

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--

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
-تلمسان-



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
École Supérieure en
Sciences Appliquées



Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur

Filière : Génie Industriel
Spécialité : Management Industriel et Logistique

Présenté par :

**AZZOUG Asma
BELAREDJ Houda**

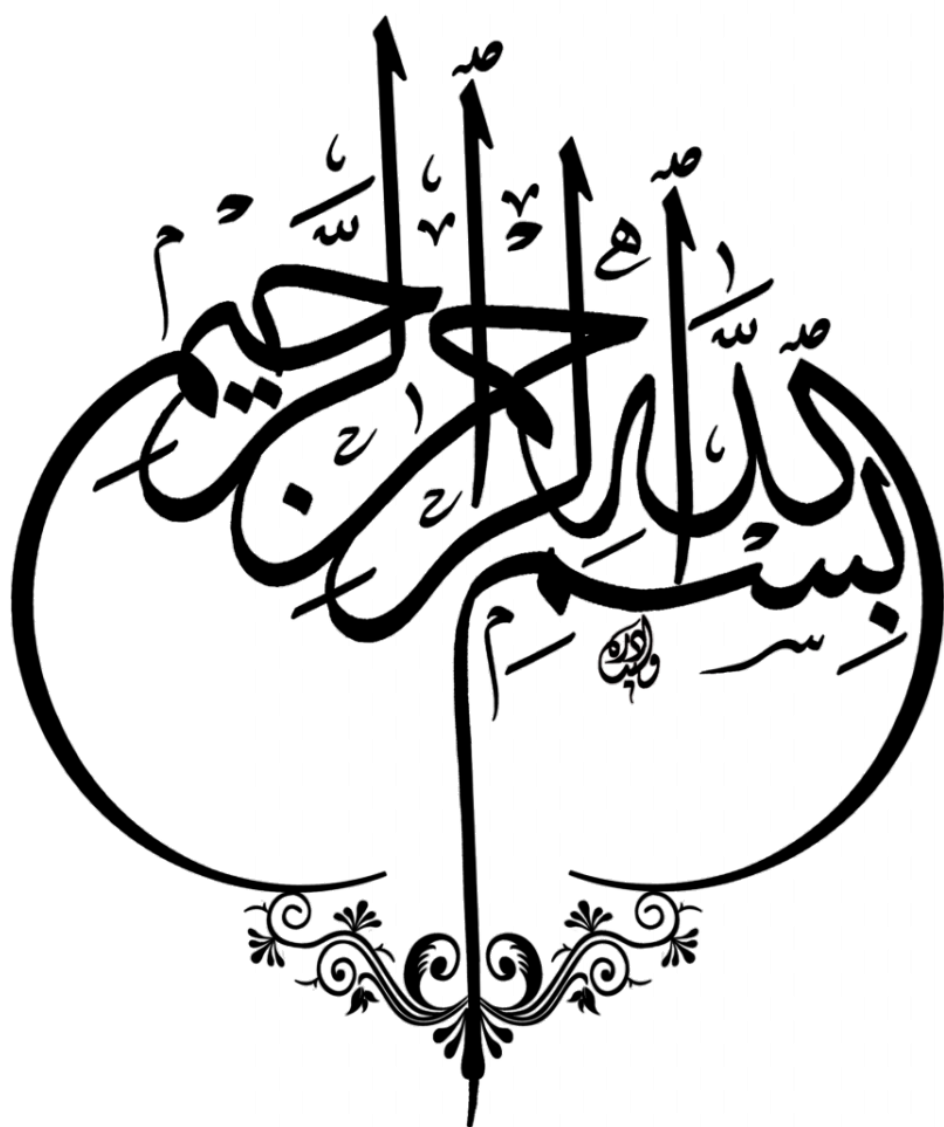
Thème

**Optimisation des flux de conteneurs du
nouveau terminal à conteneurs au sein
de l'EPO**

Soutenu publiquement, le 10/07/2021, devant le jury composé de :

M Mehdi SOUIER	Professeur	ESM. Tlemcen	Président
Mm Amina OUHOUD	MCB	ESSA. Tlemcen	Directrice de mémoire
M Mohammed BENNEKROUF	MCB	ESSA. Tlemcen	Co- Directeur de mémoire
Mm Latéfa GHOMRI	MCA	Univ. Tlemcen	Examineur 1
M Mohammed Adel HAMZAoui	Docteur	Univ. Tlemcen	Examineur 2

Année universitaire : 2020 /2021





Dédicace

Je dédie cette mémoire :

*A mon très cher père **Abdeslem**, je tiens à honorer l'homme que tu es. Grâce à toi j'ai appris le sens du travail et de la responsabilité.*

A ma chère mom, je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, tu es la vie pour moi.

*A mes chères sœurs, **Khaoula** et **Selma**, mes chers frères, **Slimane** et **Chouaibe**. Vous avez toujours offert soutien et réconfort, j'exprime envers vous une profonde admiration.*

Je dédie ce travail à toute ma famille que Dieu le tout puissant vous garde et vous procure santé et bonheur.

*A tout étudiant qui veut engager dans ce thème,
À tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer.*

AZZOUQ Assma





Dédicace

C'est avec un énorme plaisir que je dédie ce modeste travail à :

Mes chers parents qui ont été à mes Côtés et m'ont soutenu durant toute ma vie.

Mes frères et ma sœur.

Et à tous ceux qui me sont chers.

BELAREDJ Houda



Remerciement

Nous remercions Dieu le tout puissant qui nous a permis de mener à bien ce projet de fin d'étude.

Nous voudrions dans un deuxième temps remercier notre encadrante Madame **Amina OUHOUD**, la directrice de cette mémoire, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils.

Nous remercions également, Monsieur **Fouad MALIKI**, pour ces efforts et encouragements. Il nous a beaucoup appris sur les défis à relever dans le monde des ingénieurs industriels avec ses connaissances et expériences. C'était un grand honneur pour nous de l'avoir comme le responsable de notre filière.

Monsieur **Mohammed BENKROUF**, pour avoir partagé ses expériences personnelles sur le sujet des terminaux à conteneurs.

Nous adressons nos sincères remerciements à notre co-encadrant dans l'entreprise portuaire d'Oran Monsieur **Mohammed TOUNSI**, qui a guidé notre réflexion, et qui a répondu à toutes nos questions durant et après la période de notre stage.

Nous remercions nos familles, nos amis et nos collègues pour leur support et soutien durant toutes ces trois années de formation.

Nos remerciements s'adressent également à l'honorable jury :

M. Mehdi SOUIER,

M. Adel HAMZAOUI &

Mme. Latifa GHOMRI.

Résumé :

Notre projet de fin d'étude s'est déroulé chez l'entreprise Portuaire d'Oran (EPO). Notre première mission, était de faire l'étude de la conception des zones du nouveau terminal à conteneurs. Alors que, la deuxième mission était de résoudre le problème d'allocation des conteneurs dans la zone de stockage avant visite, tout en respectant certaines contraintes qui vont minimiser le temps de séjours du conteneur dans le terminal lors des opérations portuaires.

Dans les deux premiers chapitres, nous avons abordé les concepts de base concernant notre étude pour pouvoir la présenter aussi vaste que possible.

Dans le chapitre 3, nous avons présenté notre travail qui répond aux objectifs de la première mission.

En dernier chapitre, nous avons étudié l'allocation des conteneurs du nouveau terminal.

MOTS-CLES : Conception d'un terminal à conteneurs, TAC, Allocation des conteneurs.

Abstract :

Our graduation project took place at Oran Port Company (EPO). Our first mission was to study the design of the areas of the new container terminal. While, the second mission was to solve the problem of allocation of containers in the storage area, while respecting certain constraints that will minimize the time of stays of the container in the terminal during port operations.

In the first two chapters, we discussed the basic concepts of our study in order to present it as broadly as possible.

In Chapter 3, we presented our work that meets the objectives of the first mission.

Finally, we looked at the allocation of containers for the new terminal.

KEYWORDS: Container terminal design, TAC, Container allocation.

ملخص :

لقد تم تنفيذ مشروع نهاية التخرج خاصتنا في شركة ميناء وهران . حيث كانت مهمتنا الأولى هي دراسة تصميم مناطق محطة الحاويات الجديدة و التي في طور الإنجاز. بينما تمثلت مهمتنا الثانية في إيجاد حل لمشكلة تخصيص أماكن الحاويات في منطقة التخزين قبل وصولها ، مع مراعاة بعض النقاط التي من شأنها أن تنقص من مدة بقاء الحاوية في المحطة.

في الفصلين الأوليين ، ناقشنا المفاهيم الأساسية لدراستنا بغية عرضها على أوسع نطاق ممكن. بينما الفصل الثالث تبنى الغاية الأولى لدراستنا و هي القيام بتصميم لمناطق محطة الحاويات. و الفصل الأخير، تطرقنا لدراسة نظرية أتبعناها بدراسة رياضية و تطبيقية لمشكل تحديد أماكن الحاويات في منطقة التخزين.

الكلمات المفتاحية: تصميم محطة الحاويات، محطة الحاويات ، تخصيص أماكن الحاويات.

Table des Matières

DEDICACE I

DEDICACE II

REMERCIEMENT

RESUME

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ABREVIATIONS

GLOSSAIRE

INTRODUCTION GENERALE

ORGANISATION DU MEMOIRE

CHAPITRE1:GENERALITES SUR LES INFRASTRUCTURES PORTUAIRES

INTRODUCTION.....02

SECTION 1 : Généralités sur les ports et terminaux à conteneurs

1.1. La conteneurisation

- 1.1.1. Qu'est ce que la conteneurisation ?.....04
- 1.1.2. Définition de conteneur.....05
- 1.1.3. L'histoire des conteneurs.....05
- 1.1.4. Types de conteneurs.....06

1.2. Description des ports et des terminaux conteneurs

- 1.2.1. Le port.....14
 - 1.2.1.1. Qu'est ce qu'un port ?.....14
 - 1.2.1.2. Classification des ports.....15
 - 1.2.1.3. Missions, finalités et objectifs d'un port.....18
 - 1.2.1.4. Les grands ports mondiaux en 2020.....19
- 1.2.2. Le terminal à conteneurs.....20

1.2.2.1.	Qu'est ce qu'un terminal à conteneurs.....	20
1.2.2.2.	Les terminaux à conteneurs mondiaux.....	21
1.2.2.3.	Les différentes zones dans un terminal à conteneurs.....	21
1.2.2.4.	Les équipements d'un terminal à conteneurs.....	23
1.2.2.5.	Processus d'opérations dans un terminal à conteneurs.....	25

1.3. Les principaux ports en Algérie

1.3.1.	Le port d'Alger.....	27
1.3.2.	Le port d'Annaba.....	27
1.3.3.	Le port de Bejaia.....	28
1.3.4.	Le port de DjenDjen.....	28
1.3.5.	Le port d'Oran.....	29

SECTION 2 : L'entreprise portuaire d'Oran EPO

2.1.	Présentation de l'entreprise portuaire d'Oran.....	31
2.2.	Présentation du nouveau terminal à conteneurs.....	33

CONCLUSION36

CHAPITRE 2 : METHODES ET OUTILS D'OPTIMISATION

INTRODUCTION.....39

SECTION 1 : Conception des installations

1.1.	Notions et définitions.....	40
1.2.	Les différents types de projet en Facilities design.....	40
1.3.	Les enjeux de Facilities design.....	42
1.4.	Facteurs de détermination d'une conception optimale.....	43
1.5.	Outils de Facilities design.....	44
1.6.	Méthodes et algorithmes de Facilities design.....	45
1.7.	La conception des installations au sein des terminaux à conteneurs.....	49

SECTION 2 : Problèmes de gestion des conteneurs

2.1.	Le problème de stockage des conteneurs.....	52
2.2.	Le problème des mouvements non productifs.....	57

CONCLUSION.....	59
------------------------	-----------

CHAPITRE 3: CONCEPTION DES INSTALLATIONS (ETUDE PRATIQUE)

INTRODUCTION.....	61
--------------------------	-----------

3.1. Problématique n°1.....	61
3.2. Objectifs du travail.....	62
3.3. Méthodes, techniques et logiciels utilisés.....	62
3.3.1. La méthode SLP.....	62
3.3.2. La méthode Graph Theoretic.....	63
3.3.3. Technique de calcul des capacités statiques et dynamiques.....	64
3.3.4. Le logiciel VIP-PLANOPT.....	65

SECTION 1 : Etude de la conception des zones du terminal

1.1. Layout actuel.....	67
1.2. Zones et sous-zones.....	68
1.3. Méthodologie du travail.....	69
1.4. Calcul de besoin en surfaces.....	69
1.5. Le flux des conteneurs entre zones.....	75
1.6. Matrice de flux.....	77
1.6.1. Matrice de flux pour 300 000 conteneurs/an.....	77
1.6.2. Matrice de flux pour la capacité dynamique désirée.....	78
1.7. Contraintes dans le terminal.....	78
1.8. La méthode SLP.....	79
1.9. La méthode GRAPH THEORETIC.....	81
1.10. Conception avec le logiciel VIP-PLANOPT.....	83
1.10.1. Sans tenir comptes les différentes contraintes.....	83
1.10.2. En tenant compte les différentes contraintes.....	83

SECTION 2 : Interprétation des résultats et solutions proposées

2.1. Analyse et interprétation des dispositions alternatives.....	85
2.1.1. Disposition n°1 : résultat de la méthode SLP.....	85
2.1.2. Disposition n°2 : résultat de la méthode THEORETIC GRAPH.....	86
2.1.3. Disposition n°3 : résultat de logiciel VIP-PLANOPT (sans contraintes).....	87
2.1.4. Disposition n°4 : résultat de logiciel VIP-PLANOPT (avec contraintes).....	88
2.2. Fonction objectif.....	90
2.3. Résultats par Lingo.....	90
2.4. Modélisation du terminal 2D.....	92
2.5. Modélisation du terminal par PLANFLOOR.....	93
 SECTION 3 : Calcul du nombre d'équipements de manutention	
3.1. Calcul du nombre de portique à quai.....	95
3.2. Calcul du nombre de véhicule de transport entre quai et zone de stockage (camion).....	96
3.3. Analyse et interprétation des équipements.....	98
CONCLUSION.....	99
 CHAPITRE 4: Problème de stockage des conteneurs dans un terminal portuaire	
INTRODUCTION.....	101
4.1. Problématique.....	102
4.2. Objectifs du travail.....	102
 SECTION 1 : Formulation mathématique	
1.1. Les hypothèses.....	104
1.2. Le modèle mathématique.....	105
1.3. Astuces pour minimiser les mouvements non-productifs.....	109
1.3.1. Astuce 1.....	109
1.3.2. Astuce 2.....	110
 SECTION 2 : Résolution et interprétation des résultats	

Simulation par Lingo.....	114
2.1. Logiciel Lingo.....	114
2.2. Etude de cas.....	114
CONCLUSION.....	117
CONCLUSION GENERALE	119
Références bibliographiques.....	120

Table des Figures

Figure 1: Conteneurs dry 20',40',40' HC	8
Figure 2: Conteneur dry	8
Figure 3: Open Top.....	9
Figure 4: Conteneur Flat	9
Figure 5: Conteneur Open side	10
Figure 6: Conteneur Pallet wide	11
Figure 7: Conteneur Ventilé	11
Figure 8: Conteneur Reefer	12
Figure 9: Conteneur citerne	13
Figure 10: Conteneur vrac.....	13
Figure 11: Grue portique	23
Figure 12: Portique à quai	23
Figure 13: Camion remorque.....	24
Figure 14: Tracteur RORO.....	24
Figure 15: Chariot élévateur.....	24
Figure 16: Chariot cavalier.....	24
Figure 17: RMG.....	25
Figure 18: RTG.....	25
Figure 19: Lignes maritimes du port d'Oran.....	31
Figure 20: Ponts bascules(EPO)	32
Figure 21: Silo(EPO)	32
Figure 22: Installation NAFTALE(EPO)	32
Figure 23: Installation COGO(EPO)	32
Figure 24: Gare maritime(EPO)	33
Figure 25: Scanner de bagages(EPO)	33
Figure 26: Le port d'Oran avec l'extension	33
Figure 27: Nouvelle liaison autoroutière du port.....	34
Figure 28: Terminal qui utilise des RTGCs	53
Figure 29: Terminal qui utilise des RMGCs	54
Figure 30: Terminal qui utilise le Cavalier Gerbeur.....	55
Figure 31: Superficie du nouveau terminal	67
Figure 32: Le terrassement du terminal	67
Figure 33: Diagramme d'opérations du terminal à conteneurs	68
Figure 34: Diagramme de processus du terminal	68
Figure 35: Plan de zone portuaire	69
Figure 36: Plan de sous-zone avant visite	70
Figure 37: Plan de sous-zone reefer.....	71
Figure 38: Plan de sous-zone pesé.....	72
Figure 39: Plan de sous-zone Scanner	72
Figure 40: Plan de sous-zone visite	73
Figure 41: Plan de sous-zone après visite	74
Figure 42: Sample Relationship chart.....	79
Figure 43: Relationship diagramme.....	80
Figure 44: Disposition alternative 1 selon SLP Method.....	80
Figure 45: Theoretic Graph des sous-zones	82
Figure 46: Disposition alternative 2 selon Theoretic Method.....	82
Figure 47: Disposition alternative 3 avec VIP-PLANOPT (sans contraintes).....	83

Figure 48: Disposition alternative 4 avec VIP-PLANOPT (avec contraintes)	83
Figure 49: Modélisation du terminal 2D	92
Figure 50: Modélisation en 3D avec PLANFLOOR	93
Figure 51: Empilement des conteneurs	105
Figure 52: Nombre de mouvements improductifs dans le cas standard	109
Figure 53: Nombre de mouvements improductifs en tenant compte l'astuce 1	110
Figure 54: Nombre de mouvements improductifs sans l'application de l'astuce 2.....	111
Figure 55: Nombre de mouvements improductifs en considérant l'astuce 2.....	112

Liste des Tableaux

Tableau 1:Caractéristiques générales des conteneurs "Standard" et "High-cube"	7
Tableau 2 : Les 25 ports mondiaux en 2020[11]	19
Tableau 3 : Le port d'Oran en chiffre	31
Tableau 4 : Les différentes installations de l'EPO	32
Tableau 5 : Equipement de manutention du terminal à conteneurs (EPO)	34
Tableau 6 : Note de proximité de ARC.....	63
Tableau 7 : Notation utilisée de processus	69
Tableau 8 : Autres surfaces dans le terminal.....	74
Tableau 9 : Récapitulation des surfaces calculées	75
Tableau 10 : Codes utilisés pour l'ARC	79
Tableau 11 : Matrice de distances (alternative 1)	86
Tableau 12 : Matrice de distances (alternative 4).....	89
Tableau 13 : Affectation conteneur-client.....	115
Tableau 14 : Type de marchandise des conteneurs.....	115
Tableau 15 : La location des conteneurs par Lingo	116

Liste des Abréviations

CESAP:	Commission Economique des Nations Unies pour l'Asie et le Pacifique
CSC :	Convention sur la Sécurité des Conteneurs
ISO:	International Organization for Standardization
EVP:	Equivalent Vingt Pieds
TEU:	Twenty-foot Equivalent Unit
ASA :	American National Standards Institute
ISO/TC 104 :	Comité technique des conteneurs pour le transport de marchandises
CIMC:	China International Marine Containers
20'/40':	20 pieds/ 40 pieds
HC:	High-Cube
FD:	Facility design
CAO:	Conception Assistée par Ordinateur
CAD:	Computed-Aided Design
2D/3D:	2 dimensions/3 dimensions
SLP:	Systematic Layout Planing
MST:	Modified Spanning Tree
TAC/TC:	Terminal à conteneurs
RTG/RTGC:	Rubber Tired Gantry Cranes
RMG/RMGC:	Rail Mounted Gantry Cranes
VTI :	Véhicule du transport interne
BMT :	Béjaia Méditerranée Terminl
PSC :	Problème de stockage des conteneurs
AGV :	Automated Guided Vehicule
EPO :	Entreprise Portuaire d'Oran
CSP :	Capacité Statique du Parc
CDP :	Capacité Dynamique du Parc
ARC :	Activity Relationship Chart
SZ :	Sous-Zone

Glossaire

Coûts de transaction : C'est la somme des couts engendrés avant le processus de fabrication d'un bien ou prestation de service.

Temps d'escale : Temps d'arrêt passé par le navire dans les endroits d'escales dans le port

EVP : Unité de mesure de conteneurs.

Tonne métrique : Unité de masse qui vaut mille Kilogramme, soit 1000 Kg.

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

Il ne fait aucun doute que le transport joue un rôle essentiel dans le développement économique, par son omniprésence de toute échelle géographique. Par conséquent, le choix des modes de transport pour transporter des marchandises et des individus de l'origine à la destination devient de plus en plus important. Ce choix dépend de nombreux facteurs, tels que la nature de produit, l'infrastructure disponible, l'origine et la destination.

Le transport maritime de marchandise devient, de nos jours, de plus en plus important et le plus utilisé pour le commerce international, puisqu'il est le mode qui permet l'acheminement des marchandises en grande masse aux longues distances et à moindre coût. En effet, le trafic de marchandises transporté par voie maritime a connu une large évolution. De ce fait, il peut être considéré comme un instrument privilégié des échanges internationaux. C'est pour cela qu'il a connu plusieurs révolutions pour s'adapter au fil du temps, à l'évolution des échanges. L'une des évolutions les plus marquantes du transport maritime est la conteneurisation.

La conteneurisation des marchandises a joué un rôle important dans le développement du réseau international de transport intermodal.

En effet, au lieu de charger/décharger chaque pièce du point de transport vers le navire, la conteneurisation consiste à stocker des marchandises dans des conteneurs de différentes tailles normalisées. Cette standardisation a permis de faciliter le stockage, améliorer l'efficacité des transports et d'accélérer le transfert de la marchandise d'un mode de transport à un autre en réduisant les exigences d'emballage et de manutention dans tous les points de transfert entre le port et les voies ferroviaires et routières.

Avec l'évolution du phénomène de conteneurisation, les ports maritimes ont connu un déploiement des grands navires qui exige un investissement énorme d'infrastructures portuaires en fournissant un espace de stationnement plus grand et un développement des techniques de manutention.

Pour réaliser des opérations efficaces, les ports ont également besoin d'une zone de stockage spacieuse et de meilleures infrastructures routières et ferroviaires. Ceci soumet les opérateurs

portuaires à une grande pression vue qu'ils doivent augmenter le débit du port et assurer la fiabilité et la qualité de leurs services tout en maintenant des coûts extrêmement bas.

Pour faire face à ce problème, L'une des solutions retenues est la création des terminaux à conteneurs. Les terminaux à conteneurs constituent des interfaces intermodales essentielles pour le réseau de transport mondial. Ils jouent un rôle important dans la logistique moderne comme un centre de transport maritime.

Dans le cas de l'Algérie, la mauvaise performance du port pose de nombreux obstacles à la mobilité du port et de la chaîne de transport globale.

Ces dernières années, les responsables ont compris que la transition vers la mondialisation impliquera inévitablement des efforts de modernisation de leurs ports. En conséquence, ils ont reconnu la nécessité d'investir pour moderniser les installations existantes et ont tenté de corriger ce problème en lançant une série d'action et de projets : investir dans des ports professionnels à fonctions régionales, crée des hubs et réformer la gouvernance portuaire.

Au cours de cette mémoire, nous nous intéressons au nouveau terminal à conteneurs au sein de l'entreprise portuaire d'Oran.

L'objectif de notre étude en premier temps, est de trouver la disposition optimale des différentes sous-zones du terminal, en s'appuyant sur la capacité statique et dynamique du terminal tout en appliquant les concepts de Facilities Design. Et en deuxième partie, notre objectif sera de résoudre le problème d'allocation des conteneurs. Ce dernier consiste à déterminer les emplacements de stockage adéquats pour les conteneurs qui arrivent par porte-conteneurs au terminal.

Notre mémoire est composée de quatre chapitres. Le premier chapitre est divisé en deux sections. La première est consacrée à la présentation de la conteneurisation et la description des ports ainsi que des terminaux à conteneurs, des généralités, définitions, et enjeux.

Pour la deuxième section, elle concerne la présentation de l'entreprise portuaire d'Oran.

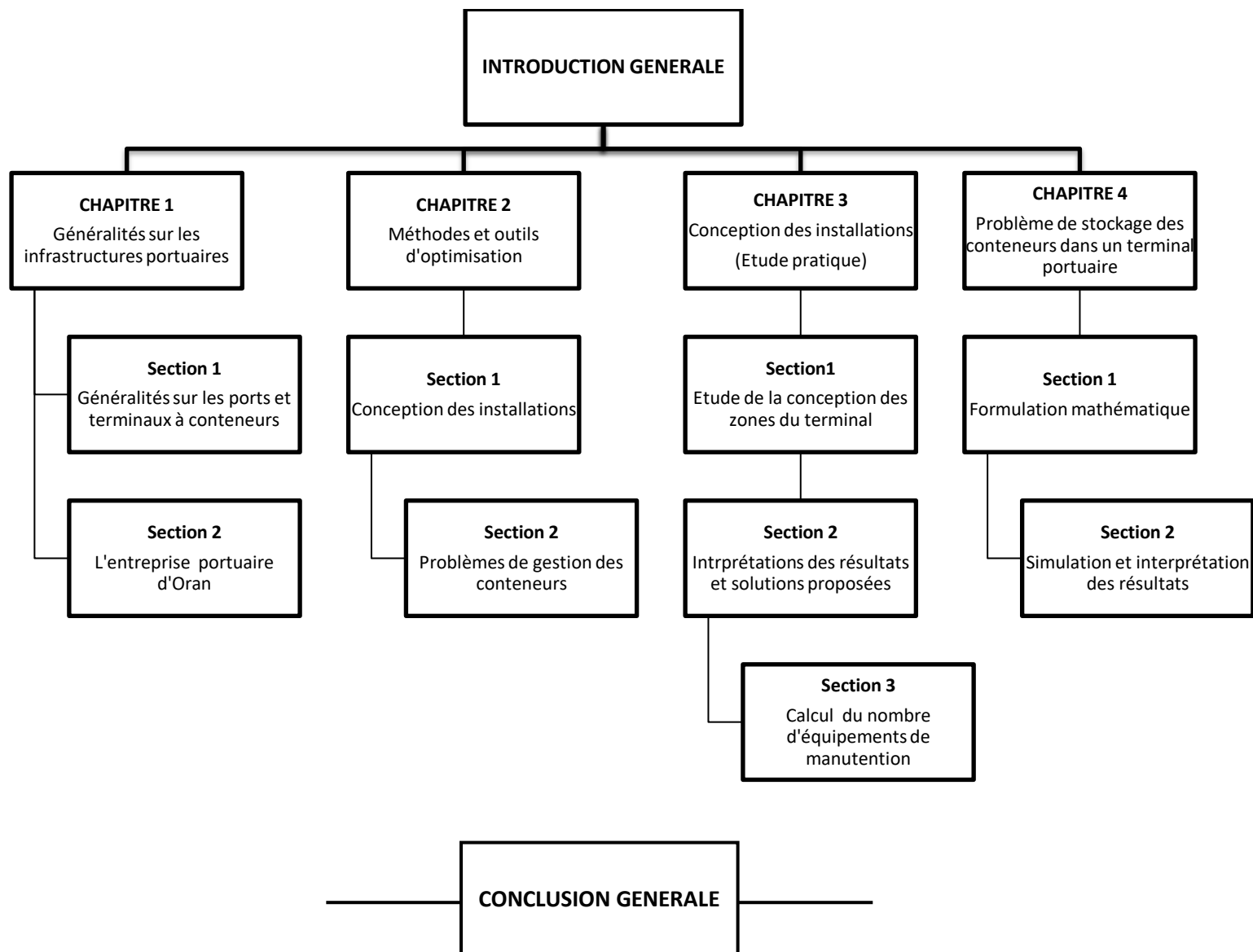
Le chapitre 2 est également divisé en deux sections, la première présente le théorique de la conception des installations (Facilities Design). Alors que la deuxième, concerne la présentation des différents problèmes d'optimisation dans un terminal. Le problème de stockage des conteneurs et les stratégies de stockage ainsi que le problème des mouvements non-productifs.

Le chapitre 3 est dédié à notre étude pratique concernant la conception des installations dans le nouveau terminal à conteneurs, en appliquant les différentes méthodes (*SLP, Theoretic Graph Method*) et en se basant sur la technique de calcul des capacités statiques et dynamiques ainsi que le logiciel VIP-PLANOPT. Un calcul du nombre d'équipement de manutention aura lieu aussi dans ce chapitre.

