	1	7	0
2	2	1	8	0
2	2	1	9	0
2	2	1	10	0
2	2	1	11	0
2	2	1	12	0
2	2	1	13	0
2	2	1	14	0
2	2	1	15	0
2	2	2	0	0
2	2	2	1	0
2	2	2	2	0
2	2	2	3	0
2	2	2	4	0
2	2	2	5	0
2	2	2	6	0
2	2	2	7	0
2	2	2	8	0
2	2	2	9	0
2	2	2	10	0
2	2	2	11	50
2	2	2	12	50
2	2	2	13	0
2	2	2	14	0
2	2	2	15	0
2	3	1	0	0
2	3	1	1	0
2	3	1	2	0
2	3	1	3	0
2	3	1	4	0
2	3	1	5	0
2	3	1	6	0
2	3	1	7	0
2	3	1	8	0
2	3	1	9	0
2	3	1	10	0
2	3	1	11	0
2	3	1	12	0
2	3	1	13	0
2	3	1	14	0
2	3	1	15	0
2	3	2	0	0
2	3	2	1	0
2	3	2	2	0
2	3	2	3	0
2	3	2	4	0

2	4	2	8	0
2	4	2	9	0
2	4	2	10	0
2	4	2	11	0
2	4	2	12	0
2	4	2	13	0
2	4	2	14	0
2	4	2	15	0
2	5	1	0	0
2	5	1	1	200
2	5	1	2	150
2	5	1	3	100
2	5	1	4	0
2	5	1	5	100
2	5	1	6	100
2	5	1	7	50
2	5	1	8	0
2	5	1	9	200
2	5	1	10	100
2	5	1	11	0
2	5	1	12	0
2	5	1	13	0
2	5	1	14	0
2	5	1	15	100
2	5	2	0	0
2	5	2	1	0
2	5	2	2	100
2	5	2	3	100
2	5	2	4	250
2	5	2	5	50
2	5	2	6	0
2	5	2	7	300
2	5	2	8	0
2	5	2	9	0
2	5	2	10	150
2	5	2	11	100
2	5	2	12	50
2	5	2	13	50
2	5	2	14	50
2	5	2	15	50
3	1	1	0	0
3	1	1	1	0
3	1	1	2	0
3	1	1	3	0
3	1	1	4	0
3	1	1	5	0
3	1	1	6	0
3	1	1	7	0
3	1	1	8	0
3	1	1	9	0
3	1	1	10	0
3	1	1	11	0
3	1	1	12	0
3	1	1	13	0
3	1	1	14	0
3	1	1	15	0
3	1	2	0	0
3	1	2	1	0
3	1	2	2	200
3	1	2	3	250
3	1	2	4	250
3	1	2	5	50
3	1	2	6	100
3	1	2	7	150
3	1	2	8	100
3	1	2	9	100
3	1	2	10	300
3	1	2	11	200
3	1	2	12	200
3	1	2	13	200

3	1	2	14	150
3	1	2	15	50
3	2	1	0	0
3	2	1	1	0
3	2	1	2	0
3	2	1	3	0
3	2	1	4	0
3	2	1	5	0
3	2	1	6	0
3	2	1	7	0
3	2	1	8	0
3	2	1	9	0
3	2	1	10	0
3	2	1	11	0
3	2	1	12	0
3	2	1	13	0
3	2	1	14	0
3	2	1	15	0
3	2	2	0	0
3	2	2	1	0
3	2	2	2	0
3	2	2	3	0
3	2	2	4	0
3	2	2	5	0
3	2	2	6	0
3	2	2	7	0
3	2	2	8	0
3	2	2	9	0
3	2	2	10	0
3	2	2	11	0
3	2	2	12	0
3	2	2	13	0
3	2	2	14	0
3	2	2	15	0
3	3	1	0	0

Tableau 8: Le nombre des conteneurs vides envoyé par les fournisseurs aux différents clients à chaque période.

fourniss...aille 3)	depot (taille 2)	trans (taille 2)	periode...lle 16)	Valeur
1	1	1	0	0
1	1	1	1	0
1	1	1	2	0
1	1	1	3	0
1	1	1	4	0
1	1	1	5	0
1	1	1	6	0
1	1	1	7	0
1	1	1	8	0
1	1	1	9	0
1	1	1	10	0
1	1	1	11	0
1	1	1	12	0
1	1	1	13	0
1	1	1	14	0
1	1	1	15	0
1	1	2	0	0
1	1	2	1	0
1	1	2	2	0
1	1	2	3	0
1	1	2	4	0
1	1	2	5	0
1	1	2	6	0
1	1	2	7	0
1	1	2	8	0
1	1	2	9	0
1	1	2	10	0
1	1	2	11	0
1	1	2	12	0
1	1	2	13	50
1	1	2	14	0
1	1	2	15	0
1	2	1	0	0
1	2	1	1	0
1	2	1	2	0
2	1	1	6	0
2	1	1	7	0
2	1	1	8	0
2	1	1	9	0
2	1	1	10	0
2	1	1	11	0
2	1	1	12	0
2	1	1	13	0
2	1	1	14	0
2	1	1	15	0
2	1	2	0	0
2	1	2	1	600
2	1	2	2	0
2	1	2	3	0
2	1	2	4	0
2	1	2	5	0
2	1	2	6	0
2	1	2	7	0
2	1	2	8	0
2	1	2	9	0
2	1	2	10	0
2	1	2	11	0
2	1	2	12	0
2	1	2	13	0
2	1	2	14	0
2	1	2	15	0
2	2	1	0	0
2	2	1	1	0
2	2	1	2	0
2	2	1	3	0
2	2	1	4	0
2	2	1	5	0
2	2	1	6	0
2	2	1	7	0
2	2	1	8	0

3	2	1	15	100
3	2	2	0	0
3	2	2	1	400
3	2	2	2	0
3	2	2	3	50
3	2	2	4	300
3	2	2	5	0
3	2	2	6	0
3	2	2	7	400
3	2	2	8	0
3	2	2	9	0
3	2	2	10	0
3	2	2	11	0
3	2	2	12	50
3	2	2	13	0
3	2	2	14	0
3	2	2	15	0

Tableau 9: Le nombre des conteneurs vides envoyé par les fournisseurs aux entrepôts à chaque période.

