

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION  
AND SCIENTIFIC RESEARCH

HIGHER SCHOOL IN APPLIED SCIENCES  
--T L E M C E N--



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية  
École Supérieure en  
Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا في العلوم التطبيقية  
-تلمسان-

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur

Filière : Génie industriel.

Spécialité : Management industriel et logistique.

Présenté par :

**ACHOUR Soufiane.**

**KHEMATI Mohamed Lamine.**

Thème

**Gestion et Organisation 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 premier chapitre les caractéristiques des conteneurs et le rôle crucial de la conteneurisation dans les réseaux de transport de marchandises. Ensuite, dans le deuxième chapitre nous présentons une revue de la littérature en mettant l'accent sur les niveaux de repositionnement des conteneurs vides et les décisions de planification prises à chaque niveau. Finalement, dans le dernier chapitre nous proposons deux modèles mathématiques pour résoudre le problème de repositionnement des conteneurs vides (ECR), dans le premier modèle, seulement les flux des conteneurs vides ont été modélisés et dans le deuxième modèle les flux des conteneurs pleins et vides ont été modélisés simultanément dans un réseau de transport bouclé, afin de suivre l'acheminement des conteneurs pleins et par conséquent déterminer l'emplacement des conteneurs vides pour pouvoir assurer un repositionnement plus fiable de ces conteneurs.

L'objectif de ces modèles est de proposer une organisation de la gestion des retours des conteneurs en choisissant le routage des conteneurs entre les acteurs du réseau de transport et la quantité de conteneurs à envoyer et à collecter. La quantité envoyée et collectée doit satisfaire la demande, minimiser les coûts de transport et exploiter l'espace de stockage disponible.

## 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 characteristics of containers and the crucial role of containerization in freight transport networks. Then, in the second chapter we present a review of the literature focusing on the levels of repositioning of empty containers and the planning decisions taken at each level. Finally, in the last chapter we propose two mathematical models to solve the problem of repositioning empty containers (ECR), in the first model, only the flows of empty containers have been modeled and in the second model the flows of full and empty containers were modeled simultaneously in a looped transport network, in order to track the movement of full containers and therefore determine the location of empty containers in order to ensure a more reliable repositioning of these containers.

The objective of these models is to provide an organization for the management of container returns by choosing the routing of containers between the actors of the transport network and the quantity of containers to send and collect. The quantity sent and collected must meet demand, minimize transport costs and make use of available storage space.

## 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 و الانبعاثات.

تعرض هذه الرسالة أولاً في الفصل الأول خصائص الحاويات والدور الحاسم للحاويات في شبكات نقل البضائع. ثم نقدم في الفصل الثاني مراجعة للأدبيات مع التركيز على مستويات إعادة ترتيب الحاويات الفارغة وقرارات التخطيط المتخذة على كل مستوى. أخيراً، في الفصل الأخير نقترح، في النموذج الأول، تم نمذجة تدفقات الحاويات الفارغة فقط وفي النموذج (ECR) نموذجين رياضيين لحل مشكلة إعادة ترتيب الحاويات الفارغة الثاني تدفقات الحاويات الممتلئة والفارغة. تم تصميمها في وقت واحد في شبكة نقل ذات حلقات، من أجل تتبع حركة الحاويات الممتلئة وبالتالي تحديد موقع الحاويات الفارغة من أجل ضمان إعادة ضبط أكثر موثوقية لهذه الحاويات

الهدف من هذه النماذج هو توفير منظمة لإدارة مرتجعات الحاويات عن طريق اختيار توجيه الحاويات بين الجهات الفاعلة في شبكة النقل وكمية الحاويات المراد إرسالها وجمعها. يجب أن تلي الكمية المرسله والمجمعة الطلب وتقليل تكاليف النقل والاستفادة من مساحة التخزين المتاحة

## **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 aux membres du jury pour leur présence, pour leur lecture attentive de notre mémoire ainsi que pour les remarques qu'ils nous adresseront lors de cette soutenance afin d'améliorer notre 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

Résumé.....	2
Abstract.....	2
نبذة مختصرة.....	2
Dédicace 1 :.....	3
Dédicace 2 :.....	4
Remerciement : .....	5
Liste des tableaux.....	8
Liste des figures.....	9
Liste des Sigles et Abréviations .....	10
Présentation de l'entreprise Green Algérie SPA :.....	11
Chapitre1 : Les conteneurs et la conteneurisation : .....	12
1.1 Introduction : .....	12
1.2 Les conteneurs : .....	12
1.2.1 La naissance du conteneur :(Benoît Noël 2003 ) .....	12
1.2.2 Description et propriétés du conteneur :.....	13
1.2.3 La structure du conteneur :(Hans Cederqvist 3/2006).....	13
1.2.4 Les différents types de conteneurs : .....	14
1.2.5 Le principe de la standardisation : .....	18
1.3 La conteneurisation :.....	20
1.4 Conclusion: .....	22
CHAPITRE 2 : REVUE DE LA LITTÉRATURE .....	23
2.1 INTRODUCTION .....	23
2.2 Niveaux de repositionnement .....	24
2.2.1 Repositionnement global.....	24
2.2.2 Repositionnement régional.....	25
2.3 Niveaux de planification .....	29
2.3.1 Planification stratégique .....	29
2.3.2 Planification tactique.....	29
2.3.3 Planification opérationnelle .....	29
2.4 Questions de modélisation .....	29
2.4.1 Paramètres stochastiques.....	30
2.4.2 Horizon de planification .....	30

2.5	Décisions de planification stratégique au niveau global.....	30
2.6	Décisions de planification tactique au niveau global.....	31
2.7	Décisions de planification opérationnelle au niveau global.....	32
2.8	Décisions de planification stratégique au niveau régional .....	32
2.9	Décisions de planification tactique au niveau régional.....	34
2.10	Décisions de planification opérationnelle au niveau régional.....	35
2.11	Conclusion .....	35
Chapitre 3 : Résolution du problème de repositionnement des conteneurs vides ECR .....		39
3.1	Introduction : .....	39
3.2	Problématique : .....	39
3.3	Contribution scientifique : .....	39
3.4	L'objectif du premier modèle :.....	40
3.5	Hypothèses du premier modèle :.....	40
3.6	Paramètres des modèles.....	41
3.7	Indicateurs de performance.....	42
3.8	Les données :.....	42
3.9	Le modèle mathématique : .....	44
3.10	Les résultats :.....	46
3.11	Interprétation des résultats :.....	57
3.12	L'objectif du deuxième modèle proposé : .....	58
3.13	Hypothèses du modèle : .....	59
3.14	Paramètres du modèle.....	60
3.15	Indicateurs de performance.....	60
3.16	Les données :.....	60
3.17	Le modèle mathématique : .....	62
3.18	Les résultats :.....	65
3.19	Interprétation des résultats : .....	81
3.20	Perspectives :.....	81
3.21	Conclusion : .....	81
Bibliographie.....		82

## Liste des tableaux

Tableau 1: Dimensions d'un conteneur Super Ventilé .....	15
Tableau 2: Dimensions d'un conteneur à Toit Ouvert.....	16
Tableau 3: Principaux articles sur la gestion des retours des conteneurs.....	27
Tableau 4: Principaux articles sur la gestion des retours des conteneurs (suite et fin) .....	28
Tableau 5: le nombre des conteneurs vides envoyés par les clients-fournisseurs (importateurs) aux clients (exportateurs) .....	49
Tableau 6: le nombre des conteneurs vides envoyés par les clients-fournisseurs (importateurs) aux entrepôts .....	51
Tableau 7: le nombre des conteneurs vides envoyés par les entrepôts aux différents clients.....	53
Tableau 8: Le nombre de conteneurs loués par les entrepôts et envoyés aux différents clients.....	56
Tableau 9: l'inventaire des stocks des conteneurs aux entrepôts à chaque période .....	57
Tableau 10: Nombre de conteneurs pleins envoyés par les fournisseurs aux différents entrepôts .....	66
Tableau 11: Nombre des conteneurs pleins envoyés par les entrepôts aux différents clients.....	68
Tableau 12: Nombre des conteneurs vides envoyés par les clients aux différents entrepôts .....	70
Tableau 13: le nombre des conteneurs vides envoyés par les entrepôts aux différents fournisseurs .....	72
Tableau 14: le routage des conteneurs pleins .....	73
Tableau 15: le routage des conteneurs vides .....	74
Tableau 16: l'inventaire des conteneurs pleins chez les fournisseurs à chaque période...	75
Tableau 17: l'inventaire des conteneurs pleins dans les entrepôts à chaque période .....	76
Tableau 18: l'inventaire des conteneurs pleins chez les clients à chaque période .....	77
Tableau 19: l'inventaire des conteneurs vides chez les fournisseurs à chaque période....	78
Tableau 20: l'inventaire des conteneurs vides dans les entrepôts à chaque période .....	79
Tableau 21: l'inventaire des conteneurs vides chez les clients à chaque période .....	80



## Liste des figures

Figure 1: Le Marquage des Conteneurs .....	13
Figure 2: Container Dry ventilé.....	14
Figure 3: Container Frigorifique. ....	16
Figure 4: Container Plate-forme à Parois Latérales Ouvertes.....	17
Figure 5: Container Citerne. ....	17
Figure 6: La plate forme de conteneur.....	18
Figure 7: L'armature de conteneur. ....	19
Figure 8: la porte du conteneur. ....	19
Figure 9: conteneur PLEIN et conteneur VIDE. ....	19
Figure 10: les pièces de coins de conteneur. ....	20
Figure 11: Le turnover mondial de conteneurs (en million EVP). ....	21
Figure 12: Retour de conteneurs vides (traduction libre de l'auteur (Goldsby et Closs, 2000), p.6).....	23
Figure 13: Schéma de synthèse des quatre stratégies de repositionnement des conteneurs vides .....	25
Figure 14: Gestion des conteneurs vides au niveau global.....	36
Figure 15: Gestion des conteneurs vides au niveau régional.....	37
Figure 16: La structure du réseau de transport.....	40
Figure 17: La structure du réseau de transport.....	59

## Liste des Sigles et Abréviations

<b>ISO</b>	L'organisation internationale de Normalisation
<b>EVP, TEU</b>	Equivalent Vingt Pieds
<b>ECR</b>	Empty Containers Repositioning (Repositionnement des Conteneurs Vides).

## **Présentation de l'entreprise Green Algérie SPA :**

Green Algérie est une société de droit Algérien elle a été créée en partenariat avec l'armateur, Evergreen Marine, pour la consignation des navires.

La politique commerciale de Green Algérie consiste à offrir un service personnalisé aux clients transportant leurs marchandises en conteneurs par voie maritime.



# Chapitre1 : Les conteneurs et la conteneurisation :

## 1.1 Introduction :

Le conteneur, introduit dans les années 60, a révolutionné la logistique portuaire. En 2006, le trafic maritime mondial s'élèvera à près de 300 millions de conteneurs, représentant d'énormes flux de marchandises. L'automatisation des terminaux de conteneurs répond aux impératifs de productivité et d'efficacité du transport maritime.

La conteneurisation des marchandises a joué un rôle de catalyseur dans le formidable essor du commerce international, induisant notamment une forte réduction des coûts de transport qui ne représentent désormais qu'un faible pourcentage du prix de vente des produits. [1]

Le reste de ce chapitre est organisé comme suit : la naissance du conteneur, la description et les propriétés du conteneur, la structure et les différents types de conteneurs, ainsi que la standardisation du conteneur sont présentés dans la section 1.2, l'historique de la conteneurisation ainsi que les avantages de cette évolution sont exposés dans la section 1.3

## 1.2 Les conteneurs :

### 1.2.1 La naissance du conteneur :(Benoît Noël 2003 )

En 1956, un entrepreneur américain du nom de Malcom Mac Lean adapte 4 de ses navires pour transporter 58 remorques de camions par voie maritime. L'expérience se révélant positive, Mac Lean franchit véritablement le pas en dissociant « la caisse » contenant les marchandises, du châssis de la remorque : le « container » (terme anglais) était né. Un an plus tard, Mac Lean fait transformer 6 cargos en navires spécialement conçus pour le transport de ces boîtes. Il nomme sa société Sea-Land (mer-terre).

Il faudra attendre 10 ans pour que les premières liaisons transocéaniques voient le jour et que le concept s'exporte en Europe:

En avril 1966, le *Fairland* de la société Sea-Land (d'une capacité de 228 conteneurs) relie New York à Rotterdam. En utilisant un conditionnement utilisable par différents modes de transport sans manipulation intermédiaire, Mac Lean a mis en place le principe de la multi modalité, qui s'est ensuite développé grâce à la normalisation des conteneurs, élaborée par le comité technique ISO / TC 104 : quelque soit le pays, les conteneurs manutentionnés sont identiques dans leur conception développée ci-après.

Il a cependant demandé :

- La mise au point de navires spécialisés en constante évolution en taille et en techniques d'arrimage, et le développement du parc de conteneurs.
- La réalisation de terminaux (ports) adaptés aux conteneurs et de matériels de manutention spécialisés (portiques et engins divers),

### 1.2.2 Description et propriétés du conteneur :

Un conteneur est une caisse métallique rectangulaire qui sert à emmagasiner des éléments qui doivent être transportés d'un endroit à un autre. Grâce à la standardisation, les dimensions des conteneurs sont réglementées par la norme ISO 668 : 1995. L'unité de mesure de conteneur est l'équivalent 20 pieds (EVP), mais ils existent des conteneurs de 40 pieds (2 EVP), etc.

L'introduction du conteneur a fortement réduit les coûts et tire le marché du fret maritime. Un conteneur mesure 2,4 m de large sur 3 ou 3,24 m de haut ; les longueurs les plus courantes sont 6,1 m (soit 20 pieds ou EVP) et 12,2 m (soit 2 EVP). Avant son introduction, l'opération de chargement/déchargement immobilisait les navires à quai pendant plusieurs semaines. Aujourd'hui, un gros porte-conteneurs de 6000 à 9000 EVP est chargé/déchargé à la cadence moyenne de 4000 à 5000 EVP (jusqu'à 50 000 tonnes) en moins de 24 heures. (Hans Cederqvist 3/2006)

**Le marquage des conteneurs :** La figure 1 est une illustration de ce marquage :

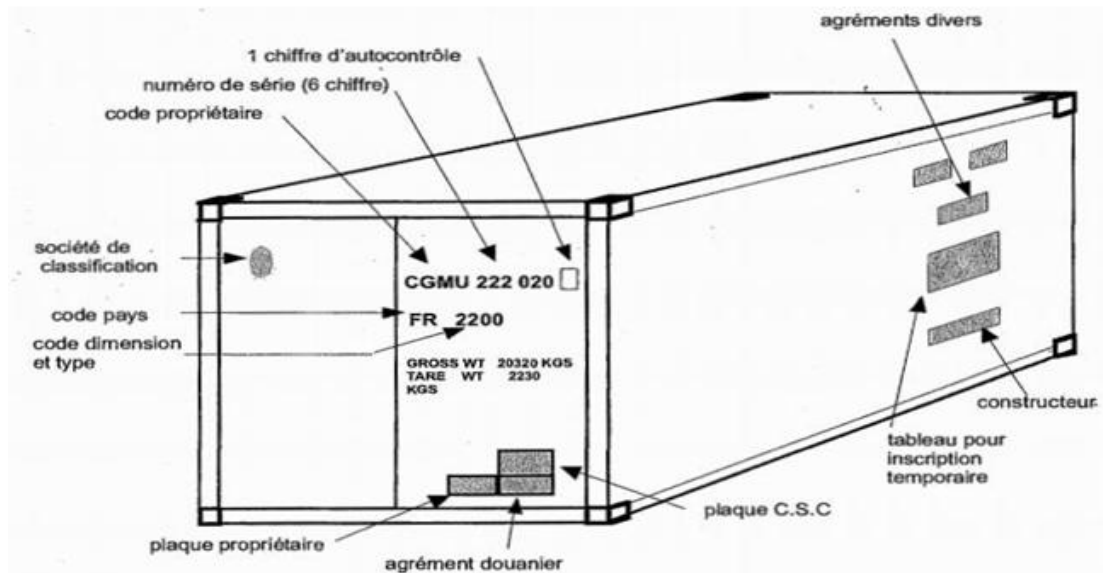


Figure 1: Le Marquage des Conteneurs

### 1.2.3 La structure du conteneur :(Hans Cederqvist 3/2006)

Le conteneur doit protéger la marchandise contre les avaries mécaniques, les conditions atmosphériques et la mer. Il doit être robuste, assurer un long service, être le plus léger possible. En cas d'avarie, la réparation doit pouvoir être effectuée n'importe où, sans matériel spécial : il doit être constitué de matériaux courants. La structure résistante doit absorber toutes les contraintes dues aux efforts auxquels ces conteneurs sont soumis.