Le dernier chapitre, le chapitre 4 est consacré à l'étude pratique du problème d'allocation des conteneurs dans la zone de stockage. Nous présentons nos hypothèses du modèle, la formulation mathématique du PSC ainsi que les résultats obtenus par les solveurs Lingo et CPLEX avec l'interprétation de ces résultats.

La mémoire sera clôturée par une conclusion générale qui résume tout les perspectives obtenus et les résultats, ainsi que la bibliographie utilisée et consultée afin de réaliser ce travail.

Organisation de mémoire



Chapitre 1

Généralités sur les infrastructures portuaires

Introduction

Le contexte économique étant en évolution permanente. La gestion maritime n'est pas figée, ni en théorie ni en pratique, elle s'évolue et gère des nouveaux concepts afin de les adapter à la logistique portuaire. Et c'est le cas pour les ports du monde aujourd'hui, qui cherchent à augmenter et conquérir une plus grande part de marché possible, tout en minimisant les coûts de transaction. En fait, cette minimisation nécessite une amélioration d'efficacité et de la compétitivité. Alors, pour atteindre tout ces objectifs, les ports sont obligés à transformer leurs activités d'une manière innovante au concept logistique moderne avec le secteur maritime.

Les différentes connaissances et pratiques en logistique dans l'industrie maritime et portuaire mettent l'accent sur l'importance de ce service à la clientèle grâce à une manutention, gestion de stock et une distribution efficaces et rentables des marchandises. La maîtrise de la gestion de chaîne logistique portuaire maintenant joue le rôle d'un clés de succès, avec l'implication des multiples stratégies et tactiques qui ont pour but d'organiser le système portuaire et le gérer d'une façon rationnelle et efficiente, les ports réussissent à réduire le temps global d'escale, améliorer la qualité des services, simplifier la fluidité de la chaîne portuaire, améliorer la transparence dans les transactions portuaires et l'accès aux informations portuaires en temps réel.

Ce chapitre est divisé en deux sections. Dans la première section, nous allons opter à présenter tout d'abord des généralités sur le système de conteneurisation et ces caractéristiques dans le monde. Ensuite, nous abordons la notion des terminaux à conteneurs et les différentes infrastructures portuaires en Algérie. Par la suite, nous présentons dans la deuxième section l'entreprise portuaire d'Oran où nous avons effectué notre projet de fin d'étude.

Section 1

**Section 1 : Généralités sur les ports et terminaux à
conteneurs**

Section 1 : Généralités sur les ports et terminaux à conteneurs

Dans cette section nous allons présenter quelques concepts relatifs aux ports et aux terminaux à conteneurs, leurs définitions, leurs caractéristiques et leurs enjeux dans la logistique maritime.

La conteneurisation

Avant la mondialisation des conteneurs, les marchandises étaient emballées dans des cartons, des caisses d'expédition ou des palettes. Cette méthode de traitement nécessite beaucoup de travail et elle est très coûteuse.

La baisse des coûts de transport a également conduit à la prospérité du commerce international. Selon les données de la CESAP ⁽¹⁾ (2005), entre 1950 et 1990, la croissance du commerce mondial a été environ 1,5 fois celle de l'économie mondiale, ce ratio a augmenté à 2,5 fois entre 1990 et 2004. Cette tendance montre que le commerce est devenu une partie de plus en plus importante de l'activité économique mondiale.

Le concept de conteneurisation a été rapidement adopté par l'industrie du transport maritime et les ports ont été déplacé vers une nouvelle infrastructure appelée « terminal à conteneurs ».

Qu'est-ce que la conteneurisation

La conteneurisation est un système du transport de fret intermodal utilisant des conteneurs. Celles-ci sont basées sur des dimensions standardisées. Ils peuvent être chargés, déchargés, empilés et transportés sur de longues distances, et peuvent être transférés d'un mode de transport à un autre (train, camion). Le système de chargement est mécanisé, donc toutes les opérations sont effectuées par des équipements spéciaux du transport et de manutention. Et tous les conteneurs sont numérotés et suivis grâce à des systèmes numériques.

La conteneurisation est apparue il y a des siècles, mais elle n'a été développée et appliquée qu'à la fin de la Seconde Guerre Mondiale. Elle a commencé dans les années 60 et s'est mondialisée dans les années 80. Ce système a permis de réduire drastiquement les coûts de transports et de supporter le boum économique qui a été un facteur majeur de la mondialisation.

(1) : La Commission Economique des Nations Unies pour l'Asie et le Pacifique

Définitions du conteneur

Il existe de multiples définitions de conteneur et, il est actuellement impossible de donner une définition acceptée par tous et dans tous les pays de monde. Citons deux définitions les plus connues :

La première définition d'un conteneur est donnée par la Convention sur la Sécurité des Conteneurs (CSC) normalisée en décembre 1971, comme suit :

« Le conteneur est un engin de transport de caractère permanent, et de ce fait assez résistant pour permettre un usage répété, spécialement conçu pour faciliter le transport des marchandises sans rupture de charge par un ou plusieurs modes de transport, conçu pour être assujetti et/ou manipulé facilement, des accessoires ayant été prévus à cet effet. »

Dans le domaine du transport, « un conteneur ou (container en anglais), représente un caisson métallique parallélépipédique (acier, aluminium, etc.). Il s'agit d'une boîte fermée avec un plancher, des parois latérales, des parois d'extrémités et un toit rigide. Et l'une des parois d'extrémités est équipée de portes. Le conteneur est conçu pour le transport de marchandises par différents modes de transport (routier, ferroviaire, aérien, fluvial et maritime). Ses dimensions ont été normalisées au niveau international par la norme ISO (Organisation internationale de normalisation), avec une longueur de 20 pieds (6,058 m) ou une longueur de 40 pieds (12,19 m), une hauteur de 8,6 pieds (2,591 m) et une largeur de 8 pieds (2438 m). L'unité de mesure de conteneur est l'équivalent vingt pieds (EVP) (en anglais : Twenty-foot Equivalent Unit ou TEU), alors que celles de 40 pieds est (2EVP). » [1]

L'histoire de conteneurs

Le conteneur est né à Hoboken, New Jersey, en Amérique. Le portier américain (New-Yorkais) **Malcolm McLean** a hâte d'attendre et de décharger la cargaison au quai. Il a remarqué une augmentation significative de ses activités et s'est vite rendu compte que c'était le transbordement mer-terre qui limitait son augmentation des activités. [2]

Lorsque le transport sur la côte Est des États-Unis fut saturé, il fit face à sa compagnie **McLean Trucking Co**. Il adapte quatre navires pour transporter des remorques de camions par mer, en

chargeant les camions et leurs remorques directement sur le navire. Face à une expérience réussie, il décide de séparer la « boîte » contenant la marchandise du châssis de la remorque, créant ainsi un « conteneur » [3,4]. Son invention a été confinée à la côte Est des États-Unis pendant dix ans, puis a traversé l'océan Atlantique en 1966, ensuite a connu un développement formidable [5]. Cependant, avec le déclenchement de la guerre du Vietnam, l'armée américaine a été forcée de transférer un grand nombre de produits des États-Unis vers l'Asie, de sorte que la demande est devenue suffisamment importante et que son invention a été largement diffusée.

Au début des années 80, la norme **McLean** a été utilisée dans le monde entier. [6]

En effet, le développement et les principaux atouts du transport de conteneurs sont liés à la standardisation. Deux sociétés, **Sea-Land Service** fondée par **McLean**, et **Matson Navigation**, ont été créées dans les années 1960. Et leurs conteneurs respectifs mesurent 35 pieds et 24 pieds. Ensuite, l'American National Standards Institute (ASA) a fixé la longueur à 10, 20, 30 et 40 pieds, et la hauteur et la largeur à 2,44 m. Après cela, l'ISO élabore des normes mondiales. Par conséquent, la taille est toujours fixée aux pieds. Le comité ISO TC-104⁽¹⁾ a pris en charge la définition des dimensions, des matériaux, des contraintes, etc.

Aujourd'hui, Les principaux fabricants de conteneurs sont deux entreprises chinoises : **CIMC** et **Singama** tel que le Group (CIMC) occupe la moitié du marché mondial et ont produit 1,2 million d'unités en 2004 (contre 70 000 unités en 1994).

Types de conteneurs

Des différents types de conteneurs sont disponibles pour des différents types de marchandises. Nous Citons :

Les conteneurs d'usage général

Également connu sous le nom de conteneur dry standard, est le conteneur d'expédition le plus utilisé, car il convient au transport de la plupart des produits dits secs, tels que les caisses en bois, le carton, les palettes, les tonneaux, etc. Ce type équipé de portes à l'une ou aux deux extrémités « double door » et est fermé de tous les côtés. Il s'agit de la version classique du

(1) : Comité technique des conteneurs pour le transport de marchandises

conteneur dérivée de différentes versions professionnelles.

- **Le conteneur high-cube**

Le conteneur high-cube est similaire à celle du conteneur standard, mais sa hauteur est plus élevée à la hauteur du conteneur standard, qui a une hauteur de 2392 mm (8.6 pieds), alors que les conteneurs high-cube sont hauts de 2697 mm (9.6 pieds). La plupart des conteneurs de ce type mesurent 40 pieds, mais il y en a aussi celles de 45 pieds.

Une autre caractéristique de ce conteneur est qu'il utilise des anneaux d'arrimage, qui lui permettent de supporter une charge de plus de 1000 kg.

Les dimensions d'un conteneur standard de 20 pieds (EVP), 40 pieds (2 EVP) ainsi que du conteneur high-cube sont illustrés dans le tableau suivant :

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES			
Type de conteneur	20 pieds	40 pieds	40 pieds high cube
Dimensions extérieures			
En pieds	20' x 8' x 8'6"	40' x 8' x 8'6"	40' x 8' x 9'6"
En mètres	6,1 x 2,44 x 2,62	12,2 x 2,44 x 2,62	12,2 x 2,44 x 2,93
Dimensions intérieures minimales			
Longueur (mm)	5.867	11.998	11.998
Largeur (mm)	2.330	2.330	2.330
Hauteur (mm)	2.350	2.350	2.655
Ouverture des portes			
Largeur (mm)	2.286	2.286	2.286
Hauteur (mm)	2.261	2.261	2.566
Capacités			
	32,1	65,7	74,2
Poids brut maximal (moyenne en kg)			
	30.480	30.480	30.480
Tare (moyenne en kg)			
	2.230	3.740	3.900
Charge maximale (moyenne en kg)			
	28.250	26.740	26.580

Tableau 01 : Caractéristiques générales des conteneurs "Standard" et "High-cube"

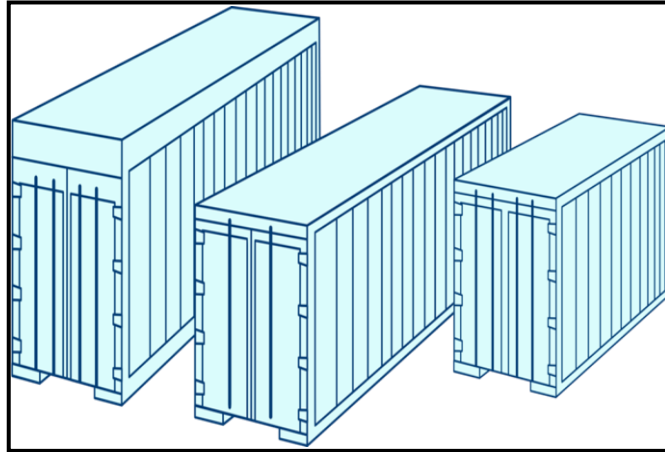


Figure 01 : Conteneurs dry 20', 40', 40' HC



Figure 02 : Conteneur dry

Les conteneurs pour usage spécifique

On distingue 4 types principaux :

- **Conteneur à toit ouvert (Open top)**

La structure de ce type de conteneur est la même que celle du conteneur dry, ainsi que les caractéristiques, mais ils n'ont pas de plaque supérieure rigide, généralement bâché. Ils sont conçus pour le transport de produits finis lourds ou volumineux car ils peuvent être chargés à travers le toit à l'aide de grues ou de ponts roulants. [7]



Figure 03 : Conteneur Open Top

- **Conteneur plate-forme (Flats)**

Les conteneurs plats n'ont pas de parois latérales et de toit fixes. Il existe deux types : le type « *flat rack fixed end* » avec les parois d'extrémités fixe et le type « *flat pliable* » avec les parois d'extrémités rabattables.

Ce type de conteneur est destiné à l'emportage des marchandises de toutes sortes, pour autant qu'elles ne soient pas sensibles aux intempéries. Il est principalement utilisé pour le transport des colis lourds ou volumineux.



Figure 04 : Conteneur Flat

- **Conteneur à parois latérales (open-side)**

Le conteneur open-side se caractérise par une ouverture latérale possible sur toute sa longueur : il est donc possible de charger des objets ou des marchandises dont la longueur est imposante par chariot élévateur. Cette façon de charger les conteneurs permet également de gagner du temps.



Figure 05 : Conteneur Open side

- **Le container Pallet Wide**

Le conteneur de palette large a une largeur différente des autres conteneurs et correspond à la norme de palette. Ses dimensions internes sont étudiées pour optimiser le chargement des palettes tout en limitant au minimum l'espace au sol inoccupé. Tout en réduisant la perte d'espace, il augmente également la stabilité des marchandises transportées.

Ce type existe dans les quatre versions de conteneurs les plus courantes : 20', 40', 40' High cube(HC) et 45'HC. Un conteneur pallet wide de 20 pieds peut contenir 15 palettes européennes (120 x 80 cm), contre 12 pour un conteneur traditionnel. Un pallet wide de 40 pieds peut contenir 30 palettes, tandis que le conteneur standard de 40 pieds peut contenir 25 palettes, et le pallet wide de 45pieds de large peut contenir 33 palettes au lieu de 27.



Figure 06 : Conteneur Pallet wide

Les conteneurs pour marchandises spécifiques

Ils sont utilisés pour des marchandises ayant des caractéristiques thermiques spéciales.

Nous citons :

- **Conteneur aéré ou ventilé**

Ce conteneur a des trous d'aération sur sa coque pour permettre à l'air de circuler. Il est adapté au transport de fruits secs (café en sacs, abricots, dattes, etc.) et légumes secs (ail, oignons, etc....) [8]

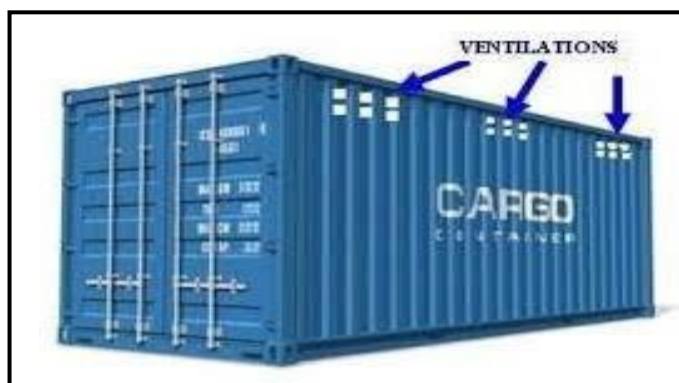


Figure 07 : Conteneur ventilé

- **Le conteneur Reefer**

Le conteneur frigorifique (ou reefer en anglais) est un conteneur "thermiquement isolé" qui possède un dispositif de maintien de la température. Il permet de transporter des marchandises à des températures contrôlées. Ce type de conteneur est généralement équipé d'un moteur électrique pour réguler la température de l'atmosphère intérieure.

Les conteneurs frigorifiques ou réfrigérés sont notamment utilisés pour maintenir la chaîne du froid pour les produits alimentaires, les produits congelés, et les denrées périssables transitant par des pays chauds.



Figure 08 : Conteneur Reefer

- **Le conteneur citerne**

Les conteneurs citernes sont utilisés pour transporter des gaz, des liquides ou des produits en poudre. Certaines marchandises peuvent être des aliments, tandis que d'autres sont dangereuses comme l'essence.

Pour des raisons de sécurité, la norme **ISO 1496** définit les conditions et les spécifications des conteneurs citernes. Les entreprises doivent les respecter afin d'éviter tout risque d'explosion, qui peut entraîner des pertes humaines et financières.

La citerne, afin de faciliter son chargement et le déchargement doit être mise dans un cadre pour qu'il soit mobile. L'ensemble doit être nettoyé régulièrement.



Figure 09 : Conteneur citerne

- **Le Conteneur vrac**

Les conteneurs vrac également appelés « *bulk* » sont des conteneurs standard, mais ont des caractéristiques techniques spécifiques utilisées pour transporter des marchandises non emballées ou arrimées (vrac), telles que les céréales, les aliments pour animaux, les épices, etc... [8] Ils sont équipés d'orifices de chargement sur le toit et de trappes de déchargement au bas d'une extrémité. La fonction de la trappe de toit est de permettre l'empotage par gravité ou technologie pneumatique, et la trappe inférieure permet la vidange.



Figure 10 : Conteneur vrac

Descriptions des ports et des terminaux à conteneurs

L'histoire du secteur portuaire mondial de commerce est étroitement liée à celle de la navigation maritime et à la géographie du commerce mondial, elle est marquée par de nombreux évènements et réformes qui en ont fait, l'aube du nouveau millénaire, un outil important de commerce extérieur à la lumière de la mondialisation. Cette étape historique a contribué à faire des ports des entités économiques indépendantes qui soutiennent l'économie nationale et mondiale de manière efficace et complémentaire, et progressent régulièrement vers des objectifs plus larges et un développement plus global.

Le port

Les ports aujourd'hui dans leur rôle logistique sont considérés comme le maillon central des chaînes logistiques maritimes internationales. De ce fait, on veut définir le port depuis ses différents points.

Qu'est-ce qu'un port ?

Le mot port a plusieurs sens :

- *Sens 1*: Marine

Abri artificiel ou naturel aménagé pour recevoir les bateaux.

- *Sens 2*: Géographie

Ville bâtie autour d'un port.

- *Sens 3*: littérature

Abri, refuge.

Dans ce qui suit, nous donnerons deux définitions pour un port.

- Définition 1:

Un port est une infrastructure construite par l'homme. Situé sur la côte de la mer, sur les rives d'un lac ou sur une voie navigable, et sa vocation est d'accueillir des bateaux et des navires.

Un port peut remplir de nombreuses fonctions, mais il doit surtout fournir un abri aux navires, notamment lors des opérations de chargement et de déchargement, il facilite aussi les opérations de ravitaillement et de réparation. C'est un endroit pour rester.

- Définition 2:

« Le port est un point du rivage de la mer, aménagé et équipé pour recevoir, abriter des navires et assurer toutes les opérations de commerce maritime, de pêche et de la plaisance. »^[9]

Classification des ports

Selon les différentes caractéristiques d'un port, on peut les classer selon :

- Leur nature
- Leur localisation
- Leur activité
- Leur statut

- **Leur nature :**

Selon la nature d'un port on distingue trois types : les ports naturels, les ports aménagés et les ports artificiels.

1. Les ports naturels

Ce sont une brèche dans la cote comme une petite baie, un estuaire, un détroit, etc. Ils permettent aux bateaux d'y accoster et de s'y loyer, peut être partiellement ou complètement artificiel après cela; par contre les ports construits à partir de rien. Ils sont généralement protégés des tempêtes et des vagues de la mer par des terres et des chaînes de montagnes naturelles et fertiles ou par des îles naturelles.

2. Les ports aménagés

Le premier port aménagé fut peut-être l'œuvre des *Minoens* sur l'île de Crète. Au XIII^e siècle av. I-C, les phéniciens créèrent les de Sour et de Sidon en bâtissant des digues. Les Romains

construisirent de nombreux ports sur le pourtour méditerranéen, notamment à Ostie, qui était le port de Rome.

Il fallut ensuite attendre plusieurs siècles pour que l'« art » du génie portuaire connaisse un renouveau au moment où le commerce maritime constituait une importante source de revenus pour les Républiques italiennes. A cette époque commença la construction des ports de Venise et de Gènes, ou certaines réalisations d'origine subsistent encore aujourd'hui. [10]

Ce sont les ports qui sont entourés de terre de tous côtés, mais ils ont besoin de beaucoup de travail industriel pour protéger et aménager leurs entrées.

3. Les ports artificiels

Ce sont des ports de mer qui sont protégés par des brise-lames et sont construites par forage, de sorte qu'ils continuent dans leurs formes naturelles ; ainsi que de les protéger des vagues de la mer et des tempêtes. Il se caractérise par l'existence d'au moins deux digues entre lesquelles se trouve l'entrée du port. Le port artificiel est constitué d'éléments transportables et que l'on pourrait monter au long des plages du débarquement.

En 1943, un essai pour 3 conceptions de port artificiel lancées et testées en réel. Le premier port artificiel fabriqué est construit sur la côte normande pendant la Seconde Guerre mondiale afin de permettre l'approvisionnement les alliés dans les jours qui suivirent le débarquement de Normandie, il s'appelait le port **Mulberry**.

Citons le port de **Buffalo** aux États-Unis, le plus grand port artificiel dans le monde comme ce type de port.

- Leur localisation

Selon la localisation d'un port, on distingue les ports maritimes, fluviaux, lacustres et ports à sec.

1. Les ports Maritimes :

Le port est dit maritime lorsqu'il est situé sur la côte d'une mer ou d'un océan. Il est considéré comme le port principal pour un pays accueillant les plus grands tonnages. Il est construit pour les navires Naviguant dans les immenses mers offrant ainsi une porte d'entrée de marchandises importées pour le pays ayant une façade maritime.

2. Les ports fluviaux :

Le port fluvial est situé en bordures d'un fleuve, d'une rivière ou d'un canal. Il est aménagé dans une crique naturelle.

3. Les ports lacustres :

Le port lacustre est situé sur le bord d'un lac, comprenant les petites marinas au bord des lacs de montagne.

4. Les ports à sec :

Le port à sec est un prolongement naturel des ports maritimes, connecté directement par route ou par chemin de fer à un port maritime, peut être rattaché qu'à un port. Il permet le stockage à terre de petites unités.

- Leur activité

Selon l'activité d'un port et les bateaux accueillie, on distingue quatre types : les ports de commerces, de pêches, de plaisance et les ports militaires.

1. Port de commerce :

Le transport maritime est étroitement lié au commerce international des marchandises depuis l'antiquité. Les ports de commerce servent à accueillir les navires de commerce dédiés à l'exportation et à l'envoi de marchandises par voie maritime, vers et depuis n'importe quel pays du monde. Autrement dit, ils assurent toutes les opérations d'embarquement et de débarquement de marchandises qui sont transitées de plus en plus sur les conteneurs.

2. Port de pêche :

Les ports de pêche sont classés dans la catégorie des ports réservés aux embarcations ou aux navires de pêches, ce type est le plus nombreux au monde avec sa dimension réduite.

3. Port de plaisance :

Ils accueillent les bateaux de plaisance résidant à l'année ou les bateaux de passage en offrant des services différents.

4. Port militaire :

Ce type de port accueille les navires de guerre, il peut inclure une école navale, des moyens de ravitaillement ou même un arsenal.

- Leur statut

On distingue les ports publics ou autonomes qui sont gérés par l'état et les ports privés qui sont gérés par les entreprises privées.

Missions et objectifs d'un port

De grandes compagnies internationales ont été créées pour équiper et préparer les ports, pour être navigables et pour les relier à de grandes lignes maritimes. Cela a créé une situation concurrentielle entre les États pour les investissements dans les grands ports commerciaux, avec des avantages économiques d'une part, le contrôle et l'influence de l'autre.

Les ports maritimes ont joué un rôle actif dans le renforcement de l'influence politique, économique et militaire des puissances internationales classiques au XXe siècle.

Aujourd'hui, dans un monde enchevêtré où les multinationales sont au cœur de l'économie mondiale, les ports maritimes sont considérés comme la clé du commerce international. Les entreprises qui contrôlent les ports les plus importants contrôlent le commerce international, et celles qui contrôlent le commerce international contrôlent l'économie mondiale, sont capables d'influencer les politiques internationales ou, à tout le moins, peuvent limiter les effets de telles politiques en temps de crise, qui imposent de nouvelles options aux États et les placent face aux défis de l'autonomie dans la lutte pour la survie et la poursuite d'un ordre international caractérisé par le chaos.

Le port est un outil au cœur des développements économiques et un enjeu majeur qui permet :

- ✓ A un pays de relancer la compétitivité économique.
- ✓ C'est une porte d'entrée sur un réseau dense reliant les territoires les plus éloignés grâce à sa capacité à alimenter l'ensemble des axes ferroviaires, fluviaux et routiers.
- ✓ Sert à accueillir les navires, leur offrir un abri, assurer le transit de marchandises dans les meilleures conditions de coût, de qualité, de délais et de sécurité.
- ✓ C'est un maillon qui assure la continuité de l'acheminement du transport maritime.

- ✓ Il est destiné à l'exploitation de tous types de navires de mer pour transporter et décharger des passagers, charger et décharger des cargaisons, ravitailler les navires, les héberger ou les réparer.
- ✓ Ce dernier n'est pas seulement un lien entre la terre et la mer, mais il peut devenir un complexe industriel intégré entre les centres de stockage et les industries pour répondre à la demande croissante des clients.

À long terme, le port peut devenir un moteur clé de la coordination entre les villes, les installations logistiques, les parcs industriels et les portes du marché.

Les grands ports mondiaux en 2020

Le tableau suivant représente le classement mondial des 25 premiers ports à conteneurs mondiaux en 2020.

Top 25 mondial des ports à conteneurs en 2020*					
Rang		Port	2020	2019	Variation
1 (1)		Shanghai	43.501.400	43.303.000	+ 0,5 %
2 (2)		Singapour	36.870.940	37.195.636	- 0,9 %
3 (3)		Ningbo-Zhoushan	28.734.300	27.535.000	+ 4,4 %
4 (4)		Shenzhen	26.553.000	25.771.700	+ 3 %
5 (5)		Guangzhou-Nansha	23.191.500	23.236.200	- 0,2 %
6 (7)		Qingdao	22.004.700	21.010.000	+ 4,7 %
7 (6)		Busan	21.813.073	21.992.000	- 0,8 %
8 (9)		Tianjin	18.356.100	17.300.700	+ 6,1 %
9 (8)		Hong Kong	17.961.000	18.303.000	- 1,9 %
10 (10)		Los Angeles / Long Beach	17.326.720	16.969.666	+ 2,1 %
11 (11)		Rotterdam	14.350.000	14.810.804	** - 3,1 %
12 (12)		Dubai / Jebel Ali	13.486.000	14.111.000	- 4,4 %
13 (13)		Port Kelang	13.243.741	13.580.717	- 2,5 %
14 (14)		Anvers	12.031.469	11.860.204	+ 1,4 %
15 (15)		Xiamen	11.405.000	11.122.180	+ 2,5 %
16 (18)		Tanjung Pelepas	9.800.000	9.077.485	+ 8 %
17 (16)		Kaohsiung	9.621.667	10.428.634	- 7,7 %
18 (17)		Hambourg	8.750.000	9.282.012	** - 5,7 %
19 (20)		Laem Chabang	7.546.494	7.980.560	- 5,4 %
20 (21)		New York / Newark	7.585.819	7.471.131	+ 1,5 %
21 (23)		Hô Chi-Minh Ville	7.200.000	6.848.360	** + 4,9 %
22 (22)		Colombo	6.850.000	7.228.337	- 5,2 %
23 (24)		Jakarta	6.170.468	6.802.200	- 9,3 %
24 (31)		Tanger Med	5.771.221	4.801.710	+ 20,2 %
25 (26)		Yingkou	5.673.100	5.480.000	+ 3,5 %

* Classement selon le trafic de conteneurs en EVP. La parenthèse est une référence au précédent classement (2019). Source : Alphaliner.
 **données estimées dans l'attente de résultats définitifs.

Tableau 02 : Les 25 ports mondiaux en 2020_[11]

On remarque que neufs ports parmi les 25 sont chinois, la seconde puissance économique mondiale.