depot (taille 2)	client (taille 5)	trans (taille 2)	periode...lle 16)	Valeur
1	1	1	0	0
1	1	1	1	0
1	1	1	2	0
1	1	1	3	0
1	1	1	4	0
1	1	1	5	0
1	1	1	6	0
1	1	1	7	0
1	1	1	8	0
1	1	1	9	0
1	1	1	10	0
1	1	1	11	0
1	1	1	12	0
1	1	1	13	0
1	1	1	14	0
1	1	1	15	0
1	1	2	0	0
1	1	2	1	0
1	1	2	2	0
1	1	2	3	0
1	1	2	4	0
1	1	2	5	0
1	1	2	6	0
1	1	2	7	0
1	1	2	8	0
1	1	2	9	0
1	1	2	10	0
1	1	2	11	0
1	1	2	12	0
1	1	2	13	0
1	1	2	14	0
1	1	2	15	0
1	2	1	0	0
1	2	1	1	200
1	2	1	2	0
1	2	1	3	0
1	2	1	4	0
1	2	1	5	0
1	2	1	6	0
1	2	1	7	0
1	2	1	8	0
1	2	1	9	0
1	2	1	10	0
1	2	1	11	0
1	2	1	12	0
1	2	1	13	0
1	2	1	14	0
1	2	1	15	0
1	2	2	0	0
1	2	2	1	0
1	2	2	2	0
1	2	2	3	0
1	2	2	4	100
1	2	2	5	300
1	2	2	6	0
1	2	2	7	0
1	2	2	8	0
1	2	2	9	0
1	2	2	10	0
1	2	2	11	0
1	2	2	12	0
1	2	2	13	0
1	2	2	14	0
1	2	2	15	0
1	3	1	0	0
1	3	1	1	0
1	3	1	2	0
1	3	1	3	0
1	3	1	4	0
1	3	1	5	0

1	3	1	6	0
1	3	1	7	0
1	3	1	8	0
1	3	1	9	0
1	3	1	10	0
1	3	1	11	0
1	3	1	12	0
1	3	1	13	0
1	3	1	14	0
1	3	1	15	0
1	3	2	0	0
1	3	2	1	0
1	3	2	2	0
1	3	2	3	0
1	3	2	4	0
1	3	2	5	200
1	3	2	6	0
1	3	2	7	0
1	3	2	8	0
1	3	2	9	0
1	3	2	10	0
1	3	2	11	0
1	3	2	12	0
1	3	2	13	0
1	3	2	14	0
1	3	2	15	0
1	4	1	0	0
1	4	1	1	0
1	4	1	2	0
1	4	1	3	0
1	4	1	4	0
1	4	1	5	0
1	4	1	6	0
1	4	1	7	0
1	4	1	8	0
1	5	1	12	0
1	5	1	13	0
1	5	1	14	0
1	5	1	15	0
1	5	2	0	0
1	5	2	1	0
1	5	2	2	0
1	5	2	3	0
1	5	2	4	0
1	5	2	5	0
1	5	2	6	0
1	5	2	7	0
1	5	2	8	0
1	5	2	9	0
1	5	2	10	0
1	5	2	11	0
1	5	2	12	0
1	5	2	13	0
1	5	2	14	0
1	5	2	15	0
2	1	1	0	0
2	1	1	1	200
2	1	1	2	0
2	1	1	3	0
2	1	1	4	0
2	1	1	5	0
2	1	1	6	0
2	1	1	7	0
2	1	1	8	0
2	1	1	9	0
2	1	1	10	0
2	1	1	11	0
2	1	1	12	0
2	1	1	13	0
2	1	1	14	0

2	1	1	15	0
2	1	2	0	0
2	1	2	1	0
2	1	2	2	0
2	1	2	3	0
2	1	2	4	0
2	1	2	5	200
2	1	2	6	250
2	1	2	7	0
2	1	2	8	150
2	1	2	9	150
2	1	2	10	50
2	1	2	11	100
2	1	2	12	0
2	1	2	13	0
2	1	2	14	100
2	1	2	15	200
2	2	1	0	0
2	2	1	1	0
2	2	1	2	0
2	2	1	3	0
2	2	1	4	0
2	2	1	5	0
2	2	1	6	0
2	2	1	7	0
2	2	1	8	0
2	2	1	9	0
2	2	1	10	0
2	2	1	11	0
2	2	1	12	0
2	2	1	13	0
2	2	1	14	0
2	2	1	15	0
2	2	2	0	0
2	2	2	1	0
2	5	2	11	0
2	5	2	12	0
2	5	2	13	0
2	5	2	14	0
2	5	2	15	0

Tableau 10: Le nombre des conteneurs vides envoyé par les entrepôts aux différents clients à chaque période.

client (taille 5)	depot (taille 2)	trans (taille 2)	periode...lle 16)	Valeur
1	1	1	0	0
1	1	1	1	0
1	1	1	2	0
1	1	1	3	0
1	1	1	4	0
1	1	1	5	0
1	1	1	6	0
1	1	1	7	0
1	1	1	8	0
1	1	1	9	0
1	1	1	10	0
1	1	1	11	0
1	1	1	12	0
1	1	1	13	0
1	1	1	14	0
1	1	1	15	0
1	1	2	0	0
1	1	2	1	0
1	1	2	2	0
1	1	2	3	0
1	1	2	4	0
1	1	2	5	0
1	1	2	6	0
1	1	2	7	0
1	1	2	8	0
1	1	2	9	0
1	1	2	10	0
1	1	2	11	0
1	1	2	12	0
1	1	2	13	0
1	1	2	14	0
1	1	2	15	0
1	2	1	0	0
1	2	1	1	0
1	2	1	2	0
2	1	1	6	0
2	1	1	7	0
2	1	1	8	0
2	1	1	9	0
2	1	1	10	0
2	1	1	11	0
2	1	1	12	0
2	1	1	13	0
2	1	1	14	0
2	1	1	15	0
2	1	2	0	0
2	1	2	1	0
2	1	2	2	300
2	1	2	3	100
2	1	2	4	0
2	1	2	5	0
2	1	2	6	250
2	1	2	7	0
2	1	2	8	200
2	1	2	9	100
2	1	2	10	150
2	1	2	11	0
2	1	2	12	100
2	1	2	13	0
2	1	2	14	0
2	1	2	15	0
2	2	1	0	0
2	2	1	1	0
2	2	1	2	0
2	2	1	3	0
2	2	1	4	0
2	2	1	5	0
2	2	1	6	0
2	2	1	7	0
2	2	1	8	0