#### • Le cadre :

Il comprend :

- une charpente de fond très solide (longerons et traverses), des orifices pour le passage des fourches sont pratiqués dans les longerons,
- 4 montants latéraux, et un cadre supérieur.

Ces éléments sont assemblés par des pièces de coin en acier moulé (Brevet Mac Lean) essentielles pour la manutention et le saisissage (twist Locke).

- **L'habillage :**

- Extérieur : tôle en acier, souvent ondulée sur les cotés. Des panneaux en polyester peuvent être employés.
- Intérieur : le plancher en lattes de bois et le reste en contre-plaqué (calage des colis et réduction de la condensation). L'aluminium est utilisé pour les conteneurs isothermes ou ventilés (meilleure hygiène).

- **L'accès :**

Une porte à deux battants à une extrémité ou porte latérale (rail). Verrouillage par 4 crémones. Possibilité de pose de scellés (ex : transport sous douane).

#### 1.2.4 Les différents types de conteneurs :

Généralement, il y a plusieurs formes de conteneur, dont les plus connues sont : Dry Ventilé Dry High Cube, Super Ventilé, Frigorifique(Le REEFER), Open Top, Flat Rack, Citerne, etc.

- **Le conteneur Dry Ventilé :**

Convient pour le transport de : barils, bois débité, bobines d'acier, caisses, caoutchouc et coton en balles, colis en carton, fûts, palettes, véhicules légers et utilitaires, meubles, sacherie, tôles en fardeaux...



**Figure 2: Container Dry ventilé.**

- **Le conteneur Super Ventilé :**

- Convient pour le transport de marchandise organique : bulbes, cacao et café en sac, Pommes de terre, oignons...
- Convient pour le transport de marchandise de même type que le Dry Ventilé,
- Container à usage général,
- Surface de ventilation naturelle par la présence d'orifices dans les longerons.
- Etanche aux intempéries à la même titre que le Dry Ventilé.

Ce type de conteneurs est mentionné par la suite, Tableau 1 :

Propriétés	20' Ventilé ISO 22G1
<b>Dimensions Intérieures</b>	L : 5910 mm l : 2340 mm H : 2385 mm
<b>Ouverture de Porte</b>	L : 2330 mm H : 2280 mm
<b>Volume</b>	33,0 m3
<b>Tare</b>	2380 kg
<b>Net Marchandise</b>	28 100 kg
<b>Max. Gross Weight</b>	30 480 kg

**Tableau 1: Dimensions d'un conteneur Super Ventilé**

- **Container Frigorifique :(REEFER)**

Convient pour le transport de marchandises périssables sous température contrôlée : légumes, fruits, viande, poisson, crevettes . . .

- Container «Thermiquement» isolé, muni d'un dispositif de réfrigération et de chauffage.
- Pour que l'air puisse circuler, les limites de charges en parti haute intérieur doivent être respectées.



**Figure 3: Container Frigorifique.**

- **Container à Toit Ouvert :(Open Top)**

Convient pour le transport de marchandises volumineuses ou peu manœuvrables telles que: machinerie, feuilles de verre, marbre, matériaux de construction, bois de charpente . .

- Container à usage général, avec un toit mobile (bâche) pour faciliter le chargement et déchargement des marchandises volumineuses (Tableau 2).

Dimensions	20'	40'
<b>Inside length (m)</b>	5,89	12,01
<b>Inside Width (m)</b>	2,31	2,33
<b>Inside Height (m)</b>	2,33	2,33
<b>Door Width (m)</b>	2,28	2,33
<b>Door Height (m)</b>	2,18	2,26
<b>Capacity (m<sup>3</sup>)</b>	32,1	66,54
<b>Tare Weight (T)</b>	2	4
<b>Max Cargo (T)</b>	23	2 5

**Tableau 2: Dimensions d'un conteneur à Toit Ouvert.**



- **Container Plate-forme à Parois Latérales Ouvertes : (*Flat Rack*)**

Convient pour le transport de marchandises non sensibles aux intempéries telles que : Barres d'acier, feuilles et bobines d'acier, billes de bois, poteaux télégraphique, tourets de câble, fût, tuyaux, camions / engins, machines lourdes . . .



**Figure 4: Container Plate-forme à Parois Latérales Ouvertes.**

- **Container Citerne :**

Convient pour le transport de : Résine, Latex, huile, lait, bière, vin, eau minérale, rhum . . .

- Container spécifique contenant la citerne et l'ossature.

- Réglementations et spécificités techniques à prendre en compte pour ce qui concerne la citerne.



**Figure 5: Container Citerne.**

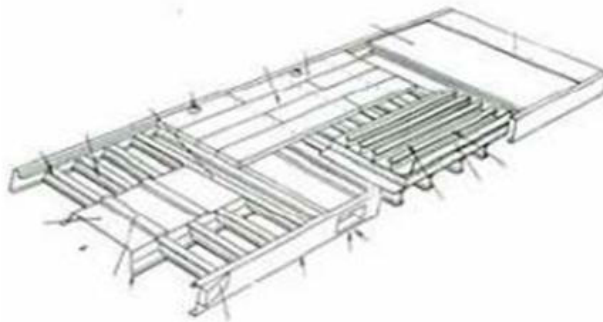
### 1.2.5 Le principe de la standardisation :

L'Organisation Internationale de Normalisation (I.S.O.) a codifié sous les normes ISO 668 et ISO 1496 la construction des conteneurs. Les dimensions extérieures des conteneurs, la largeur, la longueur, la masse maximum sont définies pour rendre le conteneur le plus multimodal possible en offrant le volume maximum. Il faut qu'il puisse passer partout, qu'il puisse être transporté indifféremment par la route, par train ou par bateau. Il doit donc s'intégrer dans les gabarits routiers et ferroviaires.

En définition, un conteneur est une « boîte » rectangulaire de dimension universelle : la clé de son succès réside dans sa standardisation. Les conteneurs « dry » (sec) de 20 et 40 pieds de long (environ 6 et 12 mètres) sont les plus utilisés. Ils servent au transport des marchandises dites sèches, conditionnées en caisses, cartons, palettes. Le conteneur standard de 20 pieds sert d'unité de référence pour estimer les capacités d'un navire et évaluer les flux. On parle alors en EVP équivalent vingt pieds, ce qui correspond à un volume utile de 33m<sup>3</sup>. Chaque conteneur est identifié par une série d'inscription permanentes sur ses parois : le marquage où figurent le nom du propriétaire, le numéro d'immatriculation, masse brute maximale, tare, charge utile...

L'élément principal du conteneur est, bien sûr, la plate-forme qui va supporter la charge à transporter. Elle est constituée de traverses en acier entourées par un cadre et recouvertes par un plancher en bois. Le bois présente une certaine « souplesse » : il ne conservera pas comme l'acier la trace du passage d'un chariot très lourd par exemple, il reprendra sa forme. Accessoirement, on pourra y fixer des cales avec des clous.

En reposant au sol uniquement par les quatre coins la plate-forme doit pouvoir supporter 1,8 fois sa charge utile autorisée, 25/28 tonnes, et surtout résister à une charge ponctuelle de 12000 livres sur 44 pouces<sup>2</sup> (5460 kg sur une surface de 19 cm x 15 cm. Soit approximativement le poids et la surface au sol des roues d'un chariot élévateur)



**Figure 6: La plate forme de conteneur.**

- **L'armature :**

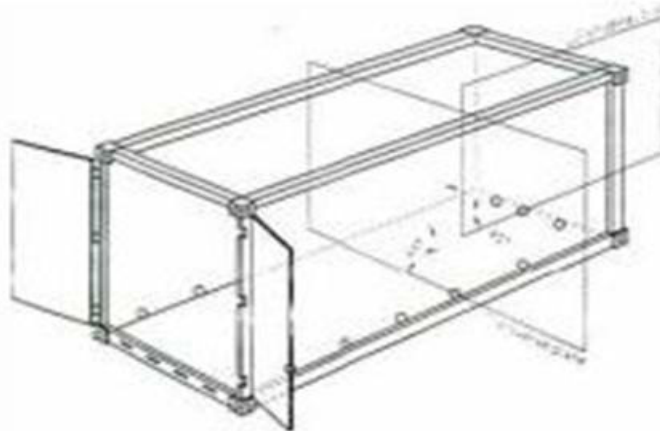
La plate-forme est équipée de deux cadres avant et arrière reliés par deux traverses horizontales pour former l'armature de la caisse proprement dite.

Ces cadres sont extrêmement robustes car ils doivent pouvoir supporter le poids de cinq autres conteneurs posés par-dessus, soit une masse de plus de 150 tonnes, appuyée uniquement sur les quatre coins du conteneur.

Le cadre avant comme les parois latérales et le toit sont fermés par une tôle ondulée qui participe à la rigidité de l'ensemble.

Le toit doit pouvoir supporter une charge de 300 kg sur une surface de 600 x 300 mm

(Le poids de deux ou trois dockers) sans subir de déformation permanente.



**Figure 7: L'armature de conteneur.**

- **Les portes :**

Le cadre arrière entoure la porte à deux battants ouvrants sur 270°. Cette porte est équipée de joints la rendant étanche à l'air et à l'eau. Les battants sont maintenus fermés par des barres verticales s'encastrent par pivotement dans des ergots fixés sur les longerons horizontaux supérieurs et inférieurs du cadre.



**Figure 8: la porte du conteneur.**

Les barres sont manœuvrées par des leviers qui sont immobilisés en position fermée par une patte. Lorsque le conteneur a été rempli cette patte est munie d'un sceau qui garantira au destinataire que le container n'a pas été ouvert pendant le transport.



**Figure 9: conteneur PLEIN et conteneur VIDE.**

- **Les pièces de coins :**

L'innovation la plus considérable dans la conception des conteneurs par rapport à n'importe quelle autre « caisse » est l'adoption des « pièces de coins », « corner fittings » en anglais. Chacun des huit coins du container est équipé d'un cube en acier percé sur chacune de ses trois faces visibles. Charge utile pouvant être soulevée en saisissant le conteneur par les coins ISO supérieurs : en 20 pieds : 24 ou 28 tonnes – en 40 pieds : 26 tonnes.

La dimension de ces coins et surtout leur écartement en largeur et en hauteur est défini au millimètre près par la norme ISO 668 car ils sont utilisés pour la manutention par des chariots spécialisés, mais surtout pour l'arrimage des containers sur le pont des bateaux, sur les camions ou sur les wagons ainsi que pour les superposer.

Ce sont ces coins ISO qui ont donné au conteneur son inter modalité et assuré de ce fait son succès planétaire.



**Figure 10: les pièces de coins de conteneur.**

### **1.3 La conteneurisation :**

La conteneurisation est sans doute l'une des révolutions les plus marquantes du transport maritime. Mais qu'est ce en fait la conteneurisation et comment elle est née ?

La conteneurisation est l'utilisation de conteneurs pour le transport maritime de marchandises. Apparue dans les années 20 aux Etats-Unis dans les transports ferroviaires, la conteneurisation a gagné la France peu de temps après car les premières utilisations en maritime y ont été enregistrées en 1925. Par la suite, la conteneurisation a été utilisée par les Américains pendant la Deuxième Guerre Mondiale et la Guerre de Corée.

La conteneurisation a donc moins d'un siècle et pourtant son essor fait qu'elle se taille actuellement une place de choix dans les échanges maritimes internationaux. En effet, 80% des échanges internationaux se font à par voie maritime pour un volume évalué à 5,1 milliards de tonne en 2004. Le conteneur représente près de 80% de ce volume soit 300 millions d'EVP. Une croissance continue est attendue dans les prochaines années, surtout entre l'Asie et l'Europe.

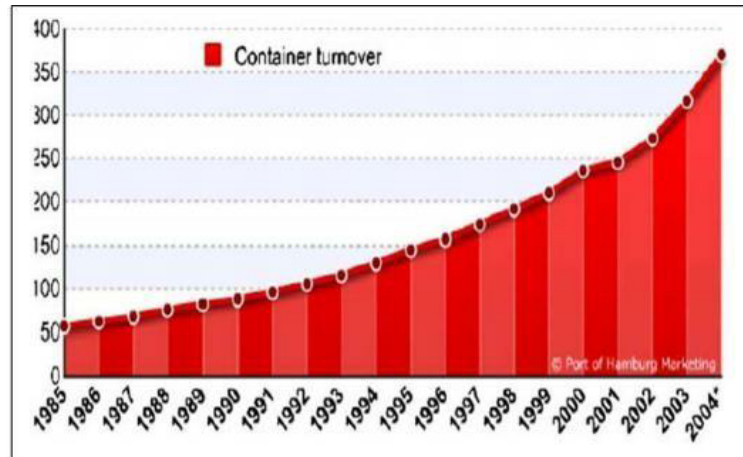


Figure 11: Le turnover mondial de conteneurs (en million EVP).

### 1.3.1 Les avantages de la conteneurisation :

- **La rapidité :**

Pour le client comme pour l'armateur, les pertes de temps par rupture de charge peuvent être réduites au minimum. D'autre part, il y a une simplification de formalités douanières, le conteneur constituant une unité documentaire. Dans ce cas, Il sera rempli (empoté) sous surveillance douanière et scellé. Il ne devra pas porter de traces d'effraction.

- **L'économie :**

Le transport de conteneurs fait bon marché : l'armateur gagne du temps pour emballer (économie de matériel, gain de temps). Le chargeur d'un FCL (full container load) bénéficie de tarifs avantageux comparé au chargeur d'un LCL. Pour l'armateur, l'économie se situe au niveau du rendement du navire. Le client aura une marchandise (et donc des capitaux) immobilisée moins longtemps. L'assurance est moins chère.

- **La souplesse :**

La vitesse est uniforme : depuis le moment où la marchandise est empotée (chargée dans le conteneur), elle voyage jusqu'à ce qu'elle en sorte d'où une souplesse de stockage. Aussi, le conteneur peut servir de magasin.