- ✓ Le trafic des conteneurs a augmenté dans 12 ports (dont 7 en chine et 2 aux Etats-Unis) reflétant le fort appétit des consommateurs occidentaux pendant la pandémie.
- ✓ Anvers, **Tanjung Pelelas** et **Hô Chi-Minh** ont également enregistré une croissance.
- ✓ À l'inverse, les grands perdants de l'année ont été **Jakarta**, **Kaohsiung**, **Colombo** et **Laem Chabang**.
- ✓ Parmi les 25 premiers ports, **Tanger Med** a enregistré la plus forte croissance globale, soit 20 %.
- ✓ En dehors de la Chine, la Malaisie et les États-Unis sont les seuls pays qui comptent plus d'un port dans le top 25.
- ✓ Ensemble, les 25 plus grands ports mondiaux ont traité 395,7 MEVP en 2020 contre 393,5 MEVP en 2019, soit + 0,55. ^[11]

Le terminal à conteneur

Dans les opérations portuaires, le terminal à conteneurs joue un rôle vital et agit comme le nerf dans ces opérations. Parce que la plupart des opérations portuaires sont destinés à la cour à conteneur. Par conséquent, la compétitivité d'un port est mesurée par l'efficacité de ces terminaux qui est reflétée par la quantité des conteneurs chargés et déchargés. Ils s'agissent d'une importance cruciale pour la réduction des coûts du transport, de gestion et de stockage, ainsi que la détermination des plans d'embarquement.

Qu'est ce qu'un terminal à conteneur ?

Un terminal à conteneur est une interface située stratégiquement comme point critique du réseau logistique intermodal. Il représente les installations de destination intermédiaire qui permette aux conteneurs d'expédition de changer de mode de transport en route vers leurs destination finale.

Un terminal à conteneur se compose d'une surface à conteneur, qui est situé entre deux demandes, un associé au transfert de conteneur entre la cour de stockage et le porte-conteneur (coté mer), et l'autre associé au transfert de conteneur entre la gare de triage des conteneurs et le réseau routier/ferroviaire (coté terre).

Le mouvement d'un conteneur à travers le terminal implique un large éventail d'activités qui comprennent l'exploitation du navire, les opérations de transfert de quai, le système de stockage, les opérations de porte et ainsi de suite.

Les terminaux à conteneurs mondiaux

Comme nous avons mentionné au dessus, les grands ports sont mesurés par l'efficacité de leur terminaux, donc le point déjà discuté dans le titre « Les grands ports mondiaux en 2020 » reflète aussi ce titre. Ce qui dit que les terminaux à conteneurs mondiaux sont intégrés dans les ports mondiaux.

Les différentes zones dans un terminal à conteneur

Les installations d'un terminal à conteneur peuvent être divisées sur trois grandes zones.

- ✓ Zone d'opérations portuaires.
- ✓ Zone de stockage
- ✓ Zone d'opérations terrestres

Chaque une de ces zones regroupe un ensemble d'opérations spécifiques.

1. Zone d'opérations portuaires

Cette zone comprend les opérations de chargement et de déchargement des navires entre le quai et la cour du terminal, c'est une zone spécialement équipée et localisée sur l'eau et au bord de l'eau.

- Le quai : c'est une section de berge permettant le chargement et le déchargement de navires et de passagers situé bord d'une étendue d'eau.

2. Zone de stockage

Elle concerne les opérations de stockage et de manutention des conteneurs dans la cour du terminal. Cette dernière elle-même est divisée en sous zones, tel que chaque sous zone convient à réaliser une opération spécifique de traitement du conteneur.

- Sous-zone avant visite :

Appelée aussi Yard ou pile. C'est un parc à conteneur regroupant celui avant inspections douanières

- Sous-zone scanner :

C'est l'endroit où l'inspection non intrusive d'un conteneur a lieu, par scanner ou toutes autres technologies.

- Sous-zone visite :

C'est le lieu où le conteneur afin d'en inspecter et contrôler les fraudes, il sera ouvert par les douanes.

- Sous zone après-visite :

Appelé aussi la sous-zone de livraison, qui contient les conteneurs après opération d'inspection en attendant leur récupération par le client.

Les sous zones expliquées ci-dessus, ont une relation directe avec les opérations obligatoires de stockage et manutention de conteneur. On peut aussi trouver autres sous zones dans un terminal à conteneur, citons :

- Sous zone pesé :

Elle contient une grande balance qui sert à vérifier le poids réel des conteneurs afin de faire face à la multiplication des incidents causés par les fausses déclarations du poids des conteneurs.

- Parc des conteneurs à vide :

Après la livraison de marchandises au client finale.

- Parc d'engins :

Contient les différents engins et équipement de manutention.

- Sous zone des conteneurs Frigo :

Regroupe les conteneurs de type frigo, un endroit spéciale pour ce type qui nécessite une énergie électrique.

3. Zone d'opérations terrestres

Cette zone contient l'ensemble des opérations qui concerne le transfert des conteneurs vers les différents modes de transport terrestres, routier par camion ou ferroviaire par train. Elle représente une interface de réception et d'expédition des conteneurs.

Les équipements d'un terminal à conteneur

Dans les différents terminaux à conteneurs dans le monde, on trouve principalement ces équipements dédiés spécifiquement à une zone ou partager entre plusieurs zones.

- **Grue de quai :**

Utilisée pour le levage et la manutention des conteneurs entre les navires et le quai, à l'aide de sa structure d'acier montée sur des rails. Plusieurs grues de diverses grosseurs et capacités existent et deux types de grues sont généralement utilisées : grues à pont roulant simple et grue à pont roulant double.

- **Portique à quai :**

Les portiques à conteneurs sont conçus selon plusieurs et différentes caractéristiques techniques conformément aux exigences des clients : depuis les navires de la classe **Panamax** jusqu'aux les plus grands navires **Megamax**. Elles ont une capacité d'utilisation de 40 à 120 tonnes métriques et sont disponibles dans les configurations levage simple, levage double et levage en tandem.

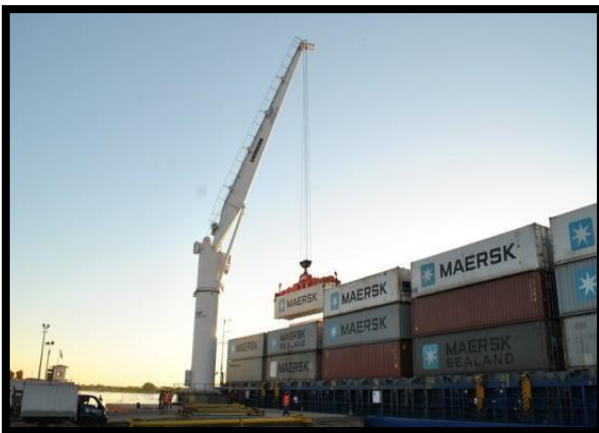


Figure 11 : Grue portique



Figure 12 : Portique à quai

- **Camion remorque :**

Il est considéré comme une porte-conteneur chargée ou vide dédiée pour la voie terrestre. Ce système à remorque nécessite un espace important dû au fait que les conteneurs ne sont pas empilés.

- **Tracteur RORO :**

Spécifiquement conçu pour les terminaux rouliers ou les applications difficiles. Ces engins peuvent tracter une charge jusqu'à 150 tonnes.



Figure 13: Camion remorque



Figure 14: Tracteur RORO

- **Chariot cavalier :**

Ce type d'engin est utilisé dans le système d'entreposage par blocs en baies scindées, pour qu'il puisse circuler à l'intérieur des blocs à l'aide du petit espace qui sépare les baies.

- **Chariot élévateur :**

Utilisé dans un système d'entreposage par blocs en baies soudées. Plusieurs types existent de chariot : le Topflit et Forklift qui sont utilisés pour la manutention des conteneurs vides, et les chariots Reachstacker qui ont la capacité pour charger ou décharger les trains et les camions. Ce type d'engin demande un grand espace entre les blocs des conteneurs pour facilement les empilés.



Figure 15 : Chariot élévateur



Figure 16 : Chariot cavalier

- **Grue portique sur rail (RMG) :**

Dédié pour le système d'entreposage en blocs perpendiculaires composés de baies soudées avec des points de transfert, et c'est le système le plus utilisé dans les grands terminaux à conteneurs parce qu'il offre une utilisation efficace de l'espace et un meilleur gain grâce à la densité de stockage de conteneurs. RMG ou le pont roulant sur rails est affecté à chaque bloc, donc c'est impossible pour lui de se déplacer entre les blocs.

- **Grue portique sur pneus (RTG) :**

Utilisé principalement dans le système d'entreposage en blocs parallèles composé de baies soudées avec une voie de transfert. Il se diffère au précédent par son déplacement qui se fait sur pneus, ce qui lui donne la possibilité de se déplacer d'un bloc à un autre. Ainsi, ce système permet aux camions de récupérer les conteneurs de la zone de stockage facilement.



Figure 17 : RMG



Figure 18 : RTG

- **Système d'AS/RS :**

Le système de stockage et de déstockage automatisé est basé sur une grille qui contient plusieurs étages, chaque étage est composé d'un ensemble de cases ou chaque case sert à empiler un conteneur. Les conteneurs se déplacent dans ce système à l'aide des rayons, où une plateforme automatisée est placée dans chaque rayon.

Processus d'opérations dans un terminal à conteneur

Dans un terminal à conteneur ou TAC, trois catégories de processus sont disponibles selon les différentes zones trouvant dans le terminal déjà expliqués ci-dessus.

Il s'agit de processus de la zone d'opérations portuaire, processus de la zone de stockage et processus de la zone d'opérations terrestre.

Au début, lorsque le navire arrive, on parle d'opérations de chargement et de déchargement du navire. Les conteneurs sont pris par la grue de quai ou bien la grue portique, qui assure le transfert du conteneur vers un véhicule de transport interne.

Une vérification du numéro du TC est obligée avant la transmission de données aux systèmes d'opération du terminal. Cette opération est nécessaire pour assigner la position du TC sur l'écran du transmetteur de données et cela va indiquer la position assignée à l'opérateur du véhicule de transport interne qui peut être soit une remorque ou bien un chariot cavalier.

Maintenant si le conteneur n'a pas été inspecté, elle va être transporté jusqu'à la pile. Sinon, si elle nécessite une inspection; elle sera transportée par camion jusqu'à la zone des douanes, son dépôt sera sur le sol.

Après selon le degré d'inspection, on distingue deux types : non-intrusive et intrusive. Chaque conteneur qui passe par les douanes nécessite tout d'abord une inspection du contenu du conteneur par scanner ou toutes autres technologies ; c'est l'inspection non intrusive, et selon cette inspection deux cheminements sont possibles pour le conteneur :

- ✓ Chargement sur un véhicule de transport interne vers une inspection supplémentaire (inspection intrusive) où le contenu est ouvert afin d'en inspecter le contenu. Si le contenu est légal, le conteneur suit le processus de déchargement, sinon si le contenu est jugé illégal, le contenu est saisi.
- ✓ Chargement sur un véhicule de transport interne vers la pile

Un envoi des instructions de chargement à un vérificateur situé près de la pile, à l'opérateur du véhicule du transport interne (VTI) et à l'opérateur du pont roulant (RTG). Le pont roulant prend le conteneur s'il est accessible et déposé sur le VTI. Si le conteneur n'est pas accessible, des manutentions supplémentaires sont nécessaires pour dégager le conteneur désiré.

Après tout ces opérations, la réception et la livraison des conteneurs par leurs clients se fait soit par les trains et les camions.

Les principaux ports en Algérie

La côte algérienne s'étend sur une longueur de 1200 km parsemée de 10 petits et moyens ports commerciaux. Avec un trafic total de 120 millions de tonnes (en 2019), 63 % de marchandises traitées ont été destinés à l'exportation [12], ce qui montre l'importance des ports comme facteur dynamique de l'économie algérienne.

L'Algérie dispose de plusieurs ports, dont les plus importants sont les suivants :

Le port d'Alger

En raison de son emplacement géostratégique, le port d'Alger dessert plusieurs wilayas du pays. Il bénéficie d'une situation géographique particulière dans le bassin méditerranéen et dans tout le pays, ce qui en fait le principal port commercial de l'Algérie et gère 33% du commerce international algérien.

Le port d'Alger dispose d'une surface totale d'entreposage de **282.000 m²**, représentant **24%** de la surface totale uniformément répartie entre les 3 zones géographique du port et accueillant diverses marchandises :

- ❖ Terre-pleins de **232.000 m²**
- ❖ 12 magasins de **50.000 m²**

Cette capacité permet l'entreposage de 120.000 tonnes de marchandises, alors que le volume moyen débarqué mensuellement est de 800.000 tonnes. [13]

Le port d'Annaba

Cet immense port de marchandises, situé à 80 km de la frontière tunisienne, est très bien abrité et comporte un petit port de plaisance non loin du port de pêche au sud-ouest de l'installation. Il est situé à l'intersection des grands axes routiers et des réseaux ferroviaires, assurant une excellente mobilité.

Les taches de l'entreprise portuaire d'Annaba comprennent les activités suivantes :

- ❖ Gestion du domaine public du port
- ❖ Manutention et acconage
- ❖ Pilotage et remorquage

Le terminal à conteneurs

Le terminal à conteneurs du port d'Annaba a été mis en service au second semestre de 1997 et couvre une superficie d'environ 10 hectares. Il est équipé de toutes les super structures nécessaires à son fonctionnement (administration, hangar de dépotage - empotage) et des équipements de manutention adéquats. D'un linéaire de quai de 480 m et d'un tirant d'eau actuel de 8,5 mètres. [14]

Le port de Bejaia

Le port de Bejaïa est un port algérien, situé dans la ville de Bejaïa dans la région de Kabylie. Il est dédié au commerce international et aux hydrocarbures. En termes d'activités commerciales, il occupe la deuxième place en Algérie. [15]

Le port de Bejaia est composé de plusieurs terminaux on cite :

- ❖ **Terminal à conteneur** : Le terminal à conteneurs est exploité par une nouvelle entité BMT (Bejaia Méditerranéen Terminal) depuis juillet 2005, qui est une joint-venture entre l'entreprise portuaire de Bejaia et Singapore PORTEK.
- ❖ **Terminal à bois** : Le terminal dispose de sa propre surface d'entreposage ainsi que d'un guichet unique. Il est équipé d'équipements performants et très adaptés à ce type de marchandises.
- ❖ **Le terminal pétrolier** : il permet la réception des hydrocarbures avec des matériels spécialisés.

Le port de Djen Djen

Le port de Djen Djen est situé à l'Est de l'Algérie. C'est le dernier port commercial construit en Algérie après l'indépendance et considéré comme le plus important ouvrage portuaire en termes d'espaces et d'eau profonde. Sa capacité est de 4 millions de tonnes EVP. Il est situé à proximité de l'aéroport international de Jijel et de la gare, faisant de la zone un pôle d'échanges multimodal pour le fret et les passagers. Ce port est l'un des plus importants du bassin méditerranéen et d'Afrique. [17]

Il dispose de :

- ❖ Un terminal de fret de 770 mètres de long.
- ❖ Un terminal mixte pour conteneurs et véhicules, d'une capacité de 2 millions de tonnes d'EVP et d'une longueur de 250 mètres.
- ❖ Vraquier et terminal céréalier de 1 060 mètres de long (anciennement aciérie). [18]

Le port d'Oran

Nous allons présenter le port d'Oran dans la section qui se suit.

Section

2

**Section 2 : Présentation de d'entreprise portuaire
d'Oran**

1. Présentation de l’entreprise portuaire d’Oran

L’entreprise Portuaire d’Oran, est une entreprise publique économique, qui gère le port de commerce de la ville d’Oran, sous la tutelle du Groupe Services Portuaires et du Ministère Travaux Publics et des Transport. Elle est considéré comme un port polyvalent, puisque elle traite les conteneurs, les marchandises diverses ainsi que les céréales de tout genre.

✓ **Situation Géographique**

Le port d’Oran s’ouvre sur la rive sud de la méditerranée occidentale. Il est situé : à environ 400 km à l’Ouest de la capitale « Alger », à moins de 200 km des rivages ibériques, à proximité des autoroutes maritimes Est – Ouest, traversant la méditerranée et à proximité des lignes maritimes Nord – Sud.

✓ **Le port en chiffres**

LIBELLE	OBSERVATION
Quais	09
Postes à quai	21-23
Longueur des quais	De 150m à 400m
Tirant d’eau	De 7m à 11m
Accostage sur les quais	Portes conteneurs, Cargo, RO/RO, Vraquier, Pétrolier, Car ferry

Tableau 03 : Le port d’Oran en chiffre

✓ **Lignes maritimes**



Figure 19 : Lignes maritimes du port d’Oran

✓ **Installations portuaires**

VRACS SOLIDES	VRACS LIQUIDES
-01 Silo 30 000 tonnes -01 Silo 10 000 tonnes -04 Portiques de déchargement -06 Ponts bascules -01 Ponts bascule mixte(camion/wagon)	-Installation NAFTAL (hydrocarbure et bitume) -Installation COGO (huile)
ZONES SPECIALISEES	GARE MARITIME
-Marchandises diverses : -Fer, -Bois, -Ciment en vrac, -Divers, -Hangars de stockage -...	-Superficie de 10500 m ² -02 passerelles navire -02 postes d'accostage -08 Scanners bagages

Tableau 04 : Les différentes installations de l'EPO



Figure 20 : Ponts bascules(EPO)



Figure 21 : Silo(EPO)

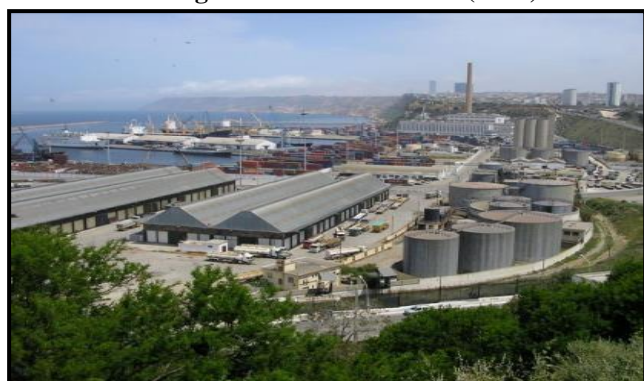


Figure 22 : Installation NAFTAL(EPO)



Figure 23 : Installation COGO(EPO)



Figure 24 : Gare maritime(EPO)



Figure 25 : Scanner de bagages(EPO)

En plus de ces quatre installations, il y'a aussi le nouveau terminal à conteneur.

2. Présentation du nouveau terminal à conteneur d'Oran



Figure 26 : Le port d'Oran avec l'extension

Une des plus importantes opérations de développement du port d'Oran consiste en l'extension du port et la réalisation du nouveau terminal à conteneurs.

- Il s'agit de la création d'un terre-plein de 23.4 ha, dont 16.5 ha gagnés sur la mer.
- Les capacités d'entreposage seront augmentées, passant de 6000 EVP à 15000 EVP.

- L’ouvrage permettra d’obtenir un quai de 460 ml, avec un tirant d’eau de 14 m, propres à traiter des navires de grandes capacités.

En effet, la longueur du quai et le tirant d’eau obtenus conviendront à l’accostage de porte-conteneurs de type Panamax et Post-Panamax.

✓ **Equipement de manutention du terminal à conteneurs :**

Types d’engins	Total
Portiques de quai	03
RTG	07
Cavaliers Gerbeurs	04
Tracteurs RO/RO	18
Stackers	05

Tableau 05 : Equipement de manutention du terminal à conteneurs (EPO)

✓ **Nouvelle liaison autoroutière du port :**

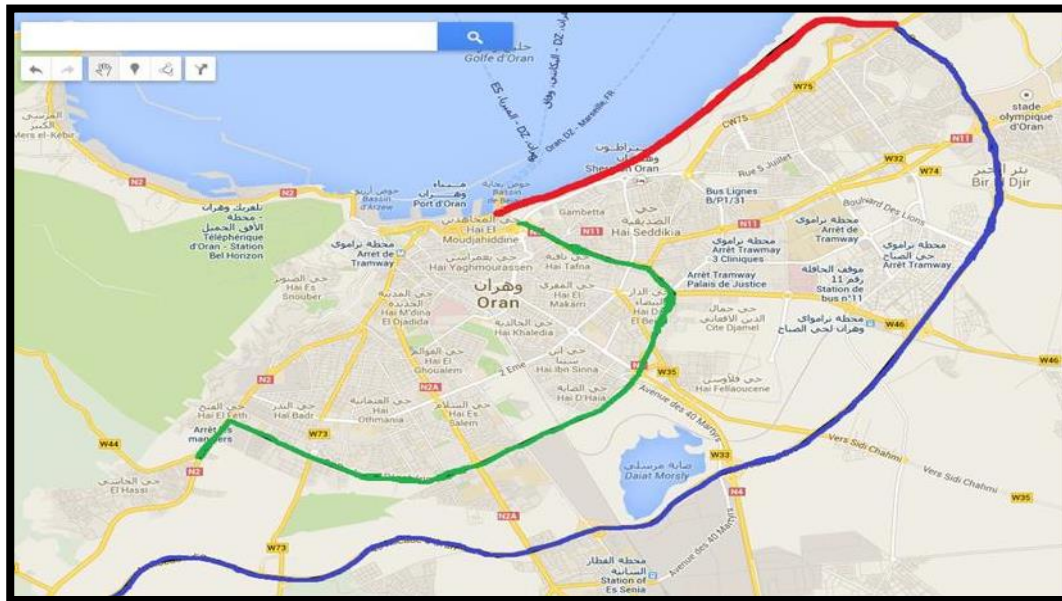


Figure 27 : Nouvelle liaison autoroutière du port(Google Map)

Cette réalisation, dont l’objectif vise la création d’un lien autoroutier efficace, a-t-elle pour double objet, la création d’un second accès au port d’Oran et l’atténuation de la tension

enregistrée sur l'actuel réseau routier du Ravin blanc, notamment par le trafic intense des poids lourds.

En faite ce projet, se répartit en deux tranches :

La première concerne la création d'un tracé neuf long de 8 km, reliant le port au rond-point de **Canastel** et comprenant plusieurs ouvrages d'art, tandis que la seconde, longue de 18 km, est dédiée à la mise à niveau du tronçon reliant la première rocade à l'échangeur de la route nationale 4 (bretelle menant à l'autoroute Est-Ouest).

Conclusion

Les pays algériens ont compris que la transition vers la mondialisation impliquera inévitablement des efforts de modernisation et de modernisation de leurs ports. En conséquence, il a reconnu la nécessité d'investir pour moderniser les installations existantes et a tenté de corriger ce problème en lançant une série d'action et de projets : investir dans des ports professionnels à fonctions régionales, crée des terminaux à conteneurs et réformer la gouvernance portuaire. Cette stratégie est basée sur les perspectives de croissance du trafic.

Chapitre 2

Méthodes et outils d'optimisation

Section 1

Section 1 : Conception des installations

Introduction

Pour qu'une entreprise dispose d'une unité du travail efficace et efficiente, c'est important d'accorder une attention particulière à l'aménagement des installations. Bien que la conception, la planification et l'emplacement des installations aient été officiellement étudiés être cherché comme une discipline depuis le milieu des années 1950, des organisations aussi loin que 4000 BC ont utilisé ces techniques dans la planification de leurs activités et tâches. Par exemple, les Egyptiens, nous sommes surpris de constater que les pyramides sont toutes situées à proximité de Caire, plus loin de la ville, elles sont toutes sur la rive gauche du Nil, et ce n'est pas du hasard, c'est juste que les égyptiens ont choisi une conception et un emplacement pour la direction pyramides basées sur les calculs astrologiques. A Rome, de nombreux incendies surviennent régulièrement, mais celui qui a détruit l'amphithéâtre et plusieurs quartiers était le plus catastrophique. Par conséquent, une forme de plan détaillé a été développé et de gros travaux d'aménagement et de bâtir ont eu lieu pour éviter la même catastrophe. Après des années, la première ligne d'assemblage automatique a eu aussi sa part d'intervention de la conception des installations, une organisation scientifique des espaces et du travail, caractérisée par une réduction d'un nombre d'opérations et du temps effectués dans chaque poste. Cette conception équilibrée entre les postes de production a imposé une augmentation de la cadence de toute la chaîne.

En considérant toutes ces applications à l'époque de conception des installations, on peut bien peser le degré d'importance de telle fonction pour mettre les premiers piliers de base d'une entreprise.

Dans cette première section nous allons présentés tout les concepts relatifs à la conception des installations, les méthodes et les enjeux de cette dernière.

1.1. Notions et définitions

Actuellement, il existe de multiples définitions de Facilities design. Mais nous, on va se concentrer sur la définition la plus courante.

Facilities est un mot anglais qui désigne l'espace où l'activité aura place, alors que **layout** ou **design**, un mot anglais aussi qui exprime la disposition de cet espace qui a un impact important sur la façon dont le travail est réalisé. Autrement dit, c'est l'aménagement et la conception des installations qui ont pour objectif de base d'assurer une circulation fluide des travaux, des matériaux et de l'information entre les opérations globales d'une entreprise.

1.2. Les différents types de projet en Facilities Design (FD)

Les concepteurs des installations sont confrontés à des problèmes d'aménagement d'usine non seulement lors de la création de nouveaux systèmes de fabrication ou de service, mais également lors de l'extension, de l'intégration ou de la modification de systèmes existants. Même les entreprises de fabrication d'anciennes marques doivent modifier leur disposition de service tous les deux ou trois ans, car d'après la « théorie évolutionniste de changement », l'entreprise doit mettre l'accent dans sa stratégie globale sur son aptitude d'adaptation et de flexibilité à son environnement concurrentiel complexe et instable pour garantir sa survie.

La fréquence des changements de disposition a augmenté au cours des trois dernières années, parce que la gamme de produits a changé plus fréquemment que par le passé. Et les clients exigent des changements constants de style et de fonction. Certains types et sources de projets de conception d'installations comprennent :

- **Nouvelle installation :**

C'est de loin le plus intéressant et l'endroit où vous pouvez avoir le plus d'impact à travers le projet de nouvelle usine de fabrication. Il y a des restrictions et des contraintes imposées à un nouveau projet parce qu'il n'est pas nécessaire de se préoccuper des anciennes installations, et c'est l'objectif de notre étude.

- **Nouveau produit :**

L'entreprise réserve un coin de l'usine pour de nouveaux produits. Les nouveaux produits doivent être intégrés dans le reste du processus d'usine, certains équipements communs peuvent être partagés avec les anciens produits.

- **Changements de conception :**

Des changements de conception de produits sont toujours apportés pour améliorer le coût et la qualité du produit. La disposition peut être touchée par ces changements, et le concepteur de l'installation devrait examiner chaque changement de conception. Citons l'exemple d'évolution de conception des conteneurs de l'époque jusqu'à aujourd'hui.

- **Réduction des coûts :**

Le concepteur de l'installation de l'usine pourrait trouver une meilleure disposition, ce qui lui permettrait de produire plus de produits avec moins de travailleurs. D'autres au sein de l'entreprise peuvent proposer des améliorations et des réductions de coûts qui auront une incidence sur l'aménagement. Citons l'exemple d'une disposition optimale des machines d'une unité production qui va servir à minimiser le temps de cycle du produit, et qui dit minimiser le temps veut dire minimiser le coût de production.

- **Réaménagement général (Modernisation) :**

Étant donné que nombreuses anciennes usines sont mal aménagées, les concepteurs d'installations de fabrication plus anciennes peuvent consacrer la majeure partie de leur temps à rendre ces installations plus productives. La procédure de modernisation est la même que pour une nouvelle usine, mais avec plus de restrictions. Ces contraintes comprennent les murs existants, les fosses de plancher, les plafonds bas et tout autre accessoire permanent qui peut constituer un obstacle à l'écoulement efficace des matériaux. [19]

- **Expansion due à la croissance des ventes de produits existants.**
- **Externalisation de la capacité logistique.**
- **Ajout de la technologie d'automatisation.**
- **Élimination des problèmes ou arrêt du produit.**
-

1.3. Les enjeux de Facilities design(FD)

L'aménagement et la conception des installations constituent un élément important des opérations globales d'une entreprise, tant pour maximiser l'efficacité du processus de production que pour répondre aux besoins des employés. L'objectif de base de Facilities design est d'assurer une circulation fluide des produits, des matériaux et de l'information à travers un système.

Mettons l'accent sur quelques principales enjeux et utilités de FD :

- Il est extrêmement important que chaque centimètre d'espace à l'intérieur de l'entreprise soit utilisé correctement. L'espace gaspillé est essentiellement de l'argent gaspillé. Facilities design va garantir l'utilisation correcte de l'espace.
- Les employés à l'intérieur d'une entreprise doivent toujours disposer de l'espace de travail le plus fonctionnel possible. Ils doivent pouvoir se déplacer librement dans tout l'entrepôt, avec un encombrement minimal et un accès pratique, parce que lorsque les employés peuvent accéder rapidement et efficacement à ce dont ils ont besoin, la productivité et le rendement de l'entreprise augmentent. C'est exactement pourquoi la conception des installations est importante.
- Il ne fait aucun doute que l'organisation est la base d'une entreprise efficace et productive. La disposition ordonnée des installations permet d'assurer un fonctionnement fluide et presque sans problème. De plus, Plus de temps à un employé pour avoir accès à quelque chose, plus il gaspille de l'argent.
- Les installations devraient être aménagées de façon à ce que la communication dans divers secteurs de l'entreprise puisse se faire de façon facile et efficace. De même, les espaces de soutiens qui ce sont des installations du support et qui n'ont pas un impact directe avec l'installation principale, mais les prendre en considération va mieux faciliter le travail et assure le confort des travailleurs et donc les employées vont être motivé, comme les espaces verts, parcs, téléphones publics et les sanitaires.