2	2	1	9	0
2	2	1	10	0
2	2	1	11	0
2	2	1	12	0
2	2	1	13	0
2	2	1	14	0
2	2	1	15	0
2	2	2	0	0
2	2	2	1	0
2	2	2	2	0
2	2	2	3	0
2	2	2	4	0
2	2	2	5	0
2	2	2	6	0
2	2	2	7	0
2	2	2	8	0
2	2	2	9	0
2	2	2	10	0
2	2	2	11	0
2	2	2	12	0
2	2	2	13	0
2	2	2	14	0
2	2	2	15	0
3	1	1	0	0
3	1	1	1	100
3	1	1	2	0
3	1	1	3	0
3	1	1	4	0
3	1	1	5	0
3	1	1	6	0
3	1	1	7	0
3	1	1	8	0
3	1	1	9	0
3	1	1	10	0
3	1	1	11	0
3	1	1	12	0
3	1	1	13	0
3	1	1	14	0
3	1	1	15	0
3	1	2	0	0
3	1	2	1	0
3	1	2	2	0
3	1	2	3	50
3	1	2	4	0
3	1	2	5	0
3	1	2	6	200
3	1	2	7	0
3	1	2	8	0
3	1	2	9	50
3	1	2	10	100
3	1	2	11	0
3	1	2	12	50
3	1	2	13	0
3	1	2	14	0
3	1	2	15	50
3	2	1	0	0
3	2	1	1	0
3	2	1	2	0
3	2	1	3	0
3	2	1	4	0
3	2	1	5	0
3	2	1	6	0
3	2	1	7	0
3	2	1	8	0
3	2	1	9	0
3	2	1	10	0
3	2	1	11	0
3	2	1	12	0
3	2	1	13	0
3	2	1	14	0

4	1	2	2	0
4	1	2	3	0
4	1	2	4	0
4	1	2	5	100
4	1	2	6	0
4	1	2	7	0
4	1	2	8	0
4	1	2	9	50
4	1	2	10	0
4	1	2	11	0
4	1	2	12	0
4	1	2	13	0
4	1	2	14	0
4	1	2	15	0
4	2	1	0	0
4	2	1	1	0
4	2	1	2	0
4	2	1	3	0
4	2	1	4	0
4	2	1	5	0
4	2	1	6	0
4	2	1	7	0
4	2	1	8	0
4	2	1	9	0
4	2	1	10	0
4	2	1	11	0
4	2	1	12	0
4	2	1	13	0
4	2	1	14	0
4	2	1	15	0
4	2	2	0	0
4	2	2	1	0
4	2	2	2	0
4	2	2	3	0
4	2	2	4	0

Tableau 11: Le nombre des conteneurs loué et envoyé par les entrepôts aux différents clients à chaque période.

depot (taille 2)	periode...lle 16)	Valeur
1	0	0
1	1	600
1	2	500
1	3	0
1	4	0
1	5	0
1	6	0
1	7	0
1	8	0
1	9	0
1	10	0
1	11	0
1	12	0
1	13	50
1	14	50
1	15	50
2	0	0
2	1	400
2	2	400
2	3	250
2	4	300
2	5	300
2	6	150
2	7	400
2	8	350
2	9	250
2	10	250
2	11	250
2	12	200
2	13	0
2	14	0
2	15	100

Tableau 12: L'inventaire du stock aux entrepôts à chaque période.

2.12 Le modèle mathématique du 2eme scenario:

Le modèle mathématique des conteneurs vides :

I, S, J, M, et T représentent le nombre des clients, des fournisseurs, des entrepôts, des modes de transport, et des périodes respectivement.

i : indice client.

s : indice fournisseur.

j : indice entrepôt.

m : indice mode de transport.

t : indice période.

Dists_{sjm} : la distance entre le fournisseur « s » et l'entrepôt « j » par le mode de transport « m ».

Dist_{jim} : la distance entre l'entrepôt « j » et le client « i » par le mode de transport « m ».

Dit : la demande des conteneurs vides par le client « i » à la période « t ».

QD_{st} : la quantité disponible des conteneurs vides chez le fournisseur « s » à la période « t ».

Cap_j : La capacité du dépôt j.

Cs_{jm} : le coût de transport entre fournisseur « s » et l'entrepôt « j » par le mode de transport « m ».

C_{jim} : le coût de transport de l'entrepôt « j » vers le client « i » par le mode de transport « m ».

H_j : le coût de stockage dans l'entrepôt « j ».

R_{jim} : le coût de location des conteneurs vides loués par l'entrepôt « j » et expédiés au client « i » par le mode de transport « m ».

ts_{jm} : le temps de transit entre le fournisseur « s » et l'entrepôt « j » par le mode de transport « m ».

t_{jim} : le temps de transit entre l'entrepôt « j » et le client « i » par le mode de transport « m ».

SL_t : le seuil maximal de location des conteneurs vides à chaque période.

Variables de décision :

Usjmt : la quantité des conteneurs vides expédiées par le fournisseur « s » par le mode de transport « m », et reçu par l'entrepôt « j » à la période « t ».

Vjimt : la quantité des conteneurs vides expédiées par l'entrepôt « j » par le mode de transport « m », et reçu par le client « i » à la période « t ».

Wijmt : la quantité des conteneurs vides louée et expédiée par l'entrepôt « j » par le mode de transport « m », et reçu par le client « i » à la période « t ».

Vjt : l'inventaire du stock des conteneurs vides dans l'entrepôt « j » à la période « t ».