- **La sécurité :**

Le conteneur va protéger la marchandise contre les intempéries, même pendant la manutention. Il diminue les vols, les détériorations et les pertes. Contre l'incendie, les cales sont en général protégées par un système d'extinction au CO2 associé à une analyse de l'atmosphère. Sur les nouveaux navires sans panneau de cale, ce système est remplacé par une installation fixe à eau diffusée.

- **La stabilité :**

- à quai :

Des limites sont imposées par la manutention. Exemple: un angle de gîte supérieur à 3° rend le chargement du conteneur en cellule problématique sinon impossible. Les cadences de chargement pouvant atteindre un EVP toute les deux minutes par portique, il était impératif de mettre au point un système de redressement efficace et rapide. La technique la plus récente (Intering) utilise deux ballasts reliés par une traverse. Un souffleur, fonctionnant en permanence, injecte la pression d'air nécessaire pour effectuer le transfert d'un bord à l'autre.

Une vanne télécommandée est placée sur la traverse. Le tout est commandé par un capteur d'angle (gyroscope) et maintient la gîte en deçà du degré. Ce système est en outre capable de calculer la stabilité du navire en moins de 10 minutes.

Etant donné le nombre important des conteneurs, le nombre et la rapidité des escales, sans oublier les problèmes d'incompatibilités des conteneurs contenant des marchandises dangereuses, le calcul de stabilité initiale transversale est devenu plus long et plus compliqué. Aussi le plan d'arrimage optimum est aujourd'hui réalisé par des services à terre au moyen de logiciels adaptés. Le plan d'arrimage et le module de stabilité sont fournis au commandant.

Mais le commandant, même si le navire est équipé d'un calculateur approprié, ne peut que se fier aux données fournies (pas toujours exactes...) concernant le poids des conteneurs.

Toutefois, le commandant dispose d'une grande capacité de ballastage pour améliorer la stabilité initiale de son navire. Sur la plupart des porte-conteneurs, la stabilité minimale impose de réserver le plan supérieur de la pontée à des conteneurs vides.

- En mer :

Les navires fréquentant l'Atlantique nord ou la mer de Chine sont pour la plupart équipés de systèmes stabilisateurs de roulis qui permettent de garder le navire droit et de ne pas réduire la vitesse dans le mauvais temps. On retrouve les systèmes de ballasts passifs ou actifs, mais le plus efficace est le système à ailerons. Ce dernier a l'inconvénient de freiner le navire et d'être plus coûteux à l'achat et à l'entretien. Les ailerons peuvent être rentrants ou pivotants: dans les deux cas, ne pas oublier de les rentrer avant d'accoster... (Ils ont jusqu'à 6 m de long).

#### **1.4 Conclusion:**

Dans ce chapitre, nous avons expliqué ce que c'est un conteneur, et exposé les différentes variétés de conteneur qui existent ainsi que leurs utilités. L'histoire détaillée de la conteneurisation est présentée de même que les changements qu'a apportés cette technologie dans le monde entier.

Certes, la conteneurisation a facilité le transport de marchandises et les exportations mondial es en diminuant considérablement les coûts de transport et les temps de chargement et de déchargement des navires ; mais elle a aussi rendu quasiment impossibles les contrôles manuels de cargaisons, rendant ainsi indispensable l'utilisation de moyens de contrôle techniques.

# CHAPITRE 2 : REVUE DE LA LITTÉRATURE

## 2.1 INTRODUCTION

L'utilisation de conteneurs pour le transport de fret nécessite quelques décisions de planification telles que le dimensionnement et la gestion de la flotte, les décisions relatives à la propriété ou la location de conteneurs ainsi que le repositionnement des conteneurs vides(Dejax 1987).

Pour réduire les déséquilibres du commerce mondial, on devrait considérer le repositionnement de conteneurs vides premièrement entre des ports de mer et deuxièmement à un niveau régional, entre des importations, des exportations, des dépôts intérieurs et des ports intérieurs (Boile 2006). D'après l'estimation de « Drewry Shipping Consultants of London », 20 % des mouvements des conteneurs maritimes sont le repositionnement des conteneurs vides(Boile 2006). En parallèle, l'estimation du transport terrestre de conteneurs vides est 40 % à 50 %.

Donc en minimisant le repositionnement des conteneurs vides, nous réaliserons non seulement un coût inférieur d'exploitation, mais aussi une réduction des embouteillages et de la pollution de l'air. Cette réduction des coûts devrait se produire tout en respectant la demande des conteneurs vides (Braekers 2011).

À cause du déséquilibre naturel du commerce, certaines zones ont un excédent de conteneurs vides tandis que d'autres ont une pénurie. Il y a une nécessité pour les transporteurs de repositionner leurs conteneurs vides afin d'être capable de satisfaire les demandes de conteneurs à l'avenir. La gestion des conteneurs vides signifie le repositionnement des conteneurs vides avec des coûts minimaux tout en respectant les demandes des conteneurs vides. Selon la littérature existante, la gestion des conteneurs vides peut être classée en niveau global et niveau régional (Boile 2006)

La Figure 12 illustre qu'après un conteneur a été utilisé pour porter des marchandises d'un expéditeur à un destinataire, le conteneur doit être transporté à l'expéditeur suivant, qui peut être le même que le premier. Ce système de logistique de retour implique aussi le nettoyage, le maintien et l'entreposage des conteneurs. Quelle stratégie de gestion doit être considérée ? Qui a la responsabilité de retourner les conteneurs ? Où doivent- ils être cumulés ? Comment doit se faire le processus de traitement ? Quand le retour de conteneurs doit-il être fait ?

(Lützenbauer 1993) distingue trois types de systèmes de conteneurs consignés pour le transport.

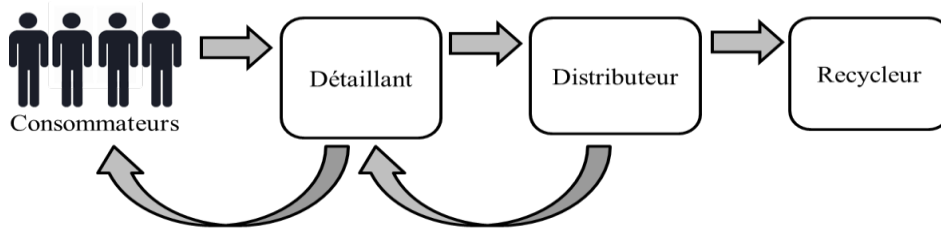


Figure 12: Retour de conteneurs vides

- 1- Système d'association d'échange : Dans le système d'association d'échange, chaque participant a sa propre flotte de conteneurs et en est responsable. Ainsi le nettoyage, le contrôle, le maintien et l'entreposage des conteneurs sont la responsabilité de chaque participant. À chaque échange de conteneurs, le destinataire donne à l'expéditeur un nombre correspondant de conteneurs vides en retour.
- 2- Système de transfert : Dans le système de transfert, l'expéditeur a la responsabilité entière pour le dépistage, l'administration, le maintien et l'entreposage des conteneurs.
- 3- Système de dépôt : Dans le système de dépôt, les conteneurs sont maintenus et entreposés par une agence centrale. L'expéditeur est fourni en conteneurs à partir de l'agence et après avoir été transportés au destinataire, les conteneurs vides sont collectés et sont retournés à l'agence. Pour ces systèmes, l'expéditeur paye un dépôt (acompte) à l'agence pour chaque conteneur utilisé. Le dépôt (l'acompte) est remboursé quand le conteneur est rendu à l'agence, ce qui encourage les retours rapides des conteneurs.
- 4- Le dépôt (l'acompte) devrait être au moins la valeur des conteneurs consignés. Il peut être utilisé pour indemniser l'agence centrale en cas de perte ou de vol de conteneurs.

(Chang 2006) et (T. G. Crainic 1993) proposent plusieurs stratégies pour repositionner les conteneurs vides dans l'arrière-pays (aux hinterlands) d'un port de mer :

- Des conteneurs vides peuvent être retournés au port pour le repositionnement global ;
- Des conteneurs vides peuvent être transportés à un dépôt, à un port, ou à un dépôt intérieur pour répondre aux demandes futures de conteneurs vides ;
- Des conteneurs vides peuvent être déplacés vers des exportateurs dans la même région qui exigent des conteneurs vides ;
- Des conteneurs vides peuvent être repositionnés entre des dépôts pour réduire des déséquilibres

## **2.2 Niveaux de repositionnement**

### **2.2.1 Repositionnement global**

Le déséquilibre global requiert le repositionnement global des conteneurs vides entre des ports de mer majeurs. C'est un processus complexe, car il est associé à des paramètres comme la structure du réseau de service mondial de transporteurs maritimes, la disponibilité des emplacements vides dans certaines chaînes de service de transporteur, le prix des nouveaux conteneurs, des accords de collaboration entre les transporteurs maritimes, le pourcentage du mélange de conteneurs propres et loués des transporteurs maritimes, et le degré de l'intégration verticale des activités de transporteurs (ALIAJNI AVRIL 2016 ).



## 2.2.2 Repositionnement régional

Au niveau régional, des conteneurs vides sont repositionnés entre des importateurs, des exportateurs, des dépôts intérieurs et des ports dans une petite zone géographique. La Figure 13 présente les quatre stratégies de repositionnement des conteneurs vides que l'on retrouve dans la littérature. Quand un navire arrive au port, des conteneurs chargés doivent être livrés aux différents emplacements intérieurs. Selon les déchargements de conteneurs des importateurs, les conteneurs vides doivent être ramassés et éloignés. Les conteneurs vides peuvent être retournés au terminal de port pour le repositionnement global (stratégie I) ou peuvent être transportés au dépôt du port ou au dépôt intérieur pour des demandes futures dans l'arrière-pays (Chang 2006) (stratégie II). La troisième stratégie est appelée « street turns » ; c'est-à-dire des conteneurs vides sont transportés directement aux expéditeurs de la même région qui demandent des conteneurs vides (stratégie III).

Par ailleurs, les conteneurs vides sont souvent repositionnés entre les dépôts pour surmonter les déséquilibres régionaux et réduire le coût avec le transport massif des conteneurs (T. G. Crainic 1993) (stratégie IV). Le terme « Street turns » est une option intéressante pour de grandes compagnies de transport, mais c'est difficile à faire parce qu'il faut un niveau significatif de coordination.

Les demandes d'opération d'import et d'export doivent être similaires et coïncider dans le temps. Le type des conteneurs, la compagnie de transport et le lieu doivent être aussi similaires. En plus, la plupart du temps, des conteneurs ont besoin des opérations intermédiaires après un cycle de livraison pour réutilisation (nettoyage, réparation, brosseage qui sont normalement faits dans les dépôts). Évidemment, c'est le type de mouvement le plus efficace qui économise l'entreposage temporaire des conteneurs vides (Furió s.d.).

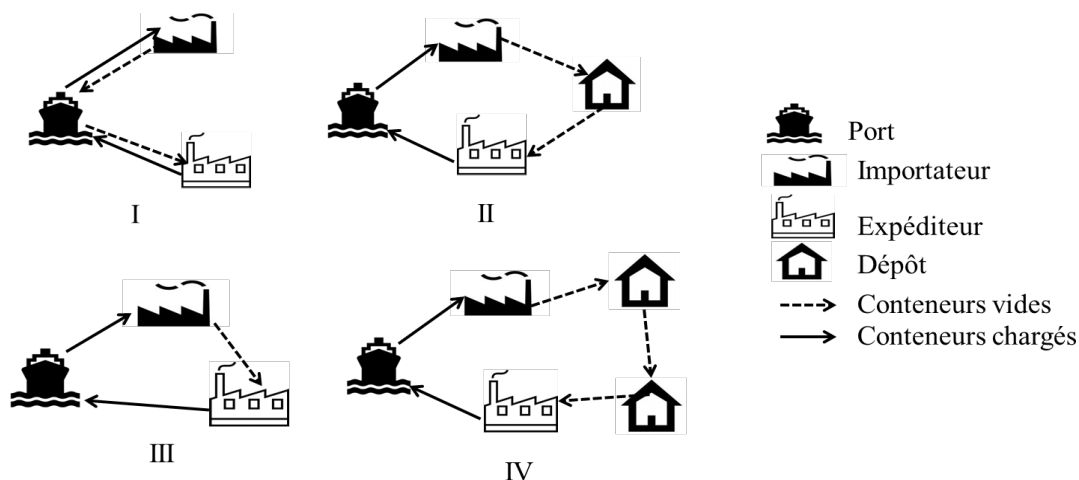


Figure 13: Schéma de synthèse des quatre stratégies de repositionnement des conteneurs vides

Pour traiter le problème de repositionnement des conteneurs vides au niveau global ou régional, plusieurs décisions doivent être réalisées. Ces décisions appartiennent aux trois

niveaux de planification ; stratégique, tactique et opérationnel.

Dans ce chapitre, treize articles les plus pertinents sur la gestion des retours des conteneurs sont présentés dans les Tableaux 3 et 4.

Dans ce tableau, les articles sont catégorisés selon des facteurs clés de prise de décision sur la gestion des retours des conteneurs, comme les niveaux de repositionnement, les niveaux de planification et les autres paramètres de la modélisation. Ces facteurs sont expliqués dans les sections suivantes.

**Tableau 3: Principaux articles sur la gestion des retours des conteneurs**

Article	Auteurs	Maillons de la chaîne	Outils de mathématiques	Niveau de décision	Type de remplacement	Type de conteneurs	Objectif
Assessment of empty container repositioning policies in maritime transport	Xu et al. (2013)	Compagnies de transport maritime	Heuristique, simulation, modélisation stochastique	Tactique	Global	20 pieds	Réduire les coûts opérationnels
Effectiveness of an empty container repositioning policy with flexible destination ports	Song et Dong (2011)	Compagnies de transport maritime	Heuristique, simulation, modélisation stochastique	Tactique	Global	20 pieds	Réduire les coûts totaux (Coûts d'inventaire, coûts de pénalité de ventes perdues, coûts de manutention et coûts de transport)
Strategic planning of empty container repositioning in the transpacific market: a case study	Zhang, Y. et Facanha (2014)	Compagnie de transport maritime et terminal ferroviaire	Modélisation stochastique	Stratégique	Régional	20/40/45 pieds	Réduire les coûts (des coûts de transport, de manutention, d'inventaire et de terminal)
Operation planning for maritime empty container repositioning	Long et al. (2013)	Compagnies de transport maritime	Modèle d'optimisation	Opérationnel	Global	Plusieurs types	Réduire le coût
Locating short-term empty-container storage facilities to support port operations: A user optimal approach	Lei et Church (2011)	Compagnies de transport maritime et d'entreprises de camionnage	Modélisation stochastique	Stratégique	Global	40 pieds	Réduire le parcours total
Optimizing empty container logistics based on a collaborative network approach	Vojdani et al. (2013)	Compagnies de transport maritime et des compagnies de location	Modélisation déterministe et simulation	Stratégique	Global et régional	20 pieds	Réduire les coûts de remplacement, d'entreposage, de transport, de manutention et de location

**Tableau 4: Principaux articles sur la gestion des retours des conteneurs (suite et fin)**

Article	Auteurs	Maillons de la chaîne	Outils de mathématiques	Niveau de décision	Type de remplacement	Type de conteneurs	Objectif
Empty marine container logistics: facts, issues and management strategies	Theofanis et Boile (2009)	Compagnies de transport maritime et des compagnies de location	Analyse	Stratégique	Global	20/40 pieds	Réduire le coût
Optimal inventory control of empty containers in inland transportation system	Yun et al. (2011)	Transporteurs de barges, et terrestres	Simulation	Tactique	Régional	40 pieds	Réduire les coûts de remplacement et de location
Optimization of empty container movements using street-turn: Application to Valencia hinterland	Furió et al. (2013)	Transporteurs maritimes, importateurs et exportateurs	Modélisation déterministe et DSS	Opérationnel	Global et régional	40 pieds	Réduire le parcours
Optimization of empty container allocation in depot with the participation of freight forwarder	He (2013)	Transporteurs maritimes, importateurs, exportateurs et transitaires	Modèle d'optimisation	Tactique	Régional	40 pieds	Réduire le coût et le parcours
Positioning empty containers under dependent demand process	Dang et al. (2012)	Dépôts	Modèle heuristique	Tactique	Global et régional	40 pieds	Réduire le coût
Empty container management for intermodal transportation networks	Choong et al. (2002)	Transporteurs de barges, et terrestres	Modèle d'optimisation	Tactique	Régional	20 pieds	Réduire le coût
Reducing hinterland transportation costs through container sharing	Sterzik et al. (2015)	Compagnies de camionnage	Modèles mathématiques de recherche tabou heuristiques	Stratégique et opérationnel	Régional	40 pieds	Réduire les coûts d'exécutions totales

## **2.3 Niveaux de planification**

### **2.3.1 Planification stratégique**

C'est la planification de décision à long terme comme le choix des emplacements de dépôts intérieurs et d'autres installations, le dimensionnement de la flotte et du dépôt, la détermination de zones clients et la définition des politiques de service pour la conception du réseau physique.(ALIAJNI AVRIL 2016 )

### **2.3.2 Planification tactique**

C'est la planification efficace d'allocation des ressources sur un horizon moyen. Cela implique la sélection de service, la distribution de trafic, les politiques des terminaux, la politique de mise en équilibre des conteneurs vides, la planification de véhicules et d'équipage, l'assignation du client et la division en zones aux dépôts (T. G. Crainic 1993). Le risque de manquer de conteneurs vides peut être évité par des accords de location à long terme (Braekers 2011).