1.4. Facteurs de détermination d'une conception d'installation optimale

Il y a eu un débat sur la caractérisation des problèmes d'aménagement et d'emplacement en tant que conception et des problèmes d'optimisation. **Simon** (1975) suggère qu'un problème de Facilities design est un problème de conception, alors que le problème d'affectation d'emplacement est un problème d'optimisation. En général, les concepteurs ne cherchent pas à trouver la meilleure solution, mais plutôt une solution satisfaisante et cela peut être pire ou aussi bon en termes de critères choisis.

Pour bien prendre en compte les critères qui définissent l'amélioration des conditions de conception des installations, les projets gagnent en jouant sur les facteurs développés dans la perspective de concevoir un milieu mieux appréhender la réalité d'usage.

- Par exemple, la conception physique des bâtiments ou équipements d'un système oblige l'intégration des systèmes de sécurité qui sont un élément important d'un plan de protection des installations et une expérience positive pour les clients, visiteurs et le personnel.
- L'ergonomie en conception aussi réside à mettre en lumière les enjeux humains et sociaux dans un projet définis, par conséquent plusieurs gouvernements accorde une attention particulière à la « conception pour tous » (ergonomie universelle) puisque la compréhension des interactions entre les humains, va bien aider à l'amélioration de bien-être des personnes.
- La performance globale des systèmes est aussi affectée par l'éclairage et la ventilation des zones de travail.
- La qualité des matériaux et la disponibilité des équipements utilisés vont bien influencer la productivité du système.
- L'utilisation efficace de l'espace du travail afin d'avoir un système plus ou moins flexible ou adaptable au type d'activité
- L'élimination des goulots dans le cas de production pour que la matière première et les produits semi-finis se déplacent rapidement d'un poste à autres
- Eviter les investissements inutiles des capitaux.
- La contribution à une utilisation efficace de la main-œuvre, et une satisfaction générale à toutes les personnes concernées.

- Essayer de minimiser et contrôler de façon efficace la manutention du matériel et le transport interne d'une exploitation.
- Prévoir l'espace pour l'expansion future de l'installation.

1.5. Outils de Facilities design

Avant la prolifération des ordinateurs et des logiciels de conception assistée par ordinateur (CAO) connexes, les analystes produisaient des conceptions de disposition complètes en utilisant uniquement des outils tels que des modèles et des dessins manuels. En déplaçant et en repositionnant les modèles. Pour cela de nombreux outils sont disponibles pour élaborer et présenter des plans d'aménagement. Parmi ces outils nous citons :

1.5.1. Dessins

Les dessins peuvent être générés manuellement ou à partir d'un fichier CAD (Computed-Aided Design) sur un traceur ou une imprimante. Aujourd'hui, avec l'utilisation accrue des ordinateurs et des logiciels, les dessins manuels deviennent obsolètes parce qu'ils prennent trop de temps à produire et doivent être redessinés chaque fois que des modifications sont apportées à la disposition. Généralement, de nombreuses modifications sont apportées avant que la conception finale ne soit atteinte, de sorte que les dessins manuels des plans de disposition ne sont pas préférés.

1.5.2. Modèles

Comme les dessins, les modèles peuvent être générés manuellement (à partir de carton, de plastique rigide, de tôle, de bois et de papier) ou à partir d'un ordinateur. Des modèles commerciaux de machines de différentes tailles et formes sont également disponibles. Les gabarits sont généralement placés sur un panneau de base (également en carton ou autre matériau léger) pour indiquer les positions des machines, des postes de travail et d'autres équipements auxiliaires

1.5.3. Modèle physiques tridimensionnels

Ces modèles sont des versions 3 dimensions (3D). Également disponibles dans le commerce sous diverses formes, tailles et matériaux, les modèles physiques fournissent des informations

visuelles supplémentaires qui sont utiles dans certaines circonstances. Par exemple, lors du transport de pièces et de matériaux via un pont roulant, les modèles aident les analystes à visualiser les voies de transport entre les machines. Étant donné qu'il n'est généralement pas possible de transporter des pièces sur des équipements de grande hauteur tels que des presses à poinçonner verticales et des moulins verticaux, les analystes doivent savoir quels chemins sont réalisables et lesquels ne le sont pas.

1.5.4. Outils logiciels

Les outils logiciels informatiques sont les plus efficaces pour préparer et présenter les plans d'aménagement. Les systèmes de conception assistée par ordinateur (CAO) sont des systèmes informatiques composés d'un système d'exploitation (y compris un logiciel d'application, un utilitaire graphique et des pilotes de périphériques), d'une base de données modèle et de dispositifs d'entrée/sortie. L'utilisateur interagit avec le système de CAO via une interface pour développer des dessins informatiques ou des modèles de divers objets, de différentes tailles. Les exemples comprennent les pièces fabriquées, la disposition et la conception de circuits imprimés, la disposition architecturale d'un bâtiment, d'un théâtre, d'un barrage ou d'autres grandes constructions, et les conceptions artistiques.

Les systèmes CAD permettent aux utilisateurs de créer des dessins 2D et 3D. Ils ont gagné en popularité en raison de la vitesse améliorée et des capacités de mémoire des ordinateurs et de la disponibilité des logiciels de CAO 2D et 3D. Leur principal avantage est la rapidité avec laquelle nous pouvons ajouter, supprimer et modifier des dessins et en générer de nouveaux. Ils nous permettent également de zoomer sur des zones sélectionnées et d'obtenir une vue détaillée du dessus, vue latérale ou vue transversale d'une installation. Bien que la plupart des outils de CAO soient utilisés pour concevoir et dessiner des pièces, beaucoup peuvent également être utilisés pour développer [19].

1.6. Méthodes et Algorithmes

Un algorithme est une procédure étape par étape qui trouve une solution à un modèle, et donc au problème, dans un nombre fini d'étapes.

Les premiers efforts pour résoudre le problème de Facilities design ont consisté à utiliser des organigrammes, des organigrammes de processus et l'expérience et les connaissances de l'analyste d'installation. D'autres méthodes ont utilisé le tableau des relations pour déterminer la disposition. L'organigramme des relations a servi de base au développement de la technique de planification systématique de l'aménagement (SLP).

SLP qui a été l'une des premières tentatives systématiques pour résoudre le problème de conception des installations, puis des progrès substantiels ont été réalisés dans la résolution du problème d'aménagement. Un certain nombre d'algorithmes ont été proposés et peuvent être classés comme suit :

- Algorithmes optimaux comme l'algorithme de recuit simulé.
- Algorithmes heuristiques comme la méthode du plus proche voisin pour le problème du voyageur de commerce.

Tous les algorithmes optimaux développés pour le problème de Facilities design nécessitent une mémoire et un temps de calcul extrêmement élevés, il n'est donc pas surprenant qu'il existe beaucoup plus d'algorithmes heuristiques pour résoudre le problème de conception des installations que d'algorithmes optimaux.

Les algorithmes heuristiques peuvent être divisés en trois classes :

1. Algorithmes de construction.
2. Algorithmes d'amélioration.
3. Algorithme hybrides

1.6.1. Algorithmes de construction

Les algorithmes de construction génèrent une disposition de l'installation à partir de zéro. En commençant par une conception vide, ils ajoutent un département (ou un ensemble de départements) à tour de rôle jusqu'à ce qu'ils soient tous inclus dans la conception.

1.6.1.1. Algorithme MST (Modified Spanning Tree)

Cette algorithmme gère le problème de disposition d'une seule rangée qui consiste à déterminer l'emplacement optimal des départements le long d'une rangée linéaire afin de minimiser le coût total du transfert de matériel entre chaque paire de départements. Elle est très similaire à l'algorithme de l'arbre de recouvrement. L'algorithme MST tente de trouver un arbre qui couvre tous les sommets et minimise ou maximise la somme des poids des arêtes.

Les étapes de l'algorithme sont données comme suit :

• **Étape 01:**

- Étant donné la matrice de flux $[f_{ij}]$, la matrice de clearance $[d_{ij}]$ et longueurs de machine l_i ,
- calculer la matrice de poids d'adjacence où:

$$f'_{ij} = (f_{ij})(d_{ij} + 0.5(l_i + l_j)).$$

• **Étape 02:**

- Trouvez le plus grand élément de $[f'_{ij}]$ et les i, j correspondants. Désignons cette paire de i, j par i^*, j^* .
- Connectez les machines i^*, j^* .
- Définir $f'_{i^*j^*} = f'_{i^*i^*} = -\text{infinity}$

• **Étape 03 :**

- Trouver le plus grand élément f'_{i^*k}, f'_{j^*l} de la ligne i^*, j^* de la matrice
- Si $f'_{i^*k} > f'_{j^*l}$ connecter k à i^* , supprimer la ligne i^* , colonne i^* à partir de la matrice et définissez $i^* = k$.
- Sinon, connectez l à j^* , supprimez la ligne j^* , la colonne j^* de la matrice et définissez $j^* = l$.
- Définir $f'_{i^*j^*} = f'_{i^*i^*} = -\text{infinity}$

• **Étape 04:**

- Répétez l'étape 3 jusqu'à ce que toutes les machines soient connectées. La séquence des machines obtenue détermine la disposition des machines.

1.6.1.2. Graph Theoretic Method (Méthode Théorique des Graphes)

L'approche de la théorie des graphes détermine quels départements doivent être adjacents afin de maximiser la somme des profits. Elle identifie une graphique plane maximale dans lequel la somme des poids est maximisée. Le poids d'un arc entre deux nœuds correspond au degré d'interaction entre eux.

La plupart des méthodes de théorie des graphes visent à maximiser la somme des poids des départements adjacents. Le poids des départements non adjacents est totalement ignoré.

Les étapes de l'algorithme sont décrites ci-dessous :

- **Etape 01:**
 - Identifiez la paire de départements dans la matrice de flux avec le flux maximal.
 - Placez les nœuds correspondants dans un nouveau PAG et connectez-les.

- **Etape 02:**
 - A partir des lignes correspondant aux nœuds connectés dans la matrice de flux, sélectionnez le nœud qui n'est pas encore dans le PAG et qui a les plus gros flux avec les nœuds connectés.

- **Etape 03 :**
 - Mettez à jour le PAG en connectant le nœud sélectionné à ceux de l'étape 2. Cela forme une face triangulaire dans le PAG.

- **Etape 04:**
 - Pour chaque colonne de la matrice de flux correspondant à un nœud non présent dans le PAG, examinez la somme des entrées de flux dans les lignes correspondant aux nœuds de la face triangulaire sélectionnée à l'étape 3.
 - Sélectionnez la colonne pour laquelle cette somme est le plus large.
 - Mettez à jour PAG en plaçant le nœud correspondant dans la face sélectionnée et connectez-le aux nœuds de la face. Cela forme trois nouvelles faces triangulaires.

- **Etape 05 :**
 - Sélectionnez arbitrairement l'une des faces formées et passez à l'étape 4.
 - Répétez l'étape 5 jusqu'à ce que tous les nœuds aient été inclus dans le PAG.

1.6.2. Algorithmes d'amélioration

Les algorithmes d'amélioration sont très simples, faciles à comprendre et à mettre en œuvre. Parce qu'ils produisent des solutions raisonnablement bonnes. Ces algorithmes ont également été appliqués pour résoudre les problèmes d'ordonnement, les problèmes de partition de graphes, et d'autres problèmes de combinaison complexes difficiles à résoudre de manière optimale. En fait, les algorithmes **2-opt** et **3-opt** ont d'abord été utilisés pour résoudre le problème du voyageur de commerce.

Comme leur nom l'indique, les algorithmes d'amélioration améliorent une solution de départ fournie par l'utilisateur, qui doit être réalisable. Ils modifient systématiquement la solution initiale et évaluent la solution modifiée qui en résulte. Si elle est meilleure, la modification est rendue permanente. Sinon, la modification systématique se poursuit jusqu'à ce qu'il ne soit plus possible de produire de meilleures solutions.

1.6.3 Algorithmes hybrides

Les algorithmes utilisant deux ou plusieurs types de techniques de solution existent et sont connus sous le nom d'algorithmes hybrides ou d'algorithmes composites. Les algorithmes qui ont les caractéristiques d'algorithmes optimaux et heuristiques ont également été placés dans la catégorie des algorithmes hybrides. Citons comme exemple l'algorithme **Modified Penalty Algorithm**.

1.7. La conception des installations au sein des terminaux à conteneurs

La performance des terminaux à conteneurs est largement déterminée par des décisions de conception et d'exploitation, et qui inclut :

- le nombre, la technologie et le type d'équipements de manutention utilisés comme les grues de quai et les véhicules de transport.
- le plan de circulation de ces véhicules.
- la disposition des différentes zones et sous zones du terminal
- la disposition du terminal lui-même, et la disposition de la cheminée.
- D'autres facteurs qui sont opérationnels comprennent les politiques d'entreposage des conteneurs dans les blocs et les véhicule affectés pour leurs chargements et déchargements.

La conception du terminal est complexe car elle dépend des facteurs comme :

- les contraintes topologiques de la trajectoire du véhicule.
- les interactions stochastiques entre le quai.
- le transport des véhicules.

- les opérations de la disposition de la pile (perpendiculaire ou parallèle au quai), tel que certains terminaux comme le terminal à (Pusan, Corée) est orienté parallèlement aux blocs de cheminés, d'autres comme le terminal (ECT Delta en Rotterdam), est orienté perpendiculairement de la pile du bloc, ces décisions sont relatifs aux raisons de sécurité, selon la mesure du rendement d'intérêt et le système de manutention utilisé. Tel que les RTG sont préférables pour les systèmes de cheminées parallèles, tandis que les RMG sont préférables pour la disposition perpendiculaire.

Toutes ces considérations jouent un rôle important dans le rendement des terminaux à conteneurs.

Section

2

Section 2 : Problèmes de gestion des conteneurs

Introduction

De nombreuses recherches ont montré la grande importance de la planification et d'optimisation dans les terminaux à conteneurs dans l'importation.

En effet, pour l'amélioration de l'efficacité des opérations portuaires, il est primordial d'identifier et résoudre une série de problème d'optimisation comme le problème de stockage des conteneurs, le problème d'allocation des conteneurs et le problème des mouvements improductifs. Tout cela pour l'objectif de maximiser l'espace utilisé d'une façon optimale et l'efficacité du terminal.

2.1. Le problème de stockage de conteneurs

La zone de stockage est la section du terminal où sont stockés les conteneurs, qui doivent être transportés du navire au lieu de stockage (importation), ainsi qu'au lieu de stockage vers les navires (exportation). La plupart des terminaux sont conçus pour mieux gérer la capacité limitée de leur terrain. Il est donc impératif de mieux utiliser ses ressources et de bien gérer son espace de stockage.

2.1.1. Définition de PSC

À chaque port, le conteneur est déchargé du navire et chargé dans le terminal pour être livré au client. En effet, il est nécessaire de trouver la meilleure position du conteneur en position vide presque en temps réel afin d'être efficacement chargé sur un camion ou un train. D'une manière générale, la détermination de l'emplacement doit être effectuée de manière à ce que lorsque des personnes souhaitent rapprocher un conteneur éloigné ou ramasser un conteneur situé en dessous d'autres conteneurs, le nombre de mouvements parasites ou improductifs pouvant se produire soit minimisé, au moment de son départ pour être chargé sur train ou camion associé. [19]

Le PSC appartient à la catégorie des problèmes NP-difficiles et NP-complets.

La majorité des travaux qui ont traité ce problème ont utilisé des modèles mathématiques et stochastiques. Mais, pour des problèmes complexes et de grandes tailles, il est plus avantageux d'adapter des méta-heuristiques, permettant de générer de bonnes solutions dans un délai tolérable.

2.1.2. La configuration de la cour de stockage

A terminal à conteneurs, l'espace de stockage se compose de plusieurs blocs. Cependant, la configuration du bloc diffère selon le moyen de manutention de stockage utilisé.

Il existe deux configurations principales :

Le modèle compact : adapté aux terminaux à conteneurs qui utilisent des grues de cour. En effet, dans ce modèle, aucun espace de séparation n'est prévu entre les piles adjacentes. Par conséquent, ce bloc se compose de plusieurs rangées collées les unes aux autres. Chaque rangée est composée de plusieurs travées qui contiennent à leurs tours des piles.

La disposition de ces blocs par rapport aux quais dépend de la nature des grues de cour utilisées. Pour les terminaux à conteneurs qui utilisent des grues non automatisées (RTGC), ces blocs sont disposés parallèlement aux quais. Dans chaque (RTGC), il y a une rangée appelée voies réservées aux camions dédiée à la circulation des véhicules de transfert. De ce fait, ces véhicules circulent dans ces espaces et se garent devant les places de stationnement. Par conséquent, les grues se déplacent vers leur emplacement pour effectuer le chargement ou le déchargement.

La figure 26 illustre le concept.

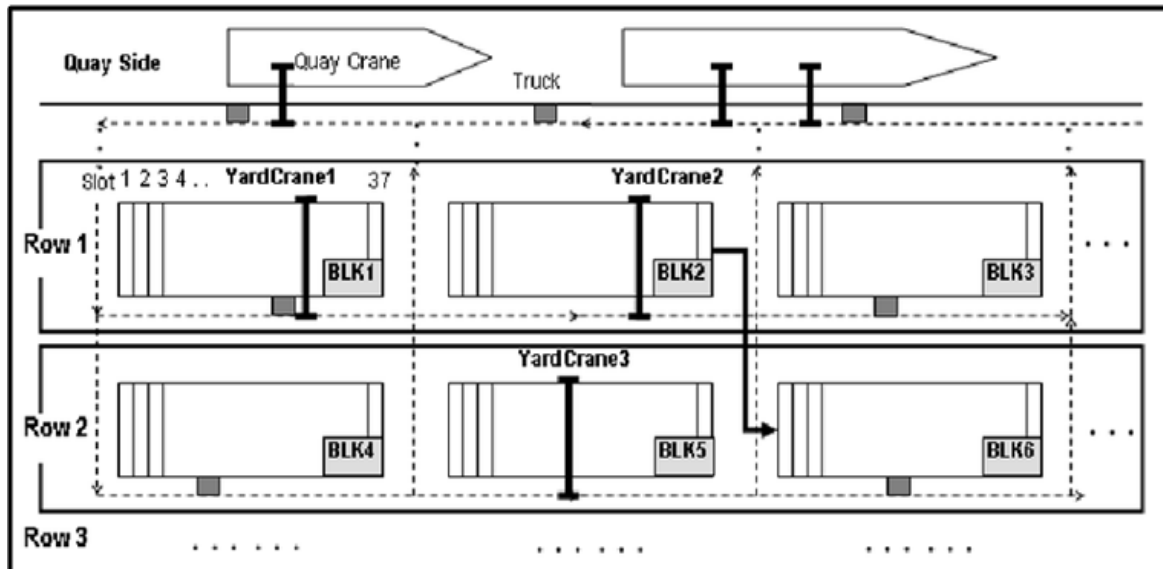


Figure 28 : Terminal qui utilise des RTGCs

Pour les terminaux à conteneurs qui utilisent des grues à quai automatisé (RMGC), les blocs de stockage sont perpendiculaires aux quais. L'échange entre les véhicules de transfert et le RMGC s'effectue dans deux zones d'échange spéciales situées de part et d'autre de la cour. Celle qui est devant le quai est le lieu interactif entre l'AGV et le RMGC. L'échange entre le camion externe et le RMGC se fait de l'autre côté.

Un représentant de ce type de terminal à conteneurs est illustré dans la figure 27.

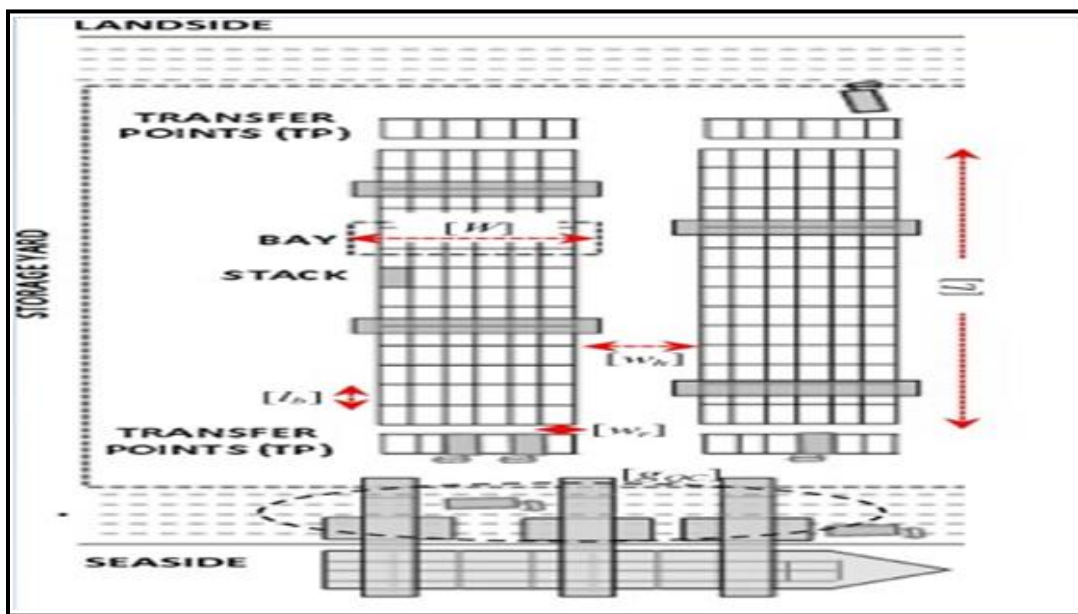


Figure 29 : Terminal qui utilise des RMGCs

Le modèle linéaire : trouvé dans les terminaux à conteneurs utilisant des cavaliers gerbeurs. Dans ce cas, les blocs de stockage sont formés de rangées non collées les unes aux autres. Il y a un petit espace entre eux, et les roues du gerbeur circulent à travers ces espaces. Chaque rangée se compose de plusieurs piles. (On peut mettre les rangées parallèles aux quais ou orthogonaux).

La figure 28 est un diagramme schématique pour ce modèle.

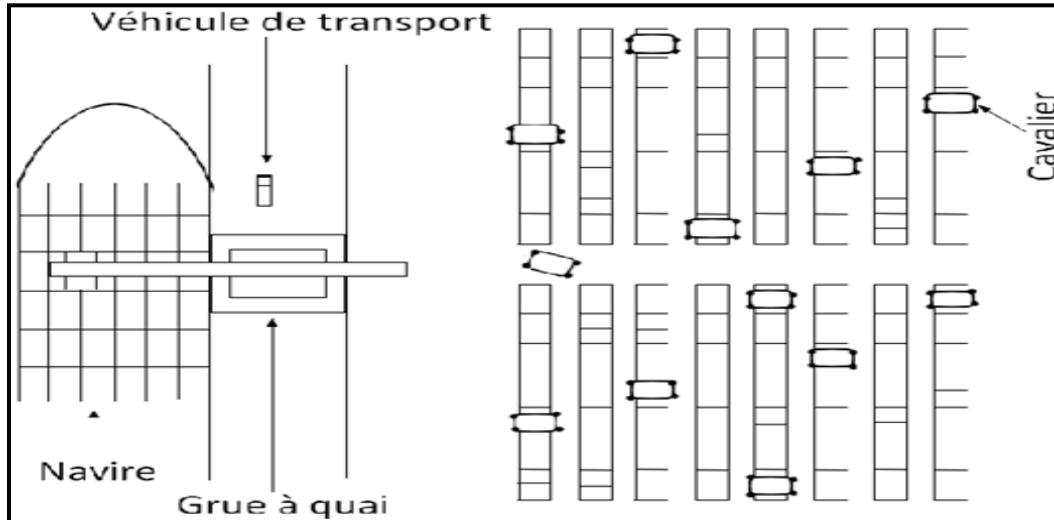


Figure 30 : Terminal qui utilise le Cavalier Gerbeur

Pour chacune de ces différentes configurations, les nombres de blocs, de rangées, de travées, et de piles peuvent avoir une influence sur le rendement du terminal.

2.1.3. Les différentes stratégies de stockage :

L'un des avantages de l'utilisation de conteneurs est qu'ils peuvent être empilés ensemble. Mais, cet atout peut provoquer un remaniement. En effet, cette opération est notamment réalisée lors de l'extraction du conteneur en fond de pile. Pour cette raison, chaque terminal à conteneurs doit adopter une stratégie de stockage appropriée. Les différentes méthodes de stockage dans la littérature peuvent être divisées en quatre catégories.

2.1.3.1. Ségrégation et Non-Ségrégation

Le stockage avec ségrégation implique la séparation entre les conteneurs d'exportation et les conteneurs d'importation. Grâce au stockage séparé, des zones de stockage sont pré attribuées pour déterminer quels emplacements sont réservés aux conteneurs d'importation et quels emplacements sont réservés aux conteneurs d'exportation.

Cette répartition peut se faire de trois manières :

- La première méthode consiste à conserver chaque bloc pour une utilisation dans des conteneurs importés ou pour des conteneurs exportés.
- La seconde divise la rangée de chaque bloc en deux parties, ainsi chaque moitié est réservée à l'un des deux types de conteneurs.
- La troisième méthode est presque similaire à la deuxième méthode. La seule différence est que la division se fait en rangée. L'isolement peut même être subdivisé en espace réservé à un type de conteneur.

Par contre, la méthode de non-ségrégation ne distingue pas la catégorie du conteneur. Par conséquent, les conteneurs peuvent être empilés quelle que soit la destination.

2.1.3.2. Groupage et dispersion

En utilisant la méthode de stockage groupé, des emplacements adjacents sont attribués à chaque groupe de conteneurs ayant les mêmes caractéristiques (destination, taille, contenu, etc.). Les conteneurs appartenant au même groupe doivent être interchangeables, afin qu'ils puissent être empilés de n'importe quelle manière sans se soucier de leur date de départ. La méthode de stockage en pile est principalement utilisée dans les terminaux à conteneurs utilisant le RTGC pour minimiser le nombre de grues utilisées dans la cour de gerbage.

Il existe deux façons de réserver les emplacements pour cette stratégie.

- Unité pile : Elle réserve d'abord une pile vide pour chaque groupe de conteneurs, puis attribue une nouvelle pile vide à chaque fois qu'un groupe de conteneurs est plein.
- Unité travée : dès le départ, elle réserve une travée complète pour chaque type de conteneur.

Contrairement à cette technique, la méthode de stockage dispersé ne cherche pas à regrouper les conteneurs. Ceux-ci sont stockés indépendamment les uns des autres. La méthode aléatoire ne considérant pas toutes les informations liées au conteneur et à la pile, elle n'offre aucune garantie sur la qualité de la solution qu'elle apporte.

2.1.3.3. Stockage direct et stockage indirect

Dans la plupart des terminaux portuaires, les conteneurs sont placés directement dans la cour, où ils y resteront jusqu'à leur départ.

En revanche, dans le cas d'un stockage indirect, le conteneur est d'abord placé dans la zone de déploiement avant d'être transféré vers la zone de stockage. Ce procédé a pour but de réduire le temps d'attente des camions externes transportant des conteneurs, et d'accélérer l'activité des grues de chantier en séparant la période de stockage et la période d'extraction.

2.1.3.4. Priorité aux déchargements et aux chargements

La méthode de stockage qui priorise le déchargement des conteneurs vise à maximiser les performances de toutes les activités liées aux opérations de stockage. La méthode de stockage par niveau en est un exemple. Il stocke les conteneurs hiérarchiquement afin qu'ils occupent tout l'espace au sol avant d'empiler les conteneurs.

Par contre, la méthode de stockage qui priorise les chargements de conteneurs ont pour but de maximiser le rendement des opérations de retrait. C'est le cas de la méthode qui stocke les conteneurs suivant l'ordre décroissant de leurs dates de départ.