Fonction objective :

$$\begin{aligned} \text{Min } & \sum_{t=0}^T \sum_{s=1}^S \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M Cs_{jms} * Dists_{jms} * Us_{jmt} + \\ & \sum_{t=0}^T \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M C_{jim} \times Dist_{jim} \times V_{jimt} + \sum_{t=0}^T \sum_{j=1}^J H_j \times V_{jt} + \\ & \sum_{t=0}^T \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M (C_{jim} \times Dist_{jim} + R_{jim}) \times W_{ijmt} \end{aligned}$$

Contraintes :

$$\sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M V_{jimt} + \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M W_{ijmt} = Dit \quad \forall i, t \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M Us_{jms}(t + \tau_{sjm}) = QD_{st} \quad \forall s, t \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M V_{jim}(t + \tau_{jim}) \leq V_{jt} \quad \forall j, t \quad (3)$$

$$V_{jt} = V_{j(t-1)} + \sum_{s=1}^S \sum_{m=1}^M Us_{jms}(t) - \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M V_{jim}(t + \tau_{jim}) \quad \forall j, t > 0 \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M V_{jim}(t + \tau_{jim}) \leq V_{jt} \quad \forall j, t \quad (5)$$

$$V_{jt} \leq Cap_j \quad \forall j, t \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M W_{ijmt} \leq SL_t \quad \forall t \quad (7)$$

$$Us_{imt}, Us_{jmt}, V_{jimt}, W_{ijmt}, V_{jt} \geq 0, \text{ entier} \quad (8)$$

2.13 Les résultats :

fourniss...aile 3)	depot (taille 2)	trans (taille 2)	periode...lle 16)	Valeur
1	1	1	0	0
1	1	1	1	0
1	1	1	2	0
1	1	1	3	0
1	1	1	4	0
1	1	1	5	0
1	1	1	6	0
1	1	1	7	0
1	1	1	8	0
1	1	1	9	0
1	1	1	10	0
1	1	1	11	0
1	1	1	12	0
1	1	1	13	0
1	1	1	14	0
1	1	1	15	50
1	1	2	0	0
1	1	2	1	0
1	1	2	2	400
1	1	2	3	250
1	1	2	4	500
1	1	2	5	0
1	1	2	6	100
1	1	2	7	450
1	1	2	8	250
1	1	2	9	100
1	1	2	10	150
1	1	2	11	250
1	1	2	12	150
1	1	2	13	300
1	1	2	14	100
1	1	2	15	100
1	2	1	0	0
1	2	1	1	0
1	2	1	2	0
2	1	1	6	0
2	1	1	7	0
2	1	1	8	0
2	1	1	9	0
2	1	1	10	0
2	1	1	11	0
2	1	1	12	0
2	1	1	13	0
2	1	1	14	0
2	1	1	15	100
2	1	2	0	0
2	1	2	1	0
2	1	2	2	400
2	1	2	3	250
2	1	2	4	450
2	1	2	5	50
2	1	2	6	100
2	1	2	7	400
2	1	2	8	150
2	1	2	9	100
2	1	2	10	300
2	1	2	11	250
2	1	2	12	250
2	1	2	13	100
2	1	2	14	100
2	1	2	15	50
2	2	1	0	0
2	2	1	1	0
2	2	1	2	0
2	2	1	3	0
2	2	1	4	0
2	2	1	5	0
2	2	1	6	0
2	2	1	7	0
2	2	1	8	0

2	2	1	9	0
2	2	1	10	0
2	2	1	11	0
2	2	1	12	0
2	2	1	13	0
2	2	1	14	0
2	2	1	15	0
2	2	2	0	0
2	2	2	1	0
2	2	2	2	0
2	2	2	3	0
2	2	2	4	0
2	2	2	5	0
2	2	2	6	0
2	2	2	7	0
2	2	2	8	0
2	2	2	9	0
2	2	2	10	50
2	2	2	11	0
2	2	2	12	0
2	2	2	13	0
2	2	2	14	0
2	2	2	15	0
3	1	1	0	0
3	1	1	1	0
3	1	1	2	0
3	1	1	3	0
3	1	1	4	0
3	1	1	5	0
3	1	1	6	0
3	1	1	7	0
3	1	1	8	0
3	1	1	9	0
3	1	1	10	0
3	1	1	11	0
3	1	1	12	0
3	1	1	13	0
3	1	1	14	0
3	1	1	15	0
3	1	2	0	0
3	1	2	1	0
3	1	2	2	0
3	1	2	3	0
3	1	2	4	0
3	1	2	5	0
3	1	2	6	0
3	1	2	7	0
3	1	2	8	0
3	1	2	9	0
3	1	2	10	0
3	1	2	11	0
3	1	2	12	0
3	1	2	13	0
3	1	2	14	0
3	1	2	15	0
3	2	1	0	0
3	2	1	1	200
3	2	1	2	0
3	2	1	3	0
3	2	1	4	0
3	2	1	5	0
3	2	1	6	0
3	2	1	7	0
3	2	1	8	0
3	2	1	9	0
3	2	1	10	0
3	2	1	11	0
3	2	1	12	0
3	2	1	13	0
3	2	1	14	0

3	2	1	15	100
3	2	2	0	0
3	2	2	1	0
3	2	2	2	0
3	2	2	3	300
3	2	2	4	550
3	2	2	5	50
3	2	2	6	100
3	2	2	7	550
3	2	2	8	100
3	2	2	9	100
3	2	2	10	300
3	2	2	11	200
3	2	2	12	250
3	2	2	13	200
3	2	2	14	150
3	2	2	15	50

Tableau 13: le nombre des conteneurs vides envoyé par les fournisseurs aux entrepôts à chaque période.

depot (taille 2)	client (taille 5)	trans (taille 2)	periode...lle 16)	Valeur
1	1	1	0	0
1	1	1	1	0
1	1	1	2	0
1	1	1	3	0
1	1	1	4	0
1	1	1	5	0
1	1	1	6	0
1	1	1	7	0
1	1	1	8	0
1	1	1	9	0
1	1	1	10	0
1	1	1	11	0
1	1	1	12	0
1	1	1	13	0
1	1	1	14	0
1	1	1	15	0
1	1	2	0	0
1	1	2	1	0
1	1	2	2	0
1	1	2	3	0
1	1	2	4	0
1	1	2	5	0
1	1	2	6	0
1	1	2	7	0
1	1	2	8	0
1	1	2	9	0
1	1	2	10	0
1	1	2	11	0
1	1	2	12	0
1	1	2	13	0
1	1	2	14	0
1	1	2	15	0
1	2	1	0	0
1	2	1	1	0
1	2	1	2	0
1	2	1	3	0
1	2	1	4	200
1	2	1	5	0
1	2	1	6	0
1	2	1	7	0
1	2	1	8	0
1	2	1	9	0
1	2	1	10	0
1	2	1	11	0
1	2	1	12	0
1	2	1	13	0
1	2	1	14	0
1	2	1	15	0
1	2	2	0	0
1	2	2	1	0
1	2	2	2	200
1	2	2	3	0
1	2	2	4	0
1	2	2	5	100
1	2	2	6	0
1	2	2	7	0
1	2	2	8	200
1	2	2	9	100
1	2	2	10	150
1	2	2	11	100
1	2	2	12	150
1	2	2	13	0
1	2	2	14	50
1	2	2	15	0
1	3	1	0	0
1	3	1	1	0
1	3	1	2	0
1	3	1	3	0
1	3	1	4	0
1	3	1	5	0

