

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
**Université Abderrahmane Mira de Béjaia**

Faculté des Sciences Exactes

Département de Recherche Opérationnelle

Mémoire de Master En

Mathématiques Appliquées

**Option :**  
**Modélisation Mathématique et Techniques de  
Décision**



Thème :

*Modélisation du stockage des  
conteneurs au niveau de  
l'entreprise BMT*

Présenté par :

M<sup>elle</sup> KHAMIS Abla

M<sup>elle</sup> LACHI Lidia

Devant le jury composé de :

Président :	M <sup>r</sup> N. TOUCHE,	MCB,	Université de Béjaia
Rapporteur :	M <sup>elle</sup> Z. AOUDIA ,	MAA,	Université de Béjaia
Examineurs :	M <sup>me</sup> L. ASLI,	MAA,	Université de Béjaia
	M <sup>r</sup> K. MEZIANI,	Doctorant,	Université de Béjaia
Invités :	M <sup>r</sup> M. BOUMERZOUG,	C.S. Informatique,	BMT

Année Universitaire 2015 – 2016

# Remerciements

Nous remercions celui qui nous a protégé, accordé courage et patience, jusqu'à mener 'la graine au fruit ' nous inclinons pour dire 'Dieu merci'.

Gloire à son nom pour toujours.

Nos remerciements les plus chaleureux s'adressent également :

A notre promotrice Melle Aoudia pour son aide, son orientation, sa disponibilité, et ses précieux conseils.

A monsieur Moussa Boumarzoug, chef de service informatique de l'entreprise BMT, pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant de nous encadrer, ainsi que pour son aide et sa disponibilité.

Au personnel de la DO en particulier : les deux Mouloud, Samira et Karim pour leur énorme aide.

Au membres de jury qui ont accepté de juger ce travail.

Aux enseignants qui ont contribué à notre formation depuis la première année primaire jusqu'aujourd'hui.

Un grand Merci à toute personne qui de près ou de loin a contribué à la réalisation de ce mémoire.

## Dédicace

Je remercie Dieu qui nous a donné le courage, la patience et la volonté pour finir ce travail que je dédie :

A celle qui a illuminé mon long chemin, qui a sacrifié sa vie à ses enfant...

à ma très chère mère.

A celui qui ma indiqué la bonne voie en me rappelant que la volonté fait toujours le grand homme...

à mon très cher père.

A mes chères soeurs : Djazia, Razika et Kheira.

A mes chers frères : Razik et Idir. A mes oncles : Achour, Aomar, Mnd amokrane et Mnd ameziane.

A mes tante : Tassadit, Faiza, Mailka et Hassina.

A mes cousins Halim et Djazia et leur deux fils : Hassan et Yesser.

A mes cousins Tiziri, Kousseila, Azal, Tariq et Fatah.

A ma chère amie et binôme Abla et sa famille.

A mes chères copines Lydia, Nacira, Lili, Ania.

*LACHI LIDIA.*

## Dédicace

Je remercie Dieu qui nous a donné le courage, la patience et la volonté pour finir ce travail que je dédie :

: A mes parents, la base de ma carrière, je vous remercie à ma manière car vous êtes les plus chers qui existent sur terre.

A mes grandes mères et mes grands pères.

A mon fiancé qui m'a toujours soutenu Abdellah.

A mes chères soeurs : Nessma et Ikram.

A mon frère : Boudiaf.

A mes oncles Belkacem, Mohand Oulahsan, et Aissa.

A mes oncles : Mahfoud, Nabil, Fares et Nasradine A mes cousines : Khalida, Sabah, Zoulikha, Wahida, Fareh et Hdjila.

A mes cousins Azouz, Nabil, Djaafar et Houssam.

A ma chère amie et binome Lidia et sa famille.

A mes chères amies Hannane, Loubna, Ania ,Yassmina et Zahra.

*KHAMIS ABLA.*

# TABLE DES MATIÈRES

<b>Table des Matières</b>	<b>iii</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>iv</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>v</b>
<b>1 La conteneurisation</b>	<b>4</b>
1.1 Introduction . . . . .	4
1.2 Définition d'un conteneur . . . . .	4
1.3 Les types de conteneur . . . . .	4
1.4 Les avantages et les inconvénient de la conteneurisation . . . . .	8
1.4.1 Les avantages : . . . . .	8
1.4.2 Les inconvénients : . . . . .	9
1.5 Conclusion . . . . .	9
<b>2 Présentation de l'entreprise BMT</b>	<b>10</b>
2.1 Introduction . . . . .	10
2.2 Définition de BMT . . . . .	10
2.3 Création de BMT . . . . .	10
2.4 Ojectif du partenariat . . . . .	11
2.5 Les apports de chaque partie . . . . .	11
2.5.1 Le PORTEK . . . . .	11
2.5.2 L'entreprise portuaire de Bejaia (EPB) . . . . .	12
2.6 Situation géographique . . . . .	12
2.7 Les lignes desservant BMT . . . . .	12
2.8 Structure organisationnelle de BMT . . . . .	13

2.9	Le terminal à conteneurs . . . . .	16
2.9.1	Configuration du terminal . . . . .	16
2.10	Les équipements . . . . .	17
2.11	Les outils de gestion du terminal . . . . .	18
2.11.1	CTMS (Container Terminal Management System) . . . . .	18
2.11.2	PDS (Position Determining System) . . . . .	18
2.11.3	RDS (Radio Data System) . . . . .	18
2.11.4	OCR (optical Character Recognition) . . . . .	19
2.12	Les procédures import/export de BMT . . . . .	19
2.12.1	A l'import . . . . .	19
2.12.2	A l'export . . . . .	21
2.13	Les services de BMT . . . . .	23
2.13.1	planification . . . . .	23
2.13.2	Manutention . . . . .	23
2.13.3	Acconage . . . . .	23
2.13.4	Traitement des TCs frigorifiques . . . . .	24
2.13.5	Transport Ferroviaire . . . . .	24
2.13.6	Centre de Formation . . . . .	24
2.14	Les objectifs de BMT . . . . .	24
2.15	Les atouts de l'entreprise . . . . .	25
2.16	Position du problème . . . . .	26
2.17	Conclusion . . . . .	26
<b>3</b>	<b>Rappels Théorique sur l'optimisation</b> . . . . .	<b>27</b>
3.1	introduction . . . . .	27
3.2	Les problèmes d'optimisation . . . . .	27
3.2.1	Les problèmes faciles . . . . .	27
3.2.2	Les problèmes difficiles . . . . .	27
3.3	Modélisation des problèmes d'optimisation . . . . .	28
3.3.1	La programmation linéaire . . . . .	28
3.3.2	La programmation linéaire en nombres entiers . . . . .	28
3.3.3	La programmation dynamique . . . . .	28
3.3.4	La théorie des graphes . . . . .	29
3.4	Les méthodes de résolution . . . . .	29
3.4.1	Les méthodes exactes . . . . .	29
3.4.2	Les méthodes approchées . . . . .	29
3.5	Modélisation par la programmation linéaire en nombres entiers . . . . .	29

3.5.1	Les méthodes exactes . . . . .	30
3.5.2	Les méthodes approchées . . . . .	31
3.6	Conclusion . . . . .	31
<b>4</b>	<b>Modélisation du problème</b>	<b>32</b>
4.1	Introduction . . . . .	32
4.2	Description du problème de stockage des conteneurs . . . . .	33
4.3	Construction du modél . . . . .	34
4.3.1	Hypothèses . . . . .	34
4.3.2	Identification des parametres . . . . .	34
4.3.3	Identification des variables de décision . . . . .	35
4.3.4	Formulation des contraintes . . . . .	35
4.3.5	Formulation de l'objectif . . . . .	36
4.4	Complexité du problème . . . . .	38
4.5	Approches de résolution . . . . .	38
4.6	Processus général de résolution . . . . .	38
4.7	Conclusion . . . . .	39
<b>5</b>	<b>Conclusion générale</b>	<b>40</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>41</b>

## LISTE DES TABLEAUX

2.1	Les caractéristiques du quai. . . . .	16
2.2	Les équipements de BMT. . . . .	18

## TABLE DES FIGURES

1.1	Conteneur dry.	5
1.2	Conteneur à toit ouvert.	5
1.3	Conteneur plate-forme.	6
1.4	Conteneur ventilé.	7
1.5	Conteneur frigorifique.	7
1.6	Conteneur citerne.	8
2.1	Création de BMT.	11
2.2	Les lignes desservant BMT.	13
2.3	Structure organisationnelle de BMT.	14
2.4	Zone dépotage et empotage.	17
2.5	OCR (Optical Character Recognition).	19
2.6	processus import/export	22
4.1	Les blocs de stockage des conteneurs.	32
4.2	Processus de résolution.	39

## LISTE DES ABRÉVIATION

**BMT** : Bejaia Mediteraneann Terminal.

**EPB** : Entreprise Portuaire de Bejaia.

**EVP (TEU en anglais)** : Equivalent Vingt Pieds (Twenty Equivalent Units).

**RTG** : Ruber Type Gantry.

**QC** : Quay Crane.

**CTMC** : Container Management System.

**PDS** : Position Determining System.

**RDS** :Radio Data System.

**OCR** : Optical Character Recognition.

**ZEP** : Zone Extra Portuaire.

**PSC** : Problème de Stockage des Conteneurs.

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

La recherche opérationnelle est la discipline qui utilise des méthodes scientifiques pour élaborer de meilleures décisions[4].