### **2.3.3 Planification opérationnelle**

Le problème de planification opérationnelle pour le repositionnement régional des conteneurs vides se divise en deux problèmes d'optimisation, une attribution aux conteneurs et un modèle de routage des véhicules. L'objectif du modèle d'attribution aux conteneurs est la détermination de la meilleure distribution de conteneurs vides et en même temps la satisfaction des demandes connues et prévues. L'objectif du modèle de routage des véhicules est de minimiser les coûts totaux de transport pour des conteneurs vides et des conteneurs chargés et de fournir une liste des mouvements chargés et vides à être exécutés pendant la période suivante (T. G. Crainic 1993).

Les décisions opérationnelles pour le repositionnement global des conteneurs vides n'incluent pas les décisions de routage des véhicules. Car des conteneurs vides sont repositionnés en utilisant la capacité inoccupée sur des navires transportant des conteneurs chargés. Donc, les capacités restantes pour le repositionnement des conteneurs vides sont introduites comme des contraintes pour des modèles d'allocation des conteneurs (Braekers 2011).

Une relation hiérarchique existe entre les modèles de planification. Des politiques générales sont déterminées au niveau stratégique. Ces politiques forment des lignes directrices pour les décisions au niveau tactique et des décisions tactiques fixent le cadre pour les décisions opérationnelles et en temps réel.

## **2.4 Questions de modélisation**

En plus, pour modéliser la planification, plusieurs questions doivent être posées. Ces questions incluent la présence des paramètres stochastiques et la détermination d'un horizon de planification approprié (Braekers 2011).

### **2.4.1 Paramètres stochastiques**

Une question majeure dans la modélisation du repositionnement des conteneurs vides est la présence d'incertitude. Les nombres de conteneurs vides disponibles dépendent de quelques paramètres d'incertitudes à propos de la demande de conteneurs vides aux ports pour le repositionnement global, le temps de retour des conteneurs des importateurs et des résultats d'inspection sur les dommages (Di Francesco (2009)). Des demandes inattendues de transport peuvent être citées par des clients importants. Les incertitudes viennent des valeurs de la performance du réseau, comme les temps de transport et les pannes d'équipement. La caractéristique distinctive de tous les modèles est la manipulation de la connaissance des événements futurs. Les modèles déterministes supposent une connaissance complète des arrivées et des sorties à venir de conteneurs, de capacités d'entreposage et de transport.

### **2.4.2 Horizon de planification**

La plupart des modèles dynamiques couvrent seulement un horizon de planification fini composé de plusieurs périodes. Un désavantage d'utiliser un horizon de planification fini pour présenter une réalité d'horizon infini est les distorsions à cause d'inventaires irréalistes terminant à la fin de la période de planification. Ces distorsions doivent être minimisées ou exclues, car elles peuvent affecter les valeurs de variables de décision dès la première période de planification. L'utilisation des modèles avec un horizon de planification roulant aide à réduire ces distorsions (T. G. Crainic 1993).

En plus, les modèles varient selon le nombre de types de conteneurs considérés. Le nombre de parties considérées qui peut coopérer, est également d'une importance particulière.

Les approches de recherche opérationnelle sont différentes dans leur fonction objective, les contraintes et les algorithmes de solution. Chaque approche est basée sur une formulation de problème spécifique.

## **2.5 Décisions de planification stratégique au niveau global**

La plupart des décisions à ce niveau visent la conception du réseau. La coopération entre des transporteurs maritimes et des compagnies de location de conteneurs est une stratégie qui a été principalement discutée par (Vojdani 2013). Une approche stratégique pour gérer les conteneurs vides en collaboration serait l'utilisation conjointe de conteneurs par plusieurs compagnies maritimes et les sociétés de location de conteneurs. Cette stratégie s'appelle « container pooling ». L'objectif de cette stratégie est de réduire les coûts de repositionnement, de transport, de manutention et d'entreposage grâce à l'utilisation ciblée des déséquilibres structurels. Mais, en pratique, cette approche n'a guère été mise en œuvre pour des raisons de politique d'entreprise et d'inefficacité de mise en œuvre. Des approches de conception collaborative pour la gestion des conteneurs vides sont devenues importantes à cause de la croissance des pressions sur les coûts et de la recherche pour l'amélioration de

l'efficacité. Il y a deux cas à distinguer, soit tous les conteneurs peuvent être échangés, soit les transporteurs sous-traitent un certain nombre de conteneurs à un consortium de mise en commun ou d'une entreprise commune.

Une des causes du problème des conteneurs vides est l'existence de différents propriétaires de conteneurs. La prise en compte des différentes conditions de propriété peut être décrite par la manutention des conteneurs loués. Si un transporteur veut redonner des conteneurs à une entreprise de location, un conteneur d'un transporteur ou un conteneur d'une autre entreprise de location ne seront pas acceptés. Donc les conteneurs doivent être distingués par leur propriétaire et l'autorisation de mise à bord doit être définie (Vojdani 2013).

(Vojdani 2013), formulent un modèle mathématique qui présente des potentiels d'économies de coût par l'utilisation d'un système d'association d'échange (coopératif) en comparaison avec l'utilisation d'un système non coopératif. Ils concluent que la gestion coopérative des conteneurs vides peut réduire les mouvements des conteneurs vides, les opérations d'entrepôt et les coûts totaux. Les calculs basés sur des scénarios de réseaux maritimes et les données de commande générées ont illustré des avantages économiques importants pour les compagnies maritimes et les autres acteurs.

## **2.6 Décisions de planification tactique au niveau global**

Le problème de la conception du réseau de service est étudié par des décisions à ce niveau. La conception du réseau du service pour une compagnie maritime a été présentée par (Shintani 2007) en considérant le repositionnement des conteneurs vides. Un seul parcours maritime est déterminé par le choix d'un ensemble optimal de ports d'appel séquencés. Des conteneurs vides et chargés sont optimisés simultanément. Le problème de « knapsack » est utilisé pour le formuler et des résultats sont obtenus avec un algorithme génétique basé sur une heuristique. Selon les résultats, le temps de manutention et les coûts reliés aux ports ont diminué quand les repositionnements des conteneurs vides sont considérés dans une route maritime.

(Xu 2013) font une revue de la modélisation mathématique dans le déplacement des conteneurs maritimes vides sous deux groupes ; le suivi des politiques de contrôle d'information (« state-feedback ») et les solutions basées sur les matrices d'origine-destination (OD). Des comparaisons sont faites entre les deux groupes pour identifier les pour et les contre, ainsi que la stabilité dans la réalité et dans le réseau dynamique de transport maritime. Des expériences sont examinées pour trois services de transport de trois compagnies. Les demandes des clients sont considérées selon une distribution normale avec incertitude. Ils essaient de proposer un guide de conception et de sélection des politiques de déplacement de conteneurs vides en minimisant des coûts opérationnels.

Le problème de déplacement des conteneurs vides dans un environnement dynamique et stochastique est formulé par (Song 2011), de telle façon que des décisions de déplacement des conteneurs vides sont divisées en deux groupes : décision de chargement de conteneurs vides et décisions de déchargement de conteneurs vides. Une nouvelle politique de repositionnement avec des ports de destination flexible est présentée. Selon cette politique de gestion, les décisions sur le lieu et le nombre de

conteneurs vides à déplacer peuvent se faire avec des informations précises aux derniers moments.

La politique du port flexible (FDP) est évaluée et comparée avec la politique du port de destination déterminé et conventionnel (DDP) dans plusieurs des scénarios à l'aide de la simulation. Selon les résultats, DDP est meilleur que FDP dans les scénarios où les affaires sont assez équilibrées à travers la route océanique («ocean leg») la plus longue. FDP est meilleur que DDP dans les scénarios avec des demandes déséquilibrées pour une taille de flotte moyenne.

## **2.7 Décisions de planification opérationnelle au niveau global**

La planification opérationnelle de repositionnement des conteneurs vides au niveau global est liée au problème d'allocation. Il y a deux directions de recherche pour la modélisation d'allocation des conteneurs. Une direction est l'utilisation de la programmation mathématique et l'autre direction est l'utilisation de la théorie des stocks.

(Long 2013) présentent un réseau d'espace de temps pour modéliser le problème de repositionnement des conteneurs vides au niveau opérationnel. Ce modèle essaie de minimiser le coût total de repositionnement. Des solutions peuvent être obtenues en quelques secondes pour satisfaire les besoins de repositionnement. Un outil d'aide à la décision basée sur le modèle est développé pour faciliter l'application dans l'industrie du transport maritime. Une expérimentation numérique est présentée basée sur les services actuels d'un transporteur maritime qui compte 49 ports et 44 services. Ils démontrent que le coût de manutention représente une part très importante du coût total. Ce résultat indique que les opérateurs de conteneurs doivent faire plus attention à améliorer l'efficacité de la manutention des conteneurs vides dans les ports pour réduire le coût de repositionnement des conteneurs vides. Puis, le coût total opérationnel peut être réduit en utilisant la méthode de regard en avant avec prévision. Par des performances numériques, les plateformes de transbordement sont identifiées basées sur leurs activités de transbordement. Une méthode d'horizon mobile est adoptée pour manipuler des incertitudes des données de prévision reliée à l'approvisionnement, aux demandes et à la capacité disponible des navires.

## **2.8 Décisions de planification stratégique au niveau régional**

Un système de dépôts intérieurs est proposé par (Boile 2006) pour rationaliser la gestion des conteneurs vides au niveau régional. Ils ont proposé un modèle de planification stratégique pour déterminer de nouveaux emplacements optimaux de dépôt d'un ensemble identifié de sites potentiels. Aucun flux de mise en équilibre des conteneurs vides entre des dépôts n'est considéré.



Un problème de localisation de dépôt basé sur l'inventaire est formulé pour le long terme (10 ans). Des conteneurs vides sont transportés par camion et le « street turns » n'est pas autorisé. Ce modèle est appliqué au port de New York. Des résultats présentent une réduction de 49 % de kilomètres de conteneurs vides après 6 ans et une réduction de coût de 27 à 47 %.

Un repositionnement régional des conteneurs vides aux États-Unis est étudié par (Façanha 2003) pour les conteneurs en provenance et à destination de l'Asie. Un modèle d'optimisation est présenté pour déterminer le nombre optimal de terminaux intermodaux de chemin de fer. La fréquence de repositionnement des conteneurs vides entre les terminaux et les ports sont déterminés. Les deux composantes, déterministes et stochastiques, sont incluses dans le modèle. Les emplacements terminaux spécifiques et leurs aires de services respectives sont choisis basés sur le nombre optimal de terminaux. Les coûts de repositionnement sont calculés en utilisant un problème de flux du réseau de coût minimal. Cette étude montre qu'en introduisant plus de terminaux intérieurs, la distance parcourue par rail augmente, tandis que la distance parcourue par la route diminue.

(Façanha 2003)(Sterzik 2015) font une étude de cas d'une compagnie de transport maritime entre l'Asie et l'Amérique du Nord. Trois stratégies sont proposées : introduire les terminaux dans le réseau de transport maritime, utiliser les ports de la Côte Est, utiliser une flotte dédiée de camions. Ils donnent le nombre optimal de terminaux dans chaque région. Puis ils choisissent des emplacements des terminaux et leurs zones d'influence. Les villes sont regroupées selon un certain nombre de facteurs : les opérations de la ligne de transport maritime dans la ville (car il y a une pénalité implicite pour ouvrir une nouvelle installation), le nombre de parcours ferroviaires existant dans la ville et le nombre de compagnies ferroviaires qui desservent la ville. Les coûts logistiques totaux sont calculés et comparés avec les coûts de base et les coûts minimisés. La différence entre les coûts actuels et les coûts optimaux dépend des coûts ferroviaires. Le changement des coûts d'inventaire ; des coûts de manutention ferroviaire et des coûts de terminal n'ont pas d'impact sur les coûts totaux logistiques. La seule exception est le coût ferroviaire. Des coûts totaux logistiques changent avec un changement de l'approvisionnement des conteneurs vides. L'influence de chaque stratégie a été évaluée.

(Sterzik 2015) étudient des possibilités additionnelles pour le repositionnement des conteneurs vides si des entreprises de camionnage dans l'arrière-pays coopèrent les unes avec les autres. Les compagnies partagent leur information sur l'emplacement des conteneurs vides. Elles peuvent accepter d'assigner des conteneurs aux tâches de transport qui sont plus appropriées pour réduire le coût. Cet article présente, analyse et compare deux scénarios. Le premier porte sur une région d'arrière-pays où des compagnies de camionnage utilisent leurs conteneurs pour des demandes de transport de base. Le deuxième permet d'échanger des conteneurs vides entre toutes les compagnies de camionnage dans la région d'arrière-pays. La flexibilité de routage de véhicule et d'ordonnancement est augmentée, car il n'y a pas de nécessité pour la livraison et le ramassage de certains conteneurs avec une même compagnie de camionnage. L'intervalle de temps prédéfini pour un conteneur chez un client est déterminé par deux fenêtres de temps à chaque emplacement de client. Pendant la

première fenêtre de temps, le conteneur chargé/vide doit être livré aux emplacements de réception/expédition. Une fois le conteneur déchargé/chargé, il peut être ramassé par un véhicule pendant la deuxième fenêtre de temps. La minimisation des coûts fixes est obtenue en augmentant le nombre de véhicules d'exploitation jusqu'à trouver une solution faisable. Les résultats obtenus pour des séries de données avec des fenêtres de temps serrées permettent de conclure que des entreprises de camionnage dans l'arrière-pays de ports maritimes profitent de la coopération. En considérant les coûts variables, le partage des conteneurs mène à une réduction de 7 %, c'est un impact positif sur la situation financière des compagnies de camionnage. Mais il y a trois obstacles pour transformer la coopération de partage des conteneurs en une pratique réussie. D'abord, des compagnies qui partagent des conteneurs vides ont peur d'aider leurs concurrents qui bénéficieraient d'une contribution sans une compensation. Deuxièmement, les compagnies hésitent à partager tous leurs conteneurs vides pour des raisons stratégiques (pour assurer leur service auprès de leur clientèle). Troisièmement, des compagnies de transport maritime ou de location qui sont les propriétaires des conteneurs dans les services porte-à-porte intermodaux ont peur de perdre le contrôle sur leurs propriétés parce que les conteneurs peuvent être endommagés ou être perdus.