1	3	1	6	0
1	3	1	7	0
1	3	1	8	0
1	3	1	9	0
1	3	1	10	0
1	3	1	11	0
1	3	1	12	0
1	3	1	13	0
1	3	1	14	0
1	3	1	15	0
1	3	2	0	0
1	3	2	1	0
1	3	2	2	0
1	3	2	3	0
1	3	2	4	0
1	3	2	5	0
1	3	2	6	200
1	3	2	7	0
1	3	2	8	200
1	3	2	9	0
1	3	2	10	100
1	3	2	11	150
1	3	2	12	200
1	3	2	13	50
1	3	2	14	0
1	3	2	15	50
1	4	1	0	0
1	4	1	1	0
1	4	1	2	0
1	4	1	3	0
1	4	1	4	0
1	4	1	5	0
1	4	1	6	0
1	4	1	7	0
1	4	1	8	0
1	4	1	9	0
1	4	1	10	0
1	4	1	11	0
1	4	1	12	0
1	4	1	13	0
1	4	1	14	0
1	4	1	15	0
1	4	2	0	0
1	4	2	1	0
1	4	2	2	0
1	4	2	3	0
1	4	2	4	0
1	4	2	5	100
1	4	2	6	300
1	4	2	7	250
1	4	2	8	0
1	4	2	9	100
1	4	2	10	100
1	4	2	11	50
1	4	2	12	100
1	4	2	13	100
1	4	2	14	50
1	4	2	15	150
1	5	1	0	0
1	5	1	1	0
1	5	1	2	0
1	5	1	3	0
1	5	1	4	250
1	5	1	5	0
1	5	1	6	0
1	5	1	7	0
1	5	1	8	0
1	5	1	9	0
1	5	1	10	0
1	5	1	11	0

1	5	1	12	50
1	5	1	13	0
1	5	1	14	0
1	5	1	15	0
1	5	2	0	0
1	5	2	1	0
1	5	2	2	0
1	5	2	3	0
1	5	2	4	0
1	5	2	5	150
1	5	2	6	0
1	5	2	7	350
1	5	2	8	0
1	5	2	9	0
1	5	2	10	250
1	5	2	11	100
1	5	2	12	0
1	5	2	13	50
1	5	2	14	50
1	5	2	15	150
2	1	1	0	0
2	1	1	1	0
2	1	1	2	0
2	1	1	3	150
2	1	1	4	0
2	1	1	5	0
2	1	1	6	0
2	1	1	7	0
2	1	1	8	0
2	1	1	9	0
2	1	1	10	0
2	1	1	11	0
2	1	1	12	0
2	1	1	13	0
2	1	1	14	0
2	1	1	15	0
2	1	2	0	0
2	1	2	1	0
2	1	2	2	200
2	1	2	3	0
2	1	2	4	50
2	1	2	5	0
2	1	2	6	300
2	1	2	7	150
2	1	2	8	350
2	1	2	9	200
2	1	2	10	350
2	1	2	11	300
2	1	2	12	100
2	1	2	13	250
2	1	2	14	300
2	1	2	15	250
2	2	1	0	0
2	2	1	1	0
2	2	1	2	0
2	2	1	3	0
2	2	1	4	0
2	2	1	5	0
2	2	1	6	0
2	2	1	7	0
2	2	1	8	0
2	2	1	9	0
2	2	1	10	0
2	2	1	11	0
2	2	1	12	0
2	2	1	13	0
2	2	1	14	0
2	2	1	15	0
2	2	2	0	0
2	2	2	1	0

Tableau 14: Le nombre des conteneurs vides envoyé par les entrepôts aux différents clients à chaque période.

client (taille 5)	depot (taille 2)	trans (taille 2)	periode...lle 16)	Valeur
1	1	1	0	0
1	1	1	1	0
1	1	1	2	0
1	1	1	3	0
1	1	1	4	0
1	1	1	5	0
1	1	1	6	0
1	1	1	7	0
1	1	1	8	0
1	1	1	9	0
1	1	1	10	0
1	1	1	11	0
1	1	1	12	0
1	1	1	13	0
1	1	1	14	0
1	1	1	15	0
1	1	2	0	0
1	1	2	1	0
1	1	2	2	0
1	1	2	3	0
1	1	2	4	0
1	1	2	5	0
1	1	2	6	0
1	1	2	7	0
1	1	2	8	0
1	1	2	9	0
1	1	2	10	0
1	1	2	11	0
1	1	2	12	0
1	1	2	13	0
1	1	2	14	0
1	1	2	15	0
1	2	1	0	0
1	2	1	1	200
1	2	1	2	0
1	2	1	3	0
1	2	1	4	0
1	2	1	5	0
1	2	1	6	0
1	2	1	7	0
1	2	1	8	0
1	2	1	9	0
1	2	1	10	0
1	2	1	11	0
1	2	1	12	0
1	2	1	13	0
1	2	1	14	0
1	2	1	15	0
1	2	2	0	0
1	2	2	1	0
1	2	2	2	100
1	2	2	3	100
1	2	2	4	300
1	2	2	5	250
1	2	2	6	50
1	2	2	7	0
1	2	2	8	0
1	2	2	9	150
1	2	2	10	0
1	2	2	11	0
1	2	2	12	250
1	2	2	13	0
1	2	2	14	0
1	2	2	15	0
2	1	1	0	0
2	1	1	1	250
2	1	1	2	0
2	1	1	3	0
2	1	1	4	0
2	1	1	5	0