Elle propose des modèles conceptuelle en vue d'analyser et de maîtriser des situations complexe pour permettre aux décideurs de comprendre et d'évaluer les enjeux et d'arbitrer et/ou de faire le choix efficaces[10].

Le transport maritime est le mode de transport le plus utilisés vu qu'il coute moins cher que le transport terrestre, de plus il offre des garantie de sûreté maximale pour les chargements de marchandises, de ce fait il est considéré comme un instrument privilégié des échanges internationaux et il a connu plusieurs révolutions pour s'adapter au fil du temps à l'évolution des échanges, l'une des révolution les plus marquantes du transport maritime est la conteneurisation.

Le conteneur est devenu aujourd'hui l'outil roi du transport maritime notamment après sa standardisation, ainsi le nombre de terminaux à conteneur ne cesse d'accroître et la concurrence entre eux devient de plus en plus remarquable.

Bejaia Mediterranean Terminal est une entreprise spécialisée dans la gestion et l'exploitation du terminal à conteneur du port de Bejaia, elle reçoit annuellement un grand nombre de navires pour lesquelles elle assure les opérations de planification, de maintenance et d'acconage, et cela à l'aide des équipements modernes et d'un personnel motivé pour fournir des opérations rapides, efficaces et avantageuses afin de répondre aux exigences les plus sévères en matière de qualité et de rapidité pour satisfaire les besoin actuels et futurs des clients.

L'accroissement du trafic des conteneurs exige aux entreprises d'améliorer l'efficacité des opérations portuaires, cela constitue un ensemble de problème de décision à résoudre tels que : l'allocation des postes à quai, la planification des déplacements des camions, la planification des opérations de portique de cour, l'affectation des conteneurs aux emplacements de stockage...etc.

En fait la cour de stockage est la ressource capitale d'un terminal à conteneur et son degré d'efficacité de sa gestion se répercute sur la productivité globale du port. En effet les temps de recherche de conteneurs sont parfois considérables et entraînent des retards important provoquant des pénalités financières pour l'entreprise.

Gérer efficacement la zone de stockage des conteneurs revient à déterminer l'emplacement optimal pour chaque conteneur de sorte à pouvoir les récupérer facilement au moment de leur départ.

Cela fait l'objet de notre présent travail, dans lequel nous nous intéressons à la modélisation du problème de stockage des conteneurs, tout en s'appuyant sur les outils de l'optimisation.

Ce travail comprend une introduction générale, et quatre chapitres dans les objectifs sont relatés ci-après :

Chapitre 1 : dans ce chapitre nous allons tout d'abord évoquer la notion de la conteneurisation, en donnant la définition d'un conteneur, ses types ainsi que son impact.

Chaitre 2 : Ce chapitre comprend une présentation de l'entreprise gérant le terminal à conteneur du port de Bejaia BMT, en précisant son historique, sa structure organisationnelle, les opérations et les outils du gestion du terminal. Nous terminerons ce chapitre par la position du problème.

Chapitre 3 : dans ce chapitre nous donnons quelque rappel sur la notion d'optimisation, ses modèles et ses méthodes de résolutions.

Chapitre 4 : ce chapitre comprend la représentation du modèle associé au problème de stockage des conteneurs, sa complexité ainsi que les approches qui peuvent servir à sa résolution, tout en expliquant le processus général de résolution.

Nous terminerons par une conclusion générale.

# CHAPITRE 1

## LA CONTENEURISATION

### 1.1 Introduction

La conteneurisation est le fait d'utiliser des conteneurs comme moyen de transfert de biens et de marchandises. Ce concept est apparu au XX<sup>ème</sup> siècle et depuis lors et grâce au caractère multimodal du conteneur, il est devenu un élément indispensable dans le domaine de transport, notamment les industries du transport maritimes, et les ont migrés vers une nouvelle infrastructure nommé "Terminal à conteneur".

### 1.2 Définition d'un conteneur

C'est une boîte métallique rectangulaire assez résistante pour permettre un usage répété. Il est conçu pour faciliter le transport de marchandises sans rupture de charge par un ou plusieurs modes de transport.

Les dimension des conteneurs sont définies par la norme ISO (Organisation Internationale de normalisation) 20 pieds (1 EVP qui est équivalent à 6,058m ) ou 40 pieds (2 EVP équivalent à 12.19m)[1].

### 1.3 Les types de conteneur

Il existe trois catégories de conteneurs : les conteneurs à usage générale, les conteneurs pour marchandises spécifique et les conteneurs pour usage spécifique[1].

– Les conteneurs à usage général :

Appelés aussi conteneurs dry, ils sont équipés de portes aux extrémités et destiné à des marchandises générales et sèches.

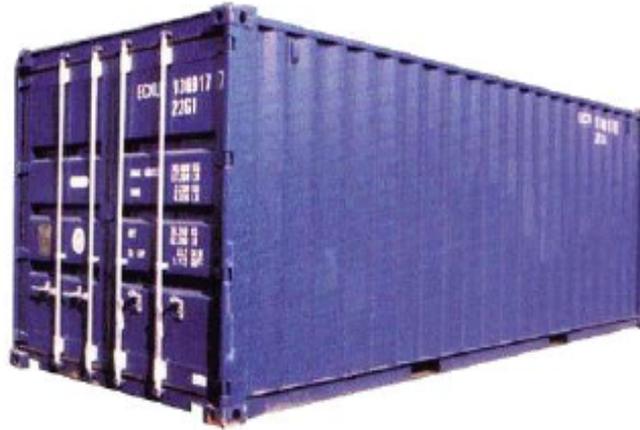


FIGURE 1.1 – Conteneur dry.

– Les conteneurs pour usage spécifique :

1. Les conteneurs à toit ouvert :

La structure de ce type de conteneur est identique à celui du dry, mais le toit est mobil et généralement bâché pour permettre un empotage verticale (pièces volumineuse et/ou indivisibles).



FIGURE 1.2 – Conteneur à toit ouvert.

2. Les conteneurs plate-forme(flat) :

ils sont à parois latérales ouvertes. On distingue deux types de flats : des conteneurs à parois d'extrémités fixes et d'autre à parois d'extrémités mobiles. Les flats sont les seuls à admettre, sous certaines conditions, des marchandises en dépassant de hauteur et/ou de largeur.



FIGURE 1.3 – Conteneur plate-forme.

– les conteneurs pour marchandises spécifiques :

Ces types de conteneurs sont utilisés pour des marchandises ayant une caractéristique thermique spéciale, on distingue :

1. Les conteneurs ventilés :

La surface de ventilation de ce type de conteneur est augmenté par l'ouverture d'orifices de ventilation dans les longerons. Il est utilisé pour le transport de marchandises nécessitant la circulation de l'air telles que certains fruits et légumes, café en sac.



FIGURE 1.4 – Conteneur ventilé.

2. Les conteneurs frigorifiques :

Utilisés pour la conservation des produits alimentaires.



FIGURE 1.5 – Conteneur frigorifique.

3. Les conteneurs citernes :

Ils sont destinés au transport des produits, pulvérulent ou gazeux, on distingue des conteneurs citernes chimiques et des conteneurs citernes alimentaires.

Une citerne chimique ne peut pas contenir des produits alimentaires, alors qu'une citerne alimentaire peut être transformés en une citerne chimique.



FIGURE 1.6 – Conteneur citerne.

## 1.4 Les avantages et les inconvénient de la conteneu- risation

### 1.4.1 Les avantages :

#### **Du point de vue de transporteur :**

- Réduction du temps d’escale des navires.
- Limitation des pertes d’espace des navires.
- Réduction des coûts de manutention.
- Accroissement du nombre de rotations des navires.
- Limitation des dommages et manquants.
- Réduction des coûts de l’assurance.

#### **Du point de vue chargeur :**

- Limitation des ruptures de charge.
- Sécurité et confort de la marchandise.
- Réduction des coûts de manipulation.
- Limitation des vols et avaries.
- Economie sur l’emballage.
- Réduction des coûts de l’assurance.
- Rapidité de livraisons.
- Service de porte à porte.

#### **Du point de vue de port :**

- Meilleure organisation portuaire.

- Sécurité de la marchandise.
- Réduction du temps d'écales.

#### **1.4.2 Les inconvénients :**

- Nécessite beaucoup d'espace.
- Les contrôles manuels sont impossibles.
- Investissement et entretien coûteux.
- Déséquilibre de flux intercontinentaux de marchandise imposants des transport de conteneurs vides.