## **2.9 Décisions de planification tactique au niveau régional**

Un problème de réapprovisionnement pour des conteneurs vides dans un système de plusieurs dépôts intérieurs est étudié par (Dang 2012). Les demandes et les retours des conteneurs sont supposés être des variables corrélées aléatoires, mais indépendantes.

Une nouvelle politique de repositionnement régional avec quatre méthodes heuristiques pour repositionner les conteneurs vides entre les dépôts est proposée. Une location de conteneur pour un temps court est disponible pour les moments de pénurie. Un modèle de simulation et un algorithme génétique basé sur heuristique sont développés pour trouver des politiques optimales des stocks reliées aux méthodes de repositionnement régional afin de minimiser le coût total attendu par unité de temps. Quelques expérimentations de calcul sont faites pour valider le modèle et examiner la sensibilité des résultats.

(Furió s.d.) proposent deux modèles mathématiques (basés sur deux différents motifs de mouvement des conteneurs ; avec et sans « street-turns ») pour optimiser les mouvements des conteneurs vides au niveau régional entre les transporteurs maritimes, les importateurs, les terminaux et les dépôts en minimisant les coûts d'entreposage. Un de ces modèles d'optimisation est intégré dans un système d'aide à la décision et puis il est examiné avec des données réelles basées sur les opérations d'arrière-pays de Valencia. Les résultats confirment les avantages de mise en œuvre de ce type de modèle pour la prise de décision opérationnelle, principalement quand le « street turns » est considéré.

## **2.10 Décisions de planification opérationnelle au niveau régional**

La planification opérationnelle du repositionnement des conteneurs vides au niveau régional peut être divisée en deux sous-problèmes, un problème d'allocation des conteneurs et un problème de routage des véhicules.

L'allocation des conteneurs vides est intégrée aux décisions de routage pour des compagnies de camionnage par (Zhang s.d.). Un seul terminal de conteneurs et plusieurs dépôts de véhicules avec un stock de conteneurs vides sont considérés. Le problème est formulé comme un problème de « multiple vehicle travelling salesman » avec des fenêtres de temps et plusieurs dépôts. Un algorithme de recherche tabou est proposé pour résoudre le problème. (Zhang s.d.) reprennent le même problème en considérant plusieurs dépôts et plusieurs terminaux, et le résolvent avec une méthode de fenêtres de temps.

Des modèles mathématiques intégrant l'allocation des conteneurs et le routage pour des camions avec une capacité de deux conteneurs sont représentés par (Huth 2008). Des conteneurs sont transportés entre des plateformes dans un environnement dynamique et déterministe. Aucune fenêtre de temps n'est considérée. Le problème de routage est modélisé comme une généralisation du problème de ramassage et de livraison. Le problème d'allocation est modélisé comme un problème de transport à plusieurs niveaux.

Un modèle d'optimisation statique et déterministe est proposé par (Deidda 2008) pour mettre en œuvre l'approche « street turns ». Ils abordent simultanément l'allocation des conteneurs vides entre des importateurs, des exportateurs et un port et la conception de routes de camions pour des conteneurs vides. Les transports de conteneurs chargés ne sont pas considérés. Des camions sont situés dans le port et ont une capacité de deux conteneurs. Aucune formulation classique de routage du véhicule n'est utilisée. Ceci présente l'avantage que les contraintes de connectivité standards résultant des formulations de routage du véhicule peuvent être exclues, ce qui permet l'utilisation d'algorithmes exacts.

## **2.11 Conclusion**

Selon les facteurs expliqués sur la planification aux différents niveaux de décision et pour conclure la revue littérature, deux modèles conceptuels de la gestion de retour des conteneurs vides sont présentés selon la littérature existante dans ce sujet pour faciliter la gestion et la prise de décision de la gestion des conteneurs vides. Ces deux modèles sont séparés selon le niveau de repositionnement des conteneurs. Le repositionnement global est présenté dans la Figure 14 et le repositionnement régional présenté dans la Figure 15.

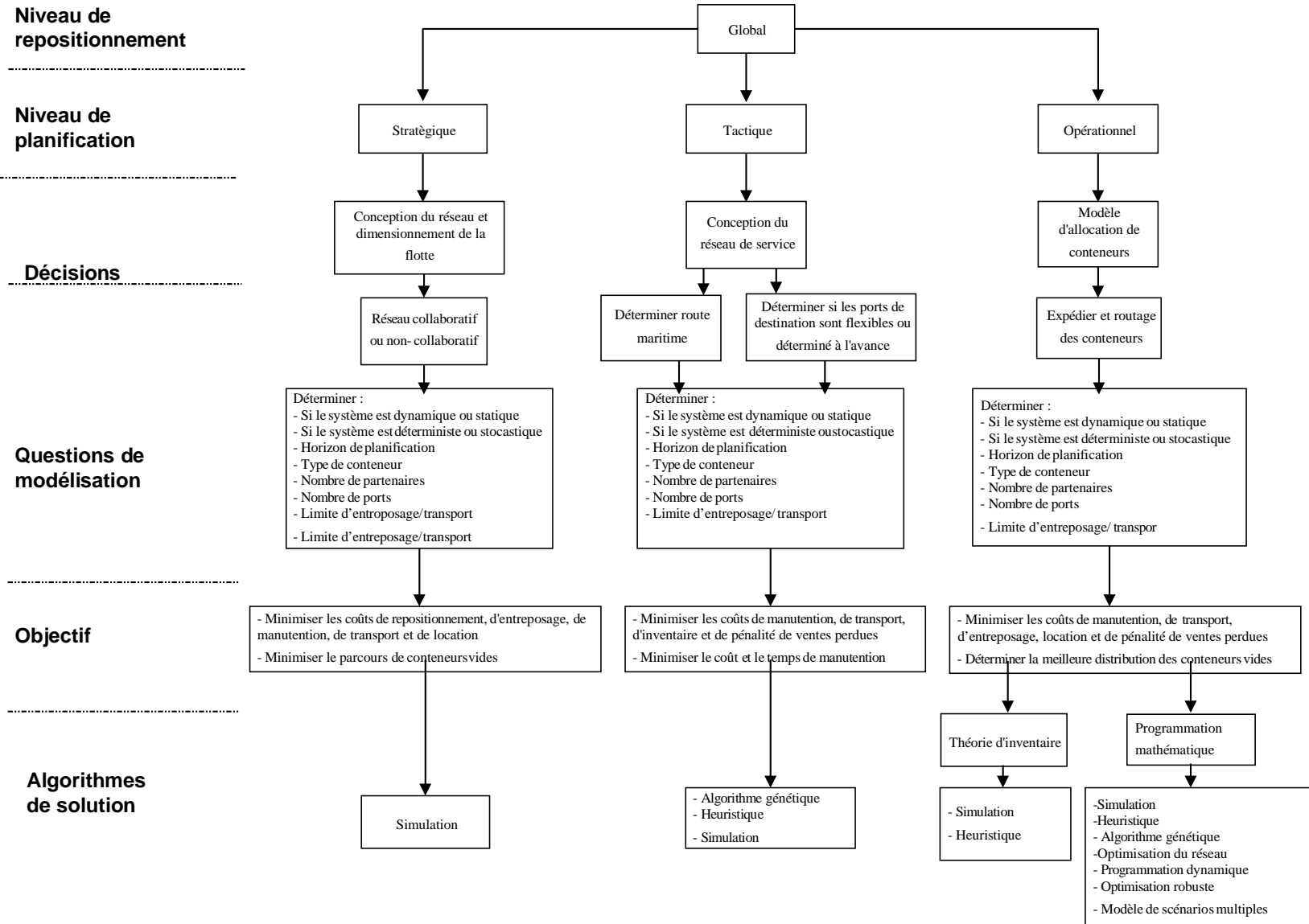


Figure 14: Gestion des conteneurs vides au niveau global

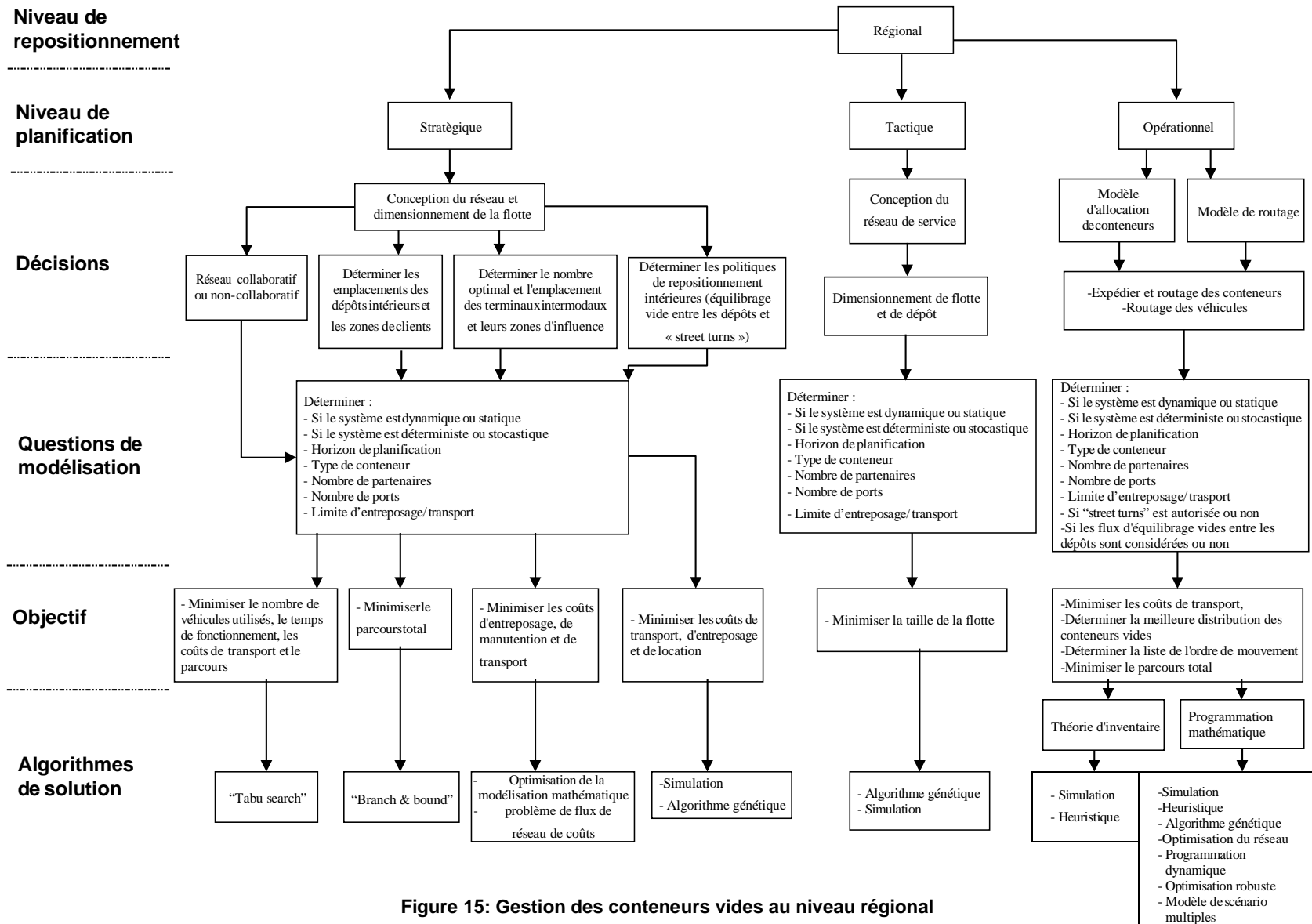


Figure 15: Gestion des conteneurs vides au niveau régional

Comme il a été déjà expliqué, le taux de transport terrestre des conteneurs vides est plus élevé que celui des mouvements globaux des conteneurs vides. En minimisant les mouvements terrestres, les effets externes du transport comme la pollution de l'air et la congestion seront réduits.

Pour le repositionnement global, les conteneurs vides sont repositionnés en utilisant la capacité inutilisée sur les navires transportant des conteneurs chargés. Certains niveaux de succès dans l'optimisation des mouvements globaux des conteneurs vides sont déjà atteints, mais moins d'attention est accordée à la gestion régionale des conteneurs vides (Braekers 2011).

Dans ce chapitre, une distinction est faite entre les modèles de la gestion des conteneurs vides au niveau global et au niveau régional. Au niveau régional un grand nombre d'options d'attribution des décideurs sont disponibles : il y a plusieurs expéditeurs et importateurs, et des fortes offres et demandes de conteneurs vides. Les conteneurs sont souvent transportés individuellement (ou par deux) par camion entre tous les nœuds. Au niveau global, moins d'options sont disponibles : les conteneurs vides ne peuvent pas être repositionnés que lorsque les emplacements vides sont disponibles sur les navires. Tous les ports ne sont pas directement reliés les uns aux autres par une voie de transport maritime et les temps d'expédition sont souvent déterminés par un horaire fixe (Braekers 2011).

## **Chapitre 3 : Résolution du problème de repositionnement des conteneurs vides ECR**

### **3.1 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 les données utilisés.

Dans la seconde partie, deux modèles mathématiques et les résultats obtenus sont présentés, dans le premier modèle seulement les conteneurs vides sont modélisés et dans le deuxième modèle les conteneurs pleins et vides sont modélisés dans un circuit fermé c'ad des flux de conteneurs pleins et vides dans les deux sens du réseau de transport simultanément afin de donner une meilleure visibilité sur l'emplacement des conteneurs vides pour un meilleur repositionnement.

### **3.2 Problématique :**

Etant une compagnie de transport maritime, la satisfaction des clients est une des valeurs de l'entreprise, pour cela on doit considérer le problème de repositionnement des conteneurs vides afin de satisfaire ces clients tout en respectant les délais de livraison et en minimisant le coût total de l'emplacement de ces conteneurs : ce coût total comprend tous les coûts de transport plus les coûts de location, d'entreposage et les coûts de manutention.

Pour résoudre le repositionnement des conteneurs vides au niveau opérationnel on doit :

- ✓ Déterminer les quantités repositionnées entre les acteurs du réseau logistique (fournisseurs, dépôts, clients).
- ✓ Déterminer le routage pour chaque quantité transporté.
- ✓ Déterminer l'inventaire du stock à chaque période.