2	1	1	6	0
2	1	1	7	0
2	1	1	8	0
2	1	1	9	0
2	1	1	10	0
2	1	1	11	0
2	1	1	12	0
2	1	1	13	0
2	1	1	14	0
2	1	1	15	0
2	1	2	0	0
2	1	2	1	0
2	1	2	2	100
2	1	2	3	100
2	1	2	4	50
2	1	2	5	200
2	1	2	6	250
2	1	2	7	0
2	1	2	8	50
2	1	2	9	0
2	1	2	10	0
2	1	2	11	0
2	1	2	12	0
2	1	2	13	0
2	1	2	14	0
2	1	2	15	0
2	2	1	0	0
2	2	1	1	0
2	2	1	2	0
2	2	1	3	0
2	2	1	4	0
2	2	1	5	0
2	2	1	6	0
2	2	1	7	0
2	2	1	8	0
2	2	1	9	0
2	2	1	10	0
2	2	1	11	0
2	2	1	12	0
2	2	1	13	0
2	2	1	14	0
2	2	1	15	0
2	2	2	0	0
2	2	2	1	0
2	2	2	2	0
2	2	2	3	0
2	2	2	4	0
2	2	2	5	0
2	2	2	6	0
2	2	2	7	0
2	2	2	8	0
2	2	2	9	0
2	2	2	10	0
2	2	2	11	0
2	2	2	12	0
2	2	2	13	0
2	2	2	14	0
2	2	2	15	0
3	1	1	0	0
3	1	1	1	100
3	1	1	2	0
3	1	1	3	0
3	1	1	4	0
3	1	1	5	0
3	1	1	6	0
3	1	1	7	0
3	1	1	8	0
3	1	1	9	0
3	1	1	10	0
3	1	1	11	0

3	1	1	12	0
3	1	1	13	0
3	1	1	14	0
3	1	1	15	0
3	1	2	0	0
3	1	2	1	0
3	1	2	2	100
3	1	2	3	100
3	1	2	4	100
3	1	2	5	200
3	1	2	6	0
3	1	2	7	0
3	1	2	8	0
3	1	2	9	50
3	1	2	10	0
3	1	2	11	0
3	1	2	12	0
3	1	2	13	0
3	1	2	14	0
3	1	2	15	0
3	2	1	0	0
3	2	1	1	0
3	2	1	2	0
3	2	1	3	0
3	2	1	4	0
3	2	1	5	0
3	2	1	6	0
3	2	1	7	0
3	2	1	8	0
3	2	1	9	0
3	2	1	10	0
3	2	1	11	0
3	2	1	12	0
3	2	1	13	0
3	2	1	14	0
3	2	1	15	0
3	2	2	0	0
3	2	2	1	0
3	2	2	2	0
3	2	2	3	0
3	2	2	4	0
3	2	2	5	0
3	2	2	6	0
3	2	2	7	0
3	2	2	8	0
3	2	2	9	0
3	2	2	10	0
3	2	2	11	0
3	2	2	12	0
3	2	2	13	0
3	2	2	14	0
3	2	2	15	0
4	1	1	0	0
4	1	1	1	150
4	1	1	2	0
4	1	1	3	0
4	1	1	4	0
4	1	1	5	0
4	1	1	6	0
4	1	1	7	0
4	1	1	8	0
4	1	1	9	0
4	1	1	10	0
4	1	1	11	0
4	1	1	12	0
4	1	1	13	0
4	1	1	14	0
4	1	1	15	0
4	1	2	0	0
4	1	2	1	0

4	1	2	2	150
4	1	2	3	200
4	1	2	4	250
4	1	2	5	0
4	1	2	6	0
4	1	2	7	0
4	1	2	8	0
4	1	2	9	100
4	1	2	10	0
4	1	2	11	0
4	1	2	12	0
4	1	2	13	0
4	1	2	14	0
4	1	2	15	0
4	2	1	0	0
4	2	1	1	0
4	2	1	2	0
4	2	1	3	0
4	2	1	4	0
4	2	1	5	0
4	2	1	6	0
4	2	1	7	0
4	2	1	8	0
4	2	1	9	0
4	2	1	10	0
4	2	1	11	0
4	2	1	12	0
4	2	1	13	0
4	2	1	14	0
4	2	1	15	0
4	2	2	0	0
4	2	2	1	0
4	2	2	2	0
4	2	2	3	0
4	2	2	4	0
4	2	2	5	0
4	2	2	6	0
4	2	2	7	0
4	2	2	8	0
4	2	2	9	0
4	2	2	10	0
4	2	2	11	0
4	2	2	12	0
4	2	2	13	0
4	2	2	14	0
4	2	2	15	0
5	1	1	0	0
5	1	1	1	200
5	1	1	2	0
5	1	1	3	0
5	1	1	4	0
5	1	1	5	0
5	1	1	6	0
5	1	1	7	0
5	1	1	8	0
5	1	1	9	0
5	1	1	10	0
5	1	1	11	0
5	1	1	12	0
5	1	1	13	0
5	1	1	14	0
5	1	1	15	0
5	1	2	0	0
5	1	2	1	0
5	1	2	2	250
5	1	2	3	200
5	1	2	4	0
5	1	2	5	0
5	1	2	6	100
5	1	2	7	0

5	1	2	8	0
5	1	2	9	200
5	1	2	10	0
5	1	2	11	0
5	1	2	12	0
5	1	2	13	0
5	1	2	14	0
5	1	2	15	0
5	2	1	0	0
5	2	1	1	0
5	2	1	2	0
5	2	1	3	0
5	2	1	4	0
5	2	1	5	0
5	2	1	6	0
5	2	1	7	0
5	2	1	8	0
5	2	1	9	0
5	2	1	10	0
5	2	1	11	0
5	2	1	12	0
5	2	1	13	0
5	2	1	14	0
5	2	1	15	0
5	2	2	0	0
5	2	2	1	0
5	2	2	2	0
5	2	2	3	0
5	2	2	4	0
5	2	2	5	0
5	2	2	6	0
5	2	2	7	0
5	2	2	8	0
5	2	2	9	0
5	2	2	10	0

Tableau 15: le nombre des conteneurs loué et envoyé par les entrepôts aux différents clients à chaque période.