### **1.5 Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons évoquer la notion de la conteneurisation en donnant la définition d'un conteneur, les types de conteneurs et l'impact de leur utilisation.

## CHAPITRE 2

# PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE BMT

### 2.1 Introduction

Le transport maritime devient de nos jours, de plus en plus important et représente une alternative crédible et intéressante au transport terrestre et aérien, notamment avec l'évolution du phénomène de conteneurisation.

Dans ce chapitre nous nous intéressons à la représentation du terminal à conteneurs de Bejaia (BMT).

### 2.2 Définition de BMT

BMT (Bejaia Mediterranean Terminal) est une entreprise spécialisée dans l'exploitation et la gestion du terminal à conteneurs du port de Bejaia.

Avec des équipements modernes, un personnel compétent, bien formé et bien encadré dans le domaine de traitement de conteneurs, BMT assure des prestations de service de qualité avec une efficacité bien appréciée tout en offrant un des meilleurs environnements de travail pour ces employés[2].

### 2.3 Création de BMT

BMT SPA a été créée sur décision du Conseil des Participations de l'Etat (CPE) en mai 2004, comme forme de partenariat entre l'Entreprise Portuaire de Bejaia (EPB) et le

groupe PORTEK (société singapourienne), le PORTEK est un opérateur de terminaux à conteneurs, présent dans plusieurs ports dans le monde, et également spécialisé dans les équipements portuaires.

Le capital social de BMT s'élève à cinq milliards de dollars américain répartis à raison de 51% pour l'EPB et 49% pour le PORTEK[2].



FIGURE 2.1 – Création de BMT.

## 2.4 Ojectif du partenariat

- Participer à l'organisation de l'économie Algérienne.
- Améliorer la balance commerciale.
- Réduire les risques d'exploitation et du marché.
- Acquérir de nouvelles technologies.
- Développer de nouveau marché.

## 2.5 Les apports de chaque partie

### 2.5.1 Le PORTEK

- Investissement en numéraire.
- Transfert de technologie et savoir faire.
- Contribution à la prise de marché.
- Maintenance et pièce de rechange.
- Management de terminaux.
- Equipements et expertises.
- Formation

## **2.5.2 L'entreprise portuaire de Bejaia (EPB)**

- Infrastructure commerciale.
- Investissement.
- Marché.

## **2.6 Situation géographique**

Au centre du pays Algérien se situe le port de Bejaia au coeur duquel est implantée l'entreprise BMT, sa situation géographique offre des commodités exceptionnelles.

Au voisinage de BMT se trouve la gare ferroviare et quelques minutes la sépare d'un aéroport international ce qui lui facilite la transportation des marchandises de toute nature vers plusieurs destination.

## **2.7 Les lignes desservant BMT**

les port de Bejaia est desservi par plusieurs lignes régulières provenant de divers ports européens[2].



FIGURE 2.2 – Les lignes desservant BMT.

## 2.8 Structure organisationnelle de BMT

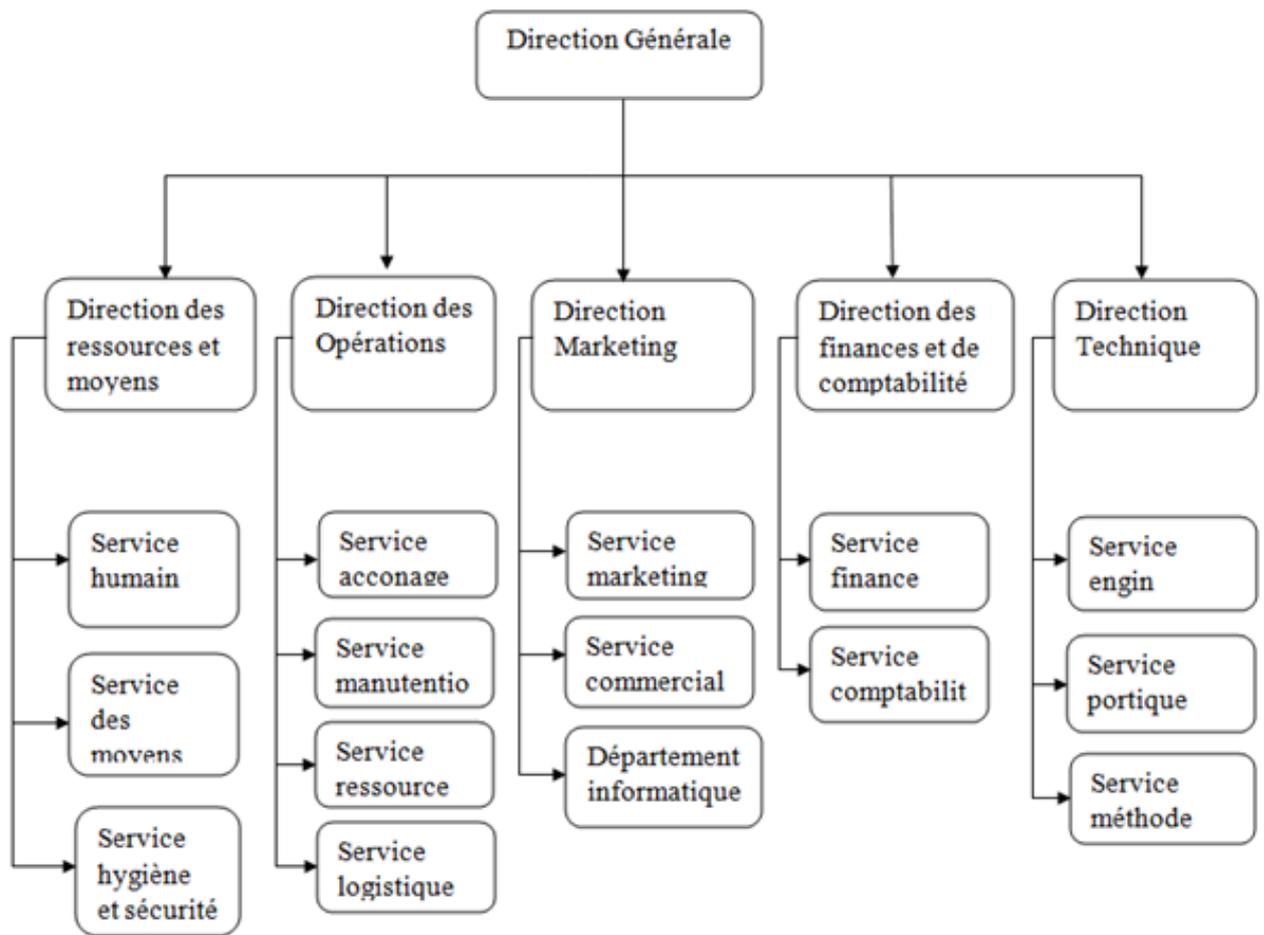


FIGURE 2.3 – Structure organisationnelle de BMT.

On distingue cinq directions principales :

◆ **Direction générale** : Géré par directeur générale qui a le pouvoir de décision, il assigne également des directives au directeur adjoint qui fait les liaisons et coordonne entre les différentes directions de BMT.

◆ **Direction de ressources humaines et moyennes** : cette direction comprend trois services :

**Service personnel** : Sa mission est de mettre en oeuvre des systèmes de gestion intégré à la stratégie de l'entreprise et qui traduise une adéquation entre les impératifs économiques et les attentes du personnel.

**Service des moyens généraux** : Il est chargé des achats et de la gestion des stocks de l'entreprise.

**Services hygiène et sécurité** : Il assure la sécurité de la marchandise et du parc a

conteneur ainsi que la propreté de l'entreprise et de son environnement.

◆ **Direction des opérations (D.O) :**

Elle assure la planification des escales, du parc à conteneur et la planification des ressources (équipes et équipements elle comprend quatre services :

**Service acconage :** Assure la gestion des opérations au niveau du terminal.

**Service manutention :** Assure la gestion des opérations au niveau des navires.

**Service ressources :** Assure une meilleur affectation des équipements et ressources.

**Service logistique :** Assure le suivi des moyens logistiques ainsi que la prestation logistique globale.

◆ **Direction Marketing :**

. **Service Marketing :** Assure la promotion de l'image de marque de l'entreprise et la en ouvre du plan d'et la en ouvre du plan d'action.

**Service Commercial :** Il suit la facturation, la gestion des portefeuilles clients et le recouvrement.

**Département informatique :** Il assure le bon fonctionnement des outils de gestion du terminal, la maintenance du parc informatique de l'entreprise et le développement de nouvelles applications aux différentes structures.

◆ **Direction des finances et de comptabilités :**

. Elle procède à l'enregistrement de toutes les opérations effectuées par l'entreprise au cours de l'année. Elle est constituée de deux de services :

**Service des finances :** Elle procède au règlement de toutes les factures d'un côté et de l'autre à l'encaissement de toutes les créances de l'entreprise émises au niveau de la banque.

**Service de comptabilité :** Il procède au controle et l'enregistrement de toutes les factures d'achat, de prestation et d'investissement.

◆ **Direction Technique (DT) :**

Elle assure une maintenance préventive et curative des engins du parc à conteneur, elle comprend trois services :

**Service engin :** Assure l'entretient des véhicule lourds

**Service portique :** Assure l'entretient des portiques et de al grue mobile

**Service méthode :** Assure la mise en ouvre du plan de maintenance des équipements.

## 2.9 Le terminal à conteneurs

### 2.9.1 Configuration du terminal

Le terminal à conteneurs se décompose en deux grandes zones :

- La partie quai.
- La partie terrestre.

#### La partie quai :

Le rôle de cette zone est de servir de point de transfert des conteneurs entre le terminal et les navires. Les caractéristiques de cette zone sont résumées dans le tableau suivant :

Quai accostage	longueur	500m
	profondeur	12m
	superficie	60h
	nombre de poste à quai	4

TABLE 2.1 – Les caractéristiques du quai.

#### La partie terrestre :

Cette partie est subdivisée en quatre (04) zones

- Parc à conteneurs pleins (importés).
- Zone visite.
- Zone de dépotage-empotage.
- Parc à conteneurs vides et empotés.

1. **Le parc à conteneurs pleins (importés) :** Dans cette cour sont entreposés temporairement les conteneurs déchargés des navires et destinés à être livrés aux clients par voie ferroviaire ou routière.

Cette zone est répartie en cinq (05) blocs (A, B, C, D, E) disposés parallèlement au quai, chaque bloc est constitué de six (06) tronçons adjacents horizontaux formant les rangées et de 54 tronçons adjacents verticaux formant les travées, de plus les conteneurs sont stockés en pile de six (06) niveau, ainsi la position d'un conteneur dans la cour est caractérisée par une adresse formée du bloc, rangée, travée et niveau.

2. **Zone visite :** Dans cette zone s'effectue le contrôle de la marchandise portée dans les conteneurs (service vétérinaire, phytosanitaire,...etc), les conteneurs ayant fait la visite seront soit transférés au zone de stockage ou livrés à leur propriétaire.

### 3. La zone dépotage-empotage :

Dans cette zone s'effectue les opérations de dépotage et d'empotage tels que :



FIGURE 2.4 – Zone dépotage et empotage.

- **Empotage** : C'est l'opération de chargement des marchandises à l'intérieur d'un conteneur, il peut être effectué soit dans les locaux du client soit à l'intérieur du terminal.
- **Dépotage** : C'est l'opération de déchargement d'un conteneur de son contenu. Les marchandises dépotés sont livrés à leur propriétaire et les conteneurs vides sont transférés vers la ZEP (Zone Extra Portuaire) là ou ils sont stockés temporairement avant d'être réclamés.

### 4. Parc à conteneurs vides et empotés :

Dans cette zone qui située près du quai sont stockés les conteneurs vides et empotés destinés à l'exportation.

Tous les conteneurs vides sont stockés après leur restitution dans la ZEP situé à trois kilomètre du port, ceux qui sont réclamés par leur propriétaire sont rapprochés au terminal à l'aide des camion routiers et temporairement stockés dans cette zone avant qu'ils soient embarqués.

## 2.10 Les équipements

BMT est le seul terminal à conteneurs en Algérie à être suffisamment équipé en moyens et matériels spécilaisés, de manutention et de levage qui réduisent les temps d'escale permettant de répondre aux attentes et aux exigences des opérateurs.

équipements	nombre	tonnage
Quay Crane (QCs)	2	40 tonnes
grues	2	100 tonnes
portique gesrbeur sur pneu (RTG)	8	36 tonnes
steackers	9	40 tonnes
chariot manipulateur du vide	10	10 tonnes
chariot élévateur	11	2,5,3,5,10 tonnes
remorques portuaires	18	40 tonnes
remorques routières	24	36 tonnes

TABLE 2.2 – Les équipements de BMT.

## 2.11 Les outils de gestion du terminal

Afin d'améliorer les opérations de manutention des conteneurs BMT s'est dotée de système informatique de gestion du terminal pour assurer une meilleur traçabilité du conteneur et de sa sécurité. Les systèmes installés comprennent le CTMS, l'OCR, PDS et un environnement opérant en EDI[2].

### 2.11.1 CTMS (Container Terminal Management System)

Ce logiciel modern assure des tâches telles que :

- Le suivi du processus d'importation et d'exportation.
- La gestion des restitutions des conteneurs (vides ou pleins).
- La planification de navires et du parc à conteneurs.
- Le suivi de dépotage des conteneurs.
- Le suivi des opérations du shifting au niveau du parc à conteneurs.
- La facturation des clients.

### 2.11.2 PDS (Position Determining System)

Autrement dit le system de détection de positionnement, il permet de détecter tout les mouvements du conteneur en fournissant la position des apareils de manutention losque le conteneur est manipulé en employant le GPS (Gestion de Position par Satellite).

### 2.11.3 RDS (Radio Data System)

C'est un système qui englobe tous les éléments de transmission de données par radio fréquence, il consiste à contrôler en temps réel les équipements de manutention de conteneurs

et à assurer des cadences de chargement et déchargement plus rapides.

Le RDS fonctionne sur une la base de transmission de données sans fil via les signaux hertzien numérique, opérant à une fréquence déterminée. La transmission sans fil maintient une liaison radio bilatéral entre un terminal mobile au niveau d'un poste de travail (au niveau des parcs à conteneur ou sur le quai) et le serveur principal sur lequel tourne le CTMS.

#### 2.11.4 OCR (optical Character Recognition)



FIGURE 2.5 – OCR (Optical Character Recognition).

C'est un système basé sur la reconnaissance des caractères, il est conçu pour identifier en temps réel tous les conteneurs entrant dans le terminal ou sortants.

Il est doté d'une camera à balayage linéaire ultra rapide et à haut résolution permettant de reconnaître l'image vidéo de chaque numéro d'identification inscrit sur les conteneurs entrants ou sortants du terminal et transmettant ce dernier au CTMS.

## 2.12 Les procédures import/export de BMT

### 2.12.1 A l'import

1. **La visite** : pour permettre un bon suivi des visites conteneurs, le transitaire doit remettre au service des opérations les documents suivants :

- Copie du connaissance avec mention de la prestation requise.
- Bon à délivrer.
- Bon de commande.

Par la suite, l'agent de BMT établira une liste complète des conteneurs à préparer pour la visite du lendemain qui sera remise au chef de section exploitation. Il doit à son tour confirmer la mise à disposition des conteneurs en zone de visite pour le lendemain.

2. **La pesée :** Le client est appelé à présenter au service des Opérations les documents suivants ;

- Bon de commande (avec visa du service commercial de recouvrements).
- Copie du Connaissance.
- Bon à délivrer.

A ce moment la, l'agent BMT fait charger le conteneur sur un camion remorque pour effectuer la pesée.

3. **La livraison :** Pour permettre un suivi rigoureux des livraison, le transitaire doit remettre un dossier complet devant contenir :

- Bon à délivrer (apuré par la douane.)
- Mise à quai en triple exemplaires.
- Copie de connaissance.
- Bon de commande (avec précision de la nature de prestation).
- Quitus BMT (Container Delivery Ordre délivre par la section commerciale).

par conséquent, l'agent chargé des opérations commerciales devrait confirmer la conformité du dossier pour établir le Container Delivery Order et L'enregistrer sur fichier électronique consacré au suivi des livraison.

4. **Le dépotage :** Le transitaire doit remettre à l'agent de BMT chargé des dépotages un dossier complet devant contenir.

- Bon de commande.
- Bon à délivrer (apuré par la douane).
- Lettre dépotage (apuré par la douane).
- Copie de connaissance avant 16h.
- Quitus de BMT(Container Delivery Ordre délivre par la section commerciale).

Par la suite, l'agent de BMT prépare le Container Movement Request (document nécessaire pour le dépotage à remettre au pointeur affecté à la zone de dépotage), mais au préalable l'agent chargé des opérations commerciales remettra au chef de section exploitation une liste contenant tous les conteneurs à préparer pour le lendemain. Après chaque confirmation de fin dépotage, l'agent doit s'assurer que la lettre de dépotage soit signée par le responsable de section pour clôturer le dossier.

### 2.12.2 A L'export

1. **La restitution** : Pour permettre un suivi rigoureux des restitution, l'agent responsable de BMT doit exiger du pointeur une liste quotidienne des conteneurs restitués avec leurs position au terminal et s'assurer de comparer les bons reçus avec le nombre total de conteneurs figurants sur la liste.
2. **Suivi des mises à quai** : Cette opération est assurée par l'agent responsable des restitutions, qui doit s'en assurer du bon suivi grace à la tenue d'un fichier électronique mis à jours avec la saisie des restitution journalières, et ce avec le concours du pointeur désigné et chargé pour le suivi des restitutions conjointement avec l'agent responsable des restitutions à la fin de la journée. La signature des mises à quai est assurée par le chef de section.
3. **mise à disposition** : Le suivi des mises à disposition devrait être assuré par l'agent chargé des opérations commerciales responsable des mises à disposition, qui doit par conséquent tenir un fichier électronique spécialement consacré aux conteneurs mis à disposition. Les documents requis pour une mises à disposition sont :
  - Demande de mise à disposition du consignataire dûment signé par la douane.
  - Un bon de commande.
  - Lettre d'empotage (en cas d'empotage à quai) dûment signé par la douane.
  - Bon d'embarquement qui nous permettra d'effectuer l'embarquement en tout régularité.
4. **empotage** : Le client est libre d'effectuer cette opération soit à l'intérieur du terminal à conteneurs (empotage à quai), soit à l'extérieur(empotage externe) dans ses magasins.

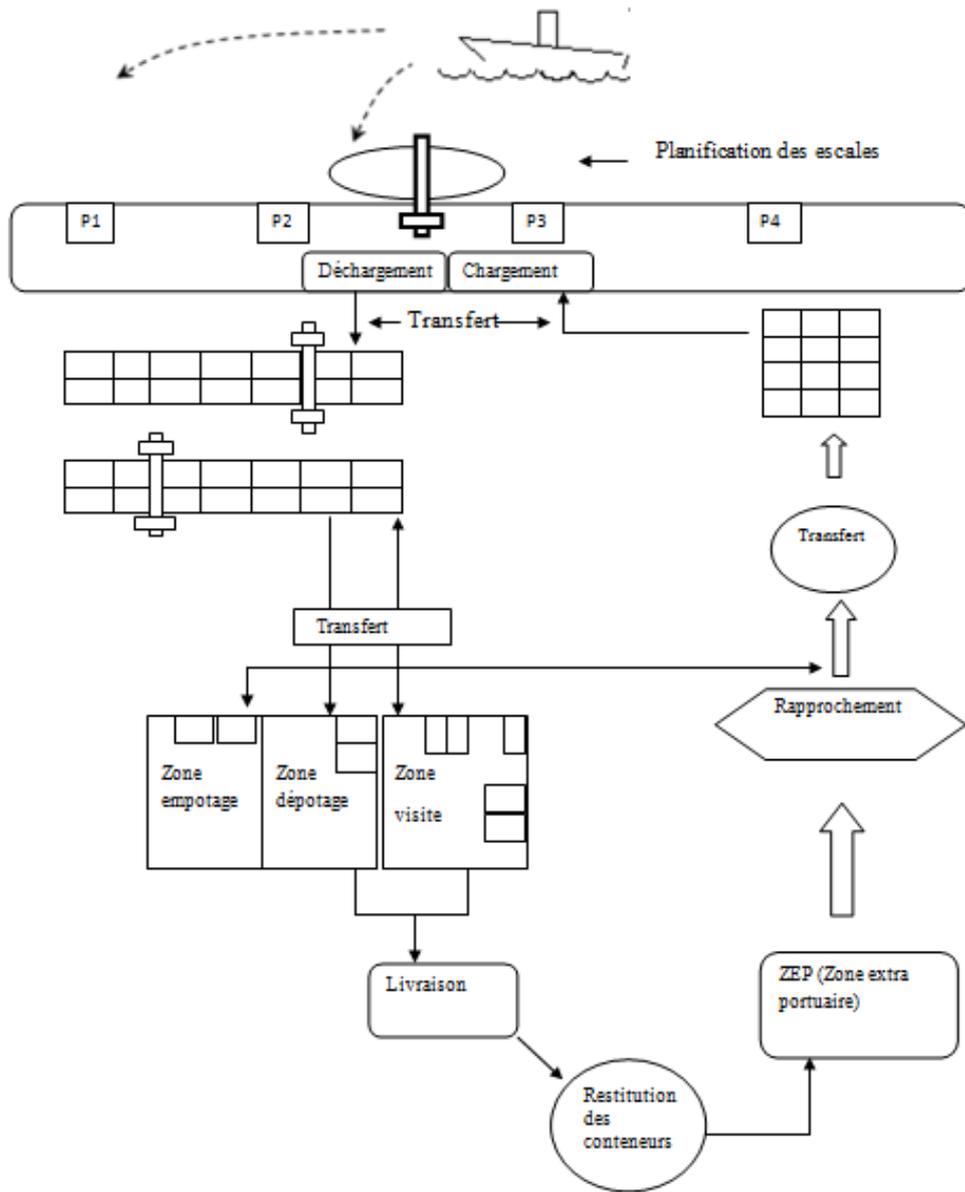


FIGURE 2.6 – processus import/export

## **2.13 Les service de BMT**

La performance d'un terminal à conteneurs se mesure par le temps d'escale, la rapidité des opérations, la qualité des services et le coût du transit du conteneur.

BMT reçoit annuellement un grand nombre de navires pour lesquels elle assure les opérations de planification, de manutention et d'acconage telles que :

### **2.13.1 planification**

- Planification des escales.
- Planification déchargement/chargement.
- Planification du parc à conteneurs.
- Planification des ressources équipes et moyens matériels.

### **2.13.2 Manutention**

Après accostage du navire, des équipes spécialisées s'occupent de toutes les opérations, le nombre de conteneurs embarqués ou débarqués par heure (cadence) constitue une mesure de la qualité de service.

### **2.13.3 Acconage**

Une fois le conteneur disposé dans le parc, les opérations suivantes peuvent alors prendre place :

- Visite.
- Pesée.
- Livraison.
- Mise à disposition.
- Restitution.

BMT assigne des ressources humaines et matérielles pour effectuer ses différents types de prestation aux conteneurs. Les portiques gerbeurs sur pneus (RTG) sont essentiels à l'exécution de ces opérations. La qualité de service est mesurée à ce niveau par le nombre de livraison et restitution effectuées par jour.

### **2.13.4 Traitement des TCs frigorifiques**

Le traitement des conteneurs frigorifiques,branchement, gardiennage,et monitoring de la température est assuré par une équipe spécialisée du département technique au niveaude la zone REEFER.

En cas de défaillance d'un conteneur frigorifique, sur demande du client, l'équipe technique de BMT peut effectuer une intervention curative en réparant une unité déffailance.

### **2.13.5 Transport Ferroviaire**

BMT logistique et les services de la SNTF(Société Nationale de Transport Ferroviaire) ont signé une convention de travail ouvrant la possibilité à BMT LOGISTICS d'utiliser le transport des chemins de fer Algériens pour transporter les conteneurs à partir du port de béjaia, offrant ainsi un service Transmodal à ses clients et lui donnant la possibilité de les livrer avec une prestation de transport de bout en bout régulier.

### **2.13.6 Centre de Formation**

Le centre de formation de BMT est spécialisé dans la formation aux métiers des Termi-naux à conteneurs tels que les opérations de manutention aux navires, opérations d'accon-nage, technologies de la maintenance des équipements et la gestion globale du Terminal à conteneurs.

#### **Mission du Centre de Formation :**

- Introduire un savoir faire nécessaire pour la gestion du port.
- Organiser des formations pour le personnel de BMT.
- Organiser des formations pour les entreprises portuaires (terminaux à conteneurs).
- Assurer des formations dans la maintenance pour améliorer la disponibilité des équipements.

## **2.14 Les objectifs de BMT**

- Faire du terminal à conteneurs de BMT une infrastructure moderne à même de répondre aux exigences les plus sévères en matière de qualité dans le traitement du conteneur.
- La mise à disposition d'une nouvelle technologie dans le traitement de conteneurs pour :

1. Un gain de productivité.
  2. Une réduction des coûts d'escale
  3. Une fiabilité de l'information.
  4. Un meilleur service clientèle.
- Sauvegarder la marchandise des clients.
  - Faire face à la concurrence nationale et internationale.
  - Gagner des parts important du marché.

## **2.15 Les atouts de l'entreprise**

Pour réaliser ses objectifs BMT mis à la disposition de ses clients une technologie et un savoir-faire dans le traitement du conteneur pour leur assurer [2] :

- une rade et un port non congestionné.
- Un tirant d'eau d'au moins 12m
- Des quais spécialisés pour le conteneur.
- Un temps d'escale réduit.
- Une capacité de stockage importante.
- Des installations spécialisés pour les reefers et les produits dongereux.

## 2.16 Position du problème

Le flux des conteneurs entrant à BMT a largement augmenté ces dernières années, ce qui a causé une croissance vertigineuse du nombre de conteneurs qui séjournent simultanément au port, rendant ainsi insuffisant l'espace de stockage au sol.

En outre les conteneurs déchargés des navires sont arrangés aléatoirement dans les piles (de 6 étages hacune) de la cour de stockages ce qui rend certains d'entre eux inaccessible au moment de leur récupération ainsi des remaniements (réarrangements) des conteneurs sont nécessaires pour accéder à ceux désirés, ces remaniements sont considérés comme des mouvements improductifs car ils monopolisent le matériels et ralentissent les autres opérations portuaires.

Les mouvements de remaniement sont inévitables vu la limitation de la cour de stockage des conteneurs, mais les autorités portuaires veulent tout de même les minimiser.

Notre objectif est donc de chercher un arrangement optimale de l'ensemble des conteneurs arrivant au port parmi les emplacements disponibles dans la cour de stockage, qui minimise les mouvements improductifs, et cela en tenant compte des contraintes réelles du problème.

## 2.17 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présentés l'entreprise BMT en donnant son historique, sa situation géographique et ses différentes structures et activités.

## CHAPITRE 3

# RAPPELS THÉORIQUE SUR L'OPTIMISATION

### 3.1 introduction

L'optimisation combinatoire définit un cadre formel pour de nombreux problèmes de l'industrie, de la finance ou de la vie quotidienne. Elle permet de modéliser, d'analyser et de résoudre analytiquement ou numériquement les problèmes consistant à déterminer la (les) solution (s) satisfaisant un objectif quantitatif tout en respectant d'éventuelles contraintes.

### 3.2 Les problèmes d'optimisation

Les problèmes d'optimisation sont répartis en deux grandes classes[6] :

#### 3.2.1 Les problèmes faciles

A savoir :

- Le problème de cheminement.
- Le problème d'affectation.
- Le problème de flot maximum.
- Le problème de transport.

#### 3.2.2 Les problèmes difficiles

Tels que :

- Le problème de coloration (des sommets et des arrêtes).

- Le problème de voyageur de commerce (TSP).
- Le problème d'ordonnancement.
- Le problème du sac-à-dos
- La programmation linéaire en nombre entier (PLNE).

### 3.3 Modélisation des problèmes d'optimisation

Les problèmes d'optimisation peuvent être modélisés en utilisant :

#### 3.3.1 La programmation linéaire

Un programme linéaire a la forme suivante :

$$(PL) \begin{cases} \min z = cx, \\ Ax \leq b, \\ x \geq 0. \end{cases}$$

#### 3.3.2 La programmation linéaire en nombres entiers

Un programme linéaire en nombre entier de dimension  $(m \times n)$  a la forme suivante :

$$PLNE \begin{cases} \min z = cx, \\ Ax \leq b, \\ x_j \in N. \end{cases}$$

Où  $A$  est une matrice  $(m \times n)$ ,  $b$  un vecteur de dimension  $m$ ,  $c$  un vecteur de dimension  $n$  et  $x$  est un vecteur inconnu. Dans le cas particulier, où les contraintes  $x_j \in N$  sont remplacées par  $x_j \in \{0, 1\}$ , on dit qu'on a un programme linéaire en  $[0, 1]$ .

#### 3.3.3 La programmation dynamique

La programmation dynamique est une méthode exacte de résolution de problème d'optimisation séquentielle, qui est de type arborescent, due essentiellement à R. Bellman 1955. Son principe consiste à placer le problème (p) dans une famille de sous-problèmes  $P_n$  de même nature. On cherchera une formulation de récurrence liant entre les sous-problèmes  $P_n$  (une formulation qui lie  $P_n$  et  $P_{n-1}$ ). La formule récursive donne lieu à un arbre de calcul contenant beaucoup de redondance, l'idée est d'éviter de calculer plusieurs fois la même chose[5].

### 3.3.4 La théorie des graphes

la théorie des graphes est un outil puissant de modélisation et de résolution des problèmes. Un graphe est un dessin géométrique défini par la donnée d'un ensemble de points (appelés sommets), reliés entre eux par un ensemble de ligne ou de flèches arêtes ou arcs). Chaque arête a une extrémité initial et terminal[2].

## 3.4 Les méthode de résolution

On distingue deux types de méthode de résolution pour les problèmes d'optimisation : Les méthodes exactes et les méthodes approchées.

### 3.4.1 Les méthodes exactes

On peut définir une méthode exacte comme une méthode qui garantit l'obtention de la solution optimale pour un problème d'optimisation. L'utilisation de ces méthodes s'avèrent particulièrement intéressante, mais elles sont souvent limitées au cas des problèmes de petite taille[6].

### 3.4.2 Les méthodes approchées

Se sont des méthodes de calcul qui fournissent rapidement une solution réalisable, pas nécessairement optimale ou exacte, mais proche de l'optimum pour un problème d'optimisation de grande taille[6].

## 3.5 Modélisation par la programmation linéaire en nombres entiers

**Définition :**

Un problème d'optimisation en nombre entier est un problème de classe NP-difficile, dont toutes les variables sont contraintes à ne prendre que des valeurs entières, il s'écrit sous la forme suivante[2] :

$$PLNE \left\{ \begin{array}{l} \min z = cx, \\ Ax \leq b, \\ x \geq 0, \\ x \in N. \end{array} \right.$$

Parmi ces variables entières il existe la classe des variables booléennes qui prennent les valeurs 0 ou 1, à ce moment là on parle d'un programme binaire (bivalent) qui s'écrit comme suit :

$$PB \begin{cases} \min z = cx, \\ Ax \leq b, \\ x \in \{0, 1\}. \end{cases}$$

Résoudre ce problème revient à déterminer les valeurs (entières) des variables qui permettent de minimiser la fonction objectif  $Z$ .

Pour cela beaucoup de méthodes ont été élaboré pour la résolution d'un tel problème à savoir :

### 3.5.1 Les méthodes exactes

#### 1. Algorithme de Branch and Bound :

C'est une méthodes de recherche arborescente basant sur le prinspe de séparation et d'évaluation, elle consiste en la construction d'un arbre de recherche qui sera exploréré de manière à éviter les branches inutiles qui sont des branches contanant des solutions non intéressantes ou carrément, non réalisable .

L'exploration se fait avec des évaluations des branches et des comparaisons avec une valeur seuil de critère à optimiser. Cette technique donne de bons resultats pour les problèmes d'ordonnancement de petites tailles. Mais dans le cas contraire, elle risque de générer des branches très étendues[5].

#### 2. Coupe de Gomory :

Ce sont des méthodes bien souvent itératives visant à isoler l'enveloppe convexe des solutions entières, et cela par l'ajout progressif des contraintes supplémentaire (coupes valides) au programme linéaire continu et dans chaque itération on résout un PL augmenté jusqu'à l'obtention d'une solution entière. Ces contraintes permettent en fait d'éliminer les parties inutiles du polyèdre des solutions du programme continu sans éliminer les solutions entières[5].

#### 3. La méthode de Branch and Cut :

C'est une méthode qui conjugue entre les efforts de l'algorithme de Branch and Bound et de la méthode des coupes polyédrales, elle est utilisée pour la première fois pour résoudre le problème de "linear ordering".

La résolution d'un programme linéaire en nombre entier se fait en résolvant d'abord la relaxation continue de ce dernier, par la suite on applique la méthode des coupes sur la solution trouvée, si celle-ci n'arrive pas à obtenir une solution entière alors le problème est divisé en plusieurs sous problème qui seront résolus de la même façon[5].

### 3.5.2 Les méthodes approchées

On peut distinguer :

- Les heuristiques pour lesquelles on peut quantifier l'erreur (recherche locale...etc).
- Les méta-heuristiques, qui sont des méthodes inspirées de phénomènes naturelles (algorithme génétiques, colonies de fourmis et d'abeilles ...etc).

Pour mettre en oeuvre ces méthodes, une multitude d'outils ont été proposés, certains sont payant comme le CPLEX, Gurobi, SCIP...etc et d'autre sont gratuits et/ou en open source tels que COIN-OR, GLPK, LP solve,...etc[9].

## 3.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donner quelque rappels théoriques sur l'optimisation combinatoire en précisant les classes de ses problème, ses modèles ainsi que ses méthodes de résolution.

## 4.1 Introduction

La cour de stockage constitue la ressource capitale d'un terminal à conteneur, son degré d'efficacité de sa gestion se répercute sur la productivité globale du port.

BMT dispose d'une cour de stockage de capacité de 10300 EVP, répartie en cinq blocs comme la montre la figure suivante :

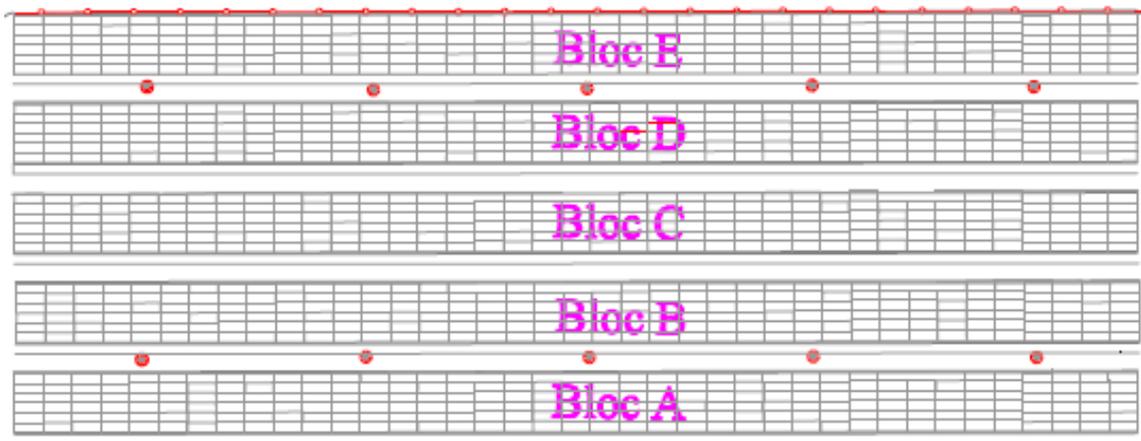


FIGURE 4.1 – Les blocs de stockage des conteneurs.

Chaque bloc comprend 6\*54 piles de six (06) etages chacune.

l'empilement des conteneurs dans les différentes piles des blocs est parmi les décisions les plus difficiles du fait de l'incertitude à propos des conteneurs qui seront avant d'autres, ce qui produit souvent des remaniements des conteneurs lors de l'extraction de ceux réclamés, ce problème connu dans la littérature sous l'appellation "problème de stockage des conteneur (container storage problem), noté PSC.

Dans ce présent chapitre nous allons élaborer un modèle mathématique permettant de déterminer un arrangement optimal de l'ensemble des conteneurs afin de minimiser le nombre de remaniements, et cela en tenant compte des contraintes réelles du problème.

## 4.2 Description du problème de stockage des conteneurs

Le PSC consiste à déterminer un plan d'arrangement des conteneurs arrivant au port qui minimise les remaniements ultérieur lors de leur transfert aux camions des clients. Ce problème est étudié généralement en considérant un seul type ce conteneur, alors que plusieurs type de conteneurs sont utilisés dans les ports maritimes[7].

En outre le PSC peut être traité de façon statique ou dynamique. Dans le cas statique les conteneurs sont supposé tous arrivés au port avant le début des opérations de stockage, cependant dans le cas dynamique on prend en considération les arrivées et les départ imprévus et incertains des conteneurs après le début des opérations de stockage.

Dans le présent travail nous nous intéressons à la modélisation du cas dynamique du problème de stockage des conteneurs en considérant un seul type de conteneur (conteneur de type général (dry)), pour cela on s'est inspiré de l'ouvrage de (Ndéye fatma et Borjian setareh) [8][3].

Le terminal à conteneur de Bejaia fonctionne chaque jour (365 jours par an). Nous décomposons la journée en quatre périodes ((shifts) 6 heures chacune), et dans chacune d'elle nous résolvons le problème d'une manière statique (une période n'est crée qu'à l'arrivée d'un ensemble de conteneurs), de plus les évènements dynamique d'une période sont traité dans la période suivante (l'état des blocs à la fin de chaque période représente l'état initial de la période suivante).

## 4.3 Construction du modél

### 4.3.1 Hypothèses

1. On considère un horizon de planification d'une journée qui est divisée en quatre (04) périodes (6 heures chacune) de stockage.
2. Les coteneurs sont numérotés suivant l'ordre croissant de leur période d'arrivée et que les conteneurs qui sont déchargés d'un même navire sont numérotés suivant l'ordre croissant de déchargement.
3. Les piles sont numérotées de sorte que deux piles adjacentes qui sont de même bloc aient de numéro successif et si deux blocs sont adjacents alors le numéro de la dernière pile de l'un succède au numéro de la première pile de l'autre.

### 4.3.2 Identification des paramètres

#### Les indices :

$c$  : indique le conteneur  $c \in \{1, 2, \dots, N_c\}$ .

$P$  : indique la pile  $P \in \{1, 2, \dots, N_p\}$ .

$J$  : indique l'emplacement dans la pile  $j \in \{1, 2, 6\}$ .

$t$  : Période de l'horizon de planification  $t \in \{1, \dots, T\}$ .

#### Les données sur les coteneurs :

$A_0$  : L'ensemble des conteneurs qui sont déjà stockés dans la cour au début de l'horizon de planification.

$A_t$  : L'ensemble des conteneurs qui arrivent au port durant la période  $t$ .

$D_t$  : L'ensemble des conteneurs qui quittent le terminal durant la période  $t$ .

$R_c$  : La dimension du conteneur  $c$  (20 pieds, 40 Pieds).

#### Les données sur les piles :

$r_p$  : La dimension de la pile  $p$ .

$C_p(t)$  : Le nombre d'emplacements libres dans la pile  $p$  à la fin de la période  $t$ .

$P_0^c$  : La pile qui contient le conteneur  $c \in A_0$ .

$J_0^c$  : La position du conteneur  $c \in A_0$  dans la pile où il est stocké.

### 4.3.3 Identification des variables de décision

$$x_{pj}^c(t) = \begin{cases} 1, & \text{Si le conteneur } c \text{ est stocké dans la position } (p,j) \text{ durant la période } t; \\ 0, & \text{Sinon.} \end{cases}$$

$$y_{pj}^c(t) = \begin{cases} 1, & \text{Si le conteneur } c \text{ est retiré de l'emplacement } (p,j) \text{ durant la période } t; \\ 0, & \text{Sinon.} \end{cases}$$

$$z_{pj,p'j'}^c = \begin{cases} 1, & \text{Si le conteneur } c \text{ est déplacé de l'emplacement } (p,j) \text{ vers } (p',j') \text{ durant la période } t; \\ 0, & \text{Sinon.} \end{cases}$$

### 4.3.4 Formulation des contraintes

1. Détermination des emplacements de stockage qui sont déjà occupés au début de l'horizon de planification :

$$x_{P_0^c J_0^c}^c(0) = 1, \quad \forall c \in A_0$$

2. Plusieurs mouvement ne peuvent à la fois prendre place :

$$\sum_{p=1}^{N_p} \sum_{j=1}^6 x_{pj}^c(t) + \sum_{p=1}^{N_p} \sum_{j=1}^6 y_{pj}^c(t) + \sum_{p=1}^{N_p} \sum_{j=1}^6 z_{pj,p'j'}^c(t) \leq 1,$$

$$\forall c \in \{1, \dots, N_c\}, \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}.$$

3. Chaque conteneur est affecté à un seul emplacement à son arrivé :

$$\sum_{p=1}^{N_p} \sum_{j=1}^6 x_{pj}^c = 1, \quad \forall c \in A_t, \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}.$$

4. A chaque période de l'horizon de planification au plus un conteneur est affecté à chaque emplacement de stockage :

$$\sum_{c \in A_t} x_{pj}^c \leq 1, \quad \forall c \in A_t, \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}, \quad \forall j \in \{1, \dots, 6\}.$$

5. Les conteneurs affectés à une pile ont les même dimension :

$$\sum_{c \in A_t} \sum_{p=1}^{N_p} x_{pj}^c(t) = 0, \forall t \in \{1, \dots, T\}, \forall j \in \{1, \dots, 6\}, \text{telque } R_c \neq R_p.$$

6. Le remplissage de chaque pile se fait de bas en haut sans sauter aucun emplacement (loi de la pesanteur) :

$$x_{pj}^c(t) \geq x_{p(j+1)}^c(t), \forall j \in \{1, \dots, 6\}, \forall t \in \{1, \dots, T\}, \forall c \in N_c.$$

7. Les conteneurs remaniés ne sont pas remis vers leurs piles d'origine :

$$\sum_{c=1}^{N_c} \sum_{p=1}^{N_p} z_{pj,pj'}^c = 0, \forall p \in \{1, \dots, N_p\}, \forall j, j' \in \{1, \dots, 6\}, \forall t \in \{1, \dots, T\}.$$

8. A chaque période le nombre de conteneur affecté à une pile est inferieur ou égale au nombre d'emplacement vide dans cette dernière :

$$\sum_{c \in A_t} \sum_{j=1}^6 x_{pj}^c(t) \leq c_p(t-1) + \sum_{c \in D_t} \sum_{j=1}^6 y_{pj}^c(t), \forall p \in \{1, \dots, N_p\}, \forall t \in \{1, \dots, T\}.$$

9. Mis à jour de nombre d'emplacement vide à al fin de chaque période :

$$C_p(t) = C_p(t-1) - \sum_{c \in A_t} \sum_{j=1}^6 x_{pj}^c(t) + \sum_{c \in D_t} \sum_{j=1}^6 y_{pj}^c(t) + \sum_{c \in N_c} \sum_{j=1}^6 z_{pj,p'j'}^c(t) - \sum_{c \in N_c} \sum_{j=1}^6 z_{p'j',pj}^c(t).$$

### 4.3.5 Formulation de l'objectif

$$\sum_{t=1}^T \sum_{c=1}^{N_c} \sum_{p=1}^{N_p} \sum_{j=1}^6 z_{pj,p'j'}^c(t) \rightarrow \min$$

Le modèle est un programme bivalent dynamique qui s'écrit comme suit :

$$\sum_{t=1}^T \sum_{c=1}^{N_c} \sum_{p=1}^{N_p} \sum_{j=1}^6 z_{pj,p'j'}^c(t) \rightarrow \min$$

$$x_{P_0^c J_0^c}^c(0) = 1, \quad \forall c \in A_0$$

$$\sum_{p=1}^{N_p} \sum_{j=1}^6 x_{pj}^c(t) + \sum_{p=1}^{N_p} \sum_{j=1}^6 y_{pj}^c(t) + \sum_{p=1}^{N_p} \sum_{j=1}^6 z_{pj,p'j'}^c(t) \leq 1,$$

$$\forall c \in \{1, \dots, N_c\}, \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}.$$

$$\sum_{p=1}^{N_p} \sum_{j=1}^6 x_{pj}^c = 1, \quad \forall c \in A_t, \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}.$$

$$\sum_{c \in A_t} x_{pj}^c \leq 1, \quad \forall c \in A_t, \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}, \quad \forall j \in \{1, \dots, 6\}.$$

$$\sum_{c \in A_t} \sum_{p=1}^{N_p} x_{pj}^c(t) = 0, \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}, \quad \forall j \in \{1, \dots, 6\}, \text{ telque } R_c \neq R_p.$$

$$x_{pj}^c(t) \geq x_{pj+1}^c(t), \quad \forall j \in \{1, \dots, 6\}, \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}, \quad \forall c \in N_c.$$

$$\sum_{c=1}^{N_c} \sum_{p=1}^{N_p} z_{pj,p'j'}^c = 0, \quad \forall p \in \{1, \dots, N_p\}, \quad \forall j, j' \in \{1, \dots, 6\}, \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}.$$

$$\sum_{c \in A_t} \sum_{j=1}^6 x_{pj}^c(t) \leq c_p(t-1) + \sum_{c \in D_t} \sum_{j=1}^6 y_{pj}^c(t), \quad \forall p \in \{1, \dots, N_p\}, \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}.$$

$$C_p(t) = C_p(t-1) - \sum_{c \in A_t} \sum_{j=1}^6 x_{pj}^c(t) + \sum_{c \in D_t} \sum_{j=1}^6 y_{pj}^c(t) + \sum_{c \in N_c} \sum_{j=1}^6 z_{pj,p'j'}^c(t) - \sum_{c \in N_c} \sum_{j=1}^6 z_{p'j',pj}^c(t).$$

## 4.4 Complexité du problème

Le problème de stockage des conteneurs est classifié parmi les problèmes NP-difficile et NP-complet, car c'est un problème de programmation linéaire en nombre entier, et comme celui-ci est NP-difficile alors le PSC est aussi NP-difficile[1].

## 4.5 Approches de résolution

Dans la littérature plusieurs méthodes ont été proposées pour la résolution du problème dynamique de stockage des conteneurs, nous citons[1] :

### Les méthodes exactes :

- L'algorithme de Branch and Bound.
- L'algorithme de Branch and Cut.

### Les méthodes approchées :

- Algorithme génétique.
- Algorithme de colonies de fourmis et d'abeilles.
- Algorithme de recherche harmonique.

## 4.6 Processus général de résolution

Le plan de stockage des conteneurs qui arrivent au port durant une période est déterminé en tenant compte de l'état des blocs à la fin de la période précédente et de l'ensemble des conteneurs qui vont quitter durant la même période, ainsi l'algorithme de résolution prend en entrée les informations suivantes :

- Les emplacements qui sont déjà occupés.
- L'ensemble des conteneurs qui vont arriver durant le période en question.
- L'ensemble des conteneurs qui vont quitter durant la même période, ainsi que leur position.

Après la résolution, l'algorithme renvoie les emplacements de stockage qui sont affecté au conteneurs arrivés, le nombre d'emplacements libres après le sockage (et l'extraction) des conteneurs arrivés (à livrer) ainsi que la valeur de la fonction objectif (le nombre total de remaniements effectué durant une période).

Ce processus est résumé dans le schéma suivant :

données en entrées		données en sorties
<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'état de la cour de stockage (le nombre de conteneurs qui sont déjà stockés, leur position, leur taille)</li> <li>- L'ensemble des conteneurs qui vont arriver durant la période en question, leur taille.</li> <li>- L'ensemble des conteneurs qui vont être livrés ainsi que leur position.</li> </ul>	<p>Algorithme de résolution</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'état de la cour de stockage à la fin de la période.</li> <li>- Le nombre d'emplacements libres à la fin de la période.</li> <li>- La valeur de la fonction objectif (le nombre total de remaniements effectués durant la période).</li> </ul>

FIGURE 4.2 – Processus de résolution.

Pour tester la validité du modèle on compare les résultats des deux premières périodes dont l'état initial des blocs dans la première période est un échantillon aléatoire, et leur état dans la deuxième période (qui est l'état des blocs à la fin de première période) est obtenu après l'application du modèle au conteneurs arrivés durant la première période.

## 4.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté un modèle mathématique (un programme bivalent dynamique) du problème de stockage des conteneurs tout en précisant sa complexité et le processus général de résolution du modèle.

## CHAPITRE 5

## CONCLUSION GÉNÉRALE

L'organisation de la cour de stockage des conteneurs requiert une attention particulière, du fait qu'elle influe sur la productivité globale du port.

L'augmentation continue du trafic conteneurisé en fonction du développement de leur moyens de transport (portes conteneurs) met l'entreprise BMT dans l'obligation d'optimiser leur stratégie de stockage des conteneurs afin d'éviter la saturation des blocs qui gèle les autres opérations portuaires.

Dans ce travail nous avons élaboré un modèle de programmation linéaire en nombres entiers pour le problème de stockage des conteneurs dans l'entreprise BMT, qui tend à minimiser le nombre de mouvements de remaniements et cela en se basant sur les outils d'optimisation combinatoire.

En terme de perspective il est intéressant de :

- Résoudre le problème.
- D'étudier l'impact de cette optimisation sur : la congestion du parc, les livraisons et les durées de séjour à quai des navires.
- Penser à regrouper les conteneurs appartenant à un même client le plus près possible.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] I. AYACHI *Technique avancées d'optimisation pour la résolution du problème de stockage des conteneurs dans un port, Ecole centrale de Lille, 2012, thèse doctorat.*
- [2] Y. BEN ABDALLAH et K. HOMRANI, *Optimisation du Plan d'Affectation des Equipes au Niveau de BMT, Université de Bejaia, 2014, memoire master.*
- [3] S. BORJIAN, H.MANSHADI, P. JAILLET *Dynamic Stochastic Optimization of Relocations in Container Terminals. June 25, 2013.*
- [4] S. BORNE, *introduction à la recherche opérationnelle, 2013.*
- [5] K. CHEBBAH, A. CHOUARHI, A. KHAMIS, A. KHETARRI, L. LACHI *Méthodes exactes de résolution de programme linéaire en nombre entier, 2014, memoire licence.*
- [6] S. ELBARNOUSSI, H. LAKHAB, D. SIDI MOHAMED, *Cours de Méthodes de Résolution Exactes Heuristiques et Methaheuristiques, université Rabat.*
- [7] M. KEFI, *optimisation heuristique distribué du problème de stockage des conteneurs dans un port, Ecole Nationale des science de l'informatique de Tunis, 2008, Thèse doctorat.*
- [8] F. NDEYE, *Algorithme d'optimisation pour la résolution du problème de stockage des conteneurs dans un terminal portuaire, université de Havre, 23 Juin 2015, Thèse doctorat.*
- [9] P. PESNEAU, *outils et logiciels d'optimisation, Université Bordeaux 1.*
- [10] L. SMOCH, *Recherche opérationnelle, Université du Littoral-Côte d'Opale, Pôle Lamartin, 2013, Master.*

## Résumé

Dans ce travail nous étudions le problème de stockage des conteneurs dans le terminal à conteneur de Bejaia (BMT).

Son objet est de déterminer un arrangement optimal de l'ensemble des conteneurs arrivant au port dans les emplacements disponibles dans les différents blocs de stockage afin de minimiser les remaniements ultérieur lors de leur livraison.

Ce problème est traité de façon dynamique (en tenant compte des arrivés et des départ des conteneurs) en considérant un seul type de conteneur. Nous proposons un modèle déterministe d'optimisation combinatoire.

**Mot clés :** l'entreprise BMT, Le problème de stockage des conteneurs, Remaniements, Dynamique, Optimisation combinatoire.

## Abstract :

In this memorandum, we study the container stacking problem in Bejaia container terminal (BMT).

Its object consists on finding the most suitable storage location for incoming container that minimizes reshuffling operations of container during their retrieving.

The container storage problem is studied in dynamic aspect (containers arrive at the port dynamically over time and have uncertain departure date) and we consider a single container type, then a deterministic combinatorial optimization model is proposed.

**Key word** BMT company, the container storage problem, reshuffling, Dynamic, Combinatorial Optimization.