### **3.3 Contribution scientifique :**

#### **❖ 1<sup>er</sup> modèle**

La structure de base du premier modèle est adaptée du modèle déterministe à un seul produit décrit par Choong et al. (2002). Le modèle de Choong est modifié pour inclure les fenêtres de livraison (c'est-à-dire les périodes de début et de fin dans lesquelles la livraison doit être effectuée) aussi nous avons modifié la modélisation de location des conteneurs en passant d'un système où les conteneurs doivent être envoyé d'abord aux dépôts pour être stocké et ensuite aux clients à un système où les conteneurs sont envoyé directement aux clients sans passer par les dépôts afin d'éviter des stockages supplémentaires.

## ❖ 2eme modèle

La structure de base du deuxième modèle est adaptée du modèle de Mohammed Rida Ech-Charrat et al. (2020), Le modèle est rendu linéaire et les quantités des conteneurs transférés sont passées d'un transfert par lot à un transfert unitaire selon la demande, Le modèle est modifié pour inclure les fenêtres de livraison (c'est-à-dire les périodes de début et de fin dans lesquelles la livraison doit être effectuée) aussi nous sommes passé d'une allocation des entrepôts à un choix d'un routage optimal.

### 3.4 L'objectif du premier modèle :

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. Les coûts totaux comprennent tous les coûts de transport entre les fournisseurs, les dépôts et les clients, ajoutés aux coûts d'entreposage et aux coûts de manutention. La structure du réseau de transport implique des liens entre les fournisseurs et les dépôts, entre les dépôts et les clients, et entre les fournisseurs et les clients lorsque les conditions appropriées sont réunies cela s'appelle « street-turn ».

Le modèle doit déterminer à chaque période de l'horizon de temps: la meilleure distribution des conteneurs vides, en choisissant à chaque période le routage des conteneurs entre les fournisseurs, les dépôts et les clients et la quantité de conteneurs à envoyer. La quantité envoyée doit satisfaire la demande, minimiser les coûts de transport.

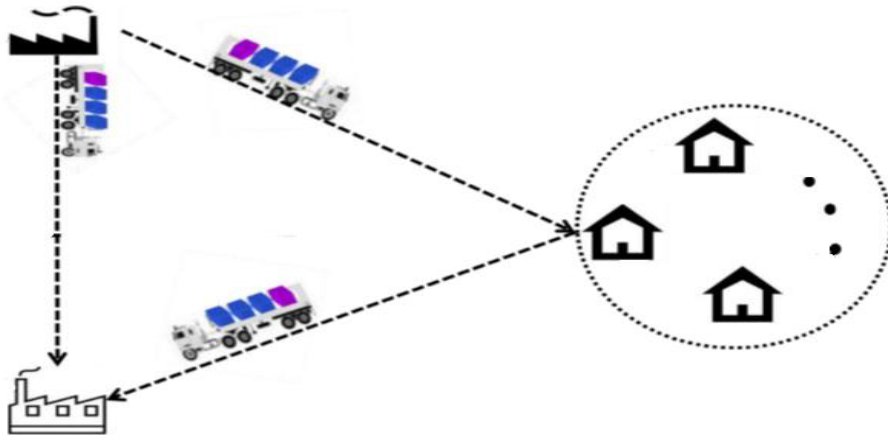


Figure 16: La structure du réseau de transport

### 3.5 Hypothèses du premier modèle :

- Un seul mode de transport est considéré, par camion.
- Un seul type de conteneur est considéré.
- Un seuil maximal de locations des conteneurs vides est imposé à chaque période.
- 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.
- Les conteneurs vides peuvent être entreposés aux dépôts, mais pas chez les importateurs ou chez les expéditeurs.
- 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
- 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.
- 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.

### **3.6 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, les exportateurs et les dépôts;

- le nombre des importateurs, des exportateurs et des dépôts ;
- le nombre de périodes de l'horizon de temps ;
- les coûts de transport entre les fournisseurs et tous les dépôts ;
- les coûts de transport entre tous les dépôts et les clients ;
- les coûts de transport entre les fournisseurs et les clients ;
- les coûts de stockage et de manutention dans les dépôts ;
- les capacités des dépôts ;

### 3.7 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.

### 3.8 Les données :

	Client 1	Client 2	Client 3	Client 4	Client 5
Fournisseur 1	10	15	5	10	10
Fournisseur 2	5	15	15	15	10
Fournisseur 3	15	10	10	10	5

Tableau 5: les coûts de transport entre les fournisseurs et les clients

	dépôt 1	dépôt 2
Fournisseur 1	15	20
Fournisseur 2	15	10
Fournisseur 3	15	20

Tableau 6: les coûts de transport entre les fournisseurs et les dépôts

	Client 1	Client 2	Client 3	Client 4	Client 5
Dépôt 1	10	15	10	25	25
Dépôt 2	25	20	20	10	15

Tableau 7: les coûts de transport entre les dépôts et les clients

Coût de stockage et de manutention	
Dépôt 1	8
Dépôt 2	8

Tableau 8: les coûts de stockage et de manutention dans les dépôts

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

Tableau 9: les demandes des conteneurs vides

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

Tableau 10: les quantités disponibles des conteneurs vides chez les fournisseurs

Capacité de stockage	
Dépôt 1	100 000
Dépôt 2	100 000

Tableau 11: la capacité de stockage des dépôts

### 3.9 Le modèle mathématique :

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

**i** : indice client.

**s** : indice fournisseur.

**j** : indice entrepôt.

**t** : indice période.

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

**QDst** : la quantité disponible des conteneurs vides chez le fournisseur « s » à la période « t ».

**Capj** : La capacité du dépôt j.

**Csi** : le coût de transport entre le fournisseur « s » et le client « i ».

**Csj** : le coût de transport entre fournisseur « s » et l'entrepôt « j ».

**Cji** : le coût de transport entre l'entrepôt « j » et le client « i ».

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

**Rji** : le coût de location des conteneurs vides loués par l'entrepôt « j » et expédiés au client « i ».

#### Variables de décision :

**Usit** : la quantité des conteneurs vides expédiée par le fournisseur « s », et reçue par le client « i » à la période « t ».

**Usjt** : la quantité des conteneurs vides expédiée par le fournisseur « s » et reçue par l'entrepôt « j » à la période « t ».

**Vjit** : la quantité des conteneurs vides expédiée par l'entrepôt « j » et reçue par le client « i » à la période « t ».

**Wijt** : la quantité des conteneurs vides louée et expédiée par l'entrepôt « j » et reçue par le client « i » à la période « t ».

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

**tsi** : le temps de transit entre le fournisseur « s » et le client « i ».

**tsj** : le temps de transit entre le fournisseur « s » et l'entrepôt « j ».

**tji** : le temps de transit entre l'entrepôt « j » et le client « i ».

#### Fonction objective :

$$\begin{aligned} \text{Min } & \sum_{t=0}^T \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^I Csi \times Usit + \sum_{t=0}^T \sum_{s=1}^S \sum_{j=1}^J Csj \times Usjt + \\ & \sum_{t=0}^T \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^I Cji \times Vjit + \sum_{t=0}^T \sum_{j=1}^J Hj \times Vjt + \\ & \sum_{t=0}^T \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (Cji + Rji) \times Wijt \end{aligned}$$

**Contraintes :**

$$\sum_{s=1}^S Usit + \sum_{j=1}^J Vjit + \sum_{j=1}^J Wijt = Dit \quad \forall i, t \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^I Usi(t + \tau si) + \sum_{j=1}^J Usj(t + \tau sj) = QDst \quad \forall s, t \quad (2)$$

$$Vjt = Vj(t-1) + \sum_{s=1}^S Usjt - \sum_{i=1}^I Vji(t + \tau ji) \quad \forall j, t \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^I Vji(t + \tau ji) \leq Vjt \quad \forall j, t \quad (4)$$

$$Vjt \leq Capj \quad \forall j, t \quad (5)$$

$$Usit, Usjt, Vjit, Wijt, Vjt \geq 0, \text{ entier} \quad (6)$$

### 3.10 Les résultats :

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

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

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



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

**Tableau 12: le nombre des conteneurs vides envoyés par les clients-fournisseurs (importateurs) aux clients (exportateurs)**

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

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

**Tableau 13: le nombre des conteneurs vides envoyés par les clients-fournisseurs (importateurs) aux entrepôts**

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

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

**Tableau 14: le nombre des conteneurs vides envoyés par les entrepôts aux différents clients**

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

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

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

**Tableau 15: Le nombre de conteneurs loués par les entrepôts et envoyés aux différents clients**



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

Tableau 16: l'inventaire des stocks des conteneurs aux entrepôts à chaque période

### 3.11 Interprétation des résultats :

Dans le tableau 12 on remarque que les fournisseurs expédient directement leurs quantités disponibles des conteneurs vides aux clients afin de satisfaire leurs demandes et le reste des conteneurs est expédié aux dépôts pour le stockage.

La liaison fournisseurs-clients a été favorisée sur la liaison fournisseurs-dépôts-clients pour satisfaire les demandes des clients car le coût de transport est moins cher dans la première liaison.

Dans le tableau 13 on remarque que le reste de la quantité disponible des conteneurs vides après la satisfaction de la demande des clients est envoyé aux deux dépôts pour

le stockage et chaque fournisseurs choisit le dépôt qui lui revient moins cher en terme de coût de transport et de stockage.

Dans le tableau 14 on remarque que les dépôts expédient des conteneurs vides aux clients pour satisfaire leurs demandes et chaque dépôt choisi des clients avec le coût de transport le moins cher.

Dans Le tableau 15 on remarque que les dépôts louent des conteneurs pour satisfaire les demandes des clients dans le cas où les quantités disponibles chez les fournisseurs et dans les dépôts ne suffisent pas pour satisfaire ces demandes.

### **3.12 L'objectif du deuxième modèle proposé :**

Les trois raisons les plus importantes pour provoquer des mouvements de conteneurs vides sont probablement le déséquilibre commercial, les opérations dynamiques et les incertitudes. En particulier, le déséquilibre commercial est la raison fondamentale. Par conséquent, pour modéliser correctement le problème du repositionnement des conteneurs vides, il est souhaitable de modéliser simultanément l'acheminement des conteneurs en charge et le repositionnement des conteneurs vides dans le réseau de transport, car le déséquilibre commercial est représenté par les mouvements des conteneurs en charge alors que les mouvements des conteneurs en charge sont déterminés par l'acheminement des conteneurs en charge.

Dans cette étude, le modèle proposé est conçu pour gérer les flux des conteneurs entre les fournisseurs, les entrepôts et les clients. Une fois que les clients ont donné leurs demandes de produits, les conteneurs pleins sont livrés par les fournisseurs aux entrepôts, puis distribués par les entrepôts aux clients. Les conteneurs consommés (vides) par les clients sont collectés vides par les entrepôts. Les fournisseurs récupèrent ensuite les conteneurs vides des entrepôts selon les besoins. Ces fournisseurs sont responsables de l'emportage de ces conteneurs et de les renvoyer aux entrepôts.

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. Les coûts totaux comprennent tous les coûts de transport entre les fournisseurs, les dépôts et les clients, ajoutés aux coûts d'entreposage et aux coûts de manutention. La structure du réseau de transport implique des liens entre les fournisseurs et les dépôts et entre les dépôts et les clients, dans les deux sens afin de gérer les flux des conteneurs pleins et vides simultanément.

Le modèle doit déterminer à chaque période de l'horizon de temps: la meilleure distribution des conteneurs pleins et vides, en choisissant à chaque période le routage des conteneurs entre les fournisseurs, les dépôts et les clients et la quantité de conteneurs à envoyer et à collecter. La quantité envoyée et collectée doit satisfaire la demande, minimiser les coûts de transport et exploiter l'espace de stockage disponible.

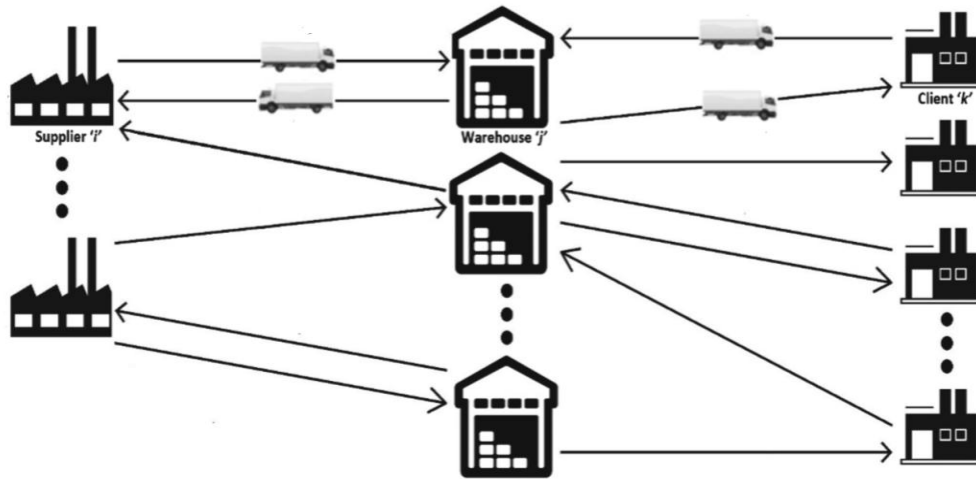


Figure 17: La structure du réseau de transport

### 3.13 Hypothèses du modèle :

- Les conteneurs pleins et vides peuvent être entreposés aux dépôts, chez les clients et chez les fournisseurs.
- Un seul type de conteneur est considéré.
- Un seul mode de transport est considéré (par camions).
- Les dépôts, les fournisseurs et les clients ont une capacité limitée pour entreposer des conteneurs vides.
- Dans chaque période de temps le nombre des conteneurs pleins et vides disponibles chez les fournisseurs, les clients et dans les dépôts est connu.
- Dans chaque période de temps, le nombre de conteneurs vides qui sont requis par les fournisseurs est connu.
- Dans chaque période de temps, le nombre de conteneurs pleins qui sont requis par les clients est connu.
- Ce sont les compagnies de transport maritime qui sont les propriétaires des conteneurs vides.
- 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.
- La location des conteneurs vides par les compagnies maritimes n'est pas considérée.
- La stratégie « street turn » n'est pas considérée.

### 3.14 Paramètres du modèle

Les paramètres des modèles sont les suivants :

- le nombre de la demande des conteneurs pleins et vides par les importateurs et les exportateurs ;
- le nombre des importateurs, des exportateurs et des dépôts ;
- le nombre de périodes de l'horizon de temps ;
- les coûts de transport entre les fournisseurs et tous les dépôts ;
- les coûts de transport entre tous les dépôts et les clients ;
- les coûts de stockage et de manutention dans les dépôts et chez les fournisseurs et les clients
- les capacités des dépôts et les zones de stockage chez les fournisseurs et les clients.