↓ depot (taille 2)	↓ periode...lle 16)	↓ Valeur
1	0	0
1	1	0
1	2	800
1	3	500
1	4	950
1	5	400
1	6	200
1	7	850
1	8	650
1	9	450
1	10	450
1	11	700
1	12	950
1	13	1000
1	14	1200
1	15	1500
2	0	0
2	1	200
2	2	0
2	3	300
2	4	550
2	5	450
2	6	200
2	7	550
2	8	300
2	9	100
2	10	350
2	11	300
2	12	250
2	13	200
2	14	350
2	15	500

Tableau 16: l'inventaire du stock aux entrepôts à chaque période.

	Scénario 1	Scénario 2	Différence en pourcentage
Coût total de repositionnement terrestre	88 010 000DA	162 618 000DA	45,90 %

Tableau 17: Coût total de repositionnement terrestre dans les deux scénarios

Les résultats de scénario 1 montrent que le coût total de repositionnement sera 88 010 000 DA. Ce coût inclut le coût de transport, le coût d'entreposage et le coût de manutention des conteneurs repositionnés. Les résultats de scénario 2 montrent que le coût de repositionnement sera 162 618 000DA. Ce coût inclut le coût de transport, le coût d'entreposage et le coût de manutention des conteneurs repositionnés. La différence de réduction entre les deux scénarios est de 45,90 %.

2.14 Perspectives :

Développer une plateforme numérique pour mettre en place la stratégie « street-turn » car elle nécessite un degré très élevé de coordination entre les acteurs de la chaîne logistique, cela va permettre aux compagnies maritime de réduire considérablement les coûts de repositionnement des conteneurs vides.

2.15 Conclusion :

La comparaison des deux scénarios démontre sans ambiguïté la supériorité du scénario 1. Comme il a été vu dans le chapitre précédent, la stratégie « street-turns » domine.

2.16 Bibliographies

- Acciaro, M. and Serra, P. *Maritime supply chain security*. in the Proceeding of the International Forum on Shipping, Ports and Airports Hong Kong, China., 2013.
- ALIAJNI, SHAHRZAD. *STRATÉGIE DE GESTION DES RETOURS DES CONTENEURS MARITIMES DE L'INTERNET PHYSIQUE*. MONTRÉAL : ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL , AVRIL 2016 .
- Alvarez, J.F. *Joint routing and deployment of a fleet of container vessels*. Maritime Economics & Logistics, 2009 .
- Bandeira, D.L., Becker, J.L. and Borenstein, D. *A DSS for integrated distribution of empty and full containers*. Decision Support Systems, 2009.
- Bell, M.G.H., Liu, X., Angeloudis, P., Fonzone, A. & Hosseinloo, S.H. *A frequencybased maritime container assignment model*. Transportation Research Part B, 2011.
- Benoît Noël, SOUS LADIRECTION DE Jérôme VERNY. *Le développement de la conteneurisation*. Ecole supérieur des transports, Mémoire de fin d'études, Transport maritime , 2003 .
- Boile, M. *Empty intermodal container management*. Report FHWA – NJ – , 2006.
- Boile, M., Mittal, N., Golias, M., & Theofanis. *Empty marine container management: addressing a global problem locally*. Transportation Research Board 85th Annual Meeting. , 2006.
- Bourbeau, B., Crainic, T.G. & Gendron, B.,. *Branch-and-bound parallelization strategies applied to a depot location and container fleet management problem*. . Parallel Computing, 2000.
- Braekers, K., Caris, A. and Janssens, G.K. *Optimal shipping routes and vessel size for intermodal barge transport with empty container repositioning*. Computers in Industry, 2013.
- Braekers, K., Janssens, G. K., & Caris, A. *Challenges in managing empty container movements at multiple planning levels*. *Transport Reviews*, 31(6), 681-708. Branch, A. . London: Cengage Learning EMEA, 2011.
- Branch, A.,. *Export Practice and Management*. 4ed. (London: Thomson Learning). , 2000.
- Brouer, B.D., D. Pisinger, and S., Spoorendonk. *Liner shipping cargo allocation with repositioning of empty containers*. INFOR, 2011.
- Chang, H., H. Jula, A. Chassiakos, and P Ioannou. *A heuristic solution for the empty container substitution problem*. Transportation Research Part E, 2008.
- Chang, H., Jula, H., Chassiakos, A., & Ioannou, P. *Empty container reuse in the Los Angeles/Long Beach port area*. METRANS national urban freight conference, Long Beach, 2006.

- Cheang, B., and A., Lim. *A network flow based method for the distribution of empty containers*. International Journal of Computer Applications in Technology, 2005.
- Cheung, R.K., and C.Y., Chen. *A two-stage stochastic network model and solution methods for the dynamic empty container allocation problem*. . Transportation Science, 1998.
- Choong, S. T., Cole, M. H., & Kutanoglu, E. *Empty container management for intermodal transportation networks*. . Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review,, 2002.
- Chou, C.C., R.H. Gou, C.L. Tsai, M.C. Tsou, C.P. Wong, and H.L. Yu. *Application of a mixed fuzzy decision making and optimization programming model to the empty container allocation*. Applied Soft Computing, 2010.
- Crainic, T. G., & Laporte, G. *Planning models for freight transportation*. European journal of operational research, 1993.
- Crainic, T. G., Gendreau, M., & Dejax, P. *Dynamic and stochastic models for the allocation of empty containers*. Operations research, 1993.
- Crainic, T.G., M. Gendreau, and P., Dejax. *Dynamic and stochastic models for the allocation of empty containers*. Operations Research, 1993a.
- Dang, Q.-V., Yun, W.-Y., & Kopfer, H. *Positioning empty containers under dependent demand process*. Computers & Industrial Engineering, 2012.
- Deidda, L., Di Francesco, M., Olivo, A., & Zuddas, P. *Implementing the street-turn strategy by an optimization model*. Maritime Policy & Management, 2008.
- Dejax, P. J., & Crainic, T. G. *Survey paper-a review of empty flows and fleet management models in freight transportation*. Transportation Science, 1987.
- Dejax, P., and T Crainic. *A review of empty flows and fleet management models in freight transportation*. Transportation Science, 1987.
- Di Francesco, M., Crainic, T. G., & Zuddas, P. *The effect of multi-scenario policies on empty container repositioning*. . Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, (2009).
- Di Francesco, M., T.G. Crainic, and P. Zuddas. *The effect of multi-scenario policies on empty container repositioning*. Transportation Research Part E, 2009.
- DONG, Dong-Ping SONG and Jing-Xin. *Empty Container Repositioning* . School of Management, University of Liverpool, Chatham Street, Liverpool,, January 2015.
- Dong, J.X., and D.P Song. *Lease term optimization in container shipping systems*. International Journal of Logistics Research and Applications, 2012b.
- Du, Y., and R. Hall. *Fleet sizing and empty equipment redistribution for center-terminal transportation networks*. Management Science, 1997.
- Epstein, R., et al. *a strategic empty container logistics optimization in a major shipping company*. Interfaces, (2012).