2.2. Le problème des mouvements non productifs.

Dans les opérations du terminal à conteneurs, la cour de stockage (sous zones avant visite et après visite) joue un rôle vital dans les opérations. Parce que le traitement d'un conteneur trouve sa place au milieu de ces deux sous zones. Par conséquent, un empilage bien structuré et planifié des conteneurs facilite leurs chargements et déchargement lors de traitement. Pour cela, les exploitants des terminaux qui doivent accroître leur productivité terrestre en empilant des conteneurs encore plus élevés dans la cour, une conséquence majeure serait un plus grand nombre de mouvements improductifs pris dans l'exploitation du terminal.

Les opérateurs du terminal sont intéressés au stockage des conteneurs tout en assurant la minimisation de nombre des mouvements non productifs des conteneurs dans les blocs.

2.2.1. Les mouvement improductifs dans la cour de stockage :

Le terminal en tant qu'un système, comprend une série des opérations de manutention de conteneur interdépendantes. Le mouvement d'un conteneur comprend l'exploitation du navire, les opérations de transbordement de quai, le système de stockage, et ainsi de suite. Et comme nous avons dit ci-dessus la zone de stockage c'est elle qui contient la majorité de mouvements.

Les mouvements non-productifs sont présents beaucoup, ce sont des mouvements indésirables et qui forcément entraînent une perte en fonction du temps ce qu'il va entraîner une augmentation dans le temps de séjour d'un conteneur dans le terminal.

Ce type de mouvement jusqu'au aujourd'hui n'a pas pu être éliminé d'une façon globale dans les terminaux mondiales, la seule solution pour l'élimination c'est d'empiler les conteneurs sur un seule niveau (sous sol) et ce qui est impossible, puisque l'objectif de n'importe terminal est de maximiser sa capacité dynamique de stockage. Par contre, les grands terminaux ont réussi à minimiser ces mouvements en appliquant multiples techniques et structures d'organisations, et c'est ce que nous allons étudier dans notre chapitre 4.

2.2.2. Procédures pour minimiser les mouvements improductifs :

Dans le processus de planification du tri de conteneurs et de la stratégie de stockage, plusieurs procédures peuvent être prises en considération afin de bien organiser la cour de stockage et donc réduire les mouvements improductifs. Expliquons quelques procédures ci-dessous :

- Lorsque les contenants d'importation sont reçus, l'entreposage doit être planifié en fonction de leur « statut » et de leur lieu d'entreposage attribué. Par exemple, il y a plusieurs éléments dans l'information sur les conteneurs qui doivent être pris en compte dans la planification de l'entreposage comme la taille de conteneur.
- Les boîtes à décharger de navire-A ne doivent pas être mélangées avec le navire-B. et cela va faciliter leur traitement selon le temps de départ.
- Les conteneurs d'importation prévus ne peuvent normalement pas être livrés immédiatement avant de passer par le traitement d'inspection.
- Le travail d'empilage des conteneurs d'importation consiste à acquérir une capacité de stockage suffisante avant l'opération de décharge commence.

Conclusion :

La révolution organisationnelle et spatiale qu'entraîne le transport conteneurisé a cependant radicalement changé le sens du paradigme flux dans le domaine portuaire. Une logique de conception des zones du terminal d'une manière optimale est s'agrandit son champ de compétition avec les autres terminaux du monde. Marquant le point assurant de la valorisation des infrastructures portuaires la prise en compte des considérations environnementales dans l'aménagement portuaire ainsi que la planification et l'optimisation des opérations portuaires.

L'avenir des ports dépend en fait des nouveaux rapports qui s'établissent entre ses deux points au sein de la place portuaire.

Chapitre 3

Conception des installations (Etude pratique)

Introduction

Les ports dans nos jours sont le cœur de la logistique maritime. Cependant, grâce à la reprise de l'économie mondiale en 2017, le trafic maritime mondial a eu une croissance de marchandises conteneurisées. Par conséquent, il est bien porté par les différents ports mondiaux d'évoluer des modèles de développement de la chaîne de valeur mondiale et d'augmenter leurs capacités de conteneurisation, et donc d'augmenter la capacité de leurs terminaux à conteneur en développant leurs infrastructures portuaires (**voir page 21**).

De ce fait, l'Algérie a aussi participé à cette modernisation par l'investissement dans ces ports, et en adaptant une nouvelle stratégie qui se présente dans les nouveaux terminaux à conteneurs. Parmi ces terminaux nous mettons l'accent sur le terminal de l'entreprise portuaire d'Oran.

Dans ce chapitre, nous s'intéressons à définir en premier stade notre première problématique, que nous avons confronté à notre site de stage de projet de fin d'étude, ainsi que notre cahier de charges que nous devons respecter. Ensuite, nous présentons les méthodes et techniques utilisés dans la résolution. Et à la fin les résultats trouvés avec l'interprétation et les solutions proposées.

3.1. Problématique

Les années passées l'entreprise portuaire d'Oran (EPO) a connu une augmentation de volume du trafic maritime traité. Cependant, l'ancienne infrastructure ne permet pas de répondre à cette demande, puisque les différentes opérations portuaires ont été faites dans des emplacements hasard et anarchique, les conteneurs ont été manipulé et manutentionné en fournissant une atmosphère non-organisationnelle qui contribue à un sévère encombrement dans la circulation des conteneurs et d'équipements de manutentions. Pour faire face à ce problème, les responsables ont décidé de lancer un projet d'extension qui est consacré à la création d'un nouveau terminal à conteneurs. Ce projet est lancé en 2014, et il est en cour de réalisation.

La réception de cet important projet, va procéder dans une première étape au traitement de 500 000 conteneurs par an d'une façon optimale dans le cas d'amélioration de services fournis entre les zones portuaires, pour ce fait, nous appuyant nos études sur ces besoins pour répondre aux exigences de l'entreprise.

3.2. Objectifs du travail

Le projet d'extension et de réalisation du nouveau terminal d'Oran atteint une superficie totale d'environ 24.3 ha, et permet dans un premier temps le traitement de 500 000 conteneurs par an, cependant l'ancienne conception du port procède un traitement de 300 000 conteneurs par an.

Afin de répondre à l'exigence de l'entreprise, notre étude a pour objectifs de :

- ✓ Prévoir le flux des conteneurs circulant entre les zones et sous-zones du terminal pour 500 000 conteneurs.
- ✓ Etudier les zones et sous-zones du terminal.
- ✓ Diminuer l'encombrement entre zones, et sous-zones du terminal.
- ✓ Faire une bonne étude de conception de zonage et sous-zonages du terminal en faisant recours au Facilities Layout.
- ✓ Calculer le nombre optimal des équipements de manutention entre la zone portuaire et zone de stockage.

3.3. Méthodes, techniques et logiciels utilisés

Nous mettons l'accent dans ce titre sur la méthode SLP, Theoretic Graph Method, la technique de calcul des capacités statiques et dynamiques d'un terminal et le logiciel : **VIP-PLANOPT**

La méthode SLP

Systematic Layout Planing (SLP) que nous traduirons Procédure Rationnelle de Préparation de l'Implantation, a été développé en 1961 par **Muther**. Une attention est accordée à cette méthode par les spécialistes grâce à son importance dans Facilities Layout. Cette approche permette une analyse qualitative du problème d'installation. De plus elle prend en considération toutes les contraintes logistique et non-logistiques dans les opérations de l'installation.

La méthode SLP est définie par les étapes suivantes :

1. L'analyse produit-quantité :

Identification de produits du système, leurs types et quantités.

2. Analyse des flux :

Analyser le flux de matière par un diagramme de processus.

3. From to Chart :

C'est une matrice qui illustre les données quantitatives sur le flux de matière entre différentes paires de zones.

4. Activity Relationship Chart :

C'est un diagramme qui représente les relations d'activités entre les zones et qui affiche la cote de proximité entre eux.

En principe, six notes de proximité sont souvent utilisées : A, E, I, O, U et X.

Code	Description	Pourcentage	Couleur
A	Absolument nécessaire	2-5%	Rouge
E	Particulièrement important	3-10%	Orange ou jaune
I	Important	5-15%	Vert
O	Ordinaire	10-25%	Bleu
U	Sans importance	25-60%	Non-coloré
X	Indésirable	dépendant	Marron

Tableau 06 : Note de proximité de ARC

- **La méthode Graph Theoretic :**

L'approche théorique des graphes détermine les paires de départements qui doivent être adjacents ainsi que la somme des profits est maximisée. Elle identifie une graphique planaire maximale dans lequel la somme des poids est maximisée. Le poids d'un arc entre deux nœuds correspond au niveau de l'interaction entre eux. La pondération représente la valeur assignée au code de relation entre les paires de nœuds (départements) connectées par un arc.

Si les interactions sont fournies sous forme de matrice de flux de matières, nous pouvons utiliser les valeurs de flux de matières comme poids.

- **La technique de calcul des capacités statiques et dynamiques d'un terminal :**

La capacité de traitement d'un terminal à conteneurs se détermine par sa capacité «parc» et sa capacité «quai».

1. La capacité statique du parc(CSP) :

Correspond à la capacité de stockage maximale de conteneurs. Elle dépend de la configuration de la zone, des moyens de manutentions utilisés et de la hauteur de gerbage (hauteur de stockage). Suivant ces trois paramètres une même surface a une capacité qui peut varier, en pratique, du simple au double.

$$CSP = Nb \text{ ground slot} * \text{hauteur de stockage}$$

ground slot : emplacement au sol d'un conteneur, s'exprime en EVP.

2. La capacité dynamique du parc (CDP) :

Correspond à la capacité de stockage statique pondérée par le temps moyen de séjour des conteneurs sur le parc, par un coefficient de «surcharge d'activité» et par un coefficient de «souplesse opérationnelle» de 85% (au delà de 85% de remplissage sur le parc, la productivité baisse sensiblement).

La surcharge d'activité correspond au cumul d'arrivées de navires qui vont traiter un grand nombre de conteneurs, ils vont générer un «pic» dans la densité de stockage du parc. Il est commun de prendre un coefficient de surcharge d'activité de 1,2.

La capacité dynamique du parc CDP s'exprime en EVP/an et se calcule de la façon suivante :

$$CDP = \frac{CSP * 365 * \text{coef de souplesse opérationnelle}}{\text{Temps de séjour} * \text{coef de surcharge opérationnelle}}$$

3. La capacité du quai (CQ):

La capacité d'un quai dépend : du nombre et de la productivité des portiques, de l'occupation des quais, de la taille des navires, des «pics» de manutention en fonction du nombre d'escales.

La capacité du quai CQ s'exprime en evp/an et se calcule de la façon suivante :

$$CQ = \text{Productivité moyenne des portiques} * \text{Nb d'heure possible} \\ * \text{Nb de portique} * \text{ration } 40'/20'$$

Avec : Le ratio 40'/20' pour la plupart des terminaux est de 1,5.

- **Le logiciel VIP-PLANOPT**

PLANOPT (floor-**PLAN** layout **OPT**imization) représente un outil efficace et un puissant logiciel d'optimisation générale de l'aménagement des installations pour les ingénieurs, les planificateurs industriels, les concepteurs d'installations et les architectes. Bien qu'il dispose d'une foule de capacités pour résoudre les problèmes réels de conception de l'aménagement des installations industrielles, il est un excellent outil pédagogique dans la conception de l'aménagement des installations. Chaque unité d'installation est représentée par un rectangle appelé « module », tel que ce dernier possède des caractéristiques que l'utilisateur peut les modifier selon ses besoins.

Section

1

Section 1 : Etude de la conception des zones du terminal

1.1. Layout actuel

Le nouveau terminal à conteneur d'Oran atteint une superficie totale d'environ 23,4 ha avec un quai d'accostage de 460 mètres de long et de 14 mètres de tirant d'eau conformément aux normes internationales. Les travaux de terrassement sont en cours pour l'achèvement comme le montre les figures-ci-dessous.

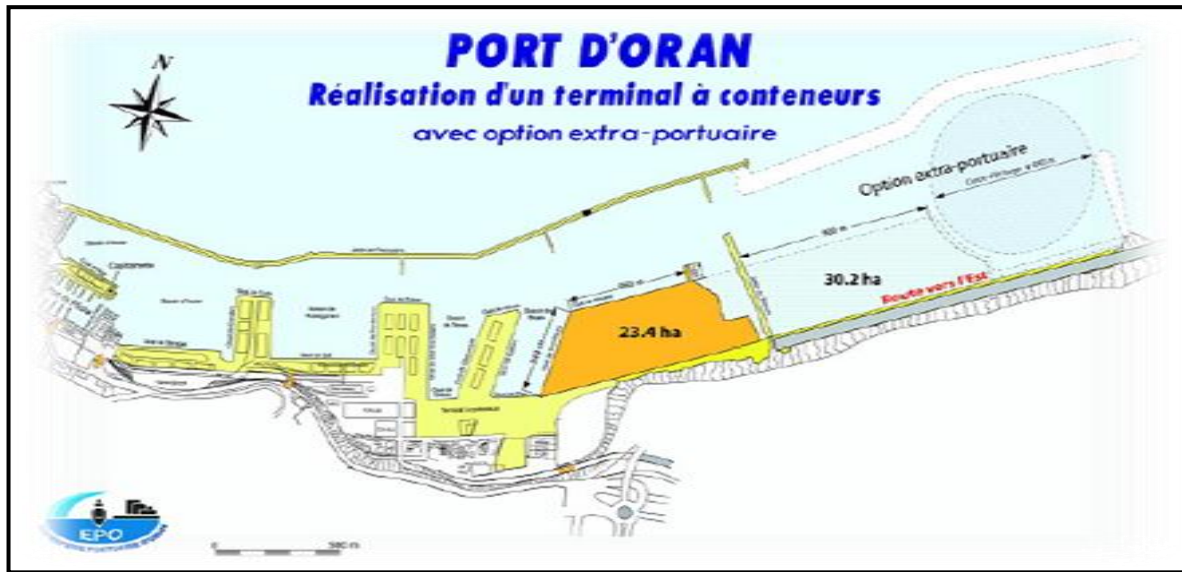


Figure 31 : Superficie du nouveau terminal



Figure 32 : Le terrassement du terminal

1.2.Zones et sous-zones(SZ)

Pour chaque terminal à conteneur, 3 zones principales caractérisent sa conception comme le montre le diagramme d'opération suivant :



Figure 33 : Diagramme d'opérations du terminal à conteneurs

Par contre les deux autres zones, la zone de stockage dispose de 6 sous zones principales (voir la page 19).

- ✓ Sous-zone avant visite
- ✓ Sous-zone scanner
- ✓ Sous-zone pesé
- ✓ Sous-zone visite
- ✓ Sous-zone après visite
- ✓ Sous-zone de Reefer

Diagramme de processus entre les sous-zones (voir la page 23 pour la description de processus)

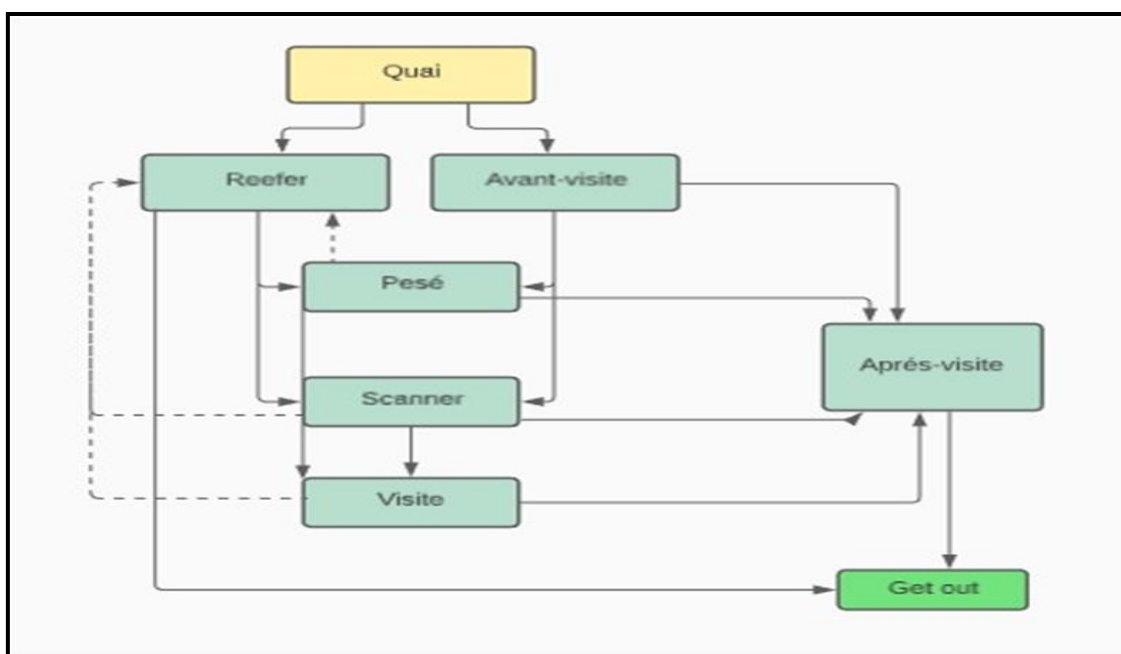


Figure 34 : Diagramme de processus du terminal






	Zone d'opérations Portuaires
	Zone de Stockage
	Zone d'opérations terrestres
	Opération allé
	Opération retour

Tableau 07 : Notation utilisée de processus

1.3. Méthodologie du travail

Afin de faire une conception optimale, efficace et efficiente pour notre layout. Nous allons définir en premier temps les surfaces de chaque sous-zone. Ensuite, nous sommes obligés de prévoir le flux circulant entre les paires de sous zones pour la capacité dynamique désiré.

En deuxième temps, nous allons préciser les différentes relations de proximité entre chaque paire de sous-zones pour but d'étudier les différentes alternatives possibles de différentes dispositions trouvées par les multiples méthodes. Après, nous choisissons l'alternative celle qui répond aux différentes contraintes.

De plus, nous allons calculer le nombre d'équipements de manutention adéquat à la conception final du terminal.

1.4. Calcul de besoin en surface

1.4.1. La zone portuaire :

Le nouveau terminal dispose d'un quai de 460m de longueur et de 40m de largeur, ce qui donne une superficie de 18400m².

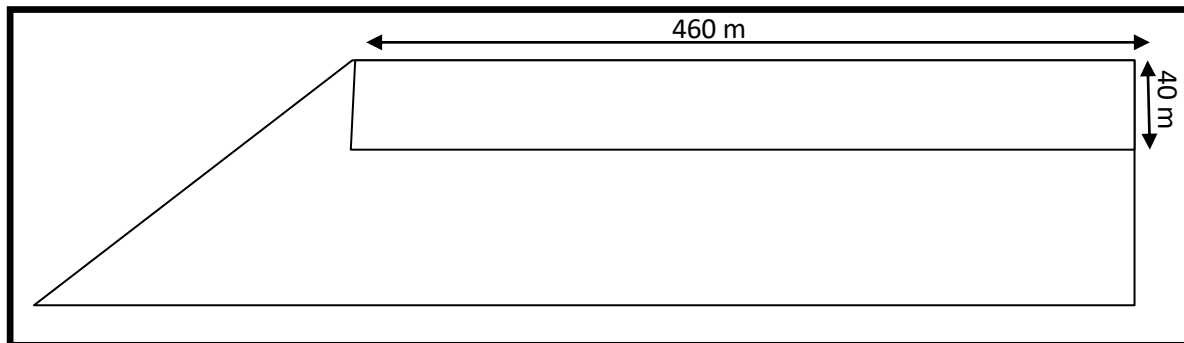


Figure 35: Plan de zone portuaire

1.4.2. Sous zone avant visite :

La sous zone d'avant visite elle-même est divisée en deux autres sous zones à cause de l'installation des RTG déjà programmée, les surfaces de sous sous-zone avant visite 1 et 2 respectives sont : 24320 m² et 25840 m².

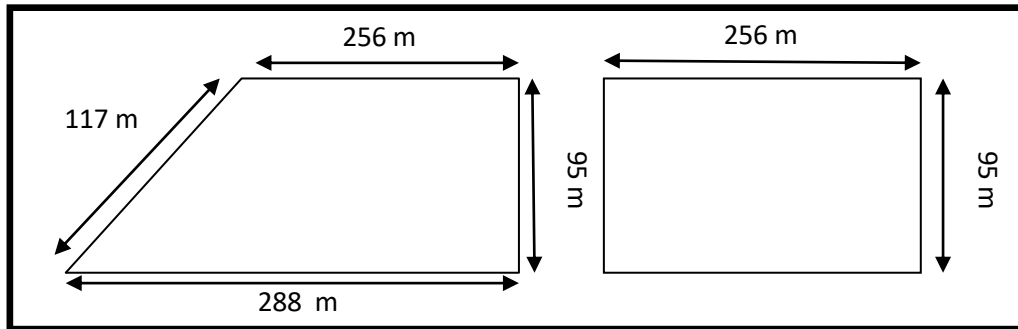


Figure 36 : Plan de sous-zone avant visite

1.4.3. Sous-zone de Reefer (Frigo) :

Les conteneurs de type reefer sont empilés sur 6 niveaux de hauteur et 6 niveaux de largeur, ce qui donne qu'un slot contient 36 conteneurs. En fait, pour des raisons de chargement et de déchargement, 5 emplacements par un slot doivent être vides. Donc pour un slot 31 conteneurs seront stockés. La majorité de reefer exportée sont de type 40 pieds (40').

1.4.3.1. Les données de sous-zone reefer :

- Capacité statique : 500 reefer (40')
- Longueur de reefer (40') : 12.2 m
- Largeur de reefer (40') : 2.44 m
- Clearance entre deux reefer en largeur : 25 cm
- Clearance entre deux slot : 1 m
- Espacement pour extrémités du bloc : 5m

1.4.3.2. Exploitation des données :

- Calcul du nombre de slot :

$$\text{Nbre slot} = \frac{500}{31} = 16.1 \approx \mathbf{16 \text{ slots.}}$$

- Calcul de largeur d'un slot :

$$\text{Largeur slot} = 2.44 * 6 + (25*10^{-2}*5)$$

$$= 15.89 \text{ m} \approx \mathbf{15.9 \text{ m.}}$$

- Calcul de longueur du bloc :

$$\text{Longueur bloc} = 12.2 * 16 + 8*1$$

$$= \mathbf{203.2 \text{ m.}}$$

- Surface du bloc :

$$\text{Surface bloc reefer} = (5+15.9+5)*(5+203.2+5)$$

$$= \mathbf{5521.88 \text{ m}^2}.$$

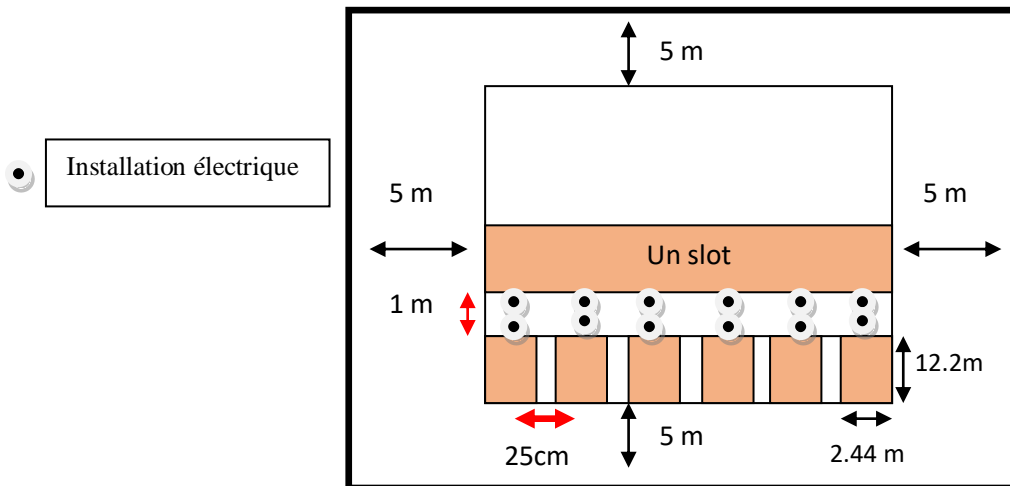


Figure 37: plan de sous-zone Reefer (vue en haut)

1.4.4. Sous zone Pesé :

Le port en total possède 7 immenses balances pour peser le contenu des conteneurs.

1.4.4.1. Les données de sous-zone pesée :

- La surface équipée par la balance : $16.5\text{m} * 4\text{m} = \mathbf{66\text{m}^2}$.
- La surface auxiliaire de manutention : $\mathbf{305\text{m}^2}$.

La surface totale = La surface équipée par la balance + La surface auxiliaire de manutention

1.4.4.2. Exploitation des données :

$$\text{La surface totale} = 66\text{m}^2 + 305\text{m}^2 = \mathbf{371 \text{ m}^2}.$$

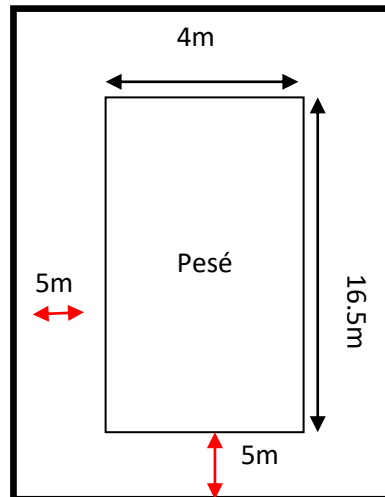


Figure 38 : plan de sous-zone pesé

1.4.5. Sous zone Scanner :

Le terminal possède un seul scanner pour inspecter le contenu des conteneurs.

1.4.5.1. Les données de sous-zone scanner :

- La surface équipée par le scanner : $16.5m * 6.5m = 107.25m^2$.
- La surface auxiliaire de manutention : **330m²**.

La surface totale = La surface équipée par le scanner + La surface auxiliaire de manutention

1.4.5.2. Exploitation des données :

La surface totale = $170.25m^2 + 330m^2 = 437.25m^2$.

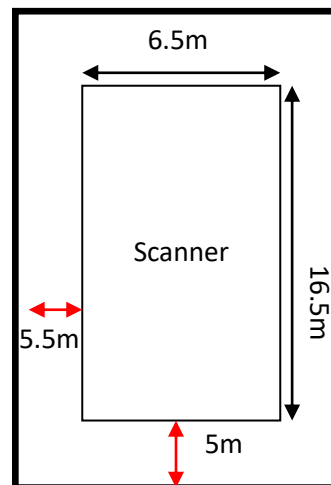


Figure 39 : plan de sous-zone Scanner

1.4.6. Sous zone Visite :

Cette zone va recevoir au moyen 500 conteneurs par jour afin de les ouvrir pour inspection, et tel que chaque conteneur se met en sol comme la montre la figure 38.

1.4.6.1. Les données de sous-zone visite :

- L'étude se fait en considérant tous les conteneurs de : (40')
- Clearance entre deux conteneurs en largeur : 30 cm
- Clearance entre deux conteneurs en longueur : 70 cm

1.4.6.2. Exploitation des données :

- Surface équipée par un conteneur :
 - la largeur : $2.44\text{m} + 0.7\text{m} = 3.14\text{m}$
 - la longueur : $12.2\text{m} + 0.15\text{ m} = 12.35\text{m}$
- Surface équipée par conteneur de 1^{ère} ligne :

Surface 1 = $125 * 3.14 * 12.35 = 4847.375\text{ m}^2$.

- Surface auxiliaire de manutention : **7850m²**.
- Surface totale de la sous-zone : $4847.375^2 * 4 + 7850\text{m}^2 = 27239.5\text{m}^2$.

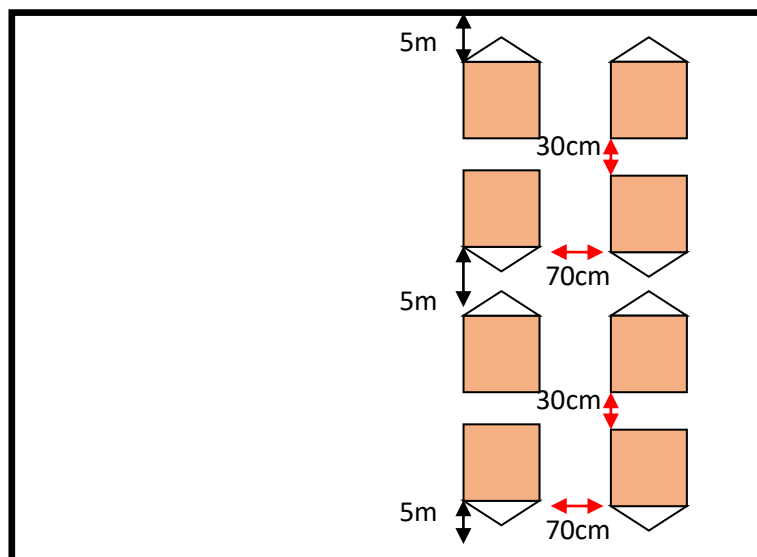


Figure 40: Plan de sous-zone visite

1.4.7. Sous zone après visite :

Cette sous zone aussi est divisé en deux autres sous zone à cause d’installation des RTG. Les surfaces estimées sont :

- Surface de sous sous-zone après visite 1 : **16212.48m²**.
- Surface de sous sous-zone après visite 2 : **30685m²**.

La surface totale de sous zone après visite : **46897.48m²**.

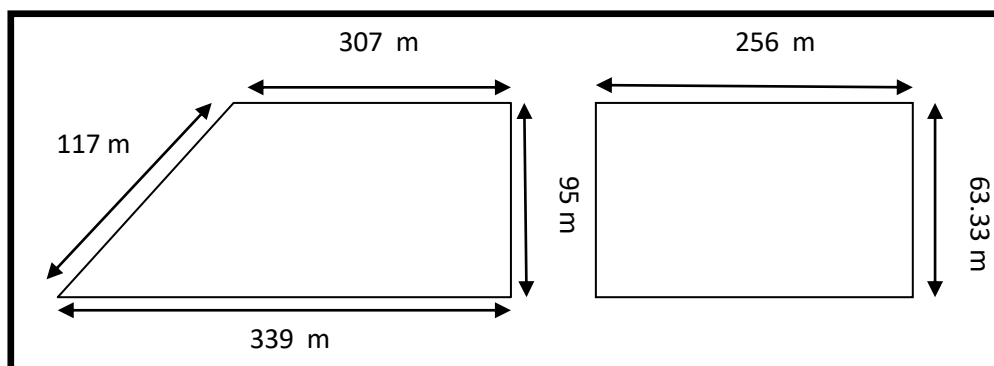


Figure 41 : Plan de sous-zone après visite

1.4.8. Autres surfaces :

	Dimensions(m)	Surfaces (m ²)
Directions administratives	100*66.5	6650
Parc d’engin	100*46.45	4645
Station de maintenance	25*20	500
Sous zone de stockage supplémentaire	Forme indéfinie	18096
Logistique et manutention	/	54395.64

Tableau 08 : Autres surfaces dans le terminal

Récapitulons toutes les surfaces calculées dans le tableau suivant :

	Surface totale (m ²)
Zone portuaire	18400
SZ avant visite	50160
SZ reefer	5521.88
SZ Scanner	371
SZ pesé	437.25
SZ visite	27239.5
SZ après visite	46897.48

Tableau 09 : Récapitulation des surfaces calculées

1.5. Le flux des conteneurs entre zones

1.5.1. Les données :

- Capacité dynamique du port en 2019 :300 000 EVP/an.
- Capacité dynamique désirée : 500 000 EVP/an.
- Capacité dynamique de conteneurs dangereux (sortent directement sans stockage) : 2240 EVP/an.
- Capacité dynamique de reefer : 2500 EVP/an.
- Traitement de Reefer :
 - ✓ 20% restent dans la SZ reefer en attendant la livraison.
 - ✓ 60% manutentionnés vers la pesé, après :
 - 50% reviennent à SZ reefer.
 - 50% passent à la visite après ils reviennent à SZ reefer
 - ✓ 20% manutentionnés vers scanner, après :
 - 80% reviennent à SZ reefer.
 - 20% passent à la visite après ils reviennent à SZ reefer
- Traitement de conteneurs normal :
 - ✓ 80% inspectés par le scanner, après :
 - 20% stockés dans SZ après visite.

- 80% passent à SZ visite après ils sont stockés dans SZ après visite.
 - ✓ 20% sont stockés dans SZ après visite.
- 50% de conteneurs passent de la pesé à la visite après à SZ après visite.
- 50% de conteneurs passent de la pesé à SZ après visite.

1.5.2. Exploitation des données :

- Conteneur normal = 300000-2240-2500 = **295260 Conteneurs.**
- Flux de pesé :

Frigo : 60% passe par peser

$$\text{Donc} = 60\% * 2500 = \mathbf{1500 \text{ Frigo.}}$$

Puisque on a le nombre total de conteneurs qui passent par pesé = 3000

$$\text{Donc} : 3000-1500 = \mathbf{1500 \text{ Conteneurs normal.}}$$

- Flux de scanner :

$$\begin{aligned} \text{Nb de conteneurs normal} - \text{conteneurs normal passant par pesé} = \\ = 295260 - 1500 = \mathbf{293760} \end{aligned}$$

$$\text{Donc} : 80\% * 293760 = \mathbf{235008 \text{ conteneurs normal passant par scanner.}}$$

- Flux Avant visite → Après visite :

$$20\% * 293760 = \mathbf{58752 \text{ EVP normal passant directement à après visite.}}$$

- Flux Frigo → visite :

$$20\% * \text{Scanner} + 50\% \text{ pesé} = 20\% * 500 + 50\% * 1500 = \mathbf{850 \text{ frigos.}}$$

- Flux Frigo → Après visite :

$$\text{Total} = \mathbf{0 \text{ frigos.}}$$

- Flux Scanner → SZ reefer :

$$80\% * 500 = \mathbf{400 \text{ frigos.}}$$

- Flux scanner → visite :

$$80\% * 80\% = 80\% * \text{Scanner} = 80\% * 235008 = \mathbf{188006 \text{ conteneurs.}}$$

- Flux Scanner → Après visite :
 $20\% * \text{Scanner} = 20\% * 235008 = \mathbf{47002 \text{ conteneurs.}}$
- Flux Pesé → SZ reefer :
 $50\% * 1500 = \mathbf{750 \text{ frigos.}}$
- Flux Pesé → Après visite:
 $50\% * \text{pesé (conteneurs normal)} + 50\% * \text{pesé (Frigo)} = 750+750$
 $= \mathbf{1500 \text{ conteneurs.}}$
- Flux Visite → SZ reefer :
 $20\% * \text{Scanner (Frigo)} + 50\% * \text{Pesé(Frigo)} = 20\% * 500 + 50\% * 1500$
 $= \mathbf{850 \text{ frigos.}}$
- Flux Visite → Après visite : (conteneurs normal)
 $80\% * \text{Scanner} + 50\% * \text{Pesé} = 188006 + 750 = \mathbf{188756 \text{ conteneurs.}}$

1.6. Matrice de flux

1.6.1. Matrice de flux pour 300 000 conteneurs/an :

La matrice de flux de conteneurs entre les différentes sous zones est une matrice asymétrique comme c'est représenté ci-dessous :

	Quai	Avant visite	Frigo	Scanner	Pesé	visite	Après visite
Quai		295260	2500	0	0	0	0
Avant visite	0		0	235008	1500	0	58752
Frigo	0	0		500	1500	850	0
Scanner	0	0	400		0	188006	47002
Pesé	0	0	750	0		1500	750
visite	0	0	850	0	0		188756
Après visite	0	0	0	0	0	0	

1.6.2. Matrice de flux pour la capacité dynamique désirée :

Afin de prévoir le flux circulant entre les sous zones pour la capacité désirée 500 000 conteneurs par an, nous appuyant sur cette relation pour trouver le pourcentage de calcul entre chaque deux paires de sous zones :

$$CDP \text{ désiré} = \frac{CDP \text{ ancienne} * 500\ 000}{300\ 000}$$

	Quai	Avant visite	Frigo	Scanner	Pesé	visite	Après visite
Quai		492100	4167	0	0	0	0
Avant visite	0		0	391680	2500	0	97920
Frigo	0	0		834	2500	1417	0
Scanner	0	0	667		0	313344	78337
Pesé	0	0	1250	0		2500	1250
visite	0	0	1417	0	0		314594
Après visite	0	0	0	0	0	0	

1.7. Contraintes dans le terminal

Pour établir l'étude de conception du terminal, des contraintes exigeantes sont rencontrées :

- La zone portuaire représente un point fixe.
- Les sous-zones avant visite et après visite sont équipées par un système RTG, et son installation a déjà commencé sur terrain.

- Prendre en considération l’installation électrique pour la sous-zone de reefer.
- Nécessité que les sous zones : pesé, scanner et visite doivent être loin des installations RTG.
- Une route doit diviser le système RTG pour des raisons logistiques.
- Nécessité d’isoler le bâtiment administratif des zones d’opérations du terminal.

1.8.La méthode SLP

1.8.1. Activity Relationship chart :

Les diverses relations de cote de proximité entre chaque paire de sous-zone du terminal à conteneurs d’Oran sont illustrées dans le diagramme suivant :

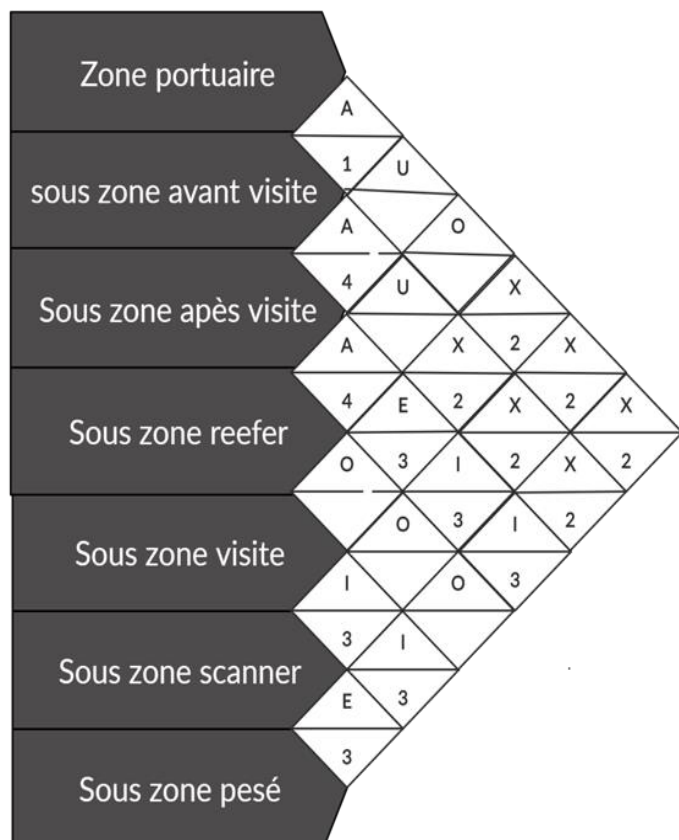


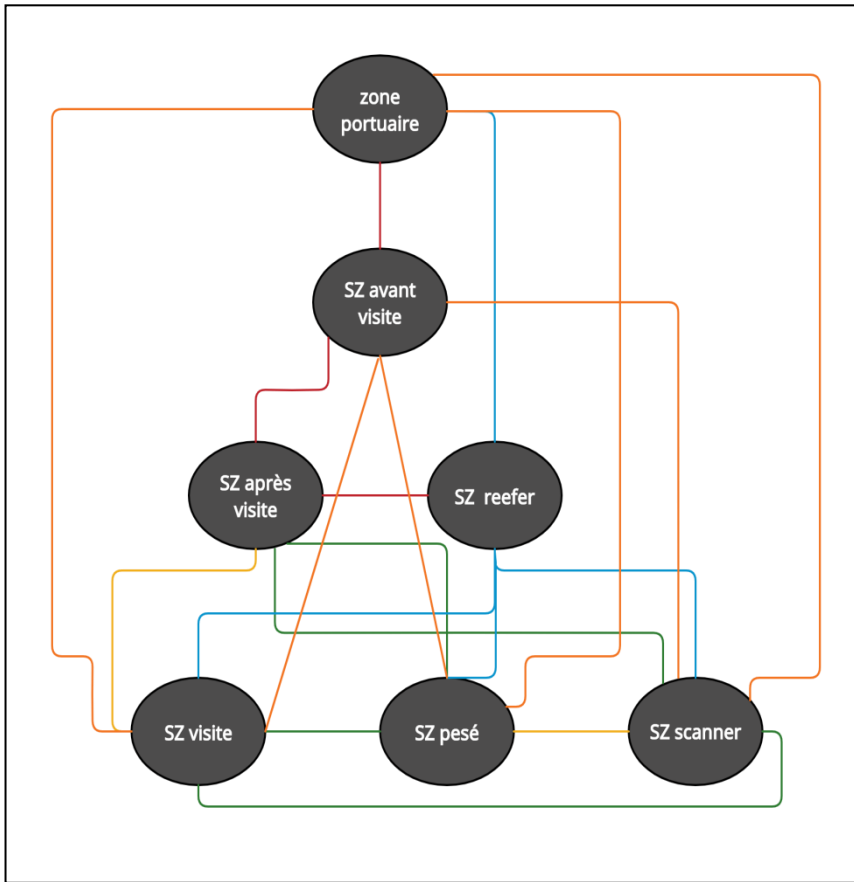
Figure 42: Sample Relationship chart

Code	Désignation
A	Absolument nécessaire
E	Particulièrement important
I	Important
O	Ordinaire
U	Sans importance
X	Indésirable

Code	Raison
1	Flux de conteneurs
2	Sécurité
3	Processus de traitement
4	Construction planifiée

Tableau 10 : Codes utilisés pour l’ARC

1.8.2. Le modèle SLP



Code	Couleur
A	Rouge
E	Jaune
I	Vert
O	Bleu
U	Non-coloré
X	Marron

Figure 43 : Relationship diagramme

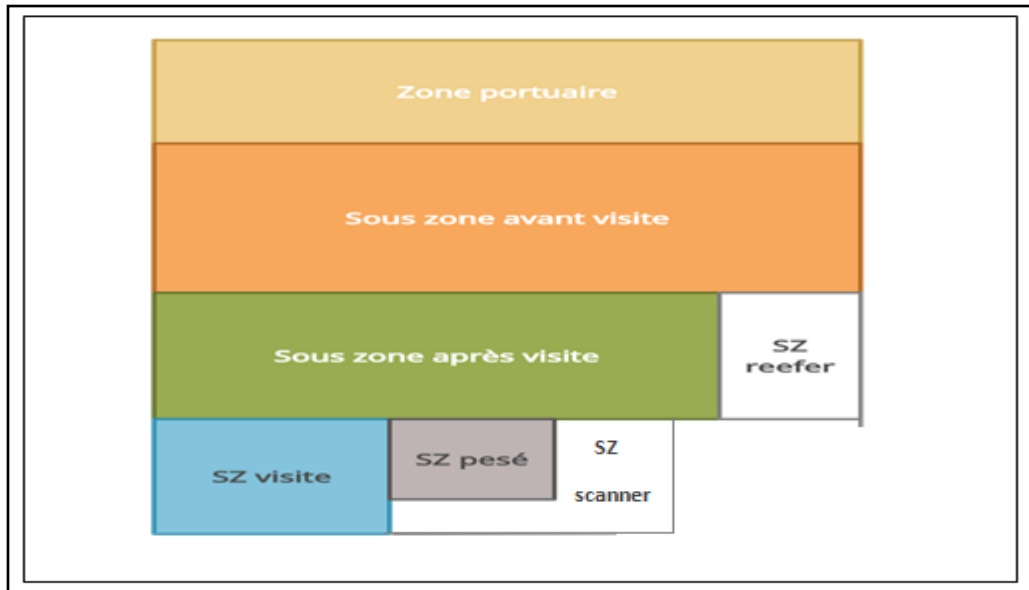


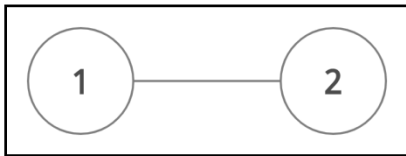
Figure 44 : Disposition alternative 1 selon SLP Method

1.9.La méthode GRAPH THEORETIC METHOD

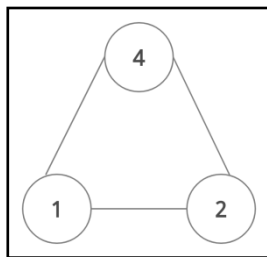
Nous allons appliquer la méthode Graph Theoretic sur notre étude pour analyser le résultat trouvé et le comparé avec nos besoins :

- Les données : Matrice de flux désiré (voir la page 70)

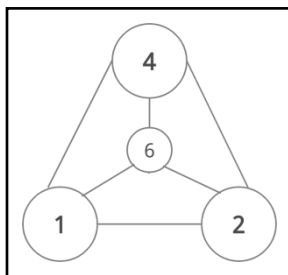
a)



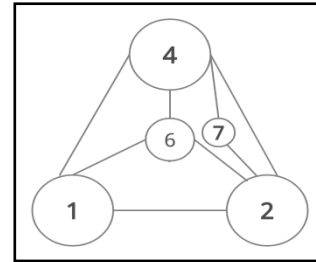
b)



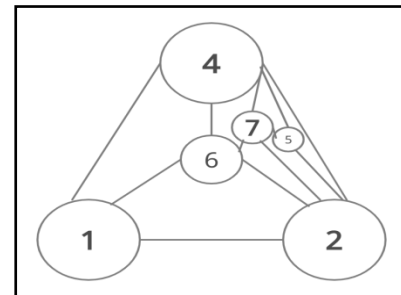
c)



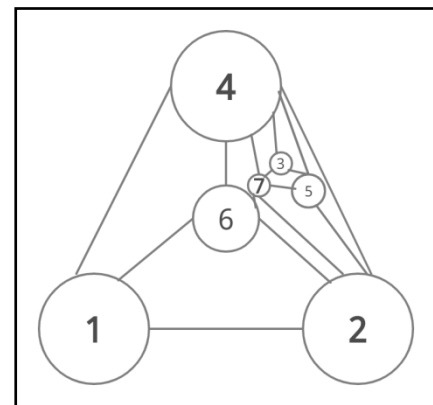
d)



e)



f)



1	2	3	4	5	6	7
Z portuaire	SZ av.visite	SZ Reefer	SZ scanner	SZ pesé	SZ visite	SZ ap.visite

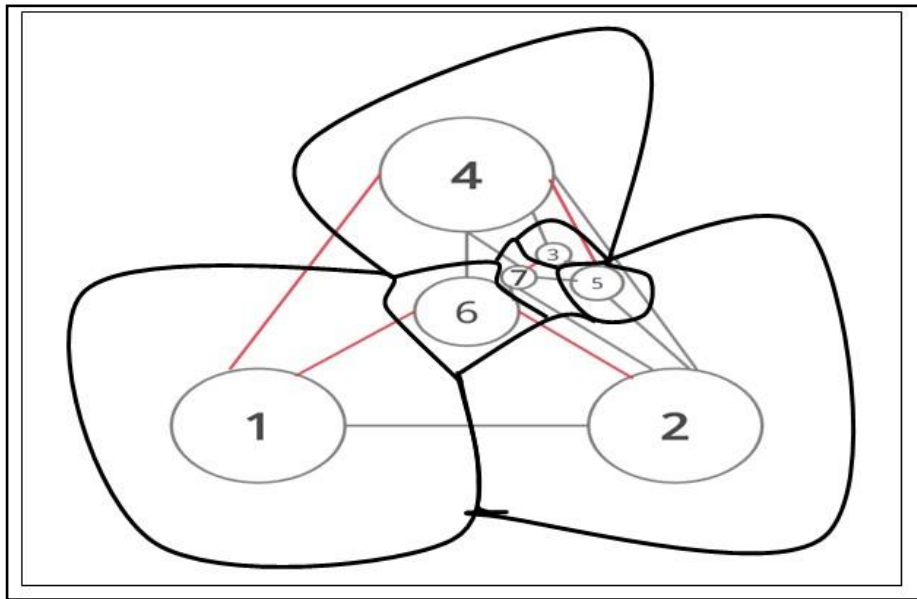


Figure 45 : Theoretic Graph des sous-zones

Les arcs en rouge désignent qu'il n'y a pas de flux circulant entre les deux sous zones dans les deux sens.

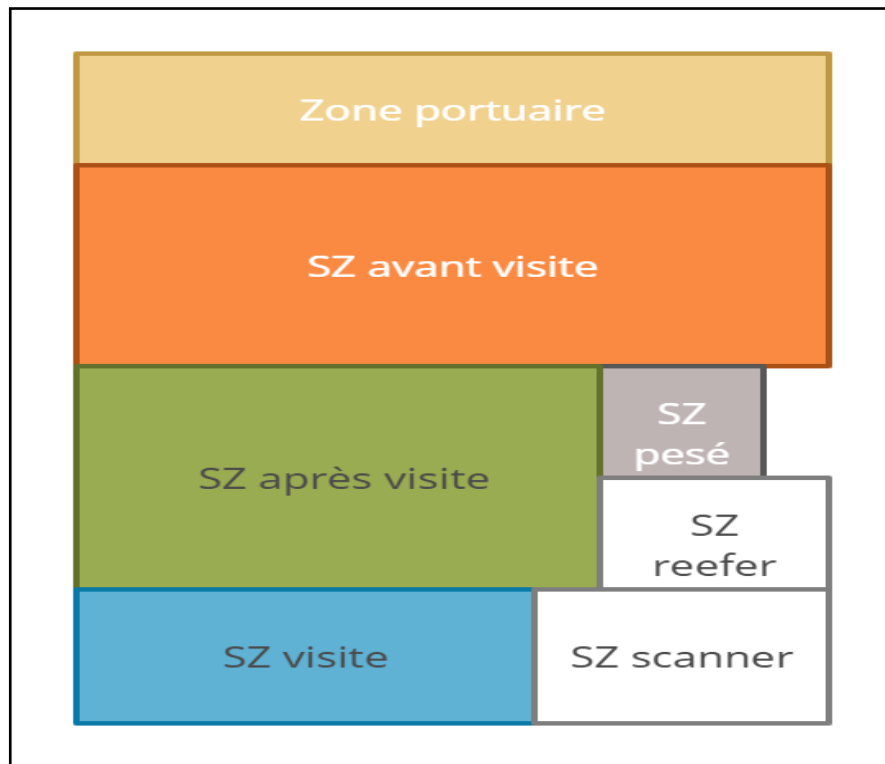
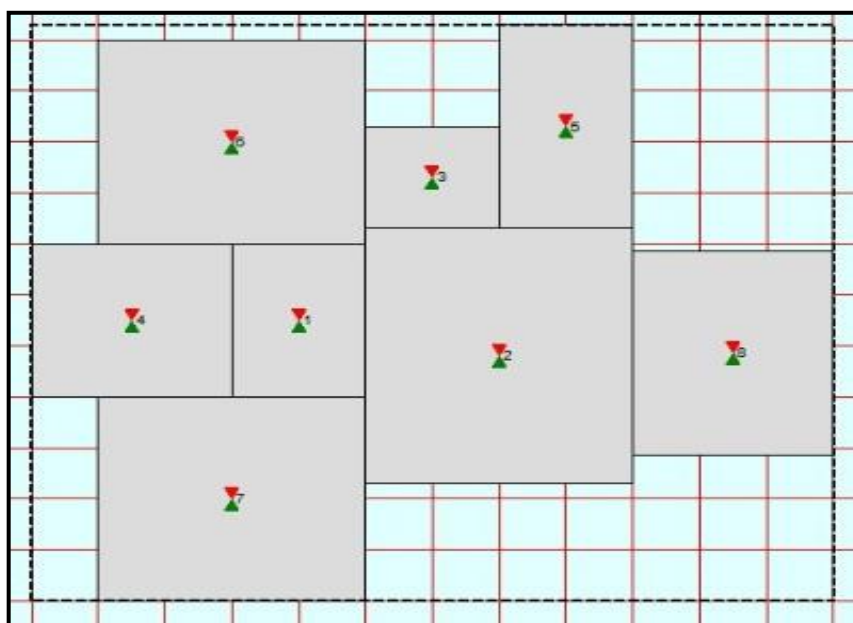


Figure 46: Disposition alternative 2 selon Theoretic Method

1.10. Conception avec le logiciel VIP-PLANOPT

Nous avons utilisé le logiciel d’optimisation de layout VIP-PLANOPT dans premier temps sans tenir compte les différentes contraintes exigés sur la disposition , après en les considérant.

1.10.1. Sans tenir compte les différentes contraintes :



1	SZ Scanner
2	SZ avant visite
3	SZ pesé
4	SZ visite
5	SZ reefer
6	SZ après visite
7	SZ après visite
8	Z portuaire

Figure 47 : Disposition alternative 3 avec VIP-PLANOPT

1.10.2. En tenant compte les différentes contraintes :

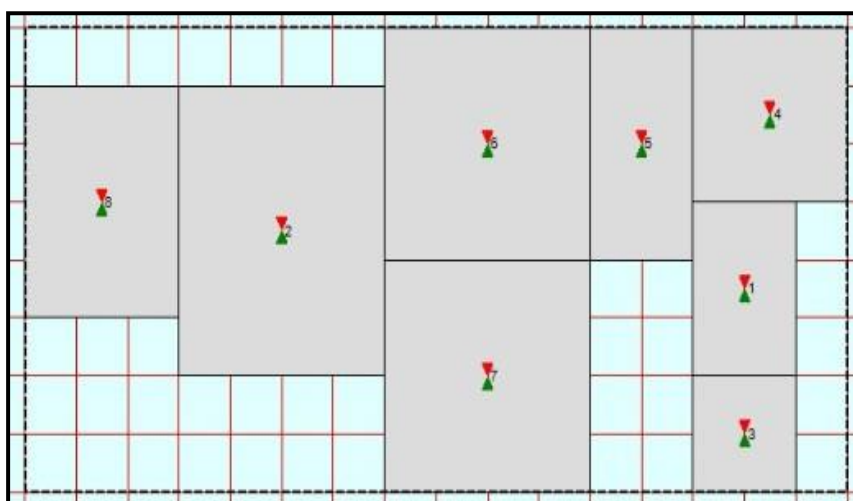


Figure 48: Disposition alternative 4 avec VIP-PLANOPT

Section

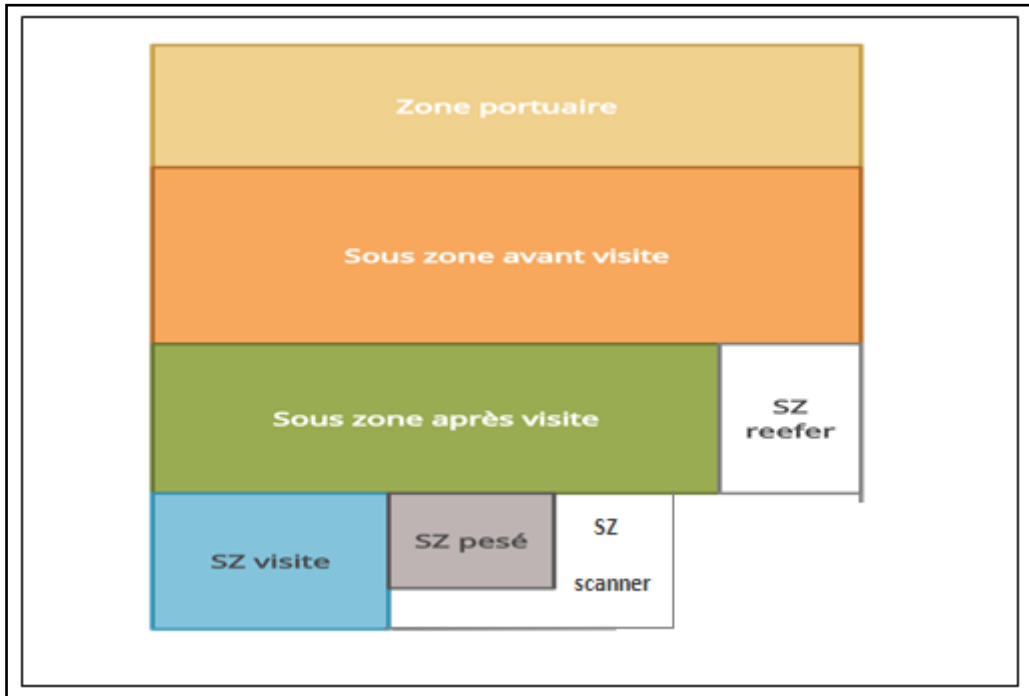
2

**Section 2 : Interprétation des résultats et solutions
proposées**

Dans cette section, nous allons analyser et interpréter toutes les alternatives des dispositions trouvées dans la première section et choisir la meilleure conception du terminal.

2.1. Analyse et interprétation des dispositions alternatives :

2.1.1. Disposition n°1 : résultat de la méthode SLP



Comme la montre la figure ci-dessus, la disposition donnée répond aux relations de proximité et d'interaction entre les différentes sous zones, en plus des différentes contraintes de notre cahier de charges. On remarque bien que :

- La zone portuaire puisque c'est un point fixe, peut être affecté à un seul et optimal emplacement (au bord de la mer) **(1)**
- La zone portuaire est adjacente avec la SZ avant visite, et ça donne du sens parce que 80% des contenues déchargés de porte-conteneurs se dirigent directement vers la SZ avant visite pour l'empilation. **(2)**
- Les trois SZ (avant visite, reefer et après visite) sont adjacents à cause du système RTG qui ont déjà installé. Six RTG sont prévus à installer, trois sont dédiés pour la SZ avant visite alors que les trois autres pour la SZ après visite et aussi les reefer. Pour la SZ reefer, en prenant la contrainte d'installation électrique, elle est dans une disposition plus ou

moins parfaite puisque les départements administratifs sont à coté droite ce qu'il va diminuer les charge de l'installation électrique. Alors d'une autre coté, les reefer sont directement stockés dans leur zone après le déchargement de porte-conteneurs. Et si nous considérons la contrainte de flux de conteneurs, il sera préféré de mettre la SZ en adjacence avec la zone portuaire. (3)

- Les trois sous zones (visite, pesé et scanner) doivent être dans une même ligne pour faciliter le traitement successive des conteneurs et aussi pour des raisons de sécurité, il fallait qu'ils soient lointains de système RTG (SZ avant visite et après visite et reefer). (4)

2.1.1.1. Matrice de distance entre les sous zones

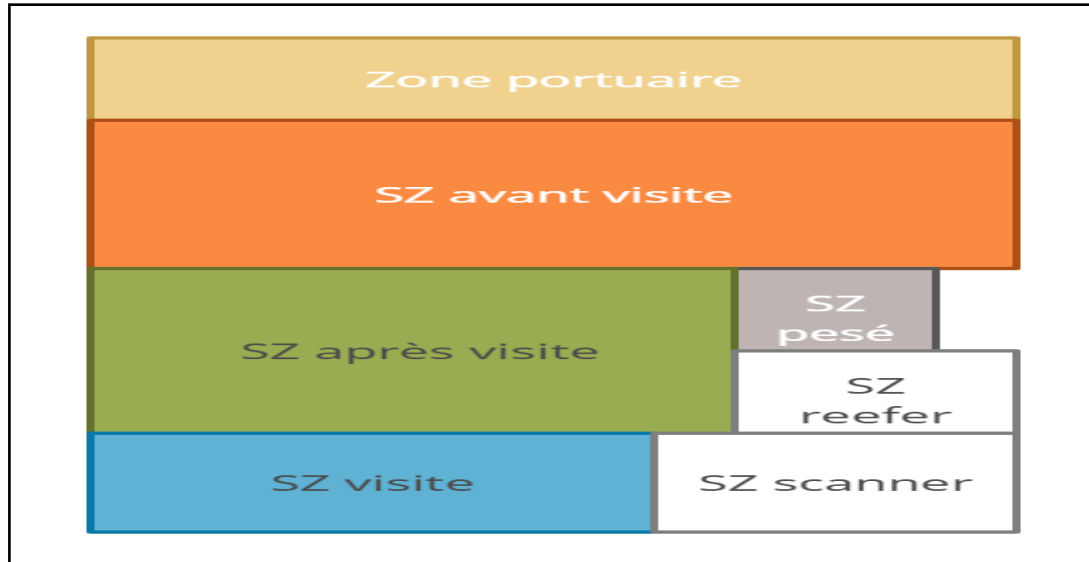
En se basant sur la formule de calcul de distance rectiligne et le centre de gravité approximatif de chaque sous zone, nous représenté cette matrice de distance de la 1^{ère} conception.

Distance (a,b) = |Xa – Xb| +|Ya – Yb| (m).....(a,b deux points avec les coordonnées x et y)

	Z.portuaire	SZ avant visite	SZ reefer	SZ pesé	SZ scanner	SZ visite	SZ Après visite
Z.portuaire		73	205.95	267.5	270	344	177.75
SZ avant visite	73		332.9	174.5	203	404.5	68.95
SZ reefer	205.95	332.9		279.3	261.05	359.3	122.95
SZ pesé	267.5	174.5	279.3		28.5	402.75	98.5
SZ scanner	270	203	261.05	28.5		3118	113.75
SZ visite	344	404.5	359.3	402.75	3118		105
SZ après visite	177.75	68.95	122.95	98.5	113.75	105	

Tableau 11 : Matrice de distances (alternative 1)

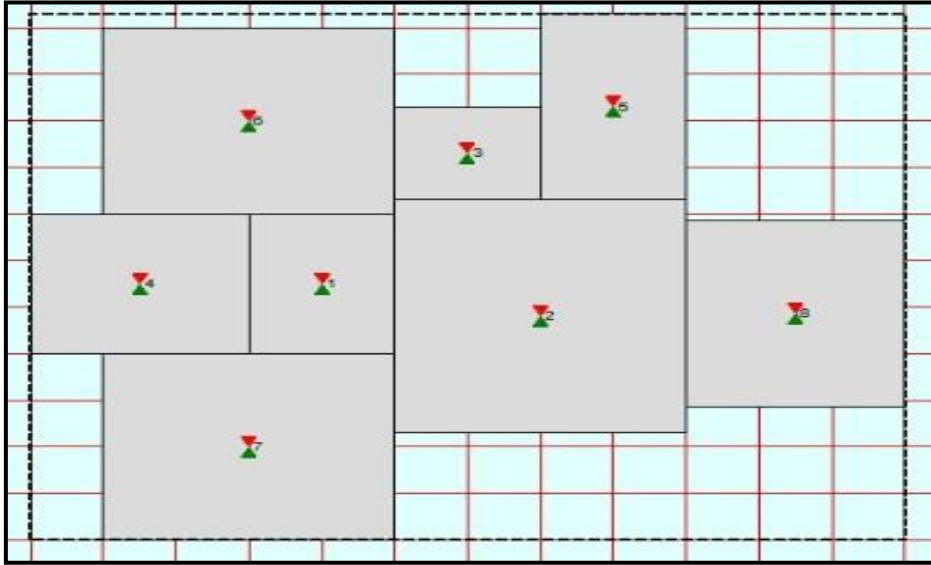
2.1.2. Disposition n°2: résultat de la méthode THEORETIC GRAPH



- Les deux premiers points discutés dans la disposition n°1 sont les mêmes dans ce cas.
- On remarque que la SZ pesé est borné par les trois SZ équipées par le RTG, et cela est forcément faux puisque la SZ pesé ne nécessite jamais d'une installation RTG mais d'une balance. Aussi, dans la structure internationale des terminaux, il faut de ne pas mélanger les SZ de stockage et celles de traitement d'inspection. Une autre contrainte qui n'a été pas respecté dans cette alternative est le terme de sécurité, il est déconseillé et interdit de se déplacer d'une façon directe sans une moyenne du transport dans un système RTG, par contre dans la pesé, il existe des opérateurs non-transporteurs pour l'inspection et la vérification et contrôle.

✓ **Cette alternative est refusée**

2.1.3. Disposition n°3: résultat de logiciel VIP-PLANOPT (sans contraintes)



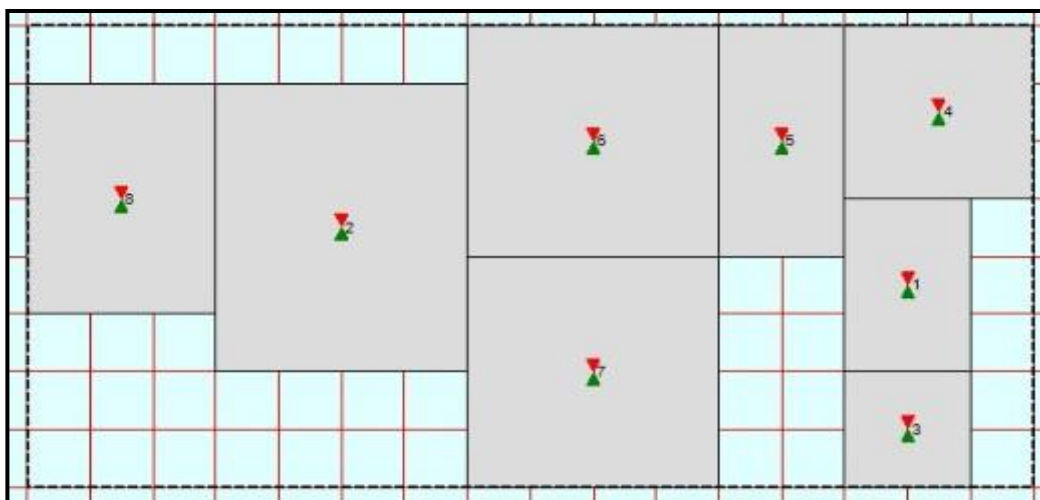
La version utilisée de ce logiciel est une version d'évaluation qui contient soit 4 modules par défaut ou 8 modules par défaut de forme d'un rectangle seulement. Pour notre cas étude nous avons besoin de 7 modules, donc nous étions obligé de modélisé avec 8 modules en se divisant la SZ d'après visite en deux sous autres zones comme nous avons déjà décrit dans la page ().

En remarquant le résultat obtenu par défaut par le logiciel sans l'imposition des contraintes de cahier des charges :

- La SZ de reefer est en adjacence avec la zone portuaire et SZ avant visite, ce qui répond à la contrainte de flux de matière mais va augmenter les charges d'installation électrique.
- Les trois SZ (pesé, scanner est visite) se trouvent au milieu de système RTG, ce qui est refusable en termes de sécurité et de construction puisque les RTG s'installent en forme d'une ligne, par conséquent, le scanner, la balance et les douanes ne doivent pas se trouver au milieu.

✓ Cette alternative est refusée

2.1.4. Disposition n°4: résultat de logiciel VIP-PLANOPT (avec contraintes)



Nous discutons maintenant la dernière alternative donnée aussi par le même logiciel, alors que dans cette fois-ci les contraintes exigées sont respectées. Nous remarquons que :

- Les trois points discutés dans la méthode SLP **(1)**, **(2)** et **(3)**, sont bien respectés dans cette modélisation aussi et répondent aux contraintes exigées.
- Les SZ (pesé, scanner et visite) se trouvent dans une même ligne, la seule différence par rapport à la 1^{ère} conception c'est l'ordonnancement de leur disposition. ici, la SZ pesé se trouve près de l'entrée du terminal alors que la SZ de visite est près à la sorté/entrée de zone d'opérations terrestres.

2.1.4.1. Matrice de distance entre les sous zones

La matrice suivante représente les distances rectilignes approximatives entre les centres de gravité de chaque paire de SZ.

	Z.portuaire	SZ avant visite	SZ reefer	SZ pesé	SZscanner	SZvisite	SZAprès visite
Z.portuaire		73	205.95	280	279.25	336.5	177.75
SZ avant visite	73		332.9	150	205	334	78.95
SZ reefer	205.95	332.9		203.05	270.05	62.65	122.95
SZ pesé	280	150	203.05		28.5	615	106.5
SZ scanner	279.25	205	270.05	28.5		916	111
SZ visite	336.5	334	62.65	615	916		95
SZ après visite	177.75	78.95	122.95	106.5	111	95	

Tableau 12 : Matrice de distance (alternative 4)

- ❖ Au final, deux alternatives sont acceptés et qui répondent au cahier de charge. la première et la quatrième.
- ❖ Pour choisir maintenant la meilleure parmi les deux, nous allons simuler avec le logiciel **Lingo** afin de trouver la solution désirable, autrement dit, la solution ayant la fonction objectif minimale par rapport la distance.

2.1.5. Fonction objectif

Notre objectif est de faire une conception optimale pour le terminal en se basant sur la minimisation de la distance parcourue entre chaque deux paire de sous zones.

- Soit la fonction objectif **Z** à minimiser
- **dist(i,j)** : la matrice de distance entre la SZ i et SZ j tel que $i, j \in \{1..7\}$
- **f(i,j)** : la matrice de flux désirée (**voir la page 78**)

$$Z = \sum_i^7 \sum_j^7 dist(i,j) * f(i,j)$$

2.1.6. Résultats par Lingo

Le programme simulé nous a donné les résultats représentés dans le tableau suivant :

Disposition alternative	Fonction objectif (m)
1	257359200
4	306465300

D’après le tableau la meilleure solution est 1, en considérant la somme de la distance minimale parcourue par toutes les SZ.

- ❖ Finalement, et pour une vision future de logistique que nous voyons, nous proposons de choisir la conception 4, pourquoi ?

Tout simplement, l'entrée du terminal se trouve à la gauche alors que l'entrée/sortie de zone d'opérations terrestre est à droite.

Le problème c'est que le terminal traite que les conteneurs de type standard et Frigo. Alors que le reste comme les marchandises vrac et autres sont traités hors le terminal dans l'ancienne surface du port, et puisque le port ne possède qu'une seule scanner, et que l'opération visite se fait après le scanner ou pesé, ca sera pour des raisons de manutention et de sécurité de mettre la pesé ou scanner à la rentrée du terminal alors que celle de visite en face la SZ de reefer.

Comme cela si un contenu vrac par exemple voulait passer par le scanner, les douanes seront sécurisés et protégés dans la SZ de visite qui est en face de SZ reefer.

Au finale, notre conception du terminal proposée et qui répond à notre cahier de charge est représenté dans le plan 2D modélisé ci-dessous :

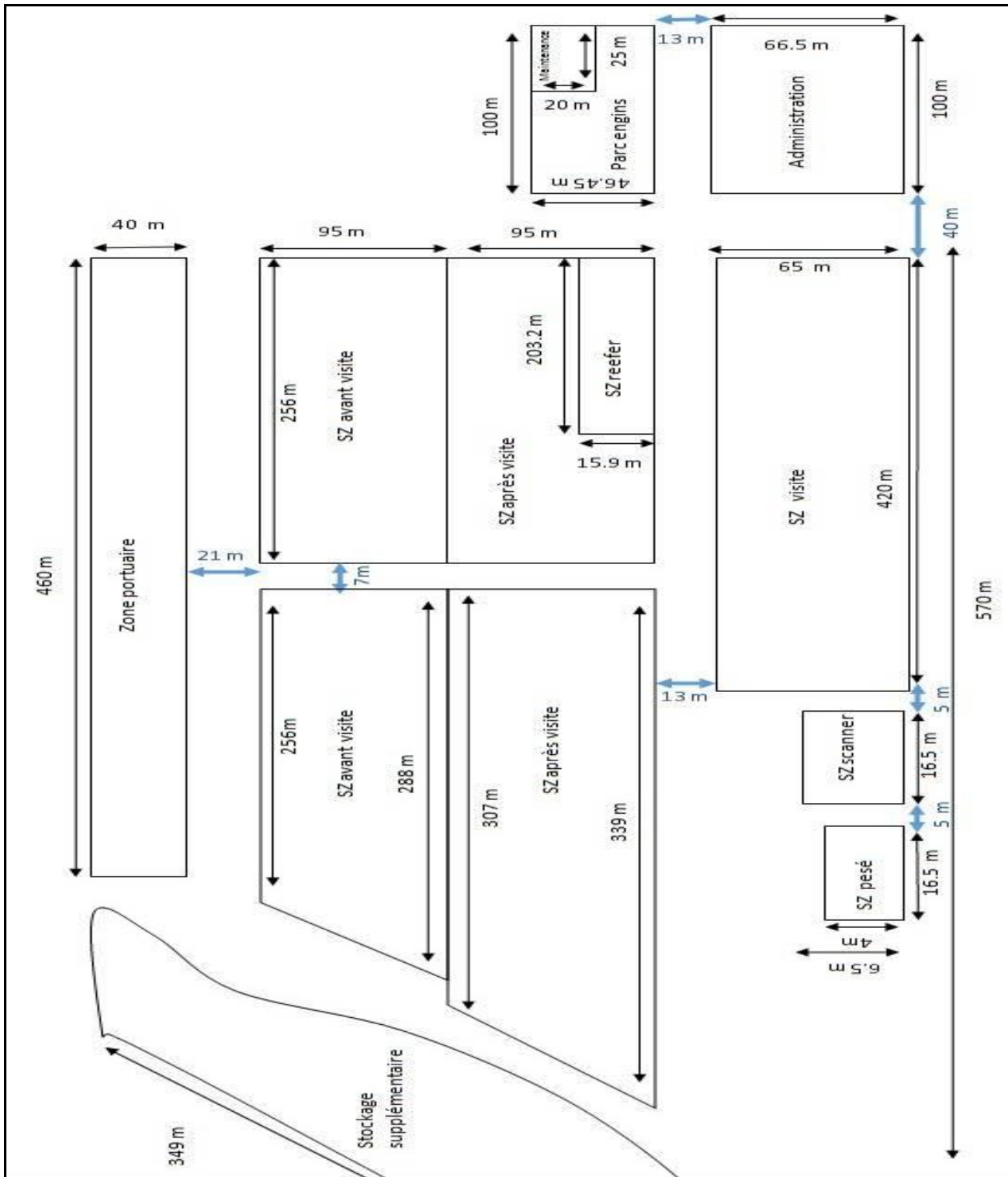


Figure 49 :Modélisation du terminal 2D

Dans la figure 50, nous modélisons le terminal en 3D avec le logiciel PLANFLOOR

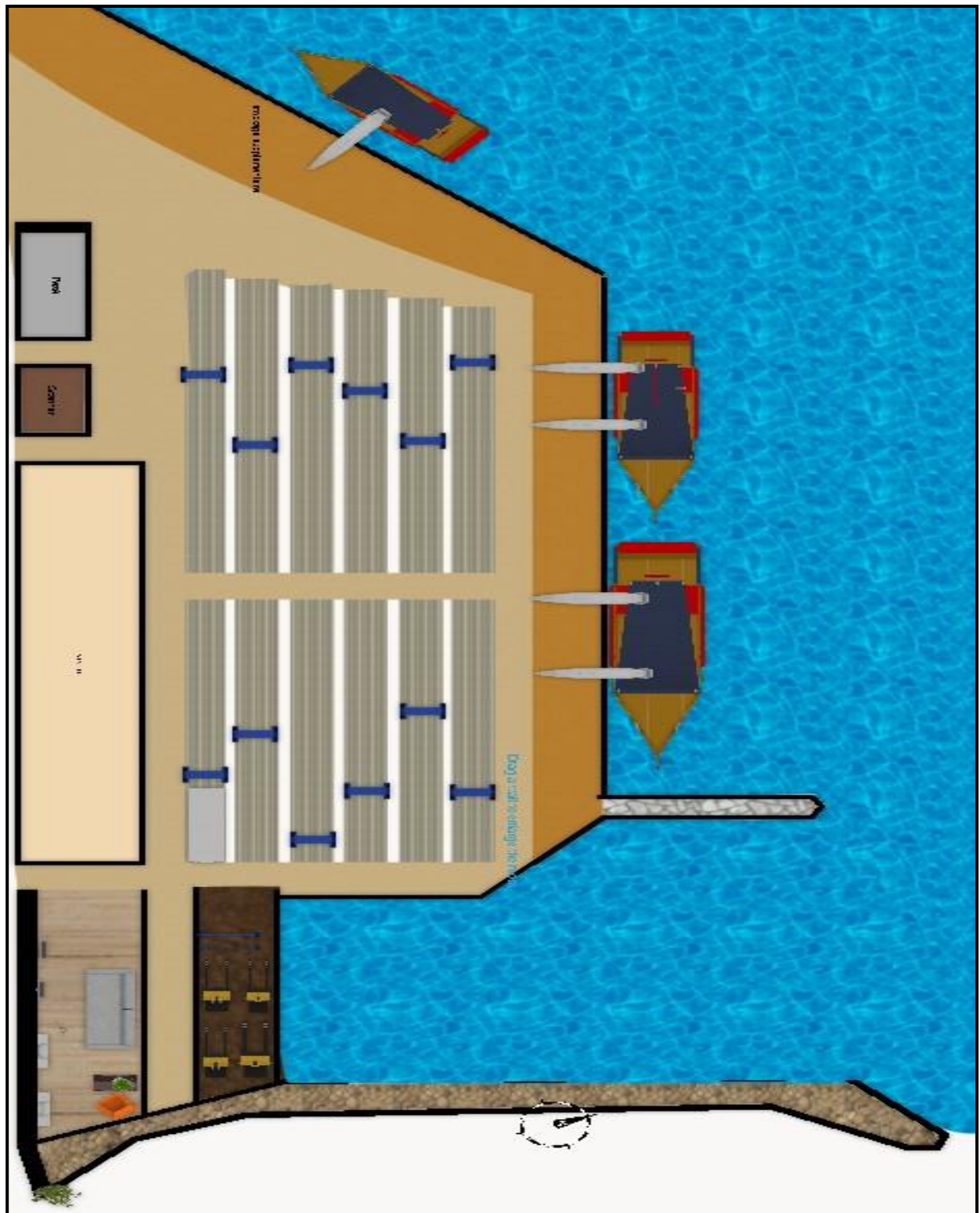


Figure 50 : Modélisation du terminal 3D par PLANFLOOR

Section

3

Section 3 : Calcul du nombre d'équipements de manutention

Pour tout projet d'aménagement ou réalisation d'une nouvelle installation. Il est indispensable sur les plans stratégiques et décisionnelles de savoir le nombre d'équipement nécessaires pour les diverses opérations.

Dans le terminal, nous s'intéressons sur les équipements de manutention entre la zone portique et sous zone d'avant visite selon la demande de l'entreprise et nous allons se baser sur la conception finale (conception n°4) pour faire nos calculs.

- Portique à quai
- Camion de chargement/déchargement

Pour les autres équipements, nous ne sommes pas besoin de calculer le nombre pour les raisons suivantes :

- Ce nouveau terminal sera équipé par un système de RTG couvrant les sous zones : avant visite, reefer et après visite. Ce qui fait que les chariots cavalier seront moins utilisés. Par ailleurs, ils seront parfaitement exploités dans la sous zone visite.
- Le taux de traitement des conteneurs par une grue portique est beaucoup moins que celui de portique à quai, c'est pour cela c'est préférable d'investir sur ces dernières.

3.1. Calcul du nombre de portique à quai

3.1.1. La formule utilisée :

$$CQ = \text{Productivité moyenne des portiques} * \text{Nb d'heure possible} \\ * \text{Nb de portique} * \text{ration } 40'/20'$$

3.1.2. Les données techniques de portique :

- Efficacité : 100%
- Productivité : 30 conteneurs/heure
- Disponibilité : 99.6%
- Ratio 40'/20' : 1.5
- Temps de fonctionnement : 150 jours par an, 3 shifts par jour (5 heures par shift)

- Capacité de quai : 500 000 conteneurs par an

3.1.3. Exploitation des données :

$$Nb\ de\ portique = \frac{CQ}{Productivité\ de\ portique * Nb\ d'heure\ possible * ratio\ 40'/20'}$$

$$Nb\ de\ portique = \frac{500\ 000}{30 * 2250 * 1.5}$$

Nb de portique = 4.9 ≈ 5 portiques à quai.

Le nombre d'heures possible = 150 * 3 shifts = 2250 heures.

3.2. Calcul du nombre de véhicule de transport entre quai et zone de stockage « Camion »

3.2.1. Les formules utilisées :

- Le temps de cycle :

$$Tc = Tl + \frac{Ld}{Vc} + Tu + \frac{Le}{Vc} \dots\dots\dots(1)$$

- Le temps disponible pare heure par véhicule :

$$AT = 60 * A * Tf * E \dots\dots\dots(2)$$

- La charge du travail :

$$Wl = Rf * Tc \dots\dots\dots(3)$$

- Le taux de livraison par heure par véhicule :

$$Rdv = \frac{AT}{Tc} \dots\dots\dots(4)$$

- Le nombre de véhicules

$$Nc = \frac{Wl}{AT} = \frac{Rf}{Rdv} \dots\dots\dots(5)$$

3.2.2. Les données techniques du camion :

- $T_l = T_u : 45s$
- $V_c = 25 \text{ km/h} = 416.66 \text{ m/min} = 6.9 \text{ m/s}$
- Disponibilité (A) : 85%
- Taux de traitement : 6000 conteneurs par jour
- Distance rectiligne moyenne parcourue : 73 m
- Taux du trafic de camion : 70%

3.2.3. Exploitation des données :

- Le temps de cycle :

$$T_c = \frac{45}{60} * \frac{73}{416.67} * \frac{45}{60} + \frac{73}{416.67}$$

$$T_c = 1.85 \text{ min(e)}$$

- Le temps disponible de camion :

$$AT = 60 * 0.85 * 1 * 0.7$$

$$AT = 35.7 \text{ min par heure par camion(f)}$$

- Le taux de livraison par heure par camion :

En utilisant la formule (4), nous trouvons :

$$R_{dv} = \frac{35.7}{1.85}$$

$$R_{dv} = 19.29 \approx 20 \text{ livraison par heure par camion(g)}$$

- Le nombre de camion nécessaire :

Les camions travaillent sur trois shifts tels que chaque shift est de 6 heures, ce qui donne 18 heures par jour.

En se basant sur le résultat (g), nous trouvons :

$$N_c = \frac{6000}{20 * 18} = 16.66 \approx 17 \text{ camions.}$$

3.3. Analyse et interprétation des équipements calculés:

D'après les résultats trouvées, nous avons 5 portiques en totale et 17 Camions de chargement/déchargement.

- ✓ Le port possède déjà 2 portiques, donc le nouveau terminal avec sa capacité dynamique désirée est besoin de 3 autres portiques.
- ✓ Le terminal a 2 quais principaux et un autre supplémentaire.
- ✓ Pour des normes de construction, le nouveau quai peut être équipé que par 4 portiques au maximum (2 portique pour un navire).
- ✓ Le 5^{ème} portique va être affecté au quai supplémentaire.
- ✓ L'ancienne conception possède 10 camions d'opérations de chargement /déchargement des conteneurs et ils ont eu avec ce nombre un grand problème qui a entraîné une chaine de fils d'attente dans la zones portuaire. Avec ce nouveau nombre calculé ce problème va se diminuer plus ou moins.

Conclusion :

Afin d'augmenter l'efficacité du port d'Oran et devenir un port international, les stratégies de l'entreprise portuaire d'Oran sont amenées à anticiper une stratégie d'une vue future de ce nouveau terminal à conteneurs.

Nous avons remarqué que pour répondre à l'objectif majeur de l'entreprise, les concepteurs du terminal doivent prendre en première considération le processus de traitement des conteneurs au niveau international et non pas d'aménager d'une façon aléatoire, ce qu'il va entraîner des problèmes de logistique, des problèmes de flux de circulation des conteneurs, des problèmes de sécurité et des conflits du personnels dans le futur.

Nous avons remarqué aussi qu'il faut déterminer les surfaces des sous zones en se basant sur le flux circulant entre eux et la capacité dynamique et statique désirées selon le diagramme de processus et non pas le contraire.

Les nouveaux équipements à acheter aussi doivent être calculer techniquement et prendre une décision selon le résultat et investir intelligemment ensuite , et non pas acheter d'une façon aléatoire puisque nous possédons suffisamment de budgets .

Chapitre 4

Problème de stockage de conteneurs dans un terminal portuaire

Introduction

Aujourd'hui, comme le nombre des conteneurs transités par le port maritime considérablement augmenté et les restrictions sur la zone de stockage aussi comme la manutention des conteneurs, ils ont un impact considérable sur l'effet d'efficacité des autres opérations portuaires.

L'un des premiers articles basés sur la méthode de stockage, la recherche analytique de **Taleb-Ibrahimi**[20], qui s'intéresse au stockage des conteneurs utilisés pour l'exportation et doivent expédier. L'auteur a adopté la stratégie par ségrégation en deux méthodes. La première est statique en considérant qu'un lieu de stockage est réservé à chaque navire. Autrement dit, que l'emplacement de stockage des conteneurs ne doit pas être modifié, c'est-à-dire chaque conteneur reste dans une position fixe pendant tout son séjour. La deuxième, est dynamique, tel que dans chaque bloc, des espaces de pré-stockage sont réservés. Selon l'auteur, la méthode dynamique peut être mieux pour l'utilisation de l'espace de stockage car elle minimise l'espace réservée à chaque navire.

Un deuxième article traite le cas des conteneurs importés (c'est-à-dire le déchargement des navires) écrit dans [21] par **Castilho** et **Daganzo**, ils envisagent d'utiliser un terminal à conteneurs manipulé par les grues dans la cour et proposent des formules mathématiques pour calculer le nombre de remaniements nécessaires pour extraire un conteneur de la cour de stockage.

Dans cet article, le nombre de remaniements est considéré comme étant égal au nombre de conteneurs qui sont au-dessus du conteneur ciblé. Les auteurs ont analysé deux méthodes de stockage différentes. La première vise à équilibrer les hauteurs des piles (c'est une stratégie de nivellement) ; alors que la deuxième est une stratégie de ségrégation, chaque bloc de stockage est attribué à chaque navire, tel que cette dernière est divisée en plusieurs piles, dont l'emplacement de conteneur peut être modifié (certains conteneurs peuvent être retiré de leur position d'origine pour être déplacé dans un autre groupe de pile dans la même zone).

Dans ce chapitre, nous allons essayer de définir la deuxième problématique que nous a confronté dans le port, ainsi que nos objectifs, nos hypothèses avec la formulation mathématique, et la simulation sous Lingo avec l'interprétation des résultats trouvées à la fin.

4.1. Problématique

Ce nouveau projet du terminal à conteneurs d'Oran a pour trois objectifs principales à atteindre dans les années suivantes. Le premier objectif est de procéder au traitement de 500 000 conteneurs par an par la réception du projet, et cette partie est bien traitée dans le chapitre 3, le deuxième objectif est d'atteindre un million de conteneurs par an dans les années suivantes. Nous allons nous concentrer sur les problèmes de stockage au sein de la cour de stockage dans le terminal en essayant de faire un plan optimal d'allocation des conteneurs déchargés de porte-conteneurs afin de faciliter les différentes opérations dans la zone de stockage et donc améliorer l'efficacité du terminal.

4.2. Objectif du travail

Afin de répondre à la deuxième exigence de l'entreprise, notre étude va s'occuper de :

- ✓ Etudier les facteurs qui servent à une allocation optimale des conteneurs.
- ✓ Minimiser les mouvements improductifs dans la cour de stockage.

Section

1

Formulation mathématique

Dans cette section, nous allons modéliser notre problème mathématiquement tout en considérant certain nombre d'hypothèses et en respectant certaines contraintes.

1.1. Les hypothèses :

Pour toute personne réalisant un modèle mathématique ou un travail de recherche académique, les hypothèses sont primordiales pour structurer le modèle et l'avancée des recherches, et pour garder le cap d'une recherche sans perdre de vue l'angle de l'étude.

Les hypothèses que nous avons prises en considération sont :

1. Nous étudions l'allocation des conteneurs déchargés (de l'importation)
2. Nous nous intéressons au stockage de la sous zone de stockage avant visite.
3. Les conteneurs sont stockés directement à la sous zone avant visite.
4. Une zone de stockage est formée de plusieurs blocs adjacents.
5. Les conteneurs sont classés en groupe par pile et par client.
6. Les conteneurs sont de la même catégorie s'ils appartiennent au même client.
7. Nous ne considérons que les conteneurs de type standards.
8. Nous nous intéressons uniquement aux conteneurs 40 pieds.
9. Le système de stockage utilisé est le RTG.
10. La sous zone avant visite dispose de 3 RTG.
11. Un RTG se déplace sur plusieurs blocs.
12. En considérant que la Pré-déclaration (plan de déchargement) est connue avant l'arrivée de porte-conteneur.
13. Chaque client possède cinq conteneurs.
14. Les piles sont numérotées de sorte que deux piles adjacentes de même RTG aient des numéros successifs comme la figure suivante :

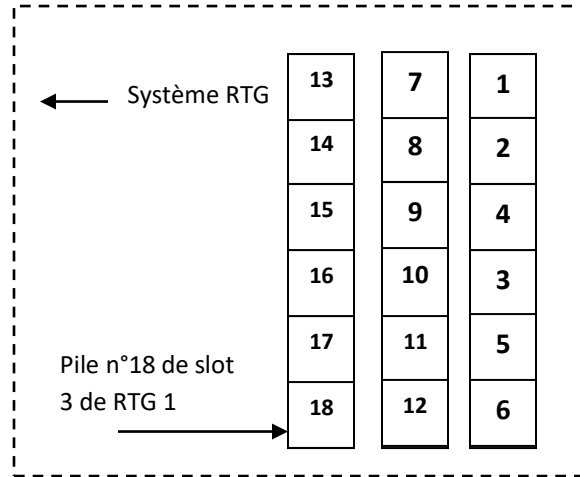


Figure 51 : Empilement des conteneurs

Les armateurs, courtiers, consignataires doivent adresser à la capitainerie du port, par écrit ou par voie électronique, selon le modèle en usage dans le port, une demande d'attribution de poste à quai comportant les renseignements nécessaires à l'organisation de poste à quai avec le plan de chargement et de déchargement de navire. Cette demande doit être présentée au moins quarante-huit heures à l'avance. Et elle est confirmée à la capitainerie vingt-quatre heures à l'avance par tout moyen de transmission.

Selon le plan de chargement/déchargement envoyé, les conducteurs des portiques ou les grutiers vont respecter l'ordre de chargement/déchargement de porte-conteneurs.

Les opérateurs selon le plan reçu connaissent bien le nombre et le type de conteneurs ayant chaque client et donc peuvent définir à l'avance l'allocation de chaque conteneur avant son arrivé. Après cela les camions s'occupent de la manutention des conteneurs directement déchargé à l'aide de portique vers la sous-zone avant visite.

1.2. Le modèle mathématique

En tenant compte les différentes hypothèses ci-dessus, nous pouvons formuler ce modèle :

1.2.1. Les indices utilisés dans de modèle

- i, k : Indice de conteneurs ; $i, k \in N$

- c : Indice de client ; $c \in C$
- b : Indice bloc ; $b = 1, \dots, Nbloc$
- p : Indice pile ; $p \in Np$
- j : Emplacement dans une pile p ; $j \in Nj$

1.2.2. Les ensembles et paramètres utilisés

- N : Nombre de conteneurs concerné par le stockage
- N_c : nombre de clients
- N_{bloc} : Nombre de blocs disponibles
- N_p : Nombre de piles dans un seul système RTG
- J : Nombre d'emplacements libre dans une pile
- Q_{pb} : la capacité de la pile p dans le bloc b
- R^{ic} : la matrice binaire d'affectation des conteneurs à leurs clients.
- $Y^i = 1$ si le conteneur est de conteneu toxique ; 0 sinon

1.2.3. Les variables de décisions du modèle

$X_{b p j}^{i c} = 1$ si le conteneur i de client c appartient au bloc b dans la pile p
dans l'emplacement j ; 0 sinon.

Z_k^i : la distance entre les emplacements de stockage de deux conteneurs en
nombre de pile

$W_{b p}^c = 1$ si le client c est affecté à la pile p du bloc b ; 0 sinon

1.2.4. Le modèle mathématique

$$\text{Min } \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{k=i+1}^N Z_k^i \quad (1)$$

$$Z_k^i = \left| \sum_{c=1}^{Nc} \sum_{b=1}^{Nbloc} \sum_{p=1}^{Np} \sum_{j=1}^J p * X_{b p j}^{i c} - \sum_{c=1}^{Nc} \sum_{b=1}^{Nbloc} \sum_{p=1}^{Np} \sum_{j=1}^J p * X_{b p j}^{k c} \right| \quad \forall i, k \in N \quad (2)$$

$$\sum_{c=1}^{Nc} \sum_{b=1}^{Nbloc} \sum_{p=1}^{Np} \sum_{j=1}^J X_{b p j}^{i c} = 1 \quad \forall i \in N \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{c=1}^{Nc} X_{b p j}^{i c} \leq 1 \quad \forall b \in Nbloc, \forall p \in Np, \forall j \in J \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{c=1}^{Nc} \sum_j X_{b p j}^{i c} \leq Q_{pb} \quad \forall b \in Nbloc, \forall p \in Np \quad (5)$$

$$X_{b p j}^{i c} \leq X_{b p j-1}^{i c} \quad \forall i \in N, \forall c \in Nc, \forall b \in Nbloc, \forall p \in Np, \forall j > 1 \quad (6)$$

$$Y^i = \sum_{c=1}^{Nc} \sum_{p=1}^{Np} \sum_j X_{1 p j}^{i c} \quad \forall i \in N \quad (7)$$

$$\sum_{b=1}^{Nbloc} \sum_{p=1}^{Np} W_{b p}^c = 1 \quad \forall c \in Nc \quad (8)$$

$$X_{1 p j}^{i c} \leq W_{b p}^c \quad \forall i \in N, \forall c \in Nc, \forall b \in Nbloc, \forall p \in Np, \forall j \in J \quad (9)$$

$$\sum_{b=1}^{Nbloc} \sum_{p=1}^{Np} \sum_{j=1}^J X_{1 p j}^{i c} = R^{i c} \quad \forall i \in N, \forall c \in Nc \quad (10)$$

Chapitre 4 Problème de stockage de conteneurs dans un terminal portuaire

$$X_{1pj}^i, W_{bp}^c \in \{0,1\} \quad (11)$$

$$Z_k^i \in \mathbb{N} \quad (12)$$

Dans la fonction objectif (1), nous cherchons à minimiser la distance entre les conteneurs qui appartiennent à la même catégorie et donc minimiser le nombre de remaniements.

La contrainte (2) garantit le calcul de la distance entre les emplacements de chaque deux conteneur en nombre de piles.

La contrainte(3) garantit que chaque conteneur est affecté à un seul emplacement. Alors que la contrainte (4) garantit que plusieurs conteneurs ne sont pas affectés simultanément au même emplacement.

La contrainte (5) définit la capacité des piles telles que chaque pile peut contenir 5 conteneurs.

La contrainte (6) force qu'un conteneur ne peut pas être stockée si seulement si un conteneur est stocké en dessus de lui.

La contrainte (7) garantit que les conteneurs contenant la marchandise toxique sont stockés dans les blocs portant l'étiquette 1.

Les contraintes (8), (9) et (10) assurent que les conteneurs de même client sont stockés dans la même pile.

La contrainte (11) signifie que les variables de décisions sont binaires alors que la contrainte (12) garantit que la variable de décision est entière.

1.3. Astuces pour minimiser les mouvements non-productifs :

Notre modèle a pour but d'affecter chaque conteneur à son optimal emplacement tout en minimisant les mouvements improductifs lors des opérations de chargement et de déchargement des conteneurs. Pour cela nous avons basé sur deux astuces afin de répondre à cette problématique.

1^{ère} astuce :

En principe, chaque bloc contient un certain nombre de slots. Et chaque slot contient six piles telles que chaque pile contient 7 emplacements pour 6 conteneurs, l'emplacement n°7 est laissé toujours pour la manutention de RTG. Ce qui fait dans un slot 36 conteneurs peuvent être stocké.

Lorsqu'un RTG se déplace pour déstocker un conteneur, des mouvements non-désirables doivent obligatoirement être présents. Donc pour minimiser cet effet le plus possible, nous suggérons de laisser le sixième niveau de chaque slot vide. Ce qui fait 30 conteneurs peuvent être empilé dans chaque slot.

- **Exemple explicatif :**

- Soit un bloc contenant 4 slots avec 6 piles dans chaque slot.
- Les 3 premiers slots sont pleins.
- le 4^{ème} slot : les 5 piles sont pleines alors que la 6^{ème} pile contient qu'un conteneur.

Nombre de conteneurs stockés dans le bloc = $3 * 6 * 6 + 1 * 1 + 5 * 6 = 139$ conteneurs.

Supposant que le RTG veut déstocker le conteneur empilé dans le slot 1 dans la pile 1 dans l'emplacement 1 !

- ❖ **Nombre de mouvements improductifs pour ramener le conteneur sélectionné :**

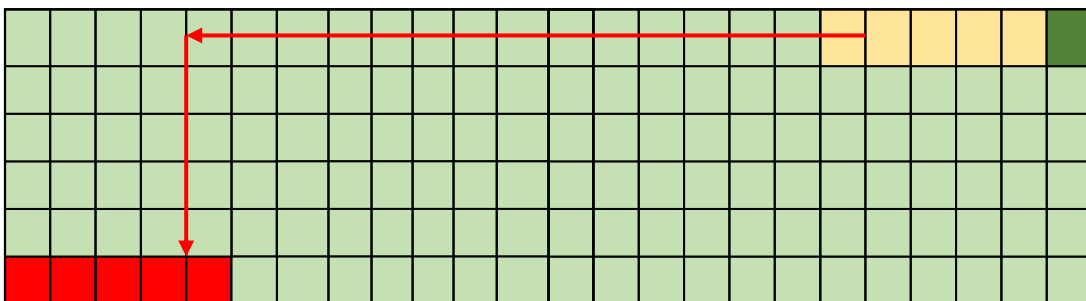


Figure 52 : Nombre de mouvements improductifs dans le cas standard

Chapitre 4 Problème de stockage de conteneurs dans un terminal portuaire

Comme la **figure 52** montre, nous remarquons que pour ramener le conteneur sélectionné(en vert d'âtres), les 5 conteneurs en jaunes doivent être enlevé et stocké dans d'autres emplacements, et soient celles en rouges. Le RTG va faire 5 allés et retour tout en passant par deux piles. En effet une durée de temps sera perdue à cause de distance de trajet longue.

- ❖ **Nombre de mouvements improductifs pour ramener le conteneur sélectionné en considérant notre astuce :**

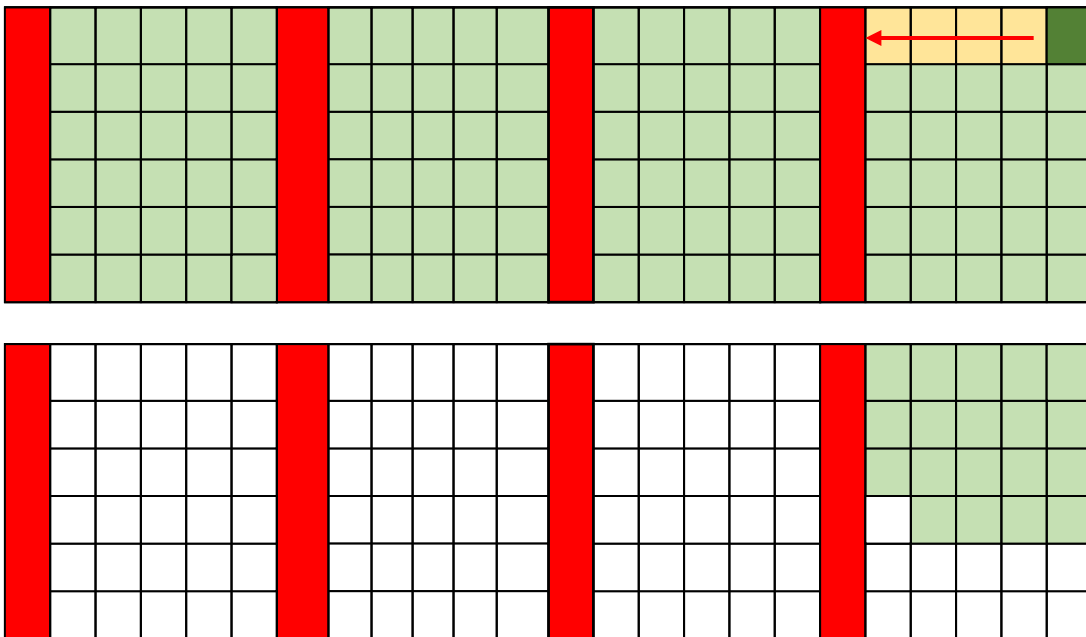


Figure 53 : Nombre de mouvements improductifs en tenant compte l'astuce 1

Nous remarquons dans la **figure 53** que si nous stockons que sur 5 emplacements par pile, lorsqu'un conteneur est sélectionné pour le ramener, le temps de remaniement est diminué ainsi que les mouvements non-productifs. Par contre, un espace de stockage supplémentaire doit exister.

2^{ème} astuce :

Généralement un client possède plusieurs conteneurs. Cette astuce oblige que tout les conteneurs de même client doivent être stocké dans la même pile s'il possède moins de 5 conteneurs et dans des piles adjacentes s'il possède plus que 5 conteneurs.

Cette astuce sert à :

- Faciliter le remaniement des conteneurs de même client.
- Minimiser le nombre de mouvements improductifs.
- Minimiser les distances parcourues par le RTG.
- Minimiser le temps de déchargements des conteneurs de même client.

- **Exemple explicatif :**

Nous étudions le même exemple ci-dessous en appliquant l'astuce 1.

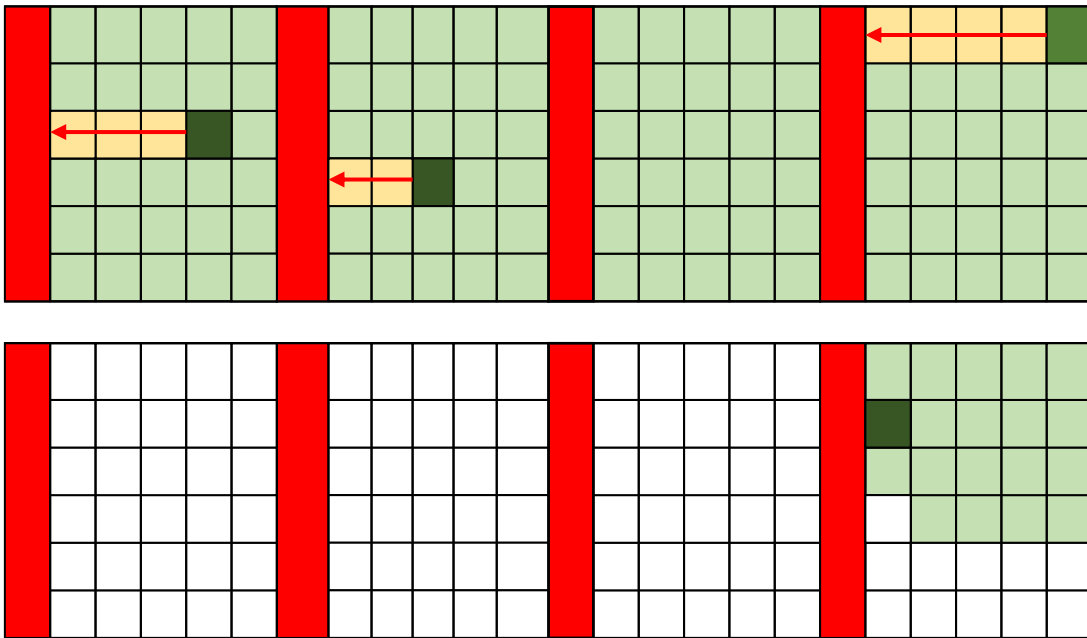


Figure 54 : Nombre de mouvements improductifs sans l'application de l'astuce 2

Selon la **figure 54**, nous remarquons que le client possède 4 conteneurs dans des slots différents (3 dans le bloc 1 et un conteneur dans le bloc2). Le RTG doit faire 4 mouvements de remaniements pour enlever le conteneur 1, après il se translate vers le slot 3 pour faire 2 autres mouvements de remaniements afin d'enlever le conteneur 2. Ensuite, il se translate encore une fois vers le slot 4 et il fait 3 mouvements de remaniements pour enlever le conteneur 3. La même opération pour le conteneur 4 qui se trouve dans le bloc2 slot 1.

❖ Nombre de mouvements improductifs en considérant l'astuce 2 :

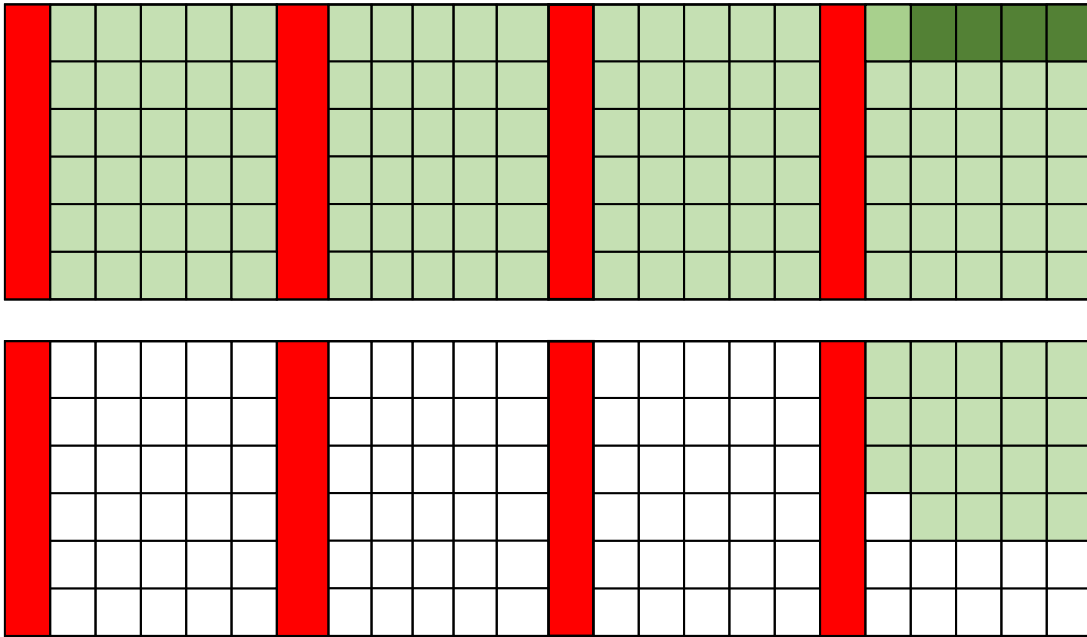


Figure 55 : Nombre de mouvements improductifs en considérant l'astuce 2

Nous remarquons dans la **figure 55** que pour enlever les conteneurs du client, le RTG va faire qu'un seule remaniement.

Section

2

Résolution et Interprétation des résultats

Dans cette section, nous allons simuler notre modèle mathématique en utilisant le solveur Lingo, analyser les résultats et les interpréter par la suite.

Simulation par Lingo

2.1. Le logiciel Lingo

LINGO est un outil conçu pour construire et résoudre efficacement des modèles d'optimisation linéaires, non linéaires et entiers.

2.2. Exemple d'étude :

Dans le cadre d'une présentation basique et préliminaire du problème traité, nous allons simuler ce petit exemple en utilisant le solveur Lingo.

Dans cet exemple, nous supposons qu'il s'agit de :

- 2 blocs : bloc1, bloc 2.
- 1 slot par bloc.
- 3 piles par slot : 6 piles pour les deux blocs.
- 10 conteneurs.
- 2 clients.
- ✓ La matrice R qui représente les conteneurs de chaque client :

Conteneur "i"	Client "1"	Client "2"
1	1	0
2	0	1
3	1	0
4	1	0
5	1	0
6	0	1
7	0	1
8	0	1

Chapitre 4 Problème de stockage de conteneurs dans un terminal portuaire

9	1	0
10	0	1

Tableau 13 : affectation conteneur-client

- ✓ Le type de marchandise de conteneur (1 pour toxique, 0 pour standard) :

Conteneur " i"	Type de contenu
1	0
2	0
3	0
4	0
5	1
6	1
7	0
8	0
9	1
10	0

Tableau 14 : Type de marchandise des conteneurs

2.2.1. Solution

Après la présentation des données de l'exemple, nous avons eu recours au solveur **Lingo** pour coder notre modèle mathématique. Tout d'abord, nous avons écrit le modèle dans un fichier (lg4). Ensuite, après l'exécution de programme, nous avons eu les résultats suivants :

- ✓ La localisation de chaque conteneur est comme suit :

Conteneur i	Client c	Bloc b	Pile p	Emplacement j
1	1	2	1	3
2	2	2	2	2
3	1	2	1	1
4	1	2	1	2
5	1	1	2	2
6	2	1	1	1
7	2	2	2	4
8	2	2	2	1
9	1	1	2	1
10	2	2	2	3

Tableau 15 : la location des conteneurs par Lingo

D'après les résultats obtenus, nous remarquons qu'elles ne contiennent pas la pile 3, et cela est logique puisque la fonction objectif sert à minimiser la distance entre les conteneurs en terme de pile. Donc pour deux clients, l'utilisation des deux premières piles est suffisante.

La contrainte (7) qui sépare les conteneurs de marchandises toxiques aux ceux de marchandises standards est respecté, tels que les conteneurs 5,6 et 9 sont affectés au bloc 1 alors que les conteneurs 1, 2, 3, 4, 7,8 et 10 sont affectés au bloc 2.

Les contraintes (8), (9) et (10) sont respectées aussi, tels que les conteneurs de même client sont affectés dans une pile. Les conteneurs standards de client 1 sont stockés dans la pile 1 alors que les conteneurs standards de client 2 sont stockés dans la pile 2. Pour les conteneurs toxiques, les conteneurs de client 1 sont placés dans la pile 2, alors que le conteneur de client 2 est placé dans la pile 1.

Conclusion

Les terminaux à conteneurs doivent respecter certains plans pour maximiser l'utilisation de leurs espaces d'une façon optimale. Plusieurs techniques et astuces existent pour faire une allocation optimale des conteneurs et qui facilitent les opérations de chargement et de déchargements de ces derniers. Les responsables doivent choisir le ou les plans de stockage adéquats à la conception du terminal ainsi que le système de stockage utilisé.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Cette mémoire, qui a pour objectif principal : l'optimisation des flux des conteneurs dans le nouveau terminal à conteneurs de l'entreprise portuaire d'Oran, présente les détails de notre stage enrichissant durant lequel, il nous a été permis de nous servir des connaissances que nous avons acquies pendant trois années de formation d'ingénieur dans l'école supérieures des sciences appliquées de Tlemcen, et d'acquies des nouvelles connaissances.

Il convient de souligner que ce modeste travail a totalement répondu à la problématique de l'entreprise. En fait, en premier temps, nous avons réussi à faire une conception des zones du terminal tout en respectant les contraintes exigées pour avoir à la fin quatre alternatives de dispositions possibles en utilisant des méthodes différentes de facilities design.

De plus, nous avons étudié l'allocation des conteneurs en utilisant deux astuces qui servent à diminuer le nombre des remaniements lors des opérations de stockage et déstockage des conteneurs. Nous avons modélisé le problème mathématiquement tout en expliquant les différentes contraintes de modèle ainsi que les astuces utilisées. Finalement le modèle a été simulé sous le solver Lingo pour un petit exemple préliminaire.

Finalement, ce travail était une expérience qui a offert une bonne préparation à notre insertion professionnelle parce qu'il conforte notre désir d'exercer le domaine technique et logistique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] : Villefayaud. A. (2010), la conteneurisation: 100 million de conteneurs maritime. P1
- [2] : Nespola, J. (2009). La conteneurisation du monde-méditerranéen. Outre-terre, (3), 39-48
- [3] : (Bohlman, Hommage à Malcolm McLean, inventeur génial du conteneur, 2002)
- [4] : Gras, P. (2015). Le temps des ports, déclin et renaissance des villes portuaires, 1940-2010. Tallandier.
- [5] : Le Monde, 22 novembre 2006 (Gazdar, 2008)
- [6] : Mervis, J. (2014). The information highway gets physical.
- [7] : Groupe RTD (2021). Type de conteneur « Consulté le 22 avril 2021 »
- [8] : Container Z (2021). Tous les containers spéciaux disponibles en France et en Europe « Consulté le 22 avril 2021 »
- [9] : « le code maritime algérien »
- [10] : Sofiane, L. (2014). *La logistique d'un système portuaire*.
- [11] : DESCAMPS, A. (le 17 Février 2021). Panorama des 25 premiers ports à conteneurs mondiaux en 2020. *Journal maritime marchandise* .
- [12] : Arezki Benali (2020). Ports algériens : Le volume des marchandises traitées augmente de 1% en 2019.
- [13] : Reingex (2021). Programme de l'unité d'enseignement (UE): les ports d'Alger et d'Oran (Algérie)
- [14] : (Annaba-port,2019) « consulté le 18 mai 2021 »
- [15] : (Journal le Quotidien,2020) « consulté le 18 mai 2021 »
- [16] : Madi, S., Aouicha, N., & Rahmani, L. E. (2015). La contribution du port de Bejaia au développement de la chaine du transport maritime (Doctoral dissertaton, Université de bejaia).
- [17] : (Djen Djen-port,2020) « consulté le 18 mai 2021 »
- [18] : (Djen Djen-port,2020) « consulté le 18 mai 2021 »

[19]: MANUFACTURING FACILITIES DESIGN & MATERIAL HANDLING SIXTH EDITION (Matthew P.Stephens)

[20]: Gazdar, M. K. (2008). Optimisation Heuristique Distribuée du Problème de Stockage de Conteneurs.

[21]: Gazdar, M. K. (2008). Optimisation Heuristique Distribuée du Problème de Stockage de Conteneurs.