### 3.15 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 d'entreposage et les coûts de manutention.

### 3.16 Les données :

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Clien t 1</b>	0	0	15	20	25	10	20	25	25	30	10	15	50	10	0	0
<b>Clien t 2</b>	0	0	10	30	10	50	25	15	15	10	20	10	70	15	0	0
<b>Clien t 3</b>	0	0	10	35	15	15	25	15	10	15	50	10	20	15	0	0
<b>Clien t 4</b>	0	0	20	20	25	25	10	15	15	25	15	15	40	15	0	0
<b>Clien t 5</b>	0	0	50	15	10	10	10	25	20	10	10	10	20	15	0	0

Tableau 17: les demandes des conteneurs pleins par les clients

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Fournisseur 1</b>	0	0	250	150	300	250	300	200	400	100	400	150	150	400	0	0

<b>Fournisseur 2</b>	0	0	300	300	250	100	150	100	350	150	150	200	250	700	0	0
<b>Fournisseur 3</b>	0	0	200	250	350	250	250	100	150	100	300	100	150	500	0	0

Tableau 18: les demandes des conteneurs vides par les fournisseurs

	<b>Dépôt 1</b>	<b>Dépôt 2</b>
<b>Fournisseur 1</b>	15	10
<b>Fournisseur 2</b>	10	20
<b>Fournisseur 3</b>	15	15

Tableau 19: les coûts de transport entre les fournisseurs et les dépôts

	<b>Client 1</b>	<b>Client 2</b>	<b>Client 3</b>	<b>Client 4</b>	<b>Client 5</b>
<b>Dépôt 1</b>	10	10	15	15	15
<b>Dépôt 2</b>	20	20	10	10	10

Tableau 20: les coûts de transport entre les dépôts et les clients

	<b>Coût de stockage et de manutention</b>
<b>Fournisseur 1</b>	8
<b>Fournisseur 2</b>	8
<b>Fournisseur 3</b>	8

Tableau 21: les coûts de stockage et de manutention chez les fournisseurs

	<b>Coût de stockage et de manutention</b>
<b>Dépôt 1</b>	20
<b>Dépôt 2</b>	20

Tableau 22: les coûts de stockage et de manutention dans les dépôts

	<b>Coût de stockage et de manutention</b>
<b>Client 1</b>	5
<b>Client 2</b>	5
<b>Client 3</b>	5
<b>Client 4</b>	5
<b>Client 5</b>	5

Tableau 23: les coûts de stockage et de manutention chez les clients

	Capacité de stockage
Client 1	50 000
Client 2	50 000
Client 3	50 000
Client 4	50 000
Client 5	50 000

Tableau 24: la capacité de stockage chez les clients

	Capacité de stockage
Fournisseur 1	50 000
Fournisseur 2	50 000
Fournisseur 3	50 000

Tableau 25: la capacité de stockage chez les fournisseurs

	Capacité de stockage
Dépôt 1	80 000
Dépôt 2	80 000

Tableau 26: la capacité de stockage dans les dépôts

### 3.17 Le modèle mathématique :

**I, E, C** et **T** représentent le nombre de fournisseurs, des entrepôts, des clients et des périodes respectivement.

**i** : l'indice du fournisseur.

**e** : l'indice de l'entrepôt.

**c** : l'indice du client.

**t** : l'indice de la période.

**DP<sub>ct</sub>** : La demande des conteneurs pleins du client «c» à la période «t».

**DV<sub>it</sub>** : La demande des conteneurs vides du fournisseur à la période «t».

**Cap<sub>it</sub>** : La capacité de stockage des conteneurs (pleins et vides) du fournisseur «i».

**Cap<sub>e</sub>** : La capacité de stockage des conteneurs (pleins et vides) de l'entrepôt «e».

**Cap<sub>c</sub>** : La capacité de stockage des conteneurs (pleins et vides) du client «c».

**C<sub>ie</sub>** : Le coût de transport d'un conteneur du fournisseur «i» vers l'entrepôt «e».

**C<sub>ei</sub>** : Le coût de transport d'un conteneur de l'entrepôt «e» vers le fournisseur «i».

**C<sub>ec</sub>** : Le coût de transport d'un conteneur de l'entrepôt «e» vers le client «c».

**C<sub>ce</sub>** : Le coût de transport d'un conteneur du client «c» vers l'entrepôt «e».

**CS<sub>i</sub>** : Le coût de stockage et de manutentions au fournisseur «i».

**CS<sub>e</sub>** : Le coût de stockage et de manutentions à l'entrepôt «e».

**CS<sub>c</sub>** : Le coût de stockage et de manutentions au client «c».

#### Les variables de décision :

**X<sub>Piet</sub>** : La quantité des conteneurs pleins expédiée par le fournisseur «i» et arrivée à l'entrepôt «e» à la période «t».

**Y<sub>Pect</sub>** : La quantité des conteneurs pleins expédiée par l'entrepôt «e» et arrivée au client «c» à la période «t».

**ZVcet** : La quantité des conteneurs vides expédiée par le client « c » et arrivée à l'entrepôt « e » à la période « t ».

**YVeit** : La quantité des conteneurs vides expédiée l'entrepôt « e » et arrivée au fournisseur « i » à la période « t ».

**QEPIt** : La quantité entrante des conteneurs pleins au stock du pleins du fournisseur « i » à la période « t ».

**QSPIt** : La quantité sortante des conteneurs pleins du fournisseur « i », arriver à aux entrepôts à la période « t ».

**QEVIt** : La quantité entrante des conteneurs vides au stock du vide du fournisseur « i » à la période « t ».

**QSVIt** : La quantité sortante des conteneurs vide du stock du vide du fournisseur « i », à la période « t ».

**QEPEt** : représente la quantité entrante des conteneurs pleins à l'entrepôt « e » à la période « t ».

**QSPEt** : représente la quantité sortante des conteneurs pleins de l'entrepôt « e » arrivée aux clients à la période « t ».

**QEVet** : représente la quantité entrante des conteneurs vides à l'entrepôt « e » à la période « t ».

**QSVet** : représente la quantité sortante des conteneurs vides de l'entrepôt « e » arrivée aux fournisseurs à la période « t ».

**QEPCt** : représente la quantité entrante des conteneurs pleins au client « c » à la période « t ».

**QSPCt** : représente la quantité sortante des conteneurs pleins du stock du pleins chez le client « c » à la période « t ».

**QEVct** : représente la quantité entrante des conteneurs vides au stock du client « c » à la période « t ».

**QSVct** : représente la quantité sortante des conteneurs vides du client « c » arrivée aux entrepôts à la période « t ».

**IPit** : l'inventaire du stock des conteneurs pleins chez le fournisseur « i » à la période « t »

**IVit** : l'inventaire du stock des conteneurs vides chez le fournisseur « i » à la période « t »

**IPet** : l'inventaire du stock des conteneurs pleins dans l'entrepôt « e » à la période « t »

**IVet** : l'inventaire du stock des conteneurs vides dans l'entrepôt « e » à la période « t »

**IPct** : l'inventaire du stock des conteneurs pleins chez le client « c » à la période « t »

**IVct** : l'inventaire du stock des conteneurs vides chez le client « c » à la période « t »

**Ziec** : Variable binaire indiquant le routage des conteneurs pleins du fournisseur « i » vers le client « c » en passant par l'entrepôt « e » pour satisfaire la demande du client « c »

**Wcei** : Variable binaire indiquant le routage des conteneurs vides du client « c » vers le fournisseur « i » en passant par l'entrepôt « e » pour satisfaire la demande du fournisseur « i ».

**La fonction objective :**

$$\text{Min } \sum_{i=1}^I \sum_{t=0}^T CSi \times (IPit + IVit) + \sum_{e=1}^E \sum_{t=0}^T CSe \times (IPet + IVet) +$$

$$\begin{aligned} & \sum_{c=1}^C \sum_{t=0}^T CSc \times (IPct + IVct) + \sum_{i=1}^I \sum_{e=1}^E \sum_{t=0}^T Cie \times XPiet + \\ & \sum_{e=1}^E \sum_{c=1}^C \sum_{t=0}^T Cec \times YPec + \sum_{e=1}^E \sum_{i=1}^I \sum_{t=0}^T Cei \times YVeit + \\ & \sum_{e=1}^E \sum_{c=1}^C \sum_{t=0}^T Cce \times ZVcet \end{aligned}$$

### Contraintes :

$$IVit = IVli(t-1) + QEVet - QSVe,t \quad \forall i, t > 0 \quad (1)$$

$$IPit = IPI(t-1) + QEPIt - QSPIt \quad \forall i, t > 0 \quad (2)$$

$$IVit + IPit \leq Capi \quad \forall i, t \quad (3)$$

$$IVet = IVe(t-1) + QEVEt - QSVEt \quad \forall e, t > 0 \quad (4)$$

$$IPet = IPE(t-1) + QEPEt - QSPet \quad \forall e, t > 0 \quad (5)$$

$$IVet + IPet \leq Cape \quad \forall e, t \quad (6)$$

$$IVct = IVc(t-1) + QEVCt - QSVct \quad \forall c, t > 0 \quad (7)$$

$$IPct = IPC(t-1) + QEPCt - QSPct \quad \forall c, t > 0 \quad (8)$$

$$IVct + IPct \leq Capc \quad \forall c, t \quad (9)$$

$$QSPIt \leq IPit \quad \forall i, t \quad (10)$$

$$QSPIt = \sum_{e=1}^E XPiet \quad \forall i, t \quad (11)$$

$$QSVIt \leq IVit \quad \forall i, t \quad (12)$$

$$XPiet = \sum_{c=1}^C DPc, (t + 2) \times Ziec \quad \forall i, e, t \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{e=1}^E XPiet = \sum_{c=1}^C DPc, (t + 2) \quad \forall t \quad (14)$$

$$\sum_{c=1}^C \sum_{e=1}^E Ziec \leq C \times E \quad \forall I \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{e=1}^E Ziec \leq I \times E \quad \forall c \quad (16)$$

$$QEVIt = \sum_{e=1}^E YVei(t - 1) \quad \forall i, t > 0 \quad (17)$$

$$QSVIt \geq DVit \quad \forall i, t > 0 \quad (18)$$

$$QEPI(t+1) = QSVIt \quad \forall i, t \leq T-1 \quad (19)$$

$$QEPEt = \sum_{i=1}^I XPIe(t - 1) \quad \forall e, t > 0 \quad (20)$$

$$YPECT = \sum_{i=1}^I DPc(t + 1) \times Ziec \quad \forall e, c, t \leq N-1 \quad (21)$$

$$QSPet = \sum_{c=1}^C YPECT \quad \forall e, t \quad (22)$$

$$QSPet \leq IPet \quad \forall e, t \quad (23)$$

$$QEVEt = \sum_{c=1}^C ZVce(t - 1) \quad \forall e, t > 0 \quad (24)$$

$$QSVEt = \sum_{i=1}^I YVeit \quad \forall e, t \quad (25)$$

$$QSVEt \leq IVet \quad \forall e, t \quad (26)$$

$$YVeit = \sum_{c=1}^C DVi(t + 1) \times Wcei \quad \forall i, e, t \leq N-1 \quad (27)$$

$$QSPct \leq IPct \quad \forall c, t \quad (28)$$

$$QSVct \leq \sum_{e=1}^E ZVcet \quad \forall c, t \quad (29)$$

$$QSVct \leq IVct \quad \forall c, t \quad (30)$$

$$ZVcet = \sum_{i=1}^I DVi(t + 2) \times Wcei \quad \forall e, c, t \leq N-2 \quad (31)$$

$$QEPCt = \sum_{e=1}^E YPECT(t - 1) \quad \forall c, t > 0 \quad (32)$$

$$QSPct \geq DPct \quad \forall c, t \quad (33)$$

$$QEVC(t+1) = QSPct \quad \forall c, t \leq N-1 \quad (34)$$

$$\sum_{e=1}^E \sum_{i=1}^I Wcei \leq E \times I \quad \forall c \quad (35)$$

$$\sum_{e=1}^E \sum_{c=1}^C Wcei \leq E \times C \quad \forall i \quad (36)$$

$$XPiet, YPECT, ZVcet, YVeit \geq 0, \text{ entier} \quad (37)$$

$$Ziec, Wcei = \{0,1\} \quad (38)$$



### 3.18 Les résultats :

clientfo...aile 3)	entrepot...ille 2)	periode...lle 16)	Valeur
1	1	0	0
1	1	1	0
1	1	2	0
1	1	3	0
1	1	4	0
1	1	5	0
1	1	6	0
1	1	7	0
1	1	8	0
1	1	9	0
1	1	10	0
1	1	11	0
1	1	12	0
1	1	13	0
1	1	14	0
1	1	15	0
1	2	0	250
1	2	1	350
1	2	2	350
1	2	3	350
1	2	4	200
1	2	5	400
1	2	6	350
1	2	7	350
1	2	8	250
1	2	9	250
1	2	10	600
1	2	11	300
1	2	12	0
1	2	13	0
1	2	14	0
1	2	15	0
2	1	0	250
2	1	1	500
2	1	2	350
2	1	3	150
2	1	4	450
2	1	5	400
2	1	6	400
2	1	7	400
2	1	8	300
2	1	9	250
2	1	10	1200
2	1	11	250
2	1	12	0
2	1	13	0
2	1	14	0
2	1	15	0
2	2	0	0
2	2	1	0
2	2	2	0
2	2	3	0
2	2	4	0
2	2	5	0
2	2	6	0
2	2	7	0
2	2	8	0
2	2	9	0
2	2	10	0
2	2	11	0
2	2	12	0
2	2	13	0
2	2	14	0
2	2	15	0

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

Tableau 27: Nombre de conteneurs pleins envoyés par les fournisseurs aux différents entrepôts

entrepot...ille 2)	clientfi...aille 5)	periode...lle 16)	Valeur
1	1	0	0
1	1	1	150
1	1	2	200
1	1	3	250
1	1	4	100
1	1	5	200
1	1	6	250
1	1	7	250
1	1	8	300
1	1	9	100
1	1	10	150
1	1	11	500
1	1	12	100
1	1	13	0
1	1	14	0
1	1	15	0
1	2	0	0
1	2	1	100
1	2	2	300
1	2	3	100
1	2	4	50
1	2	5	250
1	2	6	150
1	2	7	150
1	2	8	100
1	2	9	200
1	2	10	100
1	2	11	700
1	2	12	150
1	2	13	0
1	2	14	0
1	2	15	0
2	2	0	0
2	2	1	0
2	2	2	0
2	2	3	0
2	2	4	0
2	2	5	0
2	2	6	0
2	2	7	0
2	2	8	0
2	2	9	0
2	2	10	0
2	2	11	0
2	2	12	0
2	2	13	0
2	2	14	0
2	2	15	0
2	3	0	0
2	3	1	100
2	3	2	350
2	3	3	150
2	3	4	150
2	3	5	250
2	3	6	150
2	3	7	100
2	3	8	150
2	3	9	50
2	3	10	100
2	3	11	200
2	3	12	150
2	3	13	0
2	3	14	0
2	3	15	0

2	4	0	0
2	4	1	200
2	4	2	200
2	4	3	250
2	4	4	250
2	4	5	100
2	4	6	150
2	4	7	150
2	4	8	250
2	4	9	150
2	4	10	150
2	4	11	400
2	4	12	150
2	4	13	0
2	4	14	0
2	4	15	0
2	5	0	0
2	5	1	50
2	5	2	150
2	5	3	100
2	5	4	100
2	5	5	100
2	5	6	250
2	5	7	200
2	5	8	100
2	5	9	100
2	5	10	100
2	5	11	200
2	5	12	150
2	5	13	0
2	5	14	0
2	5	15	0

**Tableau 28: Nombre des conteneurs pleins envoyés par les entrepôts aux différents clients**

clientfi...aile 5)	entrepot...ille 2)	periode...lle 16)	Valeur
1	1	0	300
1	1	1	300
1	1	2	250
1	1	3	100
1	1	4	150
1	1	5	100
1	1	6	350
1	1	7	150
1	1	8	150
1	1	9	200
1	1	10	250
1	1	11	700
1	1	12	0
1	1	13	0
1	1	14	0
1	1	15	0
1	2	0	0
1	2	1	0
1	2	2	0
1	2	3	0
1	2	4	0
1	2	5	0
1	2	6	0
1	2	7	0
1	2	8	0
1	2	9	0
1	2	10	0
1	2	11	0
1	2	12	0
1	2	13	0
1	2	14	0
1	2	15	0
2	1	0	300
2	1	1	300
2	1	2	250
2	1	3	100
2	1	4	150
2	1	5	100
2	1	6	350
2	1	7	150
2	1	8	150
2	1	9	200
2	1	10	250
2	1	11	700
2	1	12	0
2	1	13	0
2	1	14	0
2	1	15	0
2	2	0	0
2	2	1	0
2	2	2	0
2	2	3	0
2	2	4	0
2	2	5	0
2	2	6	0
2	2	7	0
2	2	8	0
2	2	9	0
2	2	10	0
2	2	11	0
2	2	12	0
2	2	13	0
2	2	14	0
2	2	15	0

3	1	0	0
3	1	1	0
3	1	2	0
3	1	3	0
3	1	4	0
3	1	5	0
3	1	6	0
3	1	7	0
3	1	8	0
3	1	9	0
3	1	10	0
3	1	11	0
3	1	12	0
3	1	13	0
3	1	14	0
3	1	15	0
3	2	0	250
3	2	1	150
3	2	2	300
3	2	3	250
3	2	4	300
3	2	5	200
3	2	6	400
3	2	7	100
3	2	8	400
3	2	9	150
3	2	10	150
3	2	11	400
3	2	12	0
3	2	13	0
3	2	14	0
3	2	15	0
5	1	0	0
5	1	1	0
5	1	2	0
5	1	3	0
5	1	4	0
5	1	5	0
5	1	6	0
5	1	7	0
5	1	8	0
5	1	9	0
5	1	10	0
5	1	11	0
5	1	12	0
5	1	13	0
5	1	14	0
5	1	15	0
5	2	0	200
5	2	1	250
5	2	2	350
5	2	3	250
5	2	4	250
5	2	5	100
5	2	6	150
5	2	7	100
5	2	8	300
5	2	9	100
5	2	10	150
5	2	11	500
5	2	12	0
5	2	13	0
5	2	14	0
5	2	15	0

Tableau 29: Nombre des conteneurs vides envoyés par les clients aux différents entrepôts

entrepot...ille 2)	clientfo...aille 3)	periode...lle 16)	Valeur
1	1	0	0
1	1	1	0
1	1	2	0
1	1	3	0
1	1	4	0
1	1	5	0
1	1	6	0
1	1	7	0
1	1	8	0
1	1	9	0
1	1	10	0
1	1	11	0
1	1	12	0
1	1	13	0
1	1	14	0
1	1	15	0
1	2	0	0
1	2	1	600
1	2	2	600
1	2	3	500
1	2	4	200
1	2	5	300
1	2	6	200
1	2	7	700
1	2	8	300
1	2	9	300
1	2	10	400
1	2	11	500
1	2	12	1400
1	2	13	0
1	2	14	0
1	2	15	0
1	3	0	0
1	3	1	0
1	3	2	0
1	3	3	0
1	3	4	0
1	3	5	0
1	3	6	0
1	3	7	0
1	3	8	0
1	3	9	0
1	3	10	0
1	3	11	0
1	3	12	0
1	3	13	0
1	3	14	0
1	3	15	0
2	1	0	0
2	1	1	250
2	1	2	150
2	1	3	300
2	1	4	250
2	1	5	300
2	1	6	200
2	1	7	400
2	1	8	100
2	1	9	400
2	1	10	150
2	1	11	150
2	1	12	400
2	1	13	0
2	1	14	0
2	1	15	0

2	2	0	0
2	2	1	0
2	2	2	0
2	2	3	0
2	2	4	0
2	2	5	0
2	2	6	0
2	2	7	0
2	2	8	0
2	2	9	0
2	2	10	0
2	2	11	0
2	2	12	0
2	2	13	0
2	2	14	0
2	2	15	0
2	3	0	0
2	3	1	200
2	3	2	250
2	3	3	350
2	3	4	250
2	3	5	250
2	3	6	100
2	3	7	150
2	3	8	100
2	3	9	300
2	3	10	100
2	3	11	150
2	3	12	500
2	3	13	0
2	3	14	0
2	3	15	0

Tableau 30: le nombre des conteneurs vides envoyés par les entrepôts aux différents fournisseurs



clientfo...aile 3)	entrepot...ille 2)	clientfi...aile 5)	Valeur
1	1	1	0
1	1	2	0
1	1	3	0
1	1	4	0
1	1	5	0
1	2	1	0
1	2	2	0
1	2	3	0
1	2	4	1
1	2	5	1
2	1	1	1
2	1	2	1
2	1	3	0
2	1	4	0
2	1	5	0
2	2	1	0
2	2	2	0
2	2	3	0
2	2	4	0
2	2	5	0
3	1	1	0
3	1	2	0
3	1	3	0
3	1	4	0
3	1	5	0
3	2	1	0
3	2	2	0
3	2	3	1
3	2	4	0
3	2	5	0

Tableau 31: le routage des conteneurs pleins

clientfi...aille 5)	entrepot...ille 2)	clientfo...aille 3)	Valeur
1	1	1	0
1	1	2	1
1	1	3	0
1	2	1	0
1	2	2	0
1	2	3	0
2	1	1	0
2	1	2	1
2	1	3	0
2	2	1	0
2	2	2	0
2	2	3	0
3	1	1	0
3	1	2	0
3	1	3	0
3	2	1	1
3	2	2	0
3	2	3	0
4	1	1	0
4	1	2	0
4	1	3	0
4	2	1	0
4	2	2	0
4	2	3	0
5	1	1	0
5	1	2	0
5	1	3	0
5	2	1	0
5	2	2	0
5	2	3	1

Tableau 32: le routage des conteneurs vides

clientfo...aile 3)	periode...lle 16)	Valeur
1	0	1800
1	1	1600
1	2	1250
1	3	1150
1	4	950
1	5	1050
1	6	900
1	7	850
1	8	700
1	9	850
1	10	700
1	11	500
1	12	350
1	13	500
1	14	900
1	15	900
2	0	1800
2	1	1600
2	2	1100
2	3	1050
2	4	1800
2	5	1600
2	6	1300
2	7	1550
2	8	1350
2	9	1400
2	10	1300
2	11	900
2	12	850
2	13	1100
2	14	2950
2	15	2950
3	0	1800
3	1	1750
3	2	1400
3	3	1450
3	4	1550
3	5	1650
3	6	1750
3	7	1900
3	8	1850
3	9	1950
3	10	1950
3	11	2050
3	12	2000
3	13	2150
3	14	2650
3	15	2650

Tableau 33: l'inventaire des conteneurs pleins chez les fournisseurs à chaque période

entrepot...ille 2)	periode...lle 16)	Valeur
1	0	0
1	1	250
1	2	500
1	3	350
1	4	150
1	5	450
1	6	400
1	7	400
1	8	400
1	9	300
1	10	250
1	11	1200
1	12	250
1	13	0
1	14	0
1	15	0
2	0	0
2	1	350
2	2	700
2	3	500
2	4	500
2	5	450
2	6	550
2	7	450
2	8	500
2	9	300
2	10	350
2	11	800
2	12	450
2	13	0
2	14	0
2	15	0

Tableau 34: l'inventaire des conteneurs pleins dans les entrepôts à chaque période

clientfi...aille 5)	periode...lle 16)	Valeur
1	0	50
1	1	0
1	2	150
1	3	200
1	4	250
1	5	100
1	6	200
1	7	250
1	8	250
1	9	300
1	10	100
1	11	150
1	12	500
1	13	100
1	14	0
1	15	0
2	0	50
2	1	0
2	2	100
2	3	300
2	4	100
2	5	50
2	6	250
2	7	150
2	8	150
2	9	100
2	10	200
2	11	100
2	12	700
2	13	150
2	14	0
2	15	0
3	0	50
3	1	0
3	2	100
3	3	350
3	4	150
3	5	150
3	6	250
3	7	150
3	8	100
3	9	150
3	10	50
3	11	100
3	12	200
3	13	150
3	14	0
3	15	0
4	0	50
4	1	0
4	2	200
4	3	200
4	4	250
4	5	250
4	6	100
4	7	150
4	8	150
4	9	250
4	10	150
4	11	150
4	12	400
4	13	150
4	14	0
4	15	0
5	0	50
5	1	0
5	2	50
5	3	150
5	4	100
5	5	100
5	6	100
5	7	250
5	8	200
5	9	100
5	10	100
5	11	100
5	12	200
5	13	150
5	14	0
5	15	0

Tableau 35: l'inventaire des conteneurs pleins chez les clients à chaque période

clientfo...aile 3)	periode...lle 16)	Valeur
1	0	50
1	1	0
1	2	250
1	3	150
1	4	300
1	5	250
1	6	300
1	7	200
1	8	400
1	9	100
1	10	400
1	11	150
1	12	150
1	13	400
1	14	0
1	15	0
2	0	50
2	1	0
2	2	600
2	3	900
2	4	500
2	5	450
2	6	650
2	7	200
2	8	700
2	9	650
2	10	800
2	11	400
2	12	700
2	13	1850
2	14	0
2	15	0
3	0	50
3	1	0
3	2	200
3	3	250
3	4	350
3	5	250
3	6	250
3	7	100
3	8	150
3	9	100
3	10	300
3	11	100
3	12	150
3	13	500
3	14	0
3	15	0

Tableau 36: l'inventaire des conteneurs vides chez les fournisseurs à chaque période

entrepot...ille 2)	periode...lle 16)	Valeur
1	0	0
1	1	600
1	2	600
1	3	500
1	4	200
1	5	300
1	6	200
1	7	700
1	8	300
1	9	300
1	10	400
1	11	500
1	12	1400
1	13	0
1	14	0
1	15	0
2	0	0
2	1	450
2	2	400
2	3	650
2	4	500
2	5	550
2	6	300
2	7	550
2	8	200
2	9	700
2	10	250
2	11	300
2	12	900
2	13	0
2	14	0
2	15	0

Tableau 37: l'inventaire des conteneurs vides dans les entrepôts à chaque période

clientfi...aile 5)	periode...lle 16)	Valeur
1	0	1800
1	1	1550
1	2	1250
1	3	1150
1	4	1250
1	5	1350
1	6	1350
1	7	1200
1	8	1300
1	9	1400
1	10	1500
1	11	1350
1	12	800
1	13	1300
1	14	1400
1	15	1400
2	0	1800
2	1	1550
2	2	1250
2	3	1100
2	4	1300
2	5	1250
2	6	1200
2	7	1100
2	8	1100
2	9	1100
2	10	1000
2	11	950
2	12	350
2	13	1050
2	14	1200
2	15	1200
3	0	1800
3	1	1600
3	2	1450
3	3	1250
3	4	1350
3	5	1200
3	6	1150
3	7	1000
3	8	1050
3	9	750
3	10	750
3	11	650
3	12	350
3	13	550
3	14	700
3	15	700
4	0	1800
4	1	1850
4	2	1850
4	3	2050
4	4	2250
4	5	2500
4	6	2750
4	7	2850
4	8	3000
4	9	3150
4	10	3400
4	11	3550
4	12	3700
4	13	4100
4	14	4250
4	15	4250
5	0	1800
5	1	1650
5	2	1400
5	3	1100
5	4	1000
5	5	850
5	6	850
5	7	800
5	8	950
5	9	850
5	10	850
5	11	800
5	12	400
5	13	600
5	14	750
5	15	750

Tableau 38: l'inventaire des conteneurs vides chez les clients à chaque période



### **3.19 Interprétation des résultats :**

Dans le tableau 27 on remarque que les fournisseurs expédient des conteneurs pleins aux dépôts pour satisfaire les demandes des clients et chaque fournisseur choisi des dépôts qui leur permettent de satisfaire ces demandes avec un coût de transport global minimal.

Dans le tableau 28 on remarque que les dépôts expédient des conteneurs pleins aux clients pour satisfaire leurs demandes et chaque dépôt choisi des clients qui leur permettent de satisfaire ces demandes avec un coût de transport minimal.

Dans le tableau 29 on remarque que les clients expédient des conteneurs vides aux dépôts pour satisfaire les demandes des fournisseurs et chaque client choisi des dépôts qui leur permettent de satisfaire ces demandes avec un coût de transport global minimal.

Dans le tableau 30 on remarque que les dépôts expédient des conteneurs vides aux fournisseurs pour satisfaire leurs demandes et chaque dépôt choisi des fournisseurs qui leur permettent de satisfaire ces demandes avec un coût de transport minimal.

Dans le tableau 31 on remarque que les variables binaires retournent la valeur 1 si le routage des conteneurs pleins qui permettent de satisfaire les demandes des clients est sélectionné et retournent la valeur 0 sinon.

Dans le tableau 32 on remarque que les variables binaires retournent la valeur 1 si le routage des conteneurs vides qui permettent de satisfaire les demandes des fournisseurs est sélectionné et retournent la valeur 0 sinon.

### **3.20 Perspectives :**

- Environnement stochastique.
- Plusieurs types de conteneurs.
- Plusieurs types de marchandises.
- Plusieurs modes de transport.
- Un système d'aide à la décision pour le repositionnement des conteneurs.

### **3.21 Conclusion :**

Le repositionnement régional des conteneurs vides au niveau opérationnel est assuré par un mouvement des conteneurs vides efficace avec des coûts de transports, de stockages et de manutentions minimales.

En modélisant les conteneurs pleins et vides ça nous a donné une meilleure visibilité sur l'emplacement des conteneurs vides ceci nous a permis d'assurer une distribution efficace de ces conteneurs.

## Bibliographie

- ALIAJNI, SHAHRZAD. *STRATÉGIE DE GESTION DES RETOURS DES CONTENEURS MARITIMES DE L'INTERNET PHYSIQUE*. MONTRÉAL : ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL , AVRIL 2016 .
- 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., Mittal, N., Golias, M., & Theofanis. *Empty marine container management: addressing a global problem locally*. Transportation Research Board 85th Annual Meeting. , 2006.
- 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.
- 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.
- Choong, S. T., Cole, M. H., & Kutanoglu, E. *Empty container management for intermodal transportation networks*. . Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review,, 2002.
- 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.
- 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.
- 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).
- DONG, Dong-Ping SONG and Jing-Xin. *Empty Container Repositioning* . School of Management, University of Liverpool, Chatham Street, Liverpool,, January 2015.
- Façanha, C., Menendez, M., Turner, E., Yin, H., & Zhang, Y. *Repositioning of Empty Containers in the Transpacific Market*. Report CE, 2003.
- 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.
- 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 Ezziyyani, Loubna Cherrat et Tarik Zouadi. *Facility Location Problem for Reusable Containers Distribution System*. Tangier: Université Abdelmalek Essaâdi, Tangier, Morocco, 2020.
- Montreuil, B. *Toward a Physical Internet: meeting the global logistics sustainability grand challenge*. Logistics 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., & Dong, J.-X. *Effectiveness of an empty container repositioning policy with flexible destination ports*. . Transport Policy, 2011.
- Sterzik, S., Kopfer, H., & Yun, W.-Y. *Reducing hinterland transportation costs through container sharing*. . Flexible Services and Manufacturing Journal, 2015.
- Vojdani, N., Lootz, F., & Rösner, R. *Optimizing empty container logistics based on a collaborative network approach*. Maritime Economics & Logistics, 2013.
- 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.