- Era, A. L., J. C. Morales, and M.W.P. Savelsbergh. *Robust optimization for empty repositioning problems*. Operations Research , 2009.
- Era, A.L., J.C. Morales, and M. Savelsbergh. *Global intermodal tank container management for the chemical industry*. Transportation Research Part E , 2005.
- Façanha, C., Menendez, M., Turner, E., Yin, H., & Zhang, Y. *Repositioning of Empty Containers in the Transpacific Market*. Report CE, 2003.
- Feng, C.M., and C.H Chang. *Empty container reposition planning for intra-Asia liner shipping*. Maritime Policy & Management, 2008.
- Furió, S., Andrés, C., Adenso-Díaz, B., & Lozano, S. *Optimization of empty container movements using street-turn: Application to Valencia hinterland*. Computers & Industrial Engineering.
- Goldsby, T. J., & Closs, D. J. *Using activity-based costing to reengineer the reverse logistics channel*. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 2000.
- Hans Cederqvist, Björn Henriksson, Andrew Spink(56 Revue ABB 3/2006). *la logistique portuaire franchit un nouveau cap*. 56 Revue ABB , 3/2006.
- Huth, T., & Mattfeld, D. C. *Integration of routing and resource allocation in dynamic logistic networks*. Dynamics in Logistics , 2008.
- Industry, Computers in. *Challenges in managing empty container movements at multiple planning levels*. Transport Reviews, 2011.
- Konings, R., and R. Thijs. *Foldable containers: a new perspective on reducing container repositioning costs*. European Journal of Transport and Infrastructure Research, 2001.
- Lai, K.K., K. Lam, and W.K. Chan. *Shipping container logistics and allocation*. Journal of the Operational Research Society, 1995.
- Li, J.A., S.C.H. Leung, Y. Wu, and K. Liu. *Allocation of empty containers between multi-ports*. European Journal of Operational Research, 2007.
- Long, Y., Lee, L. H., Chew, E. P., Luo, Y., Shao, J., Senguta, A., & Chua, S. M. *OPERATION PLANNING FOR MARITIME EMPTY CONTAINER REPOSITIONING*. International Journal of Industrial Engineering, 2013.
- Lützenbauer, M. *Mehrwegsysteme für transportverpackungen (systems for returnable transport packaging)*. Frankfurt am Main, 1993.
- Mittal, N. *Regional empty marine container management*. The State University of New Jersey, New Brunswick, New Jersey, 2008.
- Mohammed Rida Ech-Charrat, Israe Ezznati, Mostafa Ezziyani, Loubna Cherrat et Tarik Zouadi. *Facility Location Problem for Reusable Containers Distribution System*. Tangier: Université Abdelmalek Essaâdi, Tangier, Morocco, 2020.
- Mongelluzzo, B. *Thinking inside the box*. The Journal of Commerce, 2004.

- Monios, J., and G. Wilmsmeier. *The operational dynamics of container types in regional British port development strategies*. Edinburgh Napier University, UK , 2013.
- Montreuil, B. *Toward a Physical Internet: meeting the global logistics sustainability grand challenge*. Logistics Research, 2011.
- Notteboom, T.E. *The time factor in liner shipping services*. Maritime Economics & Logistics, 2006.
- Olivo, Zuddas, Francesco, M.D, and Manca. *An operational model for empty container management*. . Maritime Economics and Logistics, 2005.
- Roberti, M. *RFID container seals deliver security, value*. The RFID Journal, (2005).
- Shen, W.S., and C.M Khoong. *A DSS for empty container distribution planning*. Decision Support System, 1995.
- Shi, N., and D. Xu. *A Markov decision process model for an online empty container repositioning problem in a two-port fixed route*. International Journal of Operations Research, 2011.
- Shintani, K., Imai, A., Nishimura, E., & Papadimitriou, S. *The container shipping network design problem with empty container repositioning*. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2007.
- Song, D.P. *Analysis of a collaborative strategy in container fleet management*. the 11th World Conference on Transport Research., 2007b.
- Song, D.P, and Carter. *Empty container repositioning in shipping industry* Maritime Policy & Management, 2009.
- Song, D.-P., & Dong, J.-X. *Effectiveness of an empty container repositioning policy with flexible destination ports*. . Transport Policy, 2011.
- Song, D.P., and J.X Dong. Maritime Economics and Logistics, 2011a.
- Song, D.P., and J.X. Dong. *Empty container management in cyclic shipping routes* Maritime Economics & Logistics, 2008.
- Song, D.P., and Zhang. *A fluid flow model for empty container repositioning policy with a single port and stochastic demand* SIAM Journal on Control and Optimization, 2010.
- Sterzik, S., Kopfer, H., & Yun, W.-Y. *Reducing hinterland transportation costs through container sharing*. . Flexible Services and Manufacturing Journal, 2015.
- Van Der Horst, M.R., and P.W. De Langen. *Coordination in hinterland transport chains: a major challenge for the seaport community*. Maritime Economics & Logistics, 2008.
- Vojdani, N., Lootz, F., & Rösner, R. *Optimizing empty container logistics based on a collaborative network approach*. Maritime Economics & Logistics, 2013.
- Wang, S. *Essential elements in tactical planning models for container liner shipping*. Transportation Research Part B, 2013.

Wolff, J., N. Herz, and H. Flamig. *Report on Empty Container Management in the Baltic Sea Region: Experiences and Solutions from a Multi-actor Perspective*. Hamburg University of Technology, The Baltic Sea Region Programme 2007-2013. , 2011.

Xu, J., Notteboom, T., Dong, J.-X., Xu, J., & Song, D.-P. *Assessment of empty container repositioning policies in maritime transport*. The International Journal of Logistics Management, 2013.

Zhang, R., Yun, W. Y., & Moon, I. (2009). *A reactive tabu search algorithm for the multi-depot container truck transportation problem*. